ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY
1959

คู่มือ
การชลประทานระดับไร่นา

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

ธันวาคม 2524

A MANUAL FOR
ON-FARM WATER MANAGEMENT

Prepared for a training
program jointly organized

by

AGRICULTURAL AND FOOD ENGINEERING DIVISION
CONTINUING EDUCATION CENTER
ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY

December, 1981

คู่มือ
การชลประทานระดับไร่นา

โดย

อภิชาต	อนุกูลอำไพ	Ph. D
วิบูลย์	บุญยธโรกุล	Ph. D
วราวุธ	วุฒิวณิชย์	M. Eng
โกวิท	ท้วมเสงี่ยม	M. S.
มนตรี	ค้ำชู	วศ.ม.

ธันวาคม 2524

คำนิยม

หนังสือการชลประทานระดับไร่นาเล่มนี้นับว่าเป็นหนังสือที่มีคุณค่าและสาระประโยชน์อย่างมากสำหรับนายช่างชลประทานและผู้ที่มีภาระกิจในด้านการใช้น้ำและจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรโดยทั่วไป เกี่ยวกับการจัดการในเรื่องการชลประทานระดับไร่นานั้น ถ้าจะกล่าวไปแล้วมิใช่เรื่องใหม่แต่อย่างใด แต่ตลอดเวลาที่ผ่านมายังมีผู้ให้ความสนใจน้อยมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปัญหาการขาดแคลนน้ำมีไม่มากนัก ประกอบกับยังมีปัญหาอื่นที่มีความจำเป็นเร่งด่วนกว่า อย่างไรก็ตาม สภาวะการณ์ปัจจุบันนี้น่าจะถึงเวลาแล้วที่ควรหันมาเริ่มสนใจปัญหาเรื่องการจัดการน้ำว่าทำอย่างไรจึงจะใช้น้ำที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุด เพราะนอกจากจะทำให้โครงการพัฒนาแหล่งน้ำต่าง ๆ ที่ได้ลงทุนก่อสร้างไว้เป็นจำนวนมหาศาลนั้นได้รับผลตอบแทนอย่างคุ้มค่าทางเศรษฐกิจสมกับที่ตั้งเป้าหมายไว้แล้ว ยังจะทำให้เกษตรกรได้มีน้ำใช้เพื่อทำการเกษตรได้อย่างทั่วถึงและอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพราะความรู้สึกเดิมที่ว่าน้ำในบ้านเรามีเหลือเฟือนั้นจะไม่เป็นจริงอีกต่อไป

เนื้อหาของหนังสือเล่มนี้ได้กล่าวถึงหลักการของการชลประทานเบื้องต้นที่จำเป็นและควรทราบ กล่าวถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของการเพาะปลูก ปริมาณการใช้น้ำของพืชและการชลประทานแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมในแต่ละสภาพพื้นที่ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางปรับปรุงการให้น้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการชลประทาน และเพื่อลดการสูญเสียน้ำโดยไม่จำเป็น ซึ่งเนื้อหาดังกล่าวนี้นับว่าเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับการใช้น้ำและจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตรอย่างมาก

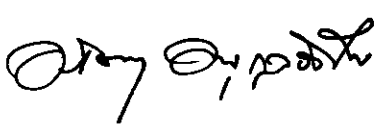
ดร.อาณัติ อาภาภิรม
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
11 ธันวาคม 2524

คำนำ

จุดเริ่มต้นของหนังสือเล่มนี้มาจากการเตรียมเอกสารประกอบคำบรรยายสำหรับการฝึกอบรมข้าราชการกรมชลประทานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับการจัดสรรน้ำและการบำรุงรักษาโครงการชลประทาน ในหลักสูตร "On-Farm Water Management" ซึ่งกรมชลประทานได้มอบหมายให้ศูนย์การศึกษาพิเศษและภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ดำเนินการฝึกอบรมเป็นรุ่น ๆ โดยเริ่มรุ่นแรกเมื่อเดือนมีนาคม 2524 ภายหลังจากที่ได้แจกเอกสารประกอบคำบรรยายดังกล่าวนี้ไปแล้ว ปรากฏว่ามีผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับการจัดสรรน้ำในระดับไร่นาทั้งในระดับผู้บริหารและผู้ปฏิบัติหลายท่านให้ความสนใจและต้องการจะมีไว้เพื่อการศึกษาและทบทวนเพิ่มเติมต่อไป ประกอบกับคณะผู้จัดทำมีความเห็นว่าเอกสารคู่มือทางการชลประทานที่เป็นภาษาไทยในปัจจุบันยังมีน้อย ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้วิทยาการในด้านนี้ไม่แพร่หลายและเป็นที่เข้าใจจากผู้ที่เกี่ยวข้องเท่าที่ควร ทั้งที่ในเรื่องของการจัดหาและจัดการน้ำเพื่อการเพาะปลูกในไร่นานั้น จัดได้ว่าเป็นเรื่องที่จำเป็นและสำคัญมากในประเทศไทย ซึ่งประชากรประมาณร้อยละแปดสิบมีอาชีพทำการเกษตร

ด้วยเหตุดังกล่าวนี้คณะผู้จัดทำจึงได้เรียบเรียงและแก้ไขปรับปรุงเอกสารประกอบคำบรรยายของการฝึกอบรมดังกล่าวให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นเพื่อให้มีคุณค่าแก่การศึกษาหาความรู้ และเพื่อให้อยู่ในรูปเล่มที่ได้มาตรฐาน อย่างไรก็ตาม การพิมพ์ขึ้นในครั้งนี้ซึ่งเป็นครั้งแรกอาจจะมีข้อบกพร่องบางประการเกิดขึ้น ซึ่งถ้าท่านพบและเห็นว่าสมควรปรับปรุงแก้ไขอย่างไร ขอได้โปรดแจ้งคณะผู้จัดทำด้วยจะเป็นพระคุณยิ่ง คณะผู้จัดทำหวังว่าหนังสือคู่มือเล่มนี้คงจะให้ประโยชน์ตามสมควรแก่ผู้ที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับการชลประทานระดับไร่นา รวมตลอดทั้งผู้ที่สนใจในวิชาการแขนงนี้ และผู้ที่ต้องการศึกษาหาความรู้โดยทั่วไป

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำใคร่ขอแสดงความขอบคุณอย่างยิ่งต่อกรมชลประทานที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการชลประทานระดับไร่นา และได้จัดให้มีการฝึกอบรมขึ้นอันเป็นจุดเริ่มต้นของหนังสือคู่มือเล่มนี้ ขอขอบคุณ คุณนุกูล ทองทวี ผู้อำนวยการสำนักงานชลประทานที่ 5 ซึ่งเป็นผู้บรรยายพิเศษของการฝึกอบรมและเป็นผู้เขียนต้นฉบับบทที่ 15 ขอขอบคุณ Dr. Nicanor C. Austriaco ผู้อำนวยการศูนย์การศึกษาพิเศษ ซึ่งเป็นผู้ร่วมงานฝึกอบรมนี้มาแต่ต้น ขอขอบคุณ คุณสมชาย จันทร์ศรี และ Mr. Enayet Ullah ซึ่งมีส่วนร่วมในการฝึกอบรมและจัดทำหนังสือคู่มือเล่มนี้ และท้ายสุดขอขอบคุณ คุณวสันต์ ภารนันต์ ที่ได้ใช้ความอุตสาหะอย่างมากในการเรียงพิมพ์และจัดรูปเล่มหนังสือนี้



(รองศาสตราจารย์ อภิชาต อนุกูลอำไพ)
คณะผู้จัดทำ
ธันวาคม 2524

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ ก

ศัพทานุกรม ง

บทที่ 1 หลักการชลประทาน 1

1.1 เหตุใดจึงต้องมีการชลประทาน 1

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำ 2

1.3 ชนิดของน้ำในดิน 3

1.4 ความชื้นชลประทาน 3

1.5 จุดเหี่ยวเฉาถาวร 4

1.6 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 5

1.7 การใช้ความชื้นในดินของพืช 5

1.8 ความต้องการน้ำชลประทาน 5

1.9 เมื่อไรจึงควรจะให้น้ำและเป็นปริมาณเท่าใด 6

บทที่ 2 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช 9

2.1 หัวใจของการชลประทานระดับไร่นา 9

2.2 คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช 10

2.3 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยการวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก 20

2.4 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน 27

2.5 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ 29

2.6 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยพิจารณาการใช้น้ำของพืช 44

บทที่ 3 ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน 49

3.1 วัตถุประสงค์ในการหาลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน 49

3.2 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซึมน้ำของดิน 49

3.3 การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดิน 50

3.4 การวัดความนำชลศาสตร์ 56

		หน้า
บทที่ 4	**การใช้น้ำของพืช**	**61**
4.1	การคายน้ำ	61
4.2	การระเหย	63
4.3	การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการวัด	64
4.4	การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศ	71
4.5	การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถาดวัดการระเหย	83
บทที่ 5	**น้ำที่จะต้องหามาให้แก่พืชและประสิทธิภาพในการชลประทาน**	**101**
5.1	ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช	101
5.2	ฝนใช้การ	102
5.3	การระเหยและการรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำ	107
5.4	ประสิทธิภาพของการชลประทาน	107
บทที่ 6	**การจัดการเรื่องน้ำในไร่นาและประสิทธิภาพของการใช้น้ำ**	**113**
6.1	การเลือกวิธีการให้น้ำ	113
6.2	การเลือกพืชที่ปลูก	115
6.3	การกำหนดการให้น้ำ	115
6.4	การจัดแผนการปลูกพืชให้เหมาะสม	119
6.5	การลดการสูญเสียน้ำ	130
6.6	การอนุรักษ์น้ำ	130
6.7	วิธีการส่งน้ำ	131
6.8	การประเมินผลโครงการ	131
บทที่ 7	**การวัดปริมาณน้ำชลประทาน**	**141**
7.1	ทำไมจึงต้องวัดหาปริมาณน้ำชลประทาน	141
7.2	ที่ใดควรวัดน้ำชลประทานบ้าง	141
7.3	จะทำการวัดหาปริมาณน้ำชลประทานได้อย่างไร	142
บทที่ 8	**การปรับระดับพื้นที่เพื่อการชลประทาน**	**195**
8.1	ความเหมาะสมของพื้นที่ต่อการให้น้ำทางผิวดิน	195
8.2	การเตรียมการปรับระดับพื้นที่	196
8.3	การคำนวณค่าระดับเพื่อปรับระดับพื้นที่	199
8.4	การคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถม	209
8.5	การใช้ตารางที่ 8.3 สำหรับหาปริมาตรดินขุดดินถม	210

หน้า

บทที่ 9 การให้น้ำทางผิวดิน 223

9.1 การออกแบบให้น้ำทางผิวดิน 224

9.2 ชลศาสตร์ของการไหลของน้ำบนผิวดิน 231

บทที่ 10 การให้น้ำทางร่องคูและการทดลองประเมินผล 235

10.1 การให้น้ำทางร่องคู 235

10.2 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู 238

บทที่ 11 การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนและการทดลองประเมินผล 253

11.1 การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน 253

11.2 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน 255

บทที่ 12 การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างและการทดลองประเมินผล 273

12.1 การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง 273

12.2 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง 273

บทที่ 13 ปัญหาดินเค็ม 283

13.1 แหล่งเกลือในดิน 283

13.2 แหล่งของดินเค็ม 283

13.3 สาเหตุของการเกิดดินเค็ม 283

13.4 การจำแนกชนิดดินเค็ม 284

13.5 การวัดความเค็มของดินด้วยค่าความเป็นสื่อกระแสไฟฟ้า 284

13.6 การเจริญของพืชกับความเค็มของดิน 286

13.7 คุณสมบัติของน้ำเพื่อการชลประทาน 286

13.8 น้ำส่วนเกินเพื่อการชะล้างเกลือในดิน 289

13.9 การจำแนกประเภทของน้ำเพื่อการชลประทาน 292

บทที่ 14 การระบายน้ำ 297

14.1 การระบายน้ำจากพื้นที่ชลประทาน 297

14.2 ผลของการมีน้ำมากเกินไป 297

14.3 ชนิดของทางระบายน้ำ 298

14.4 วิธีการระบายน้ำ 300

14.5 การระบายน้ำผิวดิน 302

14.6 การระบายน้ำใต้ดิน 306

14.7 ความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำ 310

		หน้า
บทที่ 15	**การส่งน้ำและบำรุงรักษาระบบการชลประทาน**	**315**
15.1	คำนำ	315
15.2	การจัดการส่งน้ำชลประทาน	315
15.3	การจัดทำแผนการส่งน้ำ	317
15.4	ข้อกำหนดในการออกแบบและแนวความคิดในการจัดการส่งน้ำ	319
15.5	การติดตามผลและการวิเคราะห์ผลการส่งน้ำ	325
15.6	การบำรุงรักษาคูน้ำ	329
15.7	แผนการตรวจสภาพของอาคารชลประทาน	332
15.8	การทรุด	334
15.9	น้ำลอดใต้พื้น	337
15.10	การกัดเซาะ	338
15.11	การตกตะกอน	339
15.12	การผุ	339
15.13	การผุกร่อน	339
15.14	สภาพของสี	340
15.15	ลักษณะรอยต่อ	340
15.16	การสึกหรอของเครื่องกว้าน	341
15.17	การเอียงจากศูนย์เดิม	341
15.18	น้ำรั่วทางบานระบาย	341
15.19	ระบบการระบายน้ำ	343
15.20	สรุป	344
ภาคผนวก 15.1	**การส่งน้ำให้ข้าว**	**345**
ภาคผนวก 15.2	**ความต้องการน้ำของข้าว**	**349**
บรรณานุกรม		**353**

ศัพทานุกรม

- A -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Absolute temperature	อุณหภูมิสัมบูรณ์	องศา	
Aquifer	ชั้นน้ำ		
Confined aquifer	ชั้นน้ำปิด		
Unconfined aquifer	ชั้นน้ำเปิด		
Adhesive force	แรงดึงดูดของโมเลกุลต่างชนิด		
Advance curve	กราฟน้ำหลาก		
Advance phase	ช่วงน้ำหลาก		
Advance time	เวลาน้ำหลาก	เวลา	
Allowable depletion	ความชื้นที่ยอมให้ลดลง	% หรือระยะ	
Apparent specific gravity	ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	ไม่มีหน่วย	As
Auger	สว่านเจาะดิน		
Auger hole	หลุมเจาะ		
Available moisture	ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	% หรือระยะ	

- B -

Basin irrigation	การให้น้ำขังเป็นอ่าง		
Border irrigation	การให้น้ำเป็นผืน		
Graded border	แปลงผืนลาด		
Level border	แปลงผืนราบ		
Buffer solution	สารละลายกันชน		
Bulk density	ความหนาแน่นของดิน	น้ำหนักต่อปริมาตร	

- C -

Capillary fringe	เขตน้ำซึม		
Capillary movement	การไหลซึมของความชื้น		
Capillary water	น้ำดูดซึม		

- C -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Calibration	การเทียบมาตราฐาน		
Citrus	ไม้ผลประเภทส้ม		
Clay	ดินเหนียว		
Clay loam	ดินร่วนปนดินเหนียว		
Cloudiness	ขีดความครึ้มของเมฆ		
Cohesive force	แรงดึงดูดของโมเลกุลชนิดเดียว.		
Constant head orifice	อาคารวัดน้ำแบบ CHO		
Contour check irrigation	การให้น้ำเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน		
Contour ditch irrigation	การให้น้ำจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน		
Contour interval	ขนาดชั้นความสูง	ระยะ	
Contour line	เส้นขอบเนินหรือเส้นชั้นความสูง		
Contour map	แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูง		
Corrugation irrigation	การให้น้ำแบบร่องคูเล็ก		
Crawler tractor	แทร็กเตอร์ตีนตะขาบ		
Critical moisture level	ระดับความชื้นวิกฤต		
Critical period	ช่วงวิกฤต		
Critical point	จุดวิกฤต		CP.
Crop	พืช		
Fruit crop	พืชผลไม้		
Grain crop	ธัญญพืช		
Oil crop	พืชน้ำมัน		
Root crop	พืชหัว		
Seed crop	พืชเมล็ดพันธุ์		
Vegetable	พืชผัก		
Crop coefficient	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช		K
Cropping intensity	ความหนาแน่นของการปลูกพืช		
Crop management	การจัดการเพาะปลูก		
Cropping pattern	แผนการปลูกพืช		
Cross slope system	ระบบระบายน้ำผิวดินแบบขวางความลาดเท		
Cumulative intake curve	กราฟดูดซึมสะสม		
Cut throat flume	รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ		
Cylinder infiltrometer	ถังวัดการดูดซึม		

- D -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Diciduous	ไม้ผลัดใบ		
Deep percolation	การซึมเลยเขตราก		
Diffusion	การแพร่กระจาย		
Ditch	คูน้ำ		
Head ditch	คูน้ำหัวแปลง		
Drainage	การระบายน้ำ		
Bedding system	ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า		
Crowning system	ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า		
Gridiron system	ระบบระบายน้ำใต้ดินแบบขนาน		
Herringbone system	ระบบระบายน้ำใต้ดินแบบก้างปลา		
Interception system	ระบบระบายน้ำใต้ดินแบบสกัดกั้น		
Parallel system	ระบบระบายน้ำใต้ดินแบบขนาน		
Interception drain	ทางระบายน้ำแบบสกัดกั้น		
Mole drain	ทางระบายน้ำแบบรูตุ่น		
Open ditch drain	คูระบายน้ำ		
Random ditch system	ระบบระบายน้ำผิวดินแบบไร้รูปแบบ		
Random system	ระบบระบายน้ำใต้ดินแบบไร้รูปแบบ		
Relief drain	ทางระบายเพื่อลดระดับ		
Tile drain	ท่อระบายน้ำใต้ดิน		
Well drain	บ่อระบายน้ำ		

- E -

Effective cover	ช่วงพืชคลุมดินเต็มที่		
Effective rainfall	ฝนใช้การ	ระยะ	
Efficiency	ประสิทธิภาพ	%	
Application efficiency	ประสิทธิภาพการให้น้ำ	%	Ea
Conveyance efficiency	ประสิทธิภาพการส่งน้ำ	%	
Distribution efficiency	ประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ	%	Ed
Distribution system - efficiency	ประสิทธิภาพระบบส่งน้ำ	%	
Field canal efficiency	ประสิทธิภาพคูส่งน้ำ	%	

- E -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Irrigation efficiency	ประสิทธิภาพการชลประทาน	%	Ei
Electrical conductivity	ความนำไฟฟ้า		EC
Electrical resistance-instrument	เครื่องวัดความชื้นของดินแบบแรงต้านทานไฟฟ้า		
Empirical formula	สูตรที่ได้จากการทดลอง		
Erodibility	ดัชนีการกัดเซาะ		
Erosion	การกัดเซาะ		
Evaporation	การระเหย		
Evaporation pan	ถาดวัดการระเหย		
Evapotranspiration	consumptive use		ET
	ปริมาณน้ำที่พืชใช้	ระยะ	
Actual evapotranspiration	ปริมาณน้ำที่พืชใช้จริง	ระยะ	
Potential-evapotranspiration	ปริมาณการใช้น้ำของพ่ชอ้างอิง	ระยะ	PET
Extrapolation	การประมาณนอกเขตข้อมูล		

- F -

Farm turn out	ท่อส่งน้ำเข้านา		FTO
Field capacity	ความชื้นชลประทาน	%	FC
Float valve	วาล์วลูกลอย		
Flooding irrigation	การให้น้ำท่วมผิวดิน		
Flow	การไหล		
Free flow	การไหลเหนือระดับท้ายน้ำ		
Laminar flow	การไหลเอื่อย		
Steady flow	การไหลคงที่		
Submerged flow	การไหลใต้ระดับท้ายน้ำ		
Turbulent flow	การไหลปั่นป่วน		
Uniform flow	การไหลสม่ำเสมอ		
Free board	ช่วงเผื่อล้น		
Free water	น้ำอิสระ		
Furrow irrigation	การให้น้ำทางร่องดู		

- F -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Contour furrow	ร่องคูตามแนวขอบเนิน		
Graded furrow	ร่องคูลาด		
Level furrow	ร่องคูราบ		
Furrow spacing	ระยะระหว่างร่องคู	ระยะ	

- G -

Gravimetric method	การวัดความชื้นโดยชั่งน้ำหนัก		
Gravitational water	Free Water น้ำอิสระ		
Growth stage	ช่วงการเจริญเติบโต		
Flowering stage	ช่วงออกดอก		
Fruiting stage	ช่วงออกผล		
Vegetative stage	ช่วงแตกใบ		

- H -

Head	ศักย์	ระยะ	
Elevation head	ศักย์ระดับ	ระยะ	
Hydraulic head	ศักย์ระดับน้ำ	ระยะ	
Pressure head	ศักย์ความดัน	ระยะ	
Velocity head	ศักย์ความเร็ว	ระยะ	
Head loss	การเสียศักย์	ระยะ	
Heavy soil	ดินเนื้อแน่น		
Hemisphere	ซีกโลก		
Hook gage	ตะขอวัดระดับน้ำ		
Hydraulic conductivity	ความนำชลศาสตร์	ระยะต่อเวลา	
Hygroscopic water	น้ำเยื่อ		

- I -

Infiltration	การซึมผ่านผิวดิน		

- I -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Infiltration capacity	Basic intake rate อัตราการดูดซึมพื้นฐาน	ระยะต่อเวลา	
Infiltration curve	กร๊าฟดูดซึม		
Infiltration rate	อัตราการซึมผ่านผิวดิน	ระยะต่อเวลา	
Infiltrometer	ถังวัดการซึมผ่านผิวดิน		
Intake opportunity time	ระยะเวลาดูดซึม	เวลา	
Intake rate	อัตราการดูดซึม	ระยะต่อเวลา	
Irrigation	การชลประทานหรือการให้น้ำ		
Drip irrigation	Trickle irrigation การให้น้ำแบบหยด		
Sprinkler irrigation	การให้น้ำแบบฉีดฝอย		
Sub-surface irrigation	การให้น้ำทางใต้ผิวดิน		
Surface irrigation	การให้น้ำทางผิวดิน		
Irrigation curve	กร๊าฟชลประทาน		
Irrigation frequency	Irrigation interval ความถี่ในการให้น้ำ	เวลา	
Irrigation time	เวลาที่ต้องให้น้ำ	เวลา	Ti

- L -

Lag time	ช่วงน้ำลด	เวลา	T_L
Land leveling	การปรับระดับพื้นที่		
Land slide	แผ่นดินถล่ม		
Latitude	เส้นรุ้ง		
Leaching fraction	อัตราส่วนน้ำเพื่อการชะล้าง		
Leaching requirement	ปริมาณน้ำเพื่อการชะล้าง		
Loam	ดินร่วน		
Loamy sand	ดินทรายปนดินร่วน		
Lysimeter	แท้งค์วัดการใช้น้ำของพืช		
Constant water table - lysimeter	แท้งค์วัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่		
Hydraulic weighing lysimeter	แท้งค์วัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค		

- L -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Percolation type lysimeter	แท้งค์วัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ		
Rice lysimeter	แท้งค์วัดการใช้น้ำของข้าว		

- M -

Management allowable - deficiency	ความชื้นที่ยอมให้ลดลงในเชิงปฏิบัติ	%	MAD
Manometer	เครื่องวัดความดันแบบหลอดแก้ว		

- N -

Neutron moisture meter	เครื่องวัดความชื้นแบบนิวตรอน		
Net water application	ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องให้		

- O -

Orifice	ช่องน้ำผ่าน		
Orifice gate	ประตูช่องน้ำผ่าน		
Submerge orifice	ช่องน้ำผ่านจม		
Origin	จุดกำเนิด		
Osmotic pressure	แรงดันออสโมซิส		
Outlet	ที่ทิ้งน้ำ		

- P -

Pan coefficient	สัมประสิทธิ์ของการวัดการระเหย		
Parshall flume	รางวัดน้ำแบบพาร์แชล		
Permanent wilting point	จุดเหี่ยวเฉาถาวร		
Permeability	ความสามารถให้ซึมผ่านได้	ระยะต่อเวลา	
Porous cup	กระเปาะพรุน		
Probe	หัวตรวจความชื้น (ของเครื่องวัดความชื้นแบบนิวตรอน)		

- P -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Psychrometric constant	ค่าคงที่สำหรับวัดความชื้นสัมพัทธ์		

- R -

Recession curve	กร๊าฟน้ำแห้ง		
Recession phase	ช่วงน้ำแห้ง		
Recession time	เวลาน้ำแห้ง	เวลา	
Relfection coefficient	สัมประสิทธิ์การสะท้อน		
Relative humidity	ความชื้นสัมพัทธ์	%	
Residual drawdown	ความต่างของระดับน้ำในบ่อเจาะ		
	จากระดับน้ำใต้ดิน	ระยะ	
Resistance block	ก้อนความต้านทาน		
Root zone	เขตราก	ระยะ	
Rotation	หมุนเวียน		
Runoff	น้ำผิวดิน น้ำไหลเลยท้ายแปลง		

- S -

Saline sodiac soil	ดินเค็มที่มีโซเดียมสูง		
Saline soil	ดินเค็ม		
Sand	ทราย หรือ ดินทราย		
Sandy clay	ดินเหนียวปนทราย		
Sandy clay loam	ดินร่วนปนดินเหนียวปนทราย		
Sandy loam	ดินร่วนปนทราย		
Saturated soil	ดินอิ่มน้ำ		
Saturation extract	น้ำคั้นจากดินอิ่มน้ำ		
Silt	ตะกอนทรายหรือดินตะกอนทราย		
Silty clay	ดินเหนียวปนตะกอนทราย		
Silty clay loam	ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย		
Silt loam	ดินร่วนปนตะกอนทราย		
Siphon tube	ท่อกาลักน้ำ		
Sodiac soil	ดินที่มีโซเดี่ยมสูง		

- S -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Soil moisture	ความชื้นในดิน	%	
Soil moisture dificiency	ความชื้นที่ขาดไป	%	SMD
Soil structure	โครงสร้างของดิน		
Soil texture	เนื้อดิน		
Solar radiation	รังสีอาทิตย์		
Incoming solar radiation	รังสีตก		
Outgoing solar radiation	รังสีสะท้อน		
Net solar radiation	รังสีสุทธิ		
Staff gage	แผ่นวัดระดับน้ำ		
Stilling well	บ่อน้ำนิ่ง		
Storage phase	ช่วงเก็บกัก		
Surface tension	แรงตึงผิว		

- T -

Tensiometer	เครื่องวัดความชื้นชนิดหนึ่ง		
Time of application	ระยะเวลาให้น้ำ	เวลา	Ta
Toxicity	ความเป็นพิษ		
Transpiration	การคายน้ำ		

- U -

Uniformity coefficient	สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ		
Unit flow	อัตราให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง	ปริมาตรต่อเวลา	

- V -

Vapor pressure	ความดันไอน้ำ	แรงต่อพื้นที่	
Saturated vapor pressure	ความดันไอน้ำอิ่มตัว	แรงต่อพื้นที่	
Venturi flume	รางวัดน้ำแบบเวนจูรี่		

- W -

ศัพท์	ความหมาย	หน่วย	คำย่อที่ใช้
Water duty	ชลภาระ	ปริมาตรต่อเวลาต่อพื้นที่	
Water holding capacity	ความสามารถอุ้มน้ำ		
Water management	การจัดการเรื่องน้ำ		
Water requirement	ความต้องการน้ำของพืช		
Gross water requirement	ความต้องการน้ำทั้งหมด		
Net water requirement	ความต้องการน้ำสุทธิ		
Water table	ระดับน้ำใต้ดิน		
Perched water table	ระดับน้ำใต้ดินเทียม		
Weighted average	เฉลี่ยโดยให้น้ำหนัก		
Weir	ฝายน้ำล้น		
Broad-crested weir	ฝายสันกว้าง		
Sharp-crested weir	ฝายสันคม		
Well	บ่อน้ำ		
Water table well	Gravity well บ่อน้ำตื้น		
Artesian well	บ่อบาดาลที่ระดับน้ำในบ่อสูงกว่า ระดับน้ำใต้ดิน		

บทที่ 1
หลักการชลประทาน

การชลประทานหมายถึงการให้น้ำแก่พืชโดยการเพิ่มความชื้นให้แก่ดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นพอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช และรวมความถึงการจัดหาน้ำและการส่งน้ำเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้นด้วย

1.1 เหตุใดจึงต้องมีการชลประทาน

องค์ประกอบสำคัญของการเพาะปลูกมีอยู่ 4 อย่างด้วยกันคือ ดิน พืช น้ำ และพลังงานแสงแดด การที่พืชจะเจริญเติบโตงอกงามได้จะต้องปลูกอยู่ในดินที่มีแร่ธาตุอาหารสมบูรณ์ มีความชุ่มชื้นพอเหมาะ และมีแสงแดดมาเป็นพลังงานในการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุให้เป็นอาหารที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

องค์ประกอบทั้ง 4 นี้ นอกจากพันธุ์พืชแล้วล้วนแต่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติทั้งนั้น ซึ่งหมายความว่าเรามิอาจจะบังคับหรือเปลี่ยนแปลงสภาพได้ตามความพอใจ เราสามารถทำได้อย่างมากก็เป็นการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมเสริมให้มีสภาพดีขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างเช่นดิน คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินในแต่ละท้องที่นั้น ถูกกำหนดโดยธรรมชาติ จะเปลี่ยนแปลงดินเหนียวให้เป็นดินทรายไม่ได้ แต่เราสามารถเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้กับดินเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้นได้ พลังงานแสงแดดก็เช่นกัน พื้นที่ใดจะได้รับแสงแดดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้น การจะขยายเวลากลางวันให้นานขึ้นนั้นทำไม่ได้ในพื้นที่แปลงใหญ่ แต่พอจะทำได้สำหรับเรือนเพาะชำเท่านั้น น้ำฝนนั้นตกตามกาลฤดู แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะตกไม่สม่ำเสมอตลอดฤดูและปริมาณที่ตกก็ไม่เท่ากันในทุกปี ซ้ำการกระจายของฝนยังไม่ทั่วถึงพื้นที่ ฉะนั้นน้ำฝนจึงมักจะไม่พอเหมาะแก่การเจริญงอกงามของพืชในเขตเกษตรน้ำฝน (Rain-fed Agriculture) ถ้าหากว่าพื้นที่เพาะปลูกนั้นมีฝนตกสม่ำเสมอดีและมีปริมาณมากพอก็ไม่จำเป็นจะต้องจัดหาน้ำมาเพิ่มเติมอีก แต่ถ้าฝนตกไม่แน่นอน เช่น มีการทิ้งช่วงนาน ๆ และบ่อยครั้ง การจัดหาน้ำมาช่วยในช่วงระยะเวลาดังกล่าวก็จะช่วยให้พืชสามารถเจริญงอกงามต่อไปตามปกติ และจะไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต

ต้องขอเน้นไว้ในที่นี้ว่า การจัดหาน้ำมาเพื่อวัตถุประสงค์สำหรับการชลประทานควรทำก็ต่อเมื่อผลประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มขึ้นคุ้มกับค่าลงทุนเท่านั้นถ้าหากไม่คุ้มก็ไม่ควรมีการชลประทาน

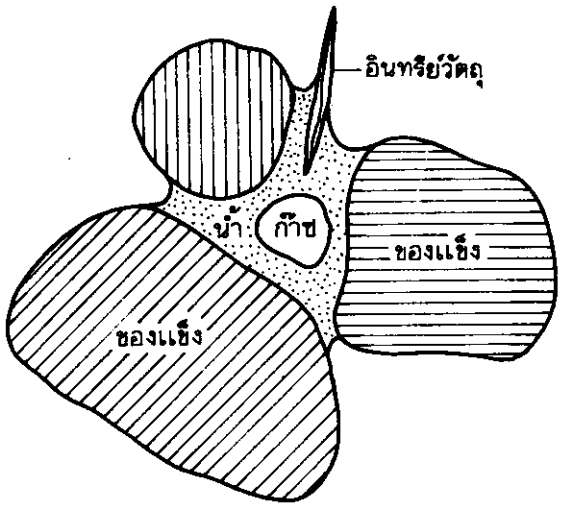
การจัดหาน้ำมาเพื่อการชลประทานนั้นได้ทำกันมานานหลายศตวรรษแล้ว แต่การพัฒนาทางด้านวิธีการใหม่ ๆ ยังคงช้าอยู่มากเมื่อเปรียบเทียบกับวิทยาการด้านอื่น ๆ จนกระทั่งในช่วง 20-30 ปีหลังนี้ ประชากรของโลกได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็วจนเป็นที่หวั่นวิตกว่าอาหารที่ผลิตได้จะไม่พอเลี้ยงพลโลก จึงได้มีการวิจัยและพัฒนาวิทยาการด้านนี้อย่างจริงจังและรวดเร็ว ปัจจุบันนี้ระบบชลประทานในบางประเทศเจริญก้าวหน้าและมีความยุ่งยากมากเกินกว่าที่เกษตรกรโดยทั่ว ๆ ไปจะคาดคิดถึง แม้กระนั้นก็ตามปัญหาการแก่งแย่งน้ำซึ่งเป็นทรัพยากรที่หายากขึ้นทุกที ๆ ก็ผลักดันให้มีการค้นคว้า วิจัยหาวิธีการใช้น้ำชลประทานให้มีประสิทธิภาพดียิ่ง ๆ ขึ้นไป เพื่อจะได้ใช้น้ำที่มีอยู่ปริมาณจำกัดผลิตอาหารให้พอเลี้ยงประชากรของโลกที่หิวโหยเหล่านี้

ในแง่ของวิศวกรชลประทาน นอกจากจะต้องทราบว่าจะจัดหาน้ำมาทำการเพาะปลูกอย่างไรแล้ว จะต้องทราบด้วยว่าเมื่อไรจึงควรให้น้ำ ให้อย่างไร และให้มากน้อยแค่ไหน คำตอบของปัญหาทั้งสามข้อนี้จะบอกว่าง่ายก็ใช่ หรือจะบอกว่ายากก็ถูกเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าผู้ถามต้องการความถูกต้องระดับไหน

ในการที่จะใช้น้ำชลประทานให้มีประสิทธิภาพสูงได้นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 2 อย่าง ด้วยกัน คือ ระบบชลประทานที่ออกแบบไว้ดี และมีการจัดการที่ดี ระบบชลประทานที่ดีต้องการผู้ออกแบบที่มีความรู้และมีประสพการณ์สูง ส่วนการจัดการที่ดีก็จำเป็นจะต้องใช้ผู้ที่มีความรู้ในหลักการชลประทานขั้นพื้นฐานที่ดีและมีประสพการณ์ด้วย องค์ประกอบทั้งสองอย่างนี้มีความสำคัญเท่าเทียมกัน ทั้งนี้เพราะว่าแม้ระบบชลประทานจะออกแบบไว้ดีเพียงใดก็ตาม แต่ถ้ามีการจัดการไม่ดีพอก็จะให้ประสิทธิภาพต่ำได้ หรือในทางตรงกันข้าม ถ้ามีการจัดการที่ดี แต่ระบบชลประทานออกแบบไว้ไม่ดีพอก็ยากที่จะทำให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพสูงได้เหมือนกัน

1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำ

ดินคือวัสดุพรุนซึ่งประกอบด้วยสสารสามสถานะด้วยกันคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ส่วนที่เป็นของแข็งจะมีรูปเป็นเมล็ดเล็ก ๆ เช่น ทราย ตะกอน และอินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ส่วนที่เป็นของเหลวได้แก่น้ำ และสารละลายซึ่งเกาะหรือแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน ช่องว่างเหล่านี้บางส่วนจะถูกแทนที่โดยก๊าซ



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของดิน

ขนาดของเมล็ดดินที่รวมตัวกันเป็นก้อนดินเรียกว่าเนื้อดิน (Soil Texture) และการเรียงตัวและเกาะกันระหว่างเมล็ดดินเรียกว่าโครงสร้างของดิน (Soil Structure) จะเป็นสิ่งกำหนดคุณสมบัติของดิน กล่าวคือดินที่ประกอบขึ้นด้วยเมล็ดดินขนาดใหญ่ เช่น ดินทราย จะมีช่องว่างระหว่างดินโตแต่ผลรวมของช่องว่างจะมีปริมาตรน้อยกว่าดินซึ่งประกอบขึ้นด้วยเมล็ดดินขนาดเล็ก ขนาดของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน

มีอิทธิพลต่อการชลประทานและการระบายน้ำมาก เพราะถ้าดินมีการระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศดี รากพืชก็จะสามารถแผ่กระจายไปได้ทั่ว ทำให้สามารถหาอาหารได้เป็นบริเวณกว้าง ต้นพืชก็จะมีการเจริญงอกงามดี ดินที่ประกอบขึ้นด้วยเมล็ดดินขนาดใหญ่จะมีคุณสมบัติให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย มีการระบายน้ำดีแต่อุ้มน้ำไว้ได้น้อย ในทางตรงกันข้ามดินเหนียวซึ่งประกอบขึ้นด้วยเมล็ดดินขนาดเล็กจะอุ้มน้ำไว้ได้มาก แต่การระบายน้ำและถ่ายเทอากาศจะไม่ดี นี่เป็นข้ออธิบายอย่างหนึ่งว่าดินที่มีเมล็ดดินขนาดปานกลางจึงเหมาะสำหรับการปลูกพืชมากกว่าดินเนื้อละเอียดถึงแม้ว่าดินนี้จะเก็บน้ำไว้ได้ดีกว่าก็ตาม

โดยปกติแล้วเราไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเนื้อดินได้ แต่เราสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินให้มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการเพาะปลูกได้โดยการไถพรวนและเพิ่มอินทรีย์วัตถุให้แก่ดิน

1.3 ชนิดของน้ำในดิน

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การเรียงตัวของเมล็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปทรงต่าง ๆ ขึ้นในดิน เมื่อฝนตกหรือให้น้ำแก่พืช น้ำก็จะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ และเกาะติดอยู่กับเมล็ดดินด้วยแรงดึงดูดของโมเลกุลต่างชนิด (Adhesive Force) และแรงดึงดูดของโมเลกุลชนิดเดียวกัน (Cohesive Force) ถ้าหากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่างเรากล่าวว่า ดินนั้นอิ่มน้ำ (Saturated) และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมดจะเป็นปริมาตรสูงสุดที่ดินจะเก็บเอาไว้ได้ถ้าไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ แต่เนื่องจากว่าสสารทุกอย่างที่อยู่บนผิวโลกจะถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำอยู่ตลอดเวลารวมทั้งน้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินด้วย ในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ แรง Adhesive ระหว่างน้ำที่อยู่ตรงกลางของช่องว่างกับเมล็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นเมื่อผลรวมของแรง Cohesive และ Adhesive น้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก น้ำก็จะไหลลงสู่ที่ลึกกว่า น้ำในดินที่ไหลด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้เรียกว่าน้ำอิสระ (Gravitational Water หรือ Free Water) เมื่อฝนหยุดตกหรือหยุดให้น้ำแก่พืช น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะระบายออกภายในเวลา 2-3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี Free water จะถูกระบายออกไปหมดก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืชและจะมีอากาศเข้ามาแทนที่ ส่วนน้ำในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ซึ่งไม่ถูกระบายออกด้วยแรงดึงดูดของโลกอาจจะยังคงมีการเคลื่อนที่อยู่ด้วยแรงดูดซึม น้ำซึ่งอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็กดังกล่าวนี้เรียกว่า น้ำดูดซึม (Capillary Water) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ช้ามาก ช้ากว่าน้ำอิสระ (Free Water) และจะมีทิศทางไปทางใดก็ได้โดยเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่มีแรงดึงดูดความชื้นมากที่สุดเสมอ

การสูญเสียน้ำโดยการระเหยจากผิวดิน และจากที่พืชดูดเอาไปใช้จะทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่น้ำในดินไม่มีการเคลื่อนที่อีก ทั้งนี้ เพราะว่าแรงที่น้ำหรือความชื้นจับยึดติดแน่นเป็นแผ่นบาง ๆ รอบเมล็ดดิน จะมากจนกระทั่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ พืชก็จะเหี่ยวเฉา และถ้าหากไม่ให้น้ำแก่พืชในตอนนี้แล้วพืชก็จะตาย น้ำซึ่งยึดติดแน่นกับเมล็ดและไม่สามารถที่จะทำให้เคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก หรือแรงดูดซับนี้เรียกว่าน้ำเยื่อ (Hygroscopic Water)

1.4 ความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

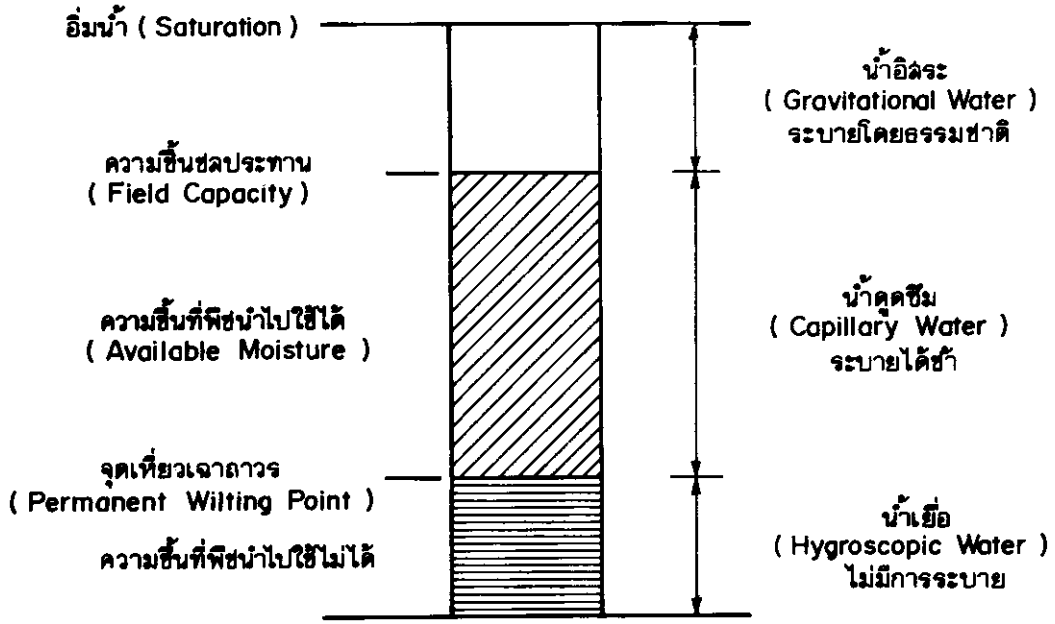
หลังจากที่น้ำอิสระ ได้ถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้ว ความชื้นในดินก็จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง เพราะน้ำที่เหลืออยู่มีการเคลื่อนที่ช้ามาก ปริมาณความชื้นในดินหลังจากน้ำอิสระถูกระบายออกไปหมดแล้วนี้เรียกว่าเป็นความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ปริมาณความชื้นที่ Field Capacity นี้ไม่อาจหาเป็นค่าตัวเลขที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะยังคงมีการเคลื่อนที่ของน้ำดูดซึม

(Capillary Water) อยู่ตลอดเวลา แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นไม่มากนัก ในทางปฏิบัติมักจะถือว่าปริมาณความชื้นในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี หลังจากที่มีฝนตกหนักหรือหยุดให้น้ำแล้ว 2-3 วัน เป็นความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

1.5 จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

ความชื้นในดินเมื่อพืชไม่สามารถดูดมาใช้ทดแทนการคายน้ำ และพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเรียกว่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายกรณีก่อนที่จะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น ในตอนกลางวันของวันที่มีอากาศร้อนจัด ความชื้นของอากาศต่ำ ลมแรง และพืชมีใบกว้าง ลักษณะของอากาศและพืชเช่นที่กล่าวนี้จะทำให้พืชมีการสูญเสียน้ำโดยการคายออกทางใบมาก และเมื่ออัตราที่พืชดูดน้ำจากดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ พืชก็จะมีอาการเหี่ยวเฉาถึงแม้ว่าขณะนั้นดินจะมีความชื้นอยู่มากก็ตาม แต่เมื่ออากาศเย็นลงพืชก็จะสดชื่นตามเดิม จะเห็นได้ว่าอาการเหี่ยวเฉาของพืชไม่ว่าจะเป็นการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร หรือชั่วระยะเวลาหนึ่งนั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช ความลึกและการแผ่กระจายของราก ตลอดจนความสามารถของดินที่จะเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ เราถือว่าพืชมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรถ้าหากว่านำพืชที่เฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพืชจะมีการสูญเสียน้ำน้อยมากหรือไม่มีการสูญเสียเลย แล้วพืชนั้นยังไม่สดชื่น



รูปที่ 1.2 การจำแนกความชื้นในดิน

1.6 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตก็คือน้ำดูดซึม (Capillary Water) ซึ่งอยู่ระหว่างความชื้นชลประทาน (Field Capacity) กับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ดังนั้น ผลต่างระหว่างความชื้นในดินสองค่านี้ก็คือ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้นี้มักจะวัดเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซนต์โดยปริมาตร หรือเป็นความลึกของน้ำ เช่น ดินร่วน (Loam) มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 2 มม. ต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น หน่วยทั้งสามนี้สามารถเปลี่ยนจากหน่วยหนึ่งไปเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ ถ้าทราบความหนาแน่นของดิน (Bulk density) หรือความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific gravity)

ขนาดของเมล็ดดิน หรือเนื้อดินจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้ได้มาก กล่าวคือ ในดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตาม ดินทรายบางชนิดอาจมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินเหนียว ทั้งนี้เพราะดินที่มีเนื้อละเอียดมาก ๆ จะมีน้ำที่ยึดอยู่รอบ ๆ เมล็ดดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้เป็นจำนวนมากด้วย

ในดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีมักจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะว่าที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity) น้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินซึ่งส่วนมากมีขนาดใหญ่จะถูกระบายออกไปจนหมด จึงมีความชื้นที่เก็บไว้ได้น้อย ดินที่มีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากมักจะเป็นดินที่มีเมล็ดขนาดปานกลางหรือค่อนข้างละเอียด เช่น ดินที่ประกอบขึ้นด้วยตะกอนทราย (Silt) เป็นส่วนใหญ่ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่าง ๆ จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

1.7 การใช้ความชื้นในดินของพืช

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวไว้ว่าความชื้นในดินจากความชื้นชลประทาน (Field Capacity, FC) ถึงความชื้นเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point, PWP) เป็นความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ หมายความว่าถ้าดินในเขตรากยังมีความชื้นอยู่เหนือระดับ PWP แล้ว พืชส่วนใหญ่จะไม่เหี่ยวเฉา ในขณะที่ความชื้นลดลงเข้าใกล้ PWP พืชบางชนิดจะเหี่ยวเฉาก่อนพืชชนิดอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าพืชนั้นมีความทนทานต่อการขาดน้ำได้ดีเพียงไร มีอายุ ความหนาแน่นและการแผ่กระจายของรากเป็นอย่างไร ตลอดจนสภาพภูมิอากาศในวันนั้นแห้งแล้งและร้อนมากเพียงใด

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วเราจะไม่ยอมให้ความชื้นในดินลดลงไปใกล้ PWP แล้วจึงให้น้ำ ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อความชื้นในดินลดลงพืชจะต้องใช้แรงดูดน้ำจากดินเพิ่มมากขึ้น ถ้าหากอัตราที่รากดูดน้ำจากดินน้อยเกินไปการเจริญเติบโตก็จะหยุดชะงัก และอาจทำให้ผลผลิตลดลงได้ ในทางปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไปเราจะเริ่มให้น้ำแก่พืชเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงประมาณ 50 ถึง 70 เปอร์เซนต์

1.8 ความต้องการน้ำชลประทาน

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้สำหรับการเจริญเติบโตตามปกติเรียกว่า "Consumptive Use" หรือ "Evapotranspiration" การใช้น้ำดังกล่าวนี้ประกอบด้วยส่วนที่พืชดูดไปจากดินแล้วคายออกทางใบ และส่วนที่ระเหยจากผิวดินหรือกิ่งใบที่เปียกชื้นจากการให้น้ำด้วย ในระหว่างฤดูเพาะปลูก พืชอาจจะได้รับน้ำบางส่วนที่ต้องการจากฝนซึ่งตกลงบนพื้นที่ แต่ทั้งนี้ไม่รวมส่วนที่กลายเป็นน้ำผิวดิน (Runoff)

และที่ซึมเลยเขตรากซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ส่วนของน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกและเป็นประโยชน์ต่อพืชนี้เรียกว่า ฝนใช้การ (Effective Rainfall)

เพื่อความสะดวกในการกำหนดการให้น้ำแก่พืช ปริมาณการใช้น้ำนิยมบอกเป็นความลึกต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น มม./วัน หรือ นิ้ว/วัน เป็นต้น ความต้องการน้ำทั้งหมดของพืชชนิดใดชนิดหนึ่งก็จะมีค่าเท่ากับผลรวมของอัตราการใช้น้ำในแต่ละวันตลอดอายุของพืช

อัตราการใช้น้ำจะผันแปรไปกับชนิดและอายุของพืช ฤดูการเพาะปลูกและสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ วิธีหาอัตราการใช้น้ำโดยทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 2 แบบคือ วัดโดยตรงโดยใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืช และโดยการคำนวณจากสูตรซึ่งใช้ข้อมูลภูมิอากาศ ทั้งสองวิธีนี้จะได้กล่าวถึงอย่างละเอียดในบทต่อไป

1.9 เมื่อไรจึงควรจะให้น้ำและเป็นปริมาณเท่าใด

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสมการอย่างง่าย ๆ ที่ใช้สำหรับคำนวณความถี่ในการให้น้ำ และปริมาณที่จะต้องจัดหามาเพื่อการชลประทาน

$$\text{ปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (มม.)} = \text{ปริมาณความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปได้ (มม./ม.)} \times \text{ความลึกของเขตราก}$$

$$\text{ความถี่ในการให้น้ำ (วัน)} = \frac{\text{ปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (มม.)}}{\text{อัตราการใช้น้ำของพืช (มม./วัน)}}$$

ความถี่ในการให้น้ำหมายถึงช่วงเวลานับเป็นวันระหว่างการให้น้ำ 2 ครั้ง ช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถอุ้มน้ำของดิน และอัตราการใช้น้ำของพืช ในกรณีที่มีฝนตกระหว่างฤดูการเพาะปลูกการคิดความถี่ในการให้น้ำจะต้องนำเอาฝนใช้การ (Effective Rainfall) รวมเข้ากับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชด้วย

ในการให้และส่งน้ำจะมีน้ำส่วนหนึ่งต้องสูญเสียไปในรูปต่าง ๆ เช่น การระเหย และรั่วซึมในระบบส่งน้ำ การไหลเลยท้ายแปลงออกไป และการซึมเลยเขตราก เป็นต้น ดังนั้น น้ำที่จะต้องจัดส่งมาให้แก่พืชที่เพาะปลูกจะต้องเผื่อไว้สำหรับการสูญเสียเหล่านี้ด้วย ปริมาณที่ต้องเผื่อไว้นี้จะเป็นมาตรวัดประสิทธิภาพของการชลประทาน สมการซึ่งใช้สำหรับคำนวณค่านี้ได้แก่

$$\text{ประสิทธิภาพของการชลประทาน} = \frac{\text{ประมาณน้ำที่จัดส่งให้ - การสูญเสียต่าง ๆ}}{\text{ปริมาณน้ำที่จัดส่งให้}}$$

ในกรณีที่มีฝนตก ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดส่งให้จะคำนวณหาได้โดยใช้สมการ

$$\text{ประมาณน้ำที่จะต้องจัดส่งให้} = \frac{\text{ปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช - ฝนใช้การ}}{\text{ประสิทธิภาพของการชลประทาน}}$$

ควรจะสังเกตว่า การที่จะบอกว่าเมื่อไรควรจะให้น้ำและเป็นปริมาณเท่าใดได้อย่างเหมาะสมนั้น จำเป็นจะต้องมีความรู้พื้นฐานของดินและอัตราการใช้น้ำของพืช โดยทั่ว ๆ ไปเกษตรกรมักจะให้น้ำมากจนเกินความต้องการ การกระทำดังกล่าวนี้นอกจากจะเป็นการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์แล้ว ยังอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านการระบายน้ำ และการกัดเซาะดินได้ ดังนั้น เมื่อให้น้ำพอแล้วก็ควรจะหยุด เพราะว่าความสามารถอุ้มน้ำของดินนั้นมีจำกัด การให้น้ำเกินกว่านี้จะมีแต่สูญเปล่าโดยไม่เกิดประโยชน์แต่อย่างใดทั้งสิ้น

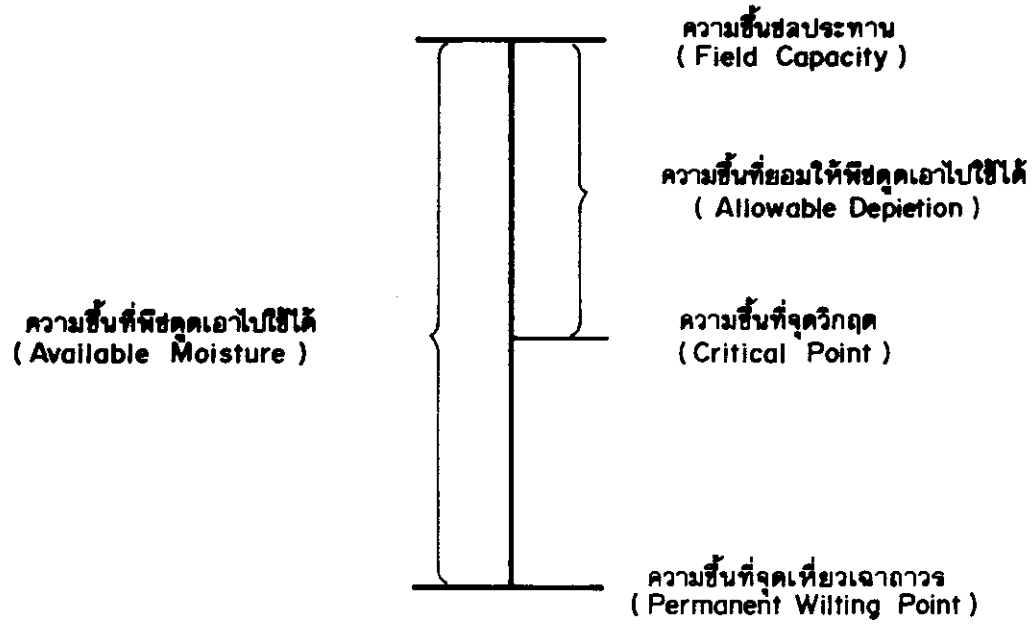
บทที่ 2
การกำหนดการให้น้ำแก่พืช

การกำหนดการให้น้ำแก่พืชเป็นเรื่องที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการชลประทานระดับไร่นา ซึ่งจะเกี่ยวพันและมีผลกระทบโดยตรงต่อการปลูกพืชให้เจริญเติบโตดี และให้ผลผลิตสูง ตลอดจนเพื่อให้ได้ประโยชน์จากน้ำชลประทานอย่างเต็มที่ การที่จะกำหนดการให้น้ำให้ถูกต้องเหมาะสมจำเป็นที่จะต้องมีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน-น้ำ และพืชเป็นอย่างดี **เรื่องดิน**จำเป็นที่จะต้องรู้คุณสมบัติของดินในแปลงเพาะปลูกเกี่ยวกับขีดความสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ของดิน ความชื้นในดินที่จะยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน และความสามารถในการระบายน้ำของดิน **เรื่องน้ำ**จำเป็นจะต้องรู้ถึงประมาณและคุณภาพน้ำชลประทานตลอดจนรอบเวรในการส่งน้ำชลประทาน และ**เรื่องพืช**จำเป็นที่จะต้องรู้คุณสมบัติบางประการของพืช เช่น การใช้น้ำของพืช ความสามารถในการทนแล้ง และระยะวิกฤตของพืช ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของการให้น้ำแก่พืชหรือการชลประทานระดับไร่นาขึ้นอยู่กับผู้ที่ทำหน้าที่ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชจะมีความรู้ความเข้าใจ ตลอดจนมีข้อมูลเกี่ยวกับ ดิน-น้ำและพืชมากน้อยแค่ไหน พึงจำไว้เสมอว่าการกำหนดการให้น้ำที่ไม่ถูกต้องเหมาะสมนอกจากจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์แล้ว ยังจะก่อให้เกิดผลเสียหายแก่พืชและผลผลิต ตลอดจนอาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำตามมาอีกด้วย

2.1 หัวใจของการชลประทานระดับไร่นา

เมื่อไรจึงควรจะทำการให้น้ำและจะต้องให้เป็นปริมาณเท่าใดถือว่าเป็นหัวใจสำคัญในการกำหนดการให้น้ำแก่พืช หรือการชลประทานระดับไร่นา การให้น้ำแก่พืชคือการให้น้ำเพื่อควบคุมความชื้นในดินในเขตรากพืช ให้อยู่ในช่วงระหว่าง จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent wilting point) กับความชื้นชลประทาน (Field capacity) หรือพูดง่าย ๆ ว่าอยู่ในช่วงความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ การให้น้ำแก่พืชจะเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร ส่วนจะให้ลดลงใกล้มากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความสามารถในการทนแล้งของพืช และสภาพภูมิอากาศ เช่น ความแห้งแล้งและชุ่มชื้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช โดยทั่ว ๆ ไปจะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 50 ถึง 75 เปอร์เซนต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไป เรียกว่า "ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (Allowable soil moisture deficiency หรือเรียกสั้น ๆ ว่า Allowable depletion)" ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอา Allowable depletion ไปให้หมดแล้วคือ ความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical moisture level หรือ Critical point) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างเทอมต่าง ๆ ที่กล่าวถึงจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.1 พอจะสรุปได้ว่า การให้น้ำแก่พืชจะต้องเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤต และปริมาณน้ำที่ให้จะต้องมากพอที่จะเพิ่มความชื้นในดินให้ถึงความชื้นชลประทาน ซึ่งถ้าหากทำการให้น้ำไม่ทันจนทำให้ความชื้นในดินลดต่ำลงกว่า ความชื้นที่จุดวิกฤต จะมีผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืช ทำให้ผลผลิตน้อยลง



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

แต่การที่จะรู้ว่าความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤต หรือยังจะต้องมีการตรวจวัดความชื้นในดินในเขตรากพืชซึ่งมีทางทำได้ 3 วิธี คือ การวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก การวัดความชื้นโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส และวิธีสุดท้ายคือการวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 3 วิธี ดังกล่าวจะช่วยทำให้ทราบว่าควรจะให้น้ำแก่พืชได้หรือยัง และถ้าต้องให้จะต้องให้ด้วยปริมาณเท่าใด

เนื่องจากว่าความชื้นในดินที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ มีค่าอยู่ระหว่างความชื้นชลประทานถึงความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร และความชื้นในดินที่ยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ มีค่าอยู่ระหว่างความชื้นชลประทาน ถึงความชื้นที่จุดวิกฤต จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดและลักษณะของดิน ดังนั้นก่อนจะพูดถึงเรื่องการวัดความชื้นในดินจะขอกล่าวเรื่องคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของดิน ซึ่งเกี่ยวข้องกับการคำนวณความชื้นในดินและการกำหนดการให้น้ำแก่พืชเสียก่อน

2.2 คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

คุณสมบัติของดินในแปลงเพาะปลูกแต่ละแห่งมักจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการกำเนิดดิน ตลอดจนการเขตกรรม ทำให้ดินบางแห่งมีลักษณะแน่นทึบ บางแห่งมีลักษณะร่วนซุย บางแห่งมีเมล็ดดินละเอียด บางแห่งมีเมล็ดดินหยาบ คุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้มีผลโดยตรงต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของดินและต่อความชื้นในดินที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับเนื้อดิน ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน และความสามารถอุ้มน้ำของดินไว้พอเป็นสังเขป

2.2.1 เนื้อดิน (Soil Texture)

เนื้อดินหมายถึงคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวกับเมล็ดดิน ซึ่งดินในการเกษตรประกอบไปด้วยเมล็ดดิน 3 ชนิด คือ เมล็ดทราย (sand) เมล็ดตะกอนทราย (silt) และเมล็ดดินเหนียว (clay) ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน การที่จะทราบว่าดินในแปลงเพาะปลูกเป็นเนื้อดินประเภทใดจำต้องรู้ว่าประกอบด้วยเมล็ดดินชนิดใดบ้าง และมีจำนวนอย่างละเท่าไร ในการนี้กระทรวงเกษตรของสหรัฐได้กำหนดมาตรฐานขนาดเมล็ดดินทั้ง 3 ชนิดไว้ดังนี้

เมล็ดทราย	มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง	0.05 - 2.00 มม.
เมล็ดตะกอนทราย	" " "	0.002 - 0.05 มม.
เมล็ดดินเหนียว	มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า	0.002 มม.

การแยกเมล็ดดินทั้ง 3 ชนิดออกจากกันจะทำได้โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Hydrometer method ซึ่งวิธีนี้ทำได้อย่างง่าย ๆ โดยการนำเอาดินที่ต้องการทราบเปอร์เซนต์เมล็ดทราย เมล็ดตะกอนทราย และเมล็ดดินเหนียว มาบดให้ละเอียดและนำไปผสมน้ำและสารเคมีบางชนิด เช่น โซเดียมเฮกซ่าเมตตาฟอสเฟส (Sodium Hexametaphosphate) คนจนแน่ใจว่าเมล็ดดินทั้ง 3 ชนิดแยกตัวออกจากกันแน่นอนแล้ว จึงนำเอาไฮโดรมิเตอร์ลงไปจุ่มในสารละลายดังกล่าว เพื่อวัดการตกตะกอนของเมล็ดดิน ในการนี้เมล็ดทรายซึ่งมีขนาดโตที่สุดจะตกตะกอนก่อน ส่วนเมล็ดดินเหนียวซึ่งมีขนาดเล็กที่สุดจะตกตะกอนหลังสุด โดยหลักการตกตะกอนดังกล่าวจะสามารถคำนวณหาเปอร์เซนต์เมล็ดทราย เมล็ดตะกอนทราย และเมล็ดดินเหนียวออกมาได้

เมื่อรู้เปอร์เซนต์ เมล็ดทราย เมล็ดตะกอนทราย และเมล็ดดินเหนียวจะสามารถบอกลักษณะของเนื้อดินได้ โดยการเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.2

ตัวอย่างที่ 2.1 ถ้าดินก้อนหนึ่งมีเปอร์เซนต์เมล็ดทราย เมล็ดตะกอนทรายและเมล็ดดินเหนียวเท่ากับ 50, 30 และ 20 ตามลำดับ ถามว่าเนื้อดินจัดอยู่ในประเภทไหน

ตอบ เนื้อดินจะเป็นแบบ Loam: (ดินร่วน)

2.2.2 ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (Apparent specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (As) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของดินแห้งต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าดินทั้งก้อนซึ่งรวมถึงช่องว่างระหว่างเมล็ดดินด้วย เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจึงขออธิบายโดยใช้รูปที่ 2.3 ประกอบ

จากรูปที่ 2.3 และจากนิยามดังกล่าวจะเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

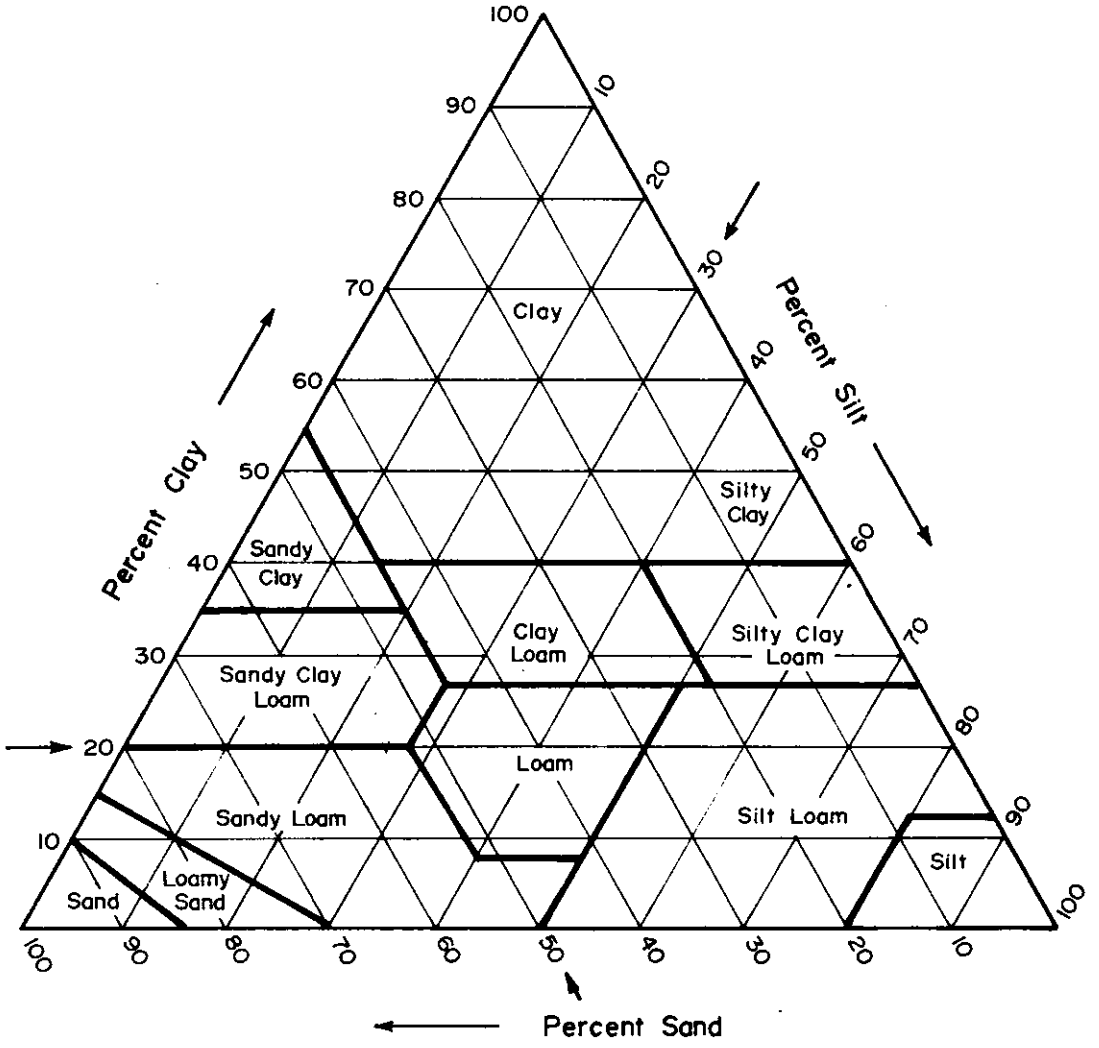
$$As = \frac{Ws}{\gamma_w V} \qquad \text{. . . . . 2.1}$$

เมื่อ As = ความถ่วงจำเพาะปรากฏ

Ws = น้ำหนักของดินแห้ง

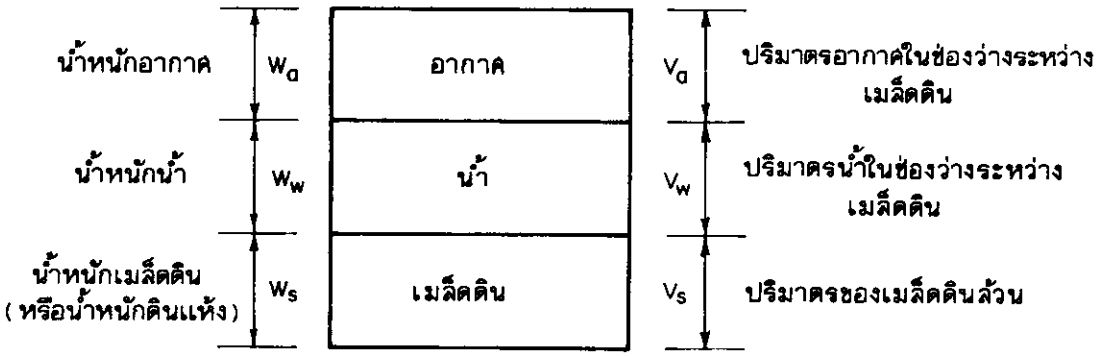
v = ปริมาตรของดินทั้งก้อน ซึ่งเท่ากับ ปริมาตรของอากาศ (Va) + ปริมาตรน้ำ (Vw) + ปริมาตรของเมล็ดดิน (Vs)

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 62.4 ปอนด์ ต่อ ลูกบาศก์ฟุต



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงการแบ่งแยกประเภทเนื้อดินตามสัดส่วนของเม็ดทราย เม็ดตะกอนทรายและเม็ดดินเหนียวตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา

(เอกสารอ้างอิง: SCS National Engineering Handbook, Section 15 "Irrigation-Chapter I: **Soil-Plant-Water Relationships**", Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., March 1964.)



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเมล็ดดิน น้ำ และอากาศในก้อนดิน

ถ้าพิจารณาว่าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัม ต่อ หนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏจะมีค่าเท่ากับความหนาแน่นของดิน (Bulk density, $D_B = \frac{W_s}{V}$) แต่ต่างกันตรงที่ความถ่วงจำเพาะปรากฏไม่มีหน่วยส่วนความหนาแน่นของดินมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่ถ้าพิจารณาว่าความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 62.4 ปอนด์ ต่อ ลูกบาศก์ฟุต ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏจะเท่ากับค่าความหนาแน่นหารด้วย 62.4

การหาค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินหรือความหนาแน่นของดินจะหาได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Soil Core Sampler ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เครื่องมือนี้ใช้เก็บตัวอย่างดินแบบไม่ให้กระทบกระเทือนต่อโครงสร้างของดิน ส่วนปลายที่ใช้ตัดดิน (cutting tips) มี 2 แบบ คือ แบบใบมีด (หมายเลข 7) ใช้สำหรับดินอ่อน และแบบลิ่ม (หมายเลข 8) ใช้สำหรับดินแข็ง

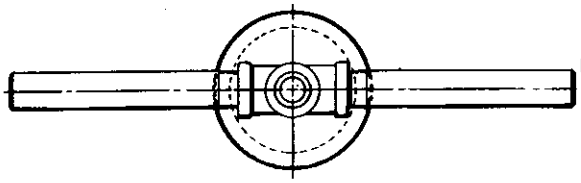
ในขั้นแรกก่อนที่จะลงมือเก็บตัวอย่างดินจะต้องทำการวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนักวงแหวน (หมายเลข 11) ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินเสียก่อน แล้วจึงนำเครื่องมือดังกล่าวไปตอกลงในดินโดยใช้ฆ้อน (หมายเลข 1) ตรงบริเวณและความลึกที่ต้องการ จุดที่จะเก็บตัวอย่างดินควรจะมีลักษณะเป็นตัวแทนของดินในแปลงทั้งหมด การเก็บตัวอย่างดินแต่ละครั้งไม่ควรเก็บน้อยกว่า 5 จุดเพื่อจะได้นำมาเฉลี่ยหาค่าที่ถูกต้อง เมื่อเก็บตัวอย่างดินได้แล้วให้ใช้เครื่องดันที่เรียกว่า Core Extractor (หมายเลข 15) ดันวงแหวนออกจากกระบอกเก็บตัวอย่างดิน และใช้มีดปาดดินให้มีปริมาตรพอดีกับวงแหวน แล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซนติเกรดเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง นำเอาออกมาชั่งหาน้ำหนักของดินแห้ง (Ws) แล้วจึงทำการคำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏตามสมการที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.2 ในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินมีข้อมูลดังต่อไปนี้

ขนาดวงแหวน: เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร

น้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 45 กรัม

น้ำหนักดินแห้งหลังอบรวมน้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 240 กรัม

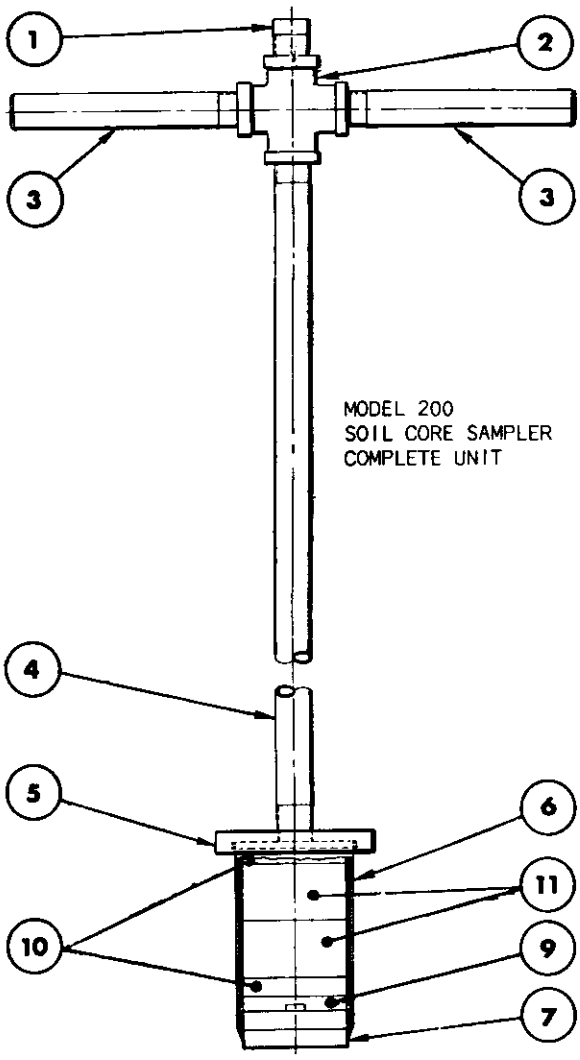


COMPLETE UNIT

MODEL 200-A
SOIL CORE SAMPLER

ACCESSORY PARTS

PART NO. 201-3S
BARREL, 8" LONG



MODEL 200
SOIL CORE SAMPLER
COMPLETE UNIT

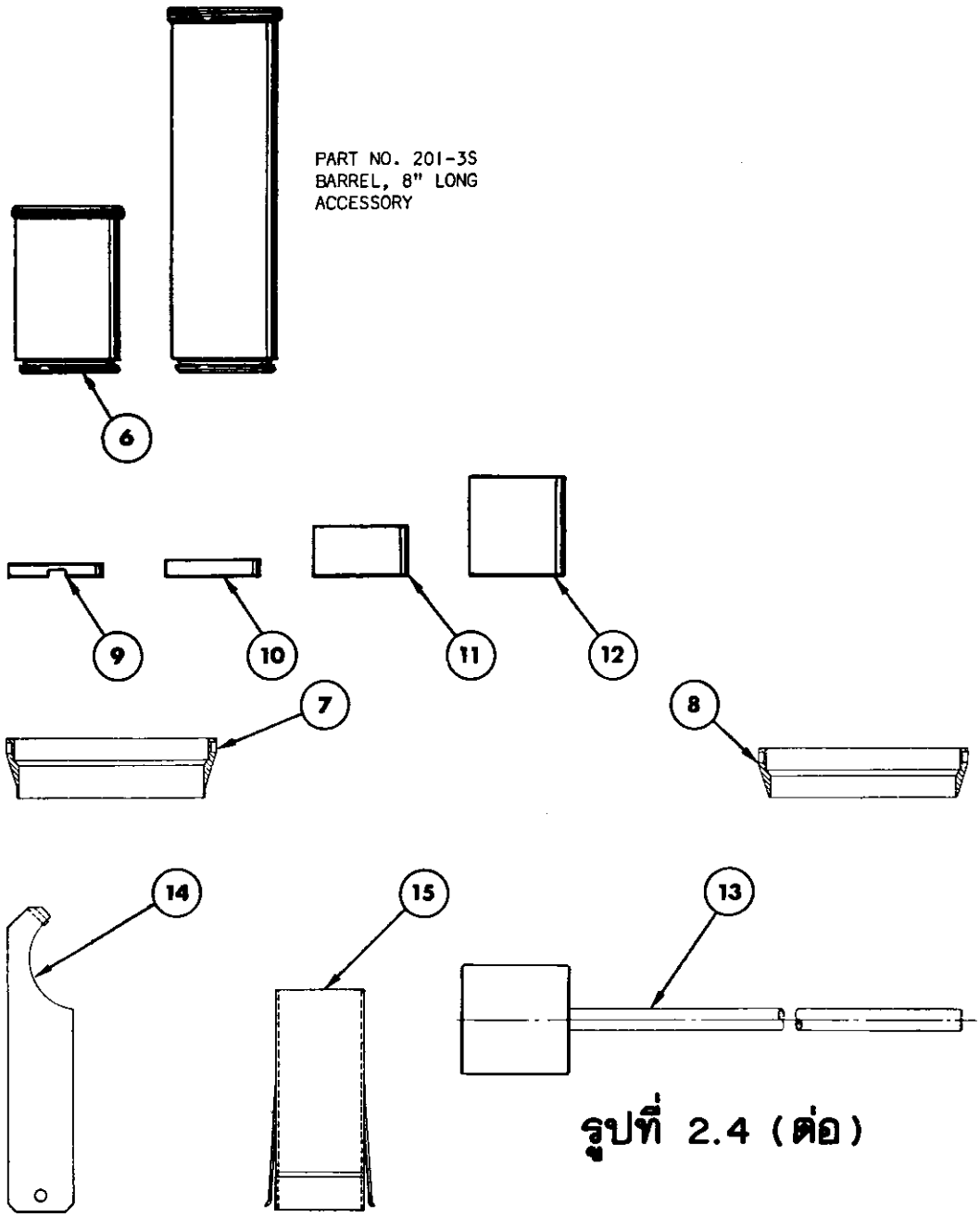
*INDIVIDUAL UNIT PARTS BREAKDOWN

ITEM NO	PART NO	DESCRIPTION
1	201-8	HAMMER STOP
2	201-7	HANDLE FITTING
3	201-6	HANDLE
4	201-5	STEM (EXTRA HEAVY PIPE)
5	201-4	CAP
6	201-3	BARREL, 4" LONG
7	201-1	BLADE CORING TIP
8	201-2	WEDGE CORING TIP
9	201-9	SLOTTED EXTRACTOR RING
10	208	CYLINDER 1 CM. LONG
11	207	CYLINDER 3 CM. LONG
12	206	CYLINDER 6 CM. LONG

*INDIVIDUAL PARTS NOT ASSEMBLED TO UNIT

13	202	HAMMER
14	203	SPANNER WRENCH
15	204	CORE EXTRACTOR

รูปที่ 2.4 Model 200-A Soil Core Sampler Part List



รูปที่ 2.4 (ต่อ)

วิธีทำ

ปริมาตรวงแหวน (V) $= \frac{\P D^2 \times h}{4}$

$= \frac{\P (5.5)^2 \times 6}{4} =$ 142.5 ลบ.ซม.

น้ำหนักดินแห้ง (Ws) = 240 - 45 = 195 กรัม

ความหนาแน่นของน้ำ (γ_w) = 1 กรัม ต่อ ลบ.ซม.

$\therefore$ ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As) $= \frac{Ws}{\gamma_w V}$

$= \frac{195}{1 \times 142.5}$

= 1.37

หรือ ความหนาแน่นของดิน (D_B) = 1.37 กรัม ต่อ ลบ.ซม.

ถึงแม้ว่าค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินจะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดและลักษณะของดินจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง และถ้าต้องการรู้ค่าที่แท้จริงจะต้องตรวจวัดในสนามตามวิธีที่กล่าวมาแล้ว แต่ถ้าไม่สะดวกที่จะทำการวัดจริง ๆ ในสนามอาจจะพิจารณาเลือกใช้ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏตามชนิดของเนื้อดินดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (As)

เนื้อดิน	ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As)
ดินทราย (Sandy)	1.55 - 1.80 (เฉลี่ย 1.65)
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	1.40 - 1.60 (เฉลี่ย 1.50)
ดินร่วน (Loam)	1.35 - 1.50 (เฉลี่ย 1.40)
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)	1.30 - 1.40 (เฉลี่ย 1.35)
ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay)	1.25 - 1.35 (เฉลี่ย 1.30)
ดินเหนียว (Clay)	1.20 - 1.30 (เฉลี่ย 1.25)

2.2.3 ความสามารถอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity of soil)

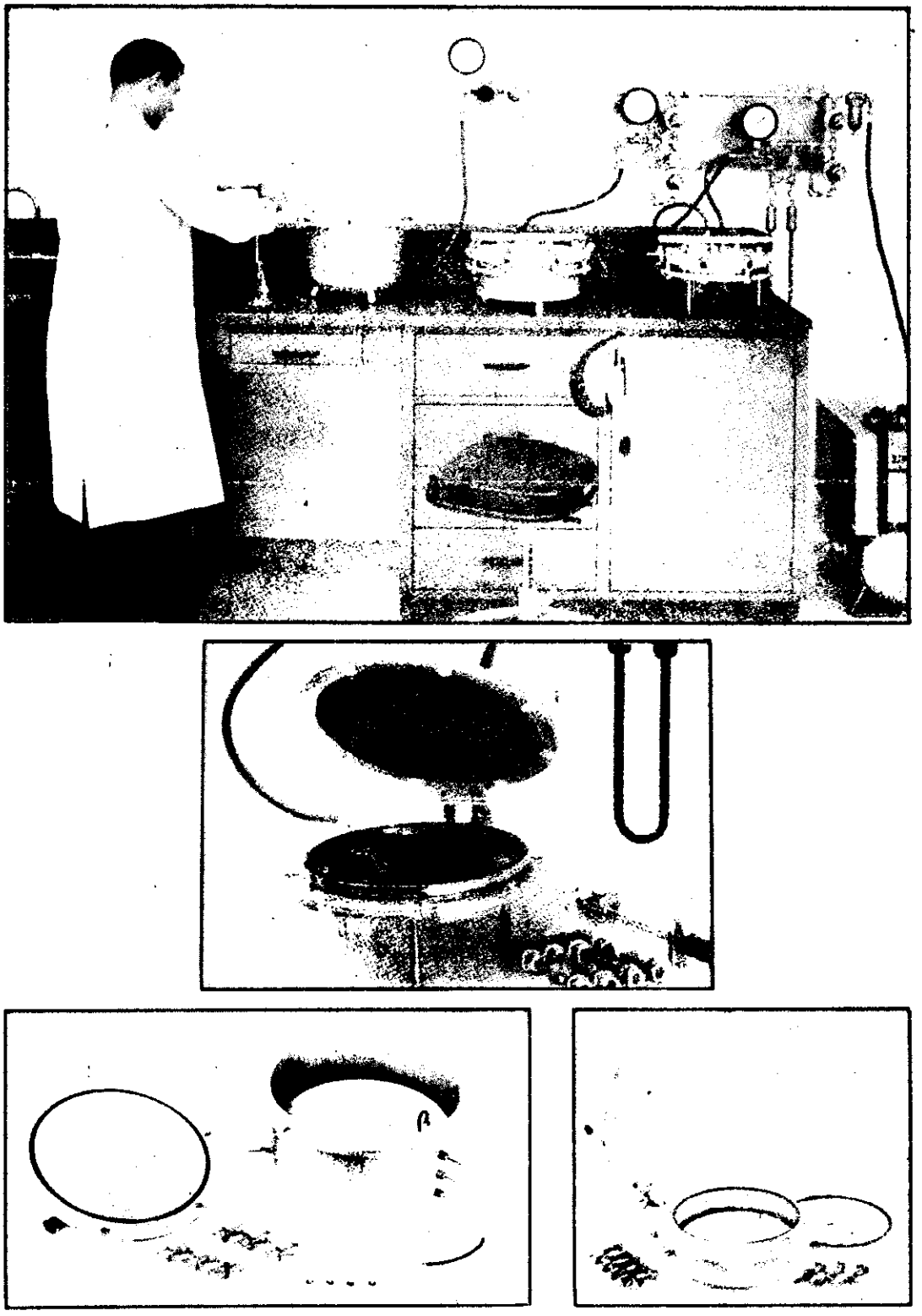
ความสามารถอุ้มน้ำของดินจะแตกต่างกันไปตามลักษณะเนื้อดิน และโครงสร้างของดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นสำคัญ ในแง่ของการชลประทานระดับไร่นาถือว่าความชื้นในดินที่มีประโยชน์ต่อพืชคือความชื้นในดินในช่วงระหว่างความชื้นชลประทาน ถึงความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร เท่านั้น ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวเฉพาะแต่ความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ได้ของดินในช่วงนี้เท่านั้น

ในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างดินกับน้ำได้ให้นิยามของคำว่าความชื้นชลประทาน และความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉามาแล้ว แต่เพื่อความสะดวกในการหาค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร จึงได้มีการให้นิยามของคำทั้งสองใหม่ดังนี้ ความชื้นชลประทานหมายถึงความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อแรงดึงความชื้นภายในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 1/10 ถึง 1/3 บรรยากาศ (1/10 บรรยากาศสำหรับดินทราย และ 1/3 บรรยากาศสำหรับดินเหนียว) ส่วนความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร คือความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อดินมีแรงดึงความชื้นเท่ากับ 15 บรรยากาศ จากนิยามดังกล่าวจะสามารถหาค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉา ได้โดยใช้เครื่องแยกความชื้นออกจากดิน (Soil Moisture Extractor) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5

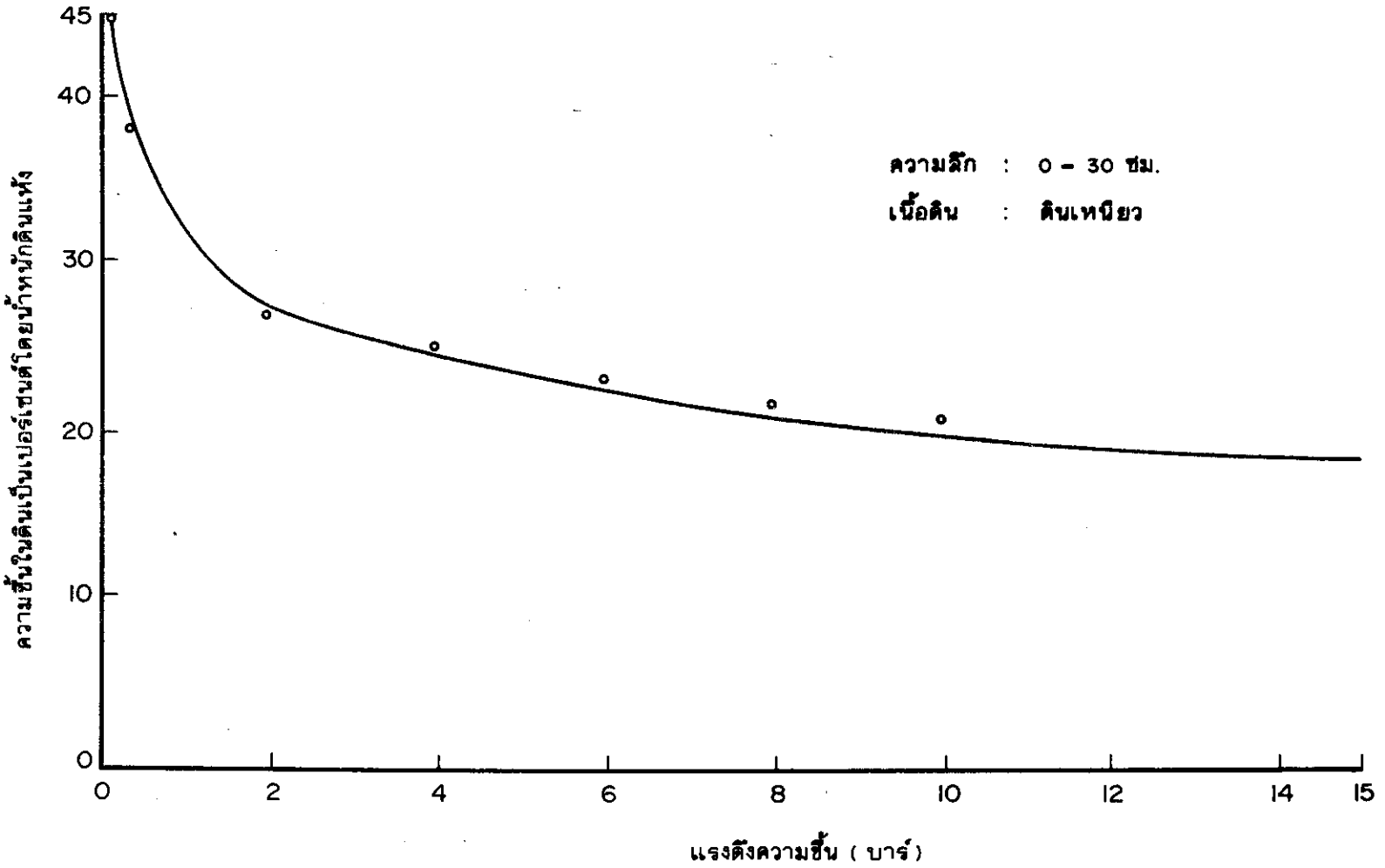
วิธีการหาค่าความชื้นชลประทาน และความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร จะทำได้ง่าย ๆ โดยการนำตัวอย่างดินในแปลงมาทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วจึงนำไปไว้ในหม้อความดัน (Extractor Chamber) ปรับความดันให้เท่ากับ 1/10 หรือ 1/3 หรือ 15 บรรยากาศ รอจนแรงดึงความชื้นของดินกับความดันภายในหม้ออยู่ในสภาวะสมดุลย์ จึงนำเอาตัวอย่างดินออกมาหาความชื้น ค่าความชื้นในดินที่ความดัน 1/10 หรือ 1/3 บรรยากาศ คือความชื้นชลประทาน ส่วนที่ความดัน 15 บรรยากาศคือความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร แต่ถ้าต้องการรู้ความสามารถอุ้มน้ำของดินที่แรงดึงความชื้นอื่น ๆ นอกจาก 1/10 หรือ 1/3 หรือ 15 บรรยากาศ ก็จะทำได้ในทำนองเดียวกันโดยการปรับความดันภายในหม้อตามระดับที่ต้องการ รูปที่ 2.6 จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดิน และแรงดึงความชื้นที่ระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ 1/10 ถึง 15 บรรยากาศของดินเหนียว ในกรณีที่ไม่สามารถจะหาค่าความชื้นดังกล่าวที่แน่นอนได้ อาจจะพิจารณาเลือกใช้ได้จากตารางที่ 2.2 และความสามารถในการอุ้มน้ำของดินจะแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรของดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	ความชื้นชลประทาน % โดยน้ำหนักดินแห้ง	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร % โดยน้ำหนักดินแห้ง
ดินทราย (Sand)	6-12 (เฉลี่ย 9)	2-6 (เฉลี่ย 4)
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	10-18 (เฉลี่ย 14)	4-8 (เฉลี่ย 6)
ดินร่วน (Loam)	18-26 (เฉลี่ย 22)	8-12 (เฉลี่ย 10)
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)	23-31 (เฉลี่ย 27)	11-15 (เฉลี่ย 13)
ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay)	27-35 (เฉลี่ย 31)	13-17 (เฉลี่ย 15)
ดินเหนียว (Clay)	31-39 (เฉลี่ย 35)	15-19 (เฉลี่ย 17)



รูปที่ 2.5 เครื่องแยกความชื้นจากดิน (Soil Moisture Extractor)



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและแรงดึงความชื้น

ตารางที่ 2.3 ความชื้นที่พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์ในดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	ความชื้นที่พืชนำเอาไปใช้ได้ เป็น มม. ต่อดินลึก 1 ซม.
ดินเนื้อหยาบมาก - ดินทรายเนื้อหยาบมาก	0.35-0.65
ดินเนื้อหยาบ - ดินทรายหยาบ, ดินทรายละเอียด และดินทรายปนดินร่วน	0.65-1.00
ดินเนื้อหยาบปานกลาง - ดินร่วนปนทราย และดินร่วนปนทรายละเอียด	1.00-1.50
ดินเนื้อปานกลาง - ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน และดินร่วนปนตะกอนทราย	1.20-1.90
ดินเนื้อละเอียดปานกลาง - ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินร่วนปนดินเหนียวปนทราย	1.50-2.10
ดินเนื้อละเอียด - ดินเหนียวปนทราย, ดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินเหนียว	1.30-2.10
ดินที่มีอินทรีย์วัตถุสูงมาก	1.70-2.50

2.3 การกำหนดให้น้ำแก่พืชโดยการวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Sampling)

การตรวจวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนักเป็นวิธีหนึ่งที่จะทราบว่าความชื้นในดินขณะนั้นลดลงถึงจุดที่ต้องให้น้ำได้หรือยัง โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในเขตรากพืช และที่จุดต่าง ๆ ในแปลงเพาะปลูก (ตัวอย่างดินที่เก็บจากแต่ละจุดไม่ควรน้อยกว่า 100 กรัม) นำมาชั่งแล้วอบให้แห้งในเตาอบ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซนติเกรด เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของดินไม่ลดลงอีก จากนั้นจึงนำเอาไปชั่งหาน้ำหนักของดินแห้ง น้ำหนักของดินที่หายไปในการชั่งทั้งสองครั้งก็คือจำนวนความชื้นในดินขณะที่เก็บตัวอย่างนั่นเอง

การที่จะบอกว่าดินมีความชื้นเท่าใด สามารถบอกได้ 3 แบบ คือ เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซนต์โดยปริมาตร และความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน

(1) **ความชื้นในดินเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง จะหาได้จากสมการ**

$$Pw = 100 \frac{Ww}{Ws} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.2$$

เมื่อ Pw = ความชื้นเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง

Ww = น้ำหนักของน้ำในดิน

Ws = น้ำหนักของดินแห้ง

(2) **ความชื้นในดินเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตร** จะหาได้จากสมการ

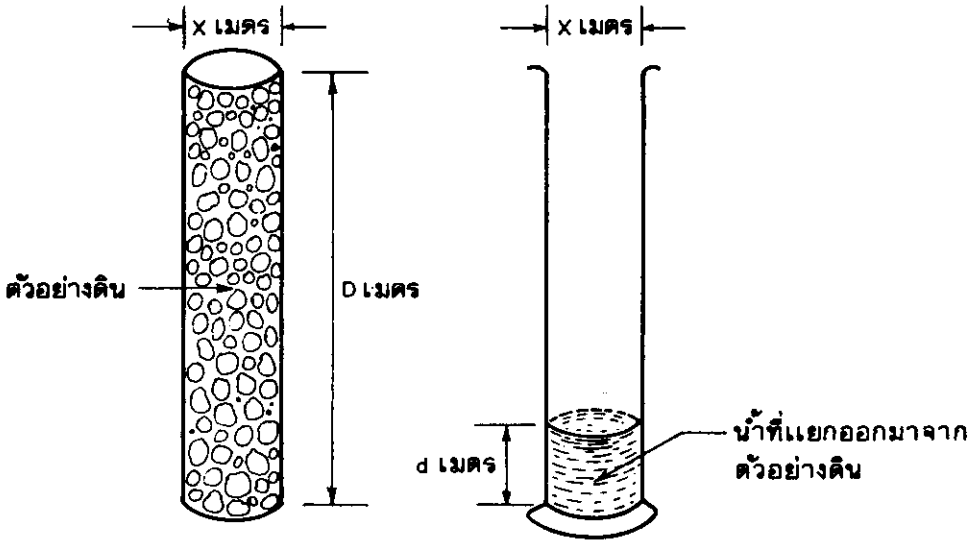
$$Pv = 100 \frac{Vw}{V}$$

เมื่อ Pv = ความชื้นเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตร

Vw = ปริมาตรของน้ำในดิน

V = ปริมาตรของดินทั้งก้อน

(3) **ความชื้นในดินในรูปของความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน** ถ้าทำการเก็บตัวอย่างดินในแปลงเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 2 เมตร จากนั้นทำการแยกน้ำออกจากดินให้หมด แล้วนำน้ำไปเทลงในหลอดแก้วรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรเท่ากัน ถ้าได้น้ำในหลอดแก้วเท่ากับ 30 เซนติเมตร จะบอกได้ว่าดินมีความชื้น 30 เซนติเมตรต่อความลึกของดิน 2 เมตร หรือ ดินมีความชื้น 15 เซนติเมตร ต่อ เมตร ความจริงแล้ว การพูดถึงความชื้นในดินแบบนี้ก็คล้าย ๆ กับที่กล่าวถึงในข้อ (2) ซึ่งจะพิสูจน์ให้เห็นจริงได้ด้วยรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในรูปความลึกของน้ำต่อความลึกของดินกับเปอร์เซนต์โดยปริมาตร

จากรูปที่ 2.7

ความลึกของน้ำที่แยกออกจากดิน = d เมตร

$\therefore$ ปริมาตรของน้ำที่แยกออกจากดิน (Vw) = $\frac{\P (X)^2}{4} \times d$ ลบ.เมตร

ความสูงของแท่งดินตัวอย่าง = D เมตร

$\therefore$ ปริมาตรของแท่งดินตัวอย่าง (V) = $\frac{\P (X)^2 D}{4}$ ลบ.เมตร

จากสมการที่ 2.3

$$Pv = 100 \frac{Vw}{V}$$

$$= 100 \times \frac{\frac{\P (X)^2}{4} \times d}{\frac{\P (X)^2}{4} \times D}$$

$$= 100 \frac{d}{D}$$

หรือ $$\frac{d}{D} = \frac{Pv}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.4$$

จากสมการที่ 2.4 ถ้ารู้ว่าความชื้นในดินเท่ากับ 20 เปอร์เซนต์โดยปริมาตรจะบอกได้ทันทีว่าดินมีความชื้นเท่ากับ 0.20 ต่อความลึก 1 เมตร

ถ้ารู้ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (As) จะสามารถแปลงค่าความชื้นในดินจากเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตรได้จากสมการ

$$Pv = Pw.\ As \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.5$$

หรือ $$\frac{d}{D} = \frac{Pw.\ As}{100}$$

หรือ $$d = \frac{Pw.\ As.\ D}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.6$$

ในงานชลประทานระดับแปลงนา มักจะพูดถึงความชื้นในดินในรูปของความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน เมื่อต้องการรู้ว่าดินในเขตรากมีความชื้นเท่าใดก็เอาระยะเขตรากไปคูณ (สมการที่ 2.6) เมื่อรู้ค่าความชื้นชลประทาน ในรูปของความลึกของน้ำก็จะรู้ได้ว่าถ้าจะต้องให้น้ำจะต้องให้เป็นจำนวนเท่าใด และเมื่อคูณความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่พืชกับพื้นที่เพาะปลูก ก็จะทราบได้ว่าปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่พืชมีจำนวนเท่าใด แต่ต้องจำไว้เสมอว่าปริมาณน้ำที่ว่านี้เป็นปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช และในทางปฏิบัติ การให้น้ำแก่พืชจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลซึมเลยเขตรากพืช หรือการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกออกไปอย่างหลีกไม่ได้ ถ้าทราบว่าปริมาณการสูญเสียน้ำดังกล่าวมีจำนวนเท่าใดจะต้องนำเอามาบวกกับปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช เพื่อจะได้รู้ว่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืชเป็นเท่าใด โดยทั่ว ๆ ไปแล้วปริมาณการสูญเสียน้ำ มักจะบอกอยู่ในรูปของประสิทธิภาพของการชลประทานในแปลงเพาะปลูก

ประสิทธิภาพของการชลประทานบนแปลงเพาะปลูกเป็นเปอร์เซนต์

$$= 100 \frac{\text{ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช}}{\text{ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 2.7$$

ตัวอย่างที่ 2.3 ในการหาความชื้นในดินในแปลงเพาะปลูกแปลงหนึ่งซึ่งเนื้อดินเป็นดินร่วน โดยใช้สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดินปรากฏว่ามีข้อมูลดังต่อไปนี้

น้ำหนักของกระป๋องเก็บตัวอย่าง = 17 กรัม
น้ำหนักดินเปียกรวมน้ำหนักกระป๋อง = 138 กรัม
น้ำหนักดินแห้งรวมน้ำหนักกระป๋อง = 105 กรัม

วิธีทำ

น้ำหนักดินแห้ง (Ws) = 105 - 17 = 88 กรัม
น้ำหนักของน้ำในดิน (Ww) = 138 - 105 = 33 กรัม
ความชื้นในดิน = $\frac{33}{88} \times 100$ = 37.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง

ดังนั้น Pw = 37.5

จากตารางที่ 2.1 ความถ่วงจำเพาะ (As) ของดินร่วน = 1.40

ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Pv)

= Pw × As
= 37.5 × 1.40
= 52.5

ความชื้นในรูปของความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน ($\frac{d}{D}$)

= $\frac{Pv}{100}$

= $\frac{52.5}{100}$

= 0.525

หมายความว่าในดินลึก 1 เมตร จะมีความชื้น = 0.525 เมตร

ตัวอย่างที่ 2.4 จงหาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

ความชื้นของดินก่อนการให้น้ำ = 8.3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักดินแห้ง
ความชื้นที่ Field Capacity = 21.1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักดินแห้ง
ความลึกของเขตราก = 1.20 เมตร
ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน = 1.15

วิธีทำ

ความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

= 21.1 - 8.3 = 12.8 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักดินแห้ง

ดังนั้น Pw = 12.8

D = 1.20 เมตร

As = 1.15

สมการ 2.6

$$d = \frac{Pw.As.D}{100}$$

$$= \frac{12.8 \times 1.15 \times 1.20}{100}$$

= 0.1766 เมตร

= 17.66 เซนติเมตร

ดังนั้นจะต้องให้น้ำแก่ดิน 17.66 เซนติเมตร ดินจึงจะมีความชื้นที่ ความชื้นชลประทาน ตลอดความลึกของเขตราก 1.20 เมตร

กรณีที่ดินในเขตรากมีเนื้อดินไม่สม่ำเสมอกันตลอด กล่าวคือ มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน การคำนวณหาปริมาณความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินก็ต้องทำเป็นชั้น ๆ แล้วจึงนำเอาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินในแต่ละชั้นมารวมกันก็จะได้เป็นความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินทั้งหมด

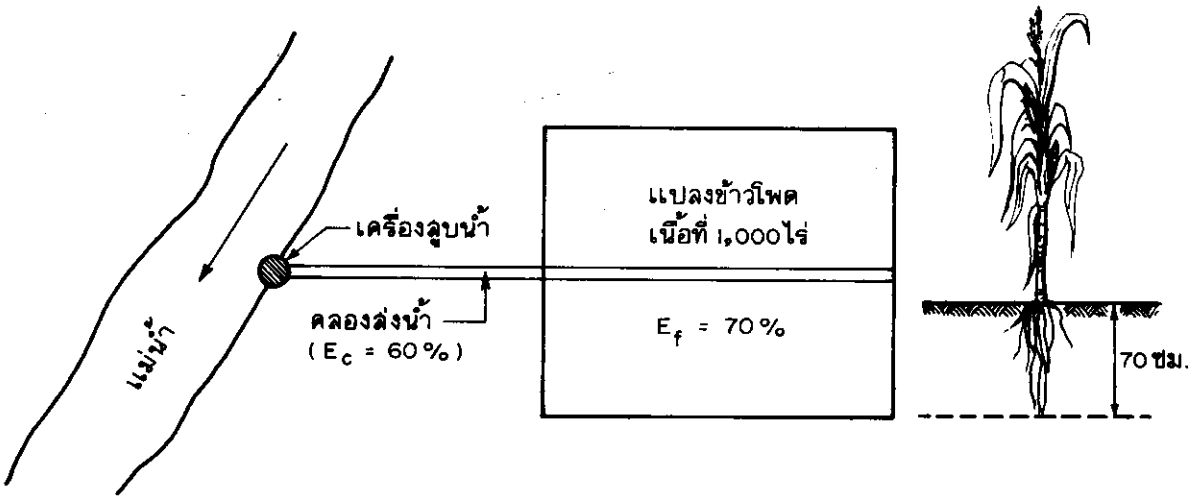
ตัวอย่างที่ 2.5 จงหาความลึกของน้ำที่พืชได้รับจากการชลประทานจากตารางที่กำหนดให้

ดิน	ความลึกจาก ผิวดิน ซ.ม.	As	ความชื้นหลังให้น้ำ (P_{w2})%	ความชื้นก่อนให้น้ำ (P_{w1})%
Loamy Sand	0-20	1.15	21.1	8.3
Loamy Sand	20-35	1.25	22.5	8.7
Loamy Sand	35-50	1.23	17.0	5.1
Sand	50-65	1.39	9.8	3.0
Sand	65-80	1.47	6.0	1.4

ดิน	ความลึกของชั้นดิน ซม.	As	$P_{w2} - P_{w1}$	$d = \frac{(1)\ (2)\ (3)}{100}$
	(1)	(2)	(3)	(4)
Loamy Sand	20	1.15	12.8	2.94
Loamy Sand	15	1.25	13.8	2.59
Loamy Sand	15	1.23	11.9	2.20
Sand	15	1.39	6.8	1.42
Sand	15	1.47	4.6	1.01
รวม				10.16 ซม.

ดังนั้น ความลึกของน้ำที่ให้แก่พืช = 10.16

ตัวอย่างที่ 2.6 จากการตรวจสอบความชื้นในเขตรากพืชของแปลงข้าวโพด ซึ่งมีเนื้อที่ 1,000 ไร่ พบว่ามีความชื้นอยู่เพียง 14 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง และจากการวิเคราะห์ดินในแปลงพบว่าเนื้อดินเป็นแบบดินร่วน ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏเท่ากับ 1.45 ค่าความชื้นชลประทาน และความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร เท่ากับ 20 และ 10 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้งตามลำดับ กำหนดว่ารากข้าวโพดลึก 70 เซนติเมตร ความชื้นที่จุดวิกฤต มีค่าเท่ากับ 40 เปอร์เซนต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ **ถามว่า** ถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำแก่พืชได้หรือยัง ถ้าถึงเวลาที่ต้องให้น้ำจะต้องให้น้ำได้แล้ว **ถามว่า** จะต้องสูบน้ำจากแม่น้ำเพื่อส่งให้กับแปลงข้าวโพดทั้ง 1,000 ไร่ เป็นจำนวนเท่าใด ถ้าประสิทธิภาพในการชลประทานบนแปลงเพาะปลูกเท่ากับ 70% และประสิทธิภาพในการส่งน้ำเท่ากับ 60%



วิธีทำ

(1) ตรวจสอบดูว่าถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำได้หรือยัง โดยพิจารณาดูว่าความชื้นในดินซึ่งเท่ากับ 14 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้งลดลงถึง จุดวิกฤติ หรือยังถ้าถึงจุดวิกฤตก็แสดงว่าควรให้น้ำได้แล้ว

ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ = 20 - 10 = 10% โดยน.น.ดินแห้ง

ความชื้นที่จุดวิกฤต = 40% ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้

หรือ ความชื้นที่จุดวิกฤต = 10 + 0.4 (10)% โดย น.น.ดินแห้ง

= 14% โดย นน.ดินแห้ง

ตอบ ถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำได้แล้ว เพราะความชื้นในแปลงข้าวโพดลดลงถึงจุดวิกฤตพอดี

(2) หาจำนวนน้ำที่จะต้องสูบขึ้นจากแม่น้ำเพื่อส่งให้กับแปลงข้าวโพด

ความชื้นที่จะต้องให้แก่ข้าวโพด = ความชื้นชลประทาน - ความชื้นในดินในเขตรากข้าวโพด

= 20 - 14% โดยน.น.ดินแห้ง

= 6% โดยน.น.ดินแห้ง

As = 1.45

D = 70 เซนติเมตร

ความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ข้าวโพด

$$= \frac{6}{100} \times 1.45 \times 70 \quad \text{ซม.}$$

= 6.09 "

ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องหามาให้แก่ข้าวโพด

$$= \frac{6.09}{100} \times 1000 \times 1600 \text{ ลบ.เมตร}$$

= 97,440 "

ปริมาณน้ำที่จะต้องสูบจากแม่น้ำ

$$= \frac{97,440}{0.6 \times 0.7}$$ "

= 231,905 "

ตอบ จะต้องสูบน้ำจากแม่น้ำเป็นจำนวน 231,905 ลบ.เมตร จึงจะพอกับความต้องการของข้าวโพดในพื้นที่ 1,000 ไร่

ถึงแม้ว่าการวัดจำนวนความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนักเป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้องดี แต่ก็มีข้อเสียที่ทำให้ไม่สามารถใช้ได้ทั่ว ๆ ไปอยู่หลายอย่าง คือ

(1) ต้องใช้เวลาและแรงงานมาก กล่าวคือ ต้องออกไปเก็บตัวอย่างดิน นำมาเข้าเตาอบ และคอยจนดินแห้ง ซึ่งจะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จึงจะได้คำตอบที่ต้องการ

(2) ต้องการเครื่องมือหลายชิ้น เช่น สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดิน กระป๋องเก็บตัวอย่าง เครื่องชั่งน้ำหนักและเตาอบ เครื่องมือเหล่านี้บางชิ้นมีใช้เฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น

(3) ความละเอียดถูกต้องขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการเก็บตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างความสม่ำเสมอของเนื้อดินในพื้นที่เพาะปลูก และความชำนาญของผู้เก็บตัวอย่าง

ด้วยเหตุดังกล่าว การกำหนดการให้น้ำโดยการวัดจำนวนความชื้นโดยการชั่งน้ำหนักจึงใช้กันแต่เฉพาะในงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องจริง ๆ เช่นในงานวิจัยเท่านั้น

2.4 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน (Feel and Appearrance)

การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่เจาะได้ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในเขตรากและที่จุดต่าง ๆ ในพื้นที่จะทำให้ทราบความชุ่มชื้นของดินได้โดยประมาณ เนื่องจากวิธีนี้ต้องการเครื่องมือเจาะดูตัวอย่างดินเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมีประโยชน์มากเมื่อไม่มีเครื่องมือกำหนดการให้น้ำช่วย

การตรวจดูลักษณะของดินทำโดยการใช้สว่านเจาะดิน หรือใช้พลั่วขุดดินในเขตรากมาตรวจดู ซึ่งถ้าหากกสิกรมีความคุ้นเคยกับลักษณะของดินที่มีความชื้นขนาดต่าง ๆ กันดีพอแล้วก็สามารถบอกได้ทันทีว่า ดินในขณะนั้นแห้งพอที่จะลงมือให้น้ำได้หรือยัง กระทรวงเกษตรของสหรัฐได้จัดทำตารางสำหรับเป็นแนวทางในการกำหนดการให้น้ำไว้ ดังตารางที่ 2.4

ถึงแม้ว่าการประมาณความชื้นของดินโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ละเอียดถูกต้องนัก แต่ถ้าหากกสิกรมีความชำนาญก็จะกำหนดการให้น้ำได้ถูกต้องพอสมควร

ตารางที่ 2.4 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่าง ๆ *

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	ลักษณะและความรู้สึกสัมผัส			
	ดินเนื้อหยาบ	ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ	ดินเนื้อปานกลาง	ดินเนื้อละเอียดและละเอียดมาก
0 เปอร์เซนต์	แห้ง ร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้ง ร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้งเป็นผง หรือเกาะกันเป็นก้อน แต่บี้ให้แตกเป็นผงได้ง่าย	แห้ง แข็ง มีรอยแตกร้าว บางทีมีก้อนร่วนเล็ก ๆ บนผิวหน้า
50 เปอร์เซนต์	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	ค่อนข้างร่วน แต่กำให้แน่นจะเกาะกันเป็นก้อนได้	ค่อนข้างนุ่ม กำให้แน่นเป็นก้อนได้
50 ถึง 75 เปอร์เซนต์	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	กำให้แน่นเป็นก้อนได้ แต่แตกง่าย ไม่เกาะกัน	กำเป็นก้อนได้ ค่อนข้างเหนียว เมื่อบีบจะลื่นเล็กน้อย	กำเป็นก้อน ใช้นิ้วรีดเป็นแผ่นบาง ๆ ได้
75 เปอร์เซนต์ ถึงความชื้นชลประทาน	เกาะกันบ้าง กำเป็นก้อน แต่แตกง่าย	กำเป็นก้อน แต่แตกง่าย	กำเป็นก้อน อ่อนนุ่มมาก ถ้ามีดินเหนียวมากจะลื่น	รีดเป็นแผ่นระหว่างนิ้วมือได้ง่าย รู้สึกลื่น
ที่ความชื้นชลประทาน (100 เปอร์เซนต์)	บีบไม่มีน้ำออกมา แต่เปียกมือ	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ
เกินความชื้นชลประทาน	สลัดในมือจะมีน้ำกระเด็นออกมา	นวดดินจะมีน้ำออกมา	บีบจะมีน้ำออกมา	เป็นโคลน มีน้ำบนผิว

* SCS National Engineering Handbook, Section 15 - "Irrigation-Chapter I : Soil-Plant-Water Relationships", Soil Conservation Services, United States Department of Agriculture.

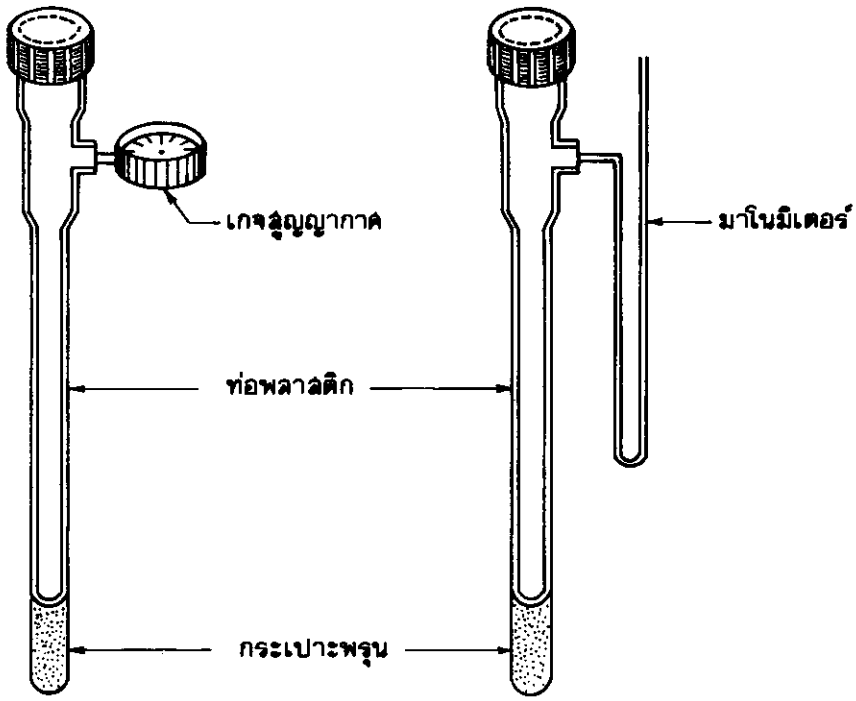
2.5 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

ปัจจุบันได้มีการประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำขึ้น เครื่องมือเหล่านี้ใช้วัดคุณสมบัติบางอย่างของดิน เช่น ค่าแรงดึงความชื้นของดิน ค่าคุณสมบัติการนำไฟฟ้า และค่าการแผ่กระจายของนิวตรอน แล้วเทียบค่าที่วัดได้เป็นจำนวนความชื้นในดิน โดยการใช้เครื่องมือดังกล่าวจะสามารถทำให้รู้ค่าความชื้นของดินได้รวดเร็ว และกำหนดการให้น้ำได้สะดวกขึ้น เครื่องทางวิทยาศาสตร์ที่นิยมใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปได้แก่ Tensiometer, Electrical Resistance Instrument และ Neutron Moisture Meter

2.5.1 Tensiometer

Tensiometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดแรงดึงความชื้นของดินที่อยู่ในสภาวะสมดุลย์กับน้ำในกระเปาะพรุน เมื่อรู้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดิน และจำนวนความชื้นในดินตรงบริเวณจุดที่ตั้ง Tensiometer ก็จะทราบค่าจำนวนความชื้นในดิน ณ จุดนั้น

ลักษณะของเครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยหลอดแก้วหรือท่อพลาสติกใสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ยาวตั้งแต่ประมาณ 15 ถึง 180 เซนติเมตร ขึ้นอยู่กับความลึกของดินที่ต้องการวัดความชื้น ปลายท่อด้านล่างจะมีกระเปาะพรุนซึ่งมีขนาดเดียวกับหลอดแก้วยาวประมาณ 6.5 เซนติเมตร สวมอยู่ ส่วนปลายท่อด้านบนจะมีฝาเกลียวซึ่งเปิดได้ บริเวณใกล้ ๆ ฝาเกลียวจะมีเกจสูญญากาศหรือหลอดแก้วรูปตัวยูบรรจุปรอทซึ่งเรียกว่า มาโนมิเตอร์ เพื่อใช้วัดค่าสูญญากาศในหลอดแก้ว ลักษณะทั่ว ๆ ไปของเครื่องมือจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.8



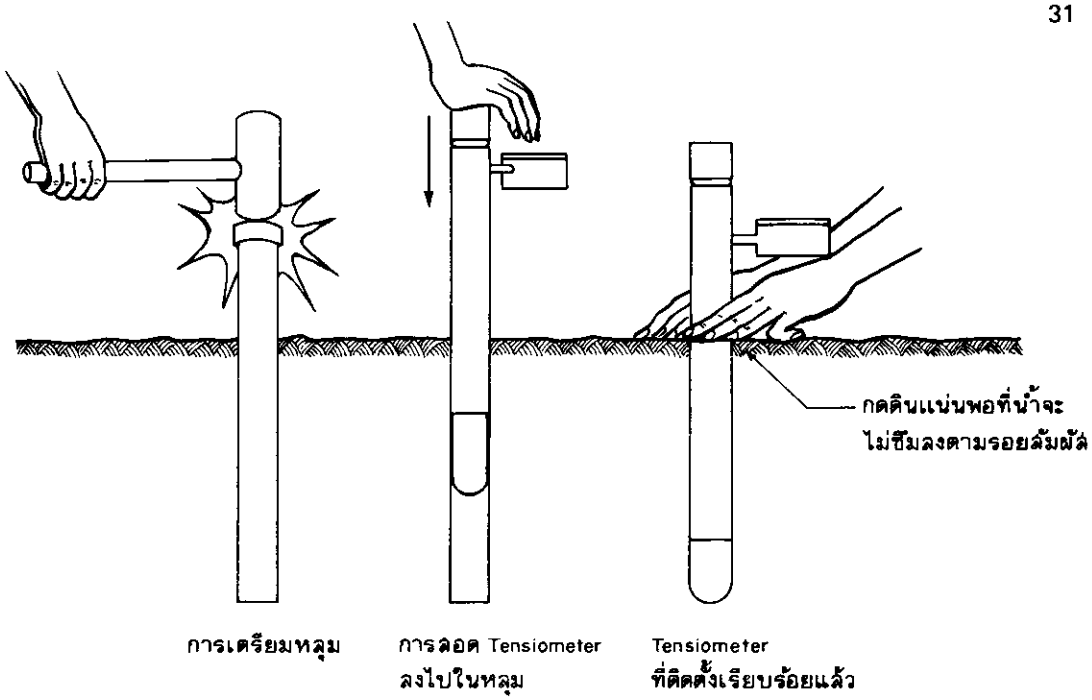
รูปที่ 2.8 Tensiometer

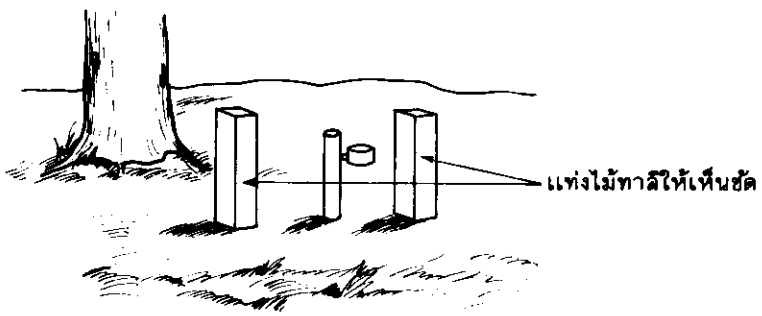
(1) **หลักการทำงานของ Tensiometer** - เมื่อเติมน้ำลงใน Tensiometer จนเต็ม และนำไปฝังลงในดินตรงจุดที่ต้องการวัดแล้ว ความชื้นในวัสดุพรุนจะปรับตัวเองให้อยู่ในสภาวะสมดุลย์กับดินที่อยู่รอบ ๆ ถ้าดินที่อยู่รอบกระเปาะพรุนแห้งกว่าคือมีแรงดึงความชื้นสูงกว่าแรงดึงความชื้นของกระเปาะพรุน น้ำจะเคลื่อนที่จากกระเปาะพรุนสู่ดินที่แห้งอยู่รอบ ๆ ทำให้เกิดสูญญากาศขึ้นภายในหลอดแก้ว ซึ่งจะอ่านค่าได้จากเกจสูญญากาศหรือมาโนมิเต่อร์ ยิ่งถ้าดินแห้งมากน้ำในหลอดแก้วจะถูกดูดออกไปมาก ทำให้เกิดสูญญากาศมากขึ้น ในทางกลับกันถ้าดินมีความชื้นสูง คือ แรงดึงความชื้นของดินน้อยกว่าแรงดึงความชื้นในกระเปาะพรุน น้ำจะถูกดูดกลับเข้าไปในกระเปาะพรุนทำให้สูญญากาศในหลอดแก้วลดลง ตามหลักการนี้จะสรุปได้ว่าสูญญากาศในหลอดแก้วจะแปรผันตามความชื้นในดิน

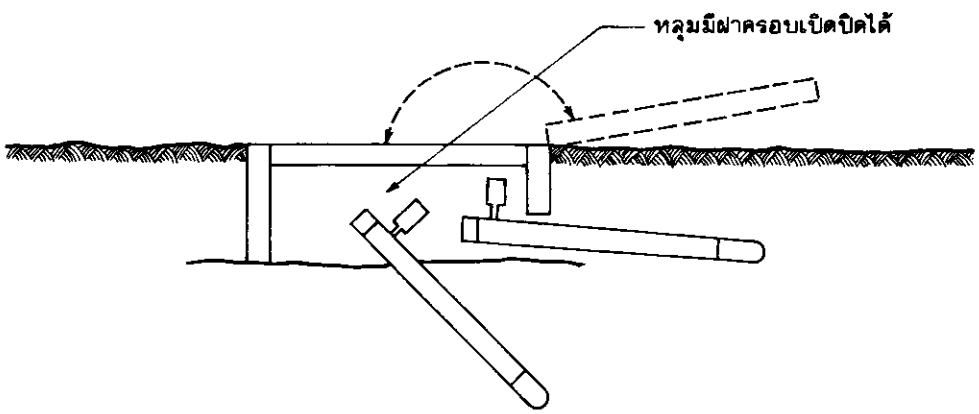
(2) **การเลือกจุดที่จะติดตั้ง Tensiometer** – Tensiometer จะต้องติดตั้งในเขตรากพืช โดยให้กระเปาะพรุนอยู่ในบริเวณที่มีรากพืชแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นโดยทั่ว ๆ ไป ถ้าเป็นพืชรากตื้น (น้อยกว่า 30 ซม.) ตำแหน่งของกระเปาะพรุนจะอยู่ลึกประมาณ 1/3 ของความลึกของราก และกรณีนี้ใช้ Tensiometer เพียงอันเดียวก็พอ ถ้าเป็นพืชรากลึก (มากกว่า 30 เซนติเมตร) ควรใช้ Tensiometer 2 อัน และฝังให้ตำแหน่งของกระเปาะพรุนอยู่ที่ 1/3 และ 2/3 ของความลึกของราก ถ้าดินในเขตรากมีลักษณะเป็นชั้น ๆ กระเปาะพรุนควรอยู่ในชั้นดินที่หนาและมีรากแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่น เพื่อให้ค่าที่อ่านได้เป็นตัวแทนความชื้นของดินในเขตรากพืช

(3) **การติดตั้ง Tensiometer** – ใช้สว่านหรือท่อโลหะซึ่งมีขนาดเดียวกับหลอดแก้วเจาะรูลงไปในดินตามความลึกที่ต้องการ หลังจากนั้นจึงเติมน้ำลงไปใน Tensiometer ให้เต็มแล้วจึงสอด Tensiometer ลงไปในรูโดยให้ผนังกระเปาะพรุนสัมผัสดินทุกด้าน ถ้าขนาดของรูที่เจาะไว้โตกว่าขนาดของ Tensiometer ให้ใช้ดินละเอียดโรยลงไปรอบ ๆ เสร็จแล้วจึงใช้เศษดินพูนรอบ ๆ และกดให้แน่นเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมลงไปในรูได้ หลังจากติดตั้งแล้วควรจะตรวจสอบน้ำใน Tensiometer อีกครั้งหนึ่งถ้าพบว่ามีน้ำหายไปจะต้องเติมน้ำให้เต็ม

ในการติดตั้ง Tensiometer ควรจะเลือกบริเวณที่จะไม่กีดขวางการทำงานในแปลงเพาะปลูก แต่ถ้าจำเป็นจะต้องทำเครื่องหมายบอกไว้ หรือทำที่ป้องกันดังรูปที่ 2.9







รูปที่ 2.9 การติดตั้ง Tensiometer

(4) **การอ่านค่าจาก Tensiometer** – หลังจากติดตั้งแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง แรงดึงความชื้นของดินที่อยู่รอบ ๆ กระเปาะพรุนจะอยู่ในสภาวะสมดุลย์กับสูญญากาศในกระเปาะพรุน จะสามารถอ่านค่าแรงดึงความชื้นในดินได้จากเกจสูญญากาศ หรือมาโนมิเตอร์ ซึ่งตามปกติจะมีสเกลตั้งแต่ 0 ถึง 100 เซนติบาร์ (100 เซนติบาร์มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1 บรรยากาศ)

ค่าที่อ่านได้จะมีความหมายดังต่อไปนี้

ถ้าอ่านได้	0	หมายความว่า	ดินเปียกมาก ความชื้นอยู่ที่จุดอิ่มตัว
	10-25	"	ความชื้นพอเหมาะสำหรับพืชที่ต้องการความชื้นสูง ความชื้นอยู่ประมาณที่ความชื้นชลประทาน
	>25	"	พืชที่มีความรู้สึกไวต่อการขาดน้ำ และพืชรากตื้น จะรู้สึกขาดน้ำ
	40-50	"	พืชทั่ว ๆ ไปที่มีรากลึกกว่า 50 เซนติเมตรจะเริ่มรู้สึกขาดน้ำ
	70	"	พืชที่มีรากลึกกว่า 75 เซนติเมตรที่ปลูกในดินที่มีเนื้อละเอียดปานกลางจะเริ่มรู้สึกขาดน้ำ
	80	"	ควรจะให้น้ำได้แล้วถึงแม้ว่าพืชจะยังไม่แสดงอาการออกมาก็ตาม

Tensiometer จะทำงานได้ดีในช่วงแรงดึงความชื้นระหว่าง 0 ถึง 85 เซนติบาร์ ถ้าสูญญากาศในหลอดแก้วมากกว่า 85 เซนติบาร์ อากาศจะซึมผ่านกระเปาะพรุนเข้าไปในหลอดแก้วทำให้ค่าที่อ่านได้ผิดพลาด

ตารางที่ 2.5 แสดงระดับแรงดึงความชื้นของดินที่ควรจะให้น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด สำหรับพืชที่ปลูกในดินที่ลึกและมีการระบายน้ำดี

การอ่านค่าแรงดึงความชื้นเพื่อกำหนดการให้น้ำ ควรอ่านตอนเช้า และที่เวลาเดียวกันทุกครั้ง เพราะตอนเช้าดินในเขตรากจะมีความชื้นสม่ำเสมอตลอดเขตราก และอยู่ในสภาวะสมดุลย์กับความชื้นในกระเปาะพรุนดีที่สุด ค่าที่อ่านได้จะเป็นตัวแทนความชื้นของดินในเขตรากได้ดีกว่า และในการอ่านค่าแต่ละครั้งควรจะอ่านเมื่อแรงดึงความชื้นต่างกันไม่เกิน 10-15 เซนติบาร์ หรืออย่างน้อย 3 ครั้ง ก่อนการให้น้ำครั้งต่อไป แต่ถ้าสามารถอ่านค่าได้ทุกวันก็ยิ่งดี

ค่าที่อ่านได้ควรจะนำมาเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.10 จะช่วยทำให้รู้ถึงสภาพความชุ่มชื้นในดิน การดูดน้ำของพืช ตลอดจนช่วยให้รู้ว่าน้ำที่ให้ซึมลงไปถึงจุดที่ตั้งกระเปาะพรุนหรือไม่ ซึ่งจะทำให้สามารถกำหนดปริมาณน้ำและความถี่ในการให้น้ำได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.5 ระดับความชื้นของดินที่ควรจะให้น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด สำหรับพืชที่ปลูกในดินที่ลึกและมีการระบายน้ำดี

พืช	แรงดึงความชื้น (บาร์)
พืชผัก	
ถั่วต้น	0.75 - 2.00
กะหล่ำปลี	0.60 - 0.70
ถั่วเถา	0.30 - 0.50
ผักชื้นใช่ฝรั่ง	0.20 - 0.30
หญ้า	0.30 - 1.00
ผักกาดหอม	0.40 - 0.60
ยาสูบ	0.30 - 0.80
อ้อย	0.25 - 0.30
ข้าวโพดหวาน	0.50 - 1.00
พืชหัว	
หอมหัวใหญ่ (ช่วงเริ่มโต)	0.45 - 0.55
หอมหัวใหญ่ (ช่วงออกหัว)	0.55 - 0.65
มันฝรั่ง	0.30 - 0.50
แคร์รอท	0.55 - 0.65
บรอคโคลี่ (ช่วงเริ่มโต)	0.45 - 0.55
บรอคโคลี่ (แตกหน่อ)	0.60 - 0.70
กะหล่ำดอก	0.60 - 0.70
พืชผลไม้	
มะนาว	0.40
ส้ม	0.20 - 1.00
ไม้ผลประเภทผลัดใบ (แอปเปิล)	0.50 - 0.80
อโวกาโด	0.50
องุ่น (ช่วงเริ่มโต)	0.40 - 0.50
องุ่น (ช่วงโตเต็มที่)	1.00
สตรอเบอร์รี่	0.20 - 0.30
แคนตาลูป	0.35 - 0.40
มะเขือเทศ	0.80 - 1.50
กล้วย	0.30 - 1.50

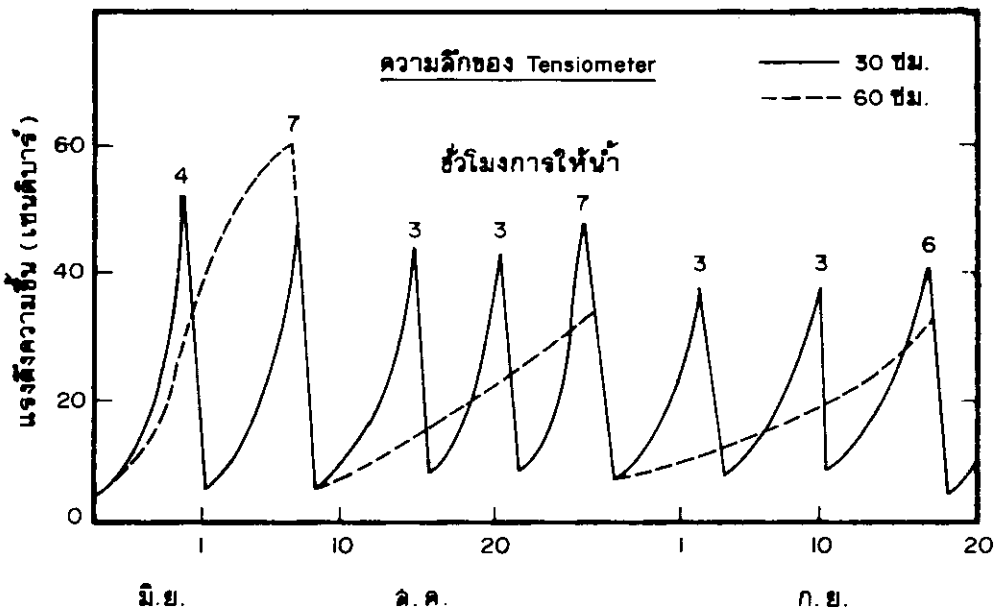
ตารางที่ 2.5 ระดับความชื้นของดินที่ควรจะให้น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด สำหรับพืชที่ปลูกในดินที่ลึกและมีการระบายน้ำดี (ต่อ)

พืช	แรงดึงความชื้น (บาร์)
ธัญญพืช	
ข้าวโพด (ช่วงแตกใบ)	1.50
ข้าวโพด (ช่วงเมล็ดแก่)	8.00 - 12.00
ธัญญพืช (ช่วงแตกใบ)	0.40 - 0.50
ธัญญพืช (ช่วงเมล็ดแก่)	8.00 - 12.00
พืชเมล็ดพันธุ์	
แคร์รอท (สูง 60 ซม.)	4.00 - 6.00
หอมหัวใหญ่ (สูง 7 ซม.)	4.00 - 6.00
หอมหัวใหญ่ (สูง 15 ซม.)	1.50
ผักกาดหอม (ช่วงเจริญเติบโตเต็มที่)	3.00

* **ใช้ค่าน้อยเมื่อสภาพอากาศก่อให้เกิดการระเหยและการคายน้ำมาก และใช้ค่ามากเมื่อสภาพอากาศก่อให้เกิดการระเหยและการคายน้ำน้อย**

(5) การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับจำนวนความชื้นในดินของ Tensiometer – เนื่องจาก Tensiometer จะบอกเฉพาะค่าแรงดึงความชื้นของดิน ซึ่งถึงแม้ว่าจะทำให้ทราบได้คร่าว ๆ ว่าค่าแรงดึงความชื้นของดินขณะนั้นถึงจุดที่ควรจะให้น้ำได้หรือยัง โดยการเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.5 แต่ก็ยังคงไม่รู้ว่าน้ำที่ต้องให้มีปริมาณเท่าใด ดังนั้นก่อนที่จะนำเอา Tensiometer ไปใช้ในการกำหนดการให้น้ำแก่พืช จะต้องมีการหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับจำนวนความชื้นเสียก่อน ซึ่งจะทำได้ง่าย ๆ โดยการนำเอา Tensiometer ไปติดตั้งในแปลงตามวิธีการที่กล่าวถึงในข้อ (3) และอ่านค่าจากเกจสูญญากาศ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างดินรอบ ๆ กระเปาะพรุนไปทำการหาความชื้นในดินโดยการชั่งน้ำหนักตามวิธีที่กล่าวถึงในข้อ 2.3 ในการนี้จะต้องดำเนินการอ่านค่าและเก็บตัวอย่างดินจากช่วงที่ดินเปียกที่สุด และแห้งที่สุด (แต่แรงดึงความชื้นต้องไม่เกิน 85 เซนติบาร์) นำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟดังแสดงในรูปที่ 2.11 ก็จะทราบความสัมพันธ์ดังกล่าว

(6) ข้อควรระวังในการใช้ Tensiometer – ในการใช้ Tensiometer สิ่งที่จะต้องให้ความระมัดระวังเป็นอย่างมากคือ จะต้องไม่ให้มีฟองอากาศภายในหลอดแก้วได้เพราะจะทำให้ค่าสูญญากาศที่อ่านได้ผิดพลาดได้ ดังนั้นในการเติมน้ำจะต้องแน่ใจว่าไล่ฟองอากาศออกได้หมด ซึ่งถ้ามีปั๊มสูญญากาศจะช่วยไล่ฟองอากาศออกได้ดียิ่งขึ้น วิธีไล่สูญญากาศจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.12

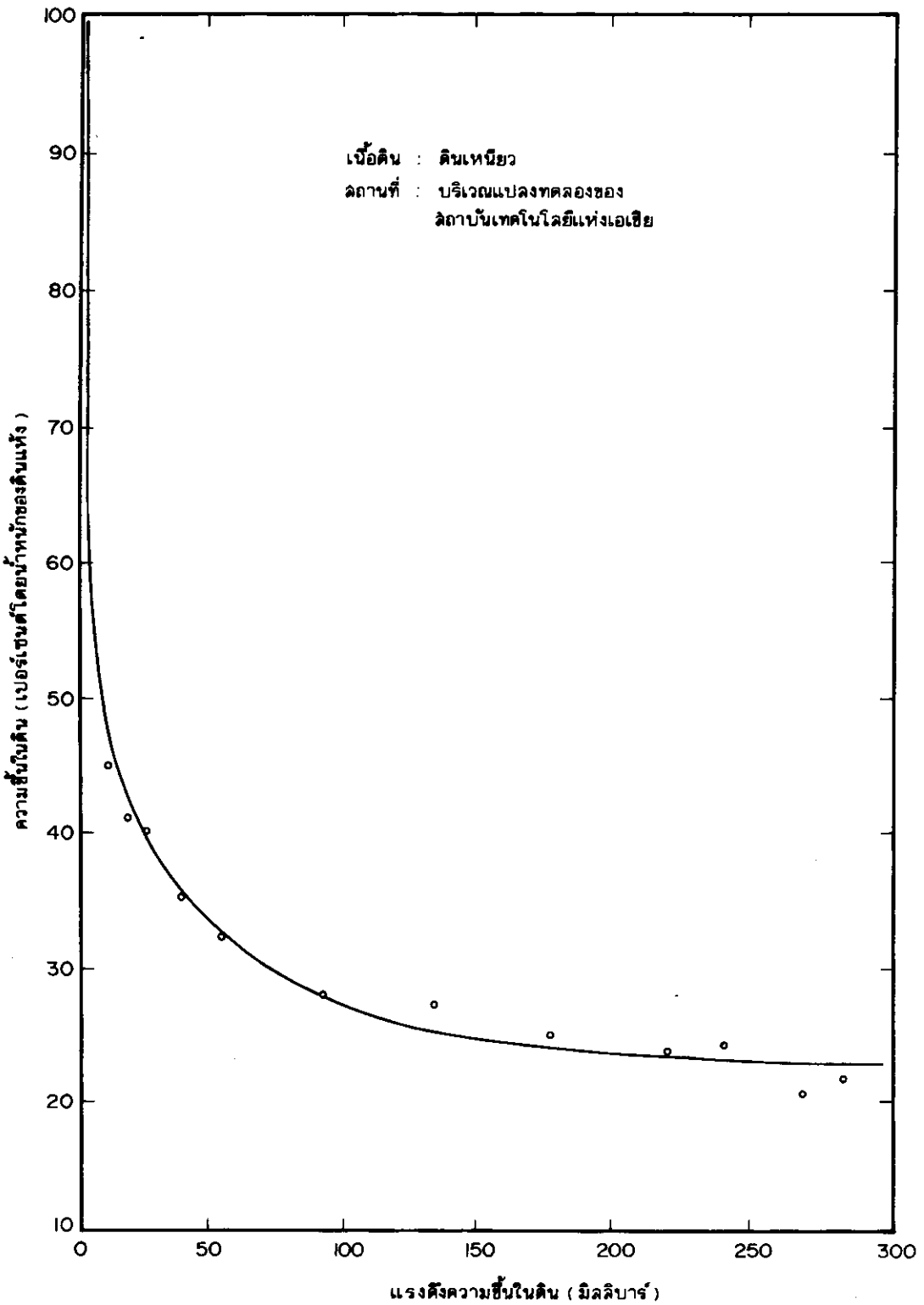


รูปที่ 2.10 **การกำหนดการให้น้ำ โดยการสังเกตจาก Tensiometer ซึ่งฝังไว้ที่ระยะ 30 ซม. และ 60 ซม. เมื่อดินที่ 30 ซม. ซึ่งมีรากอยู่หนาแน่นแห้ง แต่ที่ระดับ 60 ซม. ยังเปียกอยู่ก็ให้น้ำแต่น้อย (3 – 4 ชั่วโมง) เมื่อทั้งที่ระดับ 30 ซม. และ 60 ซม. แห้งก็เพิ่มเวลาให้น้ำให้มากขึ้น (7 ชั่วโมง) เพื่อให้ดินเปียกตลอดความลึก**

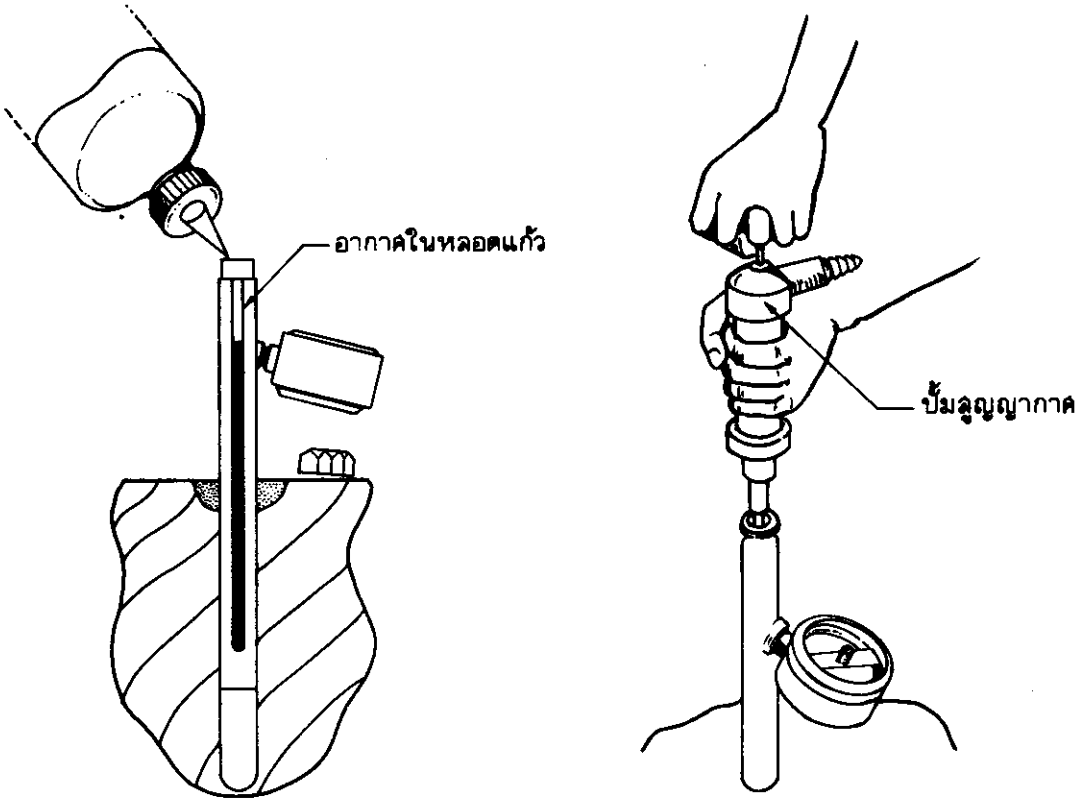
ก่อนที่จะนำเอา Tensiometer ไปใช้ควรจะได้มีการตรวจสอบรอยรั่ว ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ตรงบริเวณรอยต่อระหว่างหลอดแก้วกับกระเปาะพรุน หรือหลอดแก้วกับเกจสูญญากาศ การตรวจสอบรอยรั่วจะทำได้โดยใช้ปั๊มสูญญากาศ

นอกจากนี้ก่อนที่จะติดตั้ง Tensiometer ควรจะได้พิจารณาว่าดินรอบบริเวณที่จะติดตั้งแห้งมากหรือไม่ ถ้าดินแห้งมากควรทำการให้น้ำแก่ดินเสียก่อน มิฉะนั้นจะทำให้เกิดสูญญากาศมากกว่า 85 เซนติบาร์ และอากาศซึมผ่านกระเปาะพรุนเข้าไปในหลอดแก้วได้ และหลังจากที่ใช้ Tensiometer ไปแล้วระยะหนึ่งจะพบว่าระดับน้ำในหลอดแก้วลดลง จึงควรเติมน้ำใน Tensiometer ทุกครั้งที่ทำการให้น้ำแก่พืช

เนื่องจากเครื่องมือนี้มีข้อจำกัดเฉพาะในช่วงแรงดึงความชื้นไม่เกิน 85 เซนติบาร์ จึงเหมาะสำหรับเนื้อหยาบ เช่นพวกดินทรายซึ่งความชื้นที่พืชนำเอาไปใช้ได้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงแรงดึงความชื้นต่ำกว่า 100 เซนติบาร์ ส่วนดินเนื้อละเอียดเพียง 45 เปอร์เซนต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้เท่านั้น ที่อยู่ในช่วงแรงดึงความชื้นขนาดนี้



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับความชื้นในดินของ Tensiometer

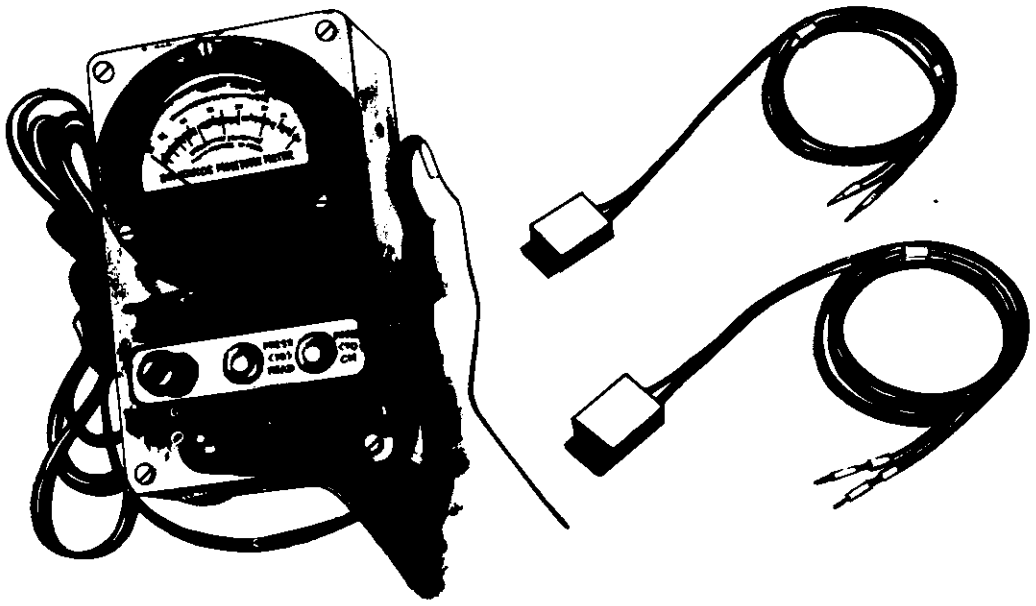


รูปที่ 2.12 การไล่ฟองอากาศใน Tensiometer

2.5.2 Electrical Resistance Instrument

Electrical Resistance Instrument เป็นเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดแรงต้านไฟฟ้าของวัสดุพรุน ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าซึ่งสามารถแปลงค่าความต้านทานเป็นความชื้นในดิน เรียกว่า Soil Moisture Meter และก้อนความต้านทาน (Resistance Block หรือ Bouyoucos Block) ดังแสดงในรูป 2.13 ลักษณะของก้อนความต้านทานจะประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วแล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุพรุน เช่น ปูนพลาสเตอร์ ไนล่อน หรือไฟเบอร์กลาส

(1) **หลักการทำงานของเครื่องมือ** - เมื่อฝังก้อนความต้านทานไว้ในดิน ก้อนความต้านทานจะทำหน้าที่เสมือนส่วนหนึ่งของดิน คือมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในก้อน เช่นเดียวกับดินที่อยู่รอบ ๆ เนื่องจากความชื้นจะมีผลต่อความต้านทานไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าภายในวัสดุพรุน กล่าวคือ ถ้าวัสดุพรุนมีความชื้นมากจะมีความต้านทานไฟฟ้าน้อย แต่ถ้าวัสดุพรุนมีความชื้นต่ำจะมีความต้านทานไฟฟ้าสูง เมื่อทำการต่อสายไฟจากขั้วไฟฟ้าในก้อนความต้านทานเข้ากับเครื่องวัดความต้านทาน ก็จะสามารถอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าในวัสดุพรุน และสามารถแปลงเป็นค่าความชื้นในดินได้



(1) เครื่องวัดความต้านทานและความชื้น (2) ก้อนวัดความต้านทาน

รูปที่ 2.13 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดความต้านทานไฟฟ้า

(2) **การติดตั้งก้อนความต้านทาน** - เมื่อต้องการจะใช้เครื่องมือชนิดนี้วัดความชื้นในดินหรือทำหน้าที่กำหนดการให้น้ำแก่พืชจะต้องนำเอาก้อนความต้านทานไปแช่น้ำให้อิ่มตัวเสียก่อน แล้วจึงทำการขุดหลุมและฝังก้อนความต้านทานไว้ที่ผนังหลุมตามระดับความลึกที่ต้องการ หรือถ้าจะฝังไว้ที่ก้นหลุมจะต้องทำการตบแต่งก้นหลุมให้ราบเรียบโดยการกระทุ้งเบา ๆ โรยดินปนลงไปที่ก้นหลุมก่อนที่จะวางก้อนความต้านทาน กลบด้วยดินที่ขุดขึ้นมาและกระทุ้งเบา ๆ อีก 2-3 ครั้ง แต่ต้องระวังอย่ากระทุ้งแรงจนทำให้ก้อนความต้านทานแตกได้ และเวลากลบดินจะต้องพยายามให้มีสภาพเหมือนเดิมก่อนที่จะขุดขึ้นมามากที่สุด หลังจากฝังเรียบร้อยแล้วโยงสายไฟจากก้อนความต้านทานไปผูกไว้กับหลักที่ทาสีให้เห็นชัดพร้อมกับเขียนระดับความลึกที่ฝังกำกับไว้ด้วย ส่วนตำแหน่งที่จะฝังก้อนความต้านทาน ก็พิจารณาเช่นเดียวกับ Tensiometer คือควรจะอยู่ในบริเวณที่มีรากพืชกระจายอยู่อย่างหนาแน่นและน้ำซึมลงไปได้ถึง การติดตั้งก้อนความต้านทานควรจะทำหลังจากการให้น้ำแก่พืชหรือขณะที่ดินยังมีความชื้นสูงอยู่

(3) **การอ่านค่า** - เมื่อต้องการรู้ว่าดินมีความชื้นเท่าใดก็ทำได้โดยการต่อสายไฟเข้ากับเครื่องวัดความต้านทานซึ่งตามปกติบนหน้าปัทม์เครื่องวัดจะมีสเกลบอกค่าความชื้นในดินในรูปของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ (available moisture) ประกอบด้วย ถ้าเข็มชี้ที่ 0 หมายความว่าความชื้นในดินอยู่ที่จุดเหี่ยวเฉาอย่างถาวร ถ้าเข็มชี้ที่ 100 หมายความว่าความชื้นในดินอยู่ที่ความชื้นชลประทาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครื่องมือชนิดนี้จะช่วยในการกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้สะดวกมากเมื่อเทียบกับ Tensiometer

เนื่องจากดินแต่ละชนิดมีค่าความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ต่างกัน บริษัท Beckman Instruments, Inc. ซึ่งเป็นผู้ผลิตเครื่องวัดความชื้นแบบวัดแรงต้านไฟฟ้าที่มีชื่อเสียง ได้เสนอแนะว่าควรจะทำการให้น้ำแก่พืชซึ่งปลูกในดินต่าง ๆ เมื่ออ่านค่าความชื้นได้ดังต่อไปนี้

เนื้อดิน	ค่าที่อ่านได้ (% ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้)
ดินทราย (Sand)	75
ดินทรายปนดินร่วน (Loamy Sand)	62
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	43-50
ดินร่วน (Loam)	40
ดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt Loam)	30
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)	27
ดินร่วนปนดินเหนียวปนทราย (Sandy Clay Loam)	25

และการให้น้ำควรจะให้ต่อเนื่องไปจนกระทั่งค่าที่อ่านได้เท่ากับ 95 ถึง 100 เปอร์เซนต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ค่าที่อ่านได้และปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ในแต่ละครั้ง ตลอดจนปริมาณฝนที่ตกควรจะได้มีการบันทึกไว้ เช่นเดียวกับที่กล่าวถึงในเรื่อง Tensiometer เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้น้ำของพืชและเป็นแนวทางการกำหนดการให้น้ำแก่พืชครั้งต่อ ๆ ไป แบบฟอร์มสำหรับการบันทึกแบบง่าย ๆ จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.14

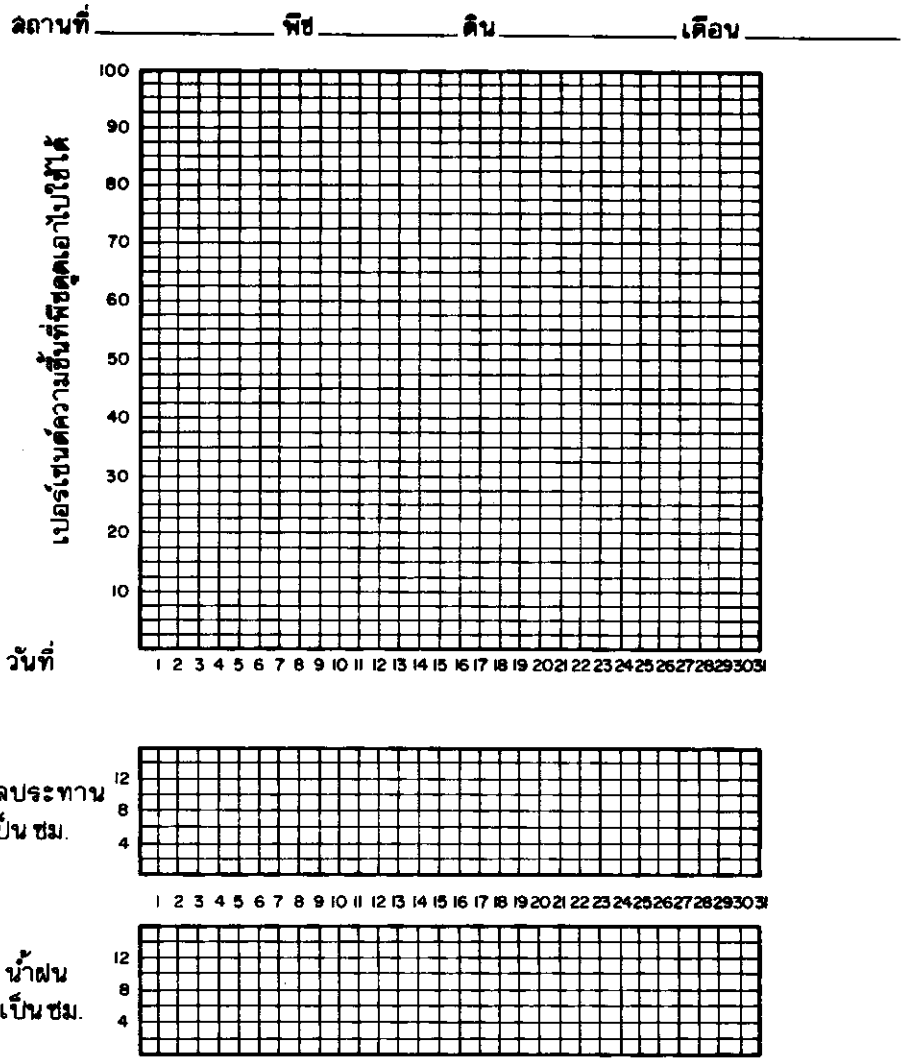
(4) **ข้อควรระวังในการใช้เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดแรงต้านไฟฟ้า** - เนื่องจากปริมาณเกลือในดินจะมีผลต่อค่าความต้านทานไฟฟ้ามาก คือ ถ้าดินมีเกลือมากก้อนความต้านทานจะนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ค่าความชื้นที่อ่านได้จะมากกว่าที่เป็นจริง

เมื่อเปรียบเทียบกับ Tensiometer เครื่องมือชนิดนี้มีข้อได้เปรียบ คือ ใช้ง่ายและสะดวกกว่ามาก สามารถใช้วัดค่าความชื้นได้ตลอดช่วงความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ แต่อย่างไรก็ตามในช่วงแรงดึงความชื้นต่ำกว่า 85 เซนติบาร์ วัดค่าความชื้นได้ไม่ละเอียดเท่ากับ Tensiometer

2.5.3 Neutron Moisture Meter

เครื่องวัดความชื้นแบบวัดการแผ่กระจายของนิวตรอน Neutron Moisture Meter เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพยิ่ง เพราะสามารถวัดความชื้นในดินได้สะดวกรวดเร็ว มีความคล่องตัวและแม่นยำสูง เครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ สารกัมมันตภาพรังสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกระจายนิวตรอน เครื่องมือตรวจจับนิวตรอนช้า และเครื่องนับจำนวนนิวตรอนช้า ปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือดังกล่าวมากมายหลายแบบ แต่การทำงานของเครื่องมืออาศัยหลักการเดียวกัน

(1) **หลักการเบื้องต้น** - การทำงานของเครื่องมืออาศัยหลักการที่ว่า "เมื่อนิวตรอนเร็ววิ่งไปกระทบกับนิวเคลียสของไฮโดรเจนอะตอมจะเกิดการสูญเสียพลังงาน และกลายเป็นนิวตรอนช้า" ถ้าจำนวนนิวตรอนเร็วที่แผ่กระจายออกมาจากสารกัมมันตภาพรังสีมีปริมาณคงที่ การเปลี่ยนแปลงจากนิวตรอนเร็วเป็นนิวตรอนช้าจะมากน้อยเท่าใด จึงขึ้นอยู่กับจำนวนไฮโดรเจนอะตอมที่อยู่รอบ ๆ ถ้ามี



เริ่มให้น้ำเมื่อค่าที่อ่านได้เริ่มจะต่ำกว่า 65 % ในดินทราย 55% ในดินร่วนและ 30% ในดินเหนียว แต่ถ้าดินมีเกลือมากให้เริ่มสูงกว่าที่กำหนดไว้ 15 %

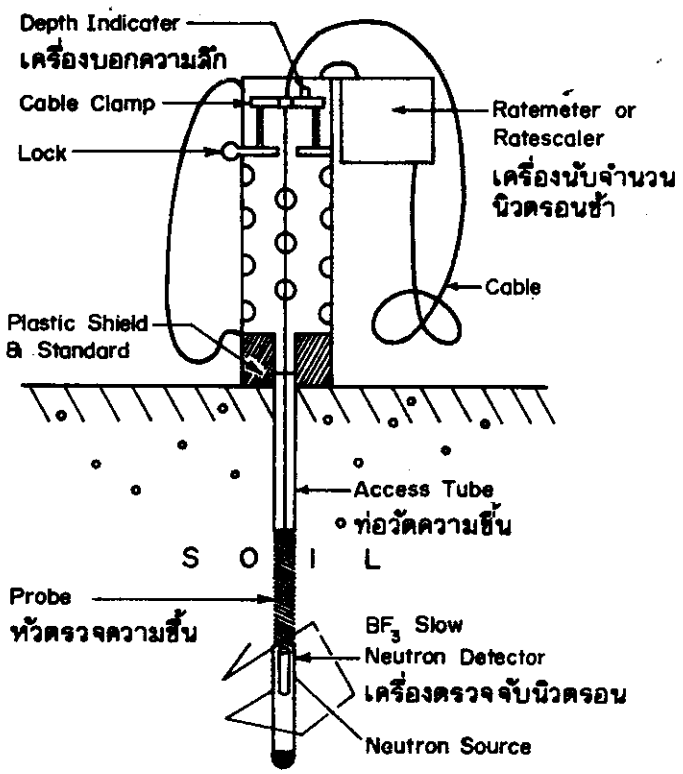
รูปที่ 2.14 แบบฟอร์มสำหรับบันทึกค่าความชื้นในดิน ปริมาณน้ำชลประทาน และน้ำฝน

ไฮโดรเจนอะตอมมาก นิวตรอนเร็วจะเปลี่ยนเป็นนิวตรอนช้าได้มาก แต่ถ้าไฮโดรเจนอะตอมน้อย นิวตรอนเร็วจะเปลี่ยนเป็นนิวตรอนช้าได้น้อย และเนื่องจากไฮโดรเจนอะตอมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของน้ำ ดังนั้นจากหลักการอันนี้จะสามารถบอกได้ว่าดินมีความชื้นอยู่มากน้อยเท่าใด โดยการตรวจวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงจากนิวตรอนเร็วเป็นนิวตรอนช้า

แต่อย่างไรก็ตามนอกจากน้ำแล้วยังมีธาตุบางชนิดซึ่งมีพฤติกรรมเช่นเดียวกับไฮโดรเจนอะตอมอาทิ เช่น แคดเมียม โบรอน และคลอรีน ดังนั้น จึงควรจะได้มีการเทียบมาตราฐาน (Calibration) เครื่องมือสำหรับดินแต่ละแห่งเสียก่อนที่จะนำเครื่องมือไปใช้

(2) **วิธีการวัดความชื้น** - รูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นรูปร่างลักษณะของเครื่องวัดความชื้นแบบวัดการแผ่กระจายของนิวตรอน แบบ Wallingford Soil Moisture Probe ขณะทำการวัดความชื้นในดินโดยการติดตั้งเครื่องมือบนท่อวัดความชื้นที่ฝังไว้ในดิน (access tube) และค่อย ๆ หย่อนหัวตรวจวัดความชื้น (Probe) ลงไปตามระดับที่ต้องการวัดความชื้น และอ่านค่าจำนวนนิวตรอนช้าจากเครื่องนับจำนวนนิวตรอนช้า หลังจากนั้น จึงนำเอาค่าที่อ่านได้ไปหาค่าจำนวนความชื้นในดินในหน่วยของเปอร์เซนต์โดยปริมาตรได้จากกราฟหรือตารางเทียบมาตรฐาน (Calibration Curve)

(3) **การติดตั้งท่อวัดความชื้น (Access tube)** – การติดตั้งท่อวัดความชื้นเป็นสิ่งสำคัญประการแรกที่ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก เพราะถ้าการติดตั้งผิดพลาด จะมีผลทำให้การวัดผิดพลาดตามไปด้วย ท่อวัดความชื้นจะต้องทำจากวัสดุที่ยอมให้นิวตรอนแผ่กระจายผ่านได้ดี เช่น อลูมิเนียม หรืออลูมิเนียมผสม



รูปที่ 2.15 การติดตั้ง Wallingford Soil Moisture Probe เพื่อวัดความชื้น

ซึ่งหาได้ง่าย ราคาถูก และที่สำคัญคือ ยอมให้นิวตรอนผ่านได้ดีกว่าวัสดุอื่น ๆ และขนาดที่ใช้ควรจะโตกว่าหัวตรวจความชื้นสักเล็กน้อยเพื่อให้สามารถหย่อนหัวตรวจความชื้น ขึ้นลงได้สะดวก (สำหรับ Wallingford Soil Moisture Probe ใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 44.5 มม. ภายใน 41.25 มม. และหนา 1.6 มม.) ปลายล่างจะมีฝาปิดเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้ามาภายในท่อได้ ฝาปิดจะต้องทำจากวัสดุชนิดเดียวกับที่ใช้ทำท่อ และควรจะทำให้มีลักษณะเป็นปลายแหลมเพื่อจะได้สะดวกเวลาติดตั้ง ส่วนปลายบนควรจะใช้จุกยางปิดเพื่อไม่ให้น้ำฝนเข้าไปได้

รูปที่ 2.16 แสดงชิ้นส่วนของเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะรูเพื่อติดตั้ง ท่อวัดความชื้น ซึ่งประกอบไปด้วย

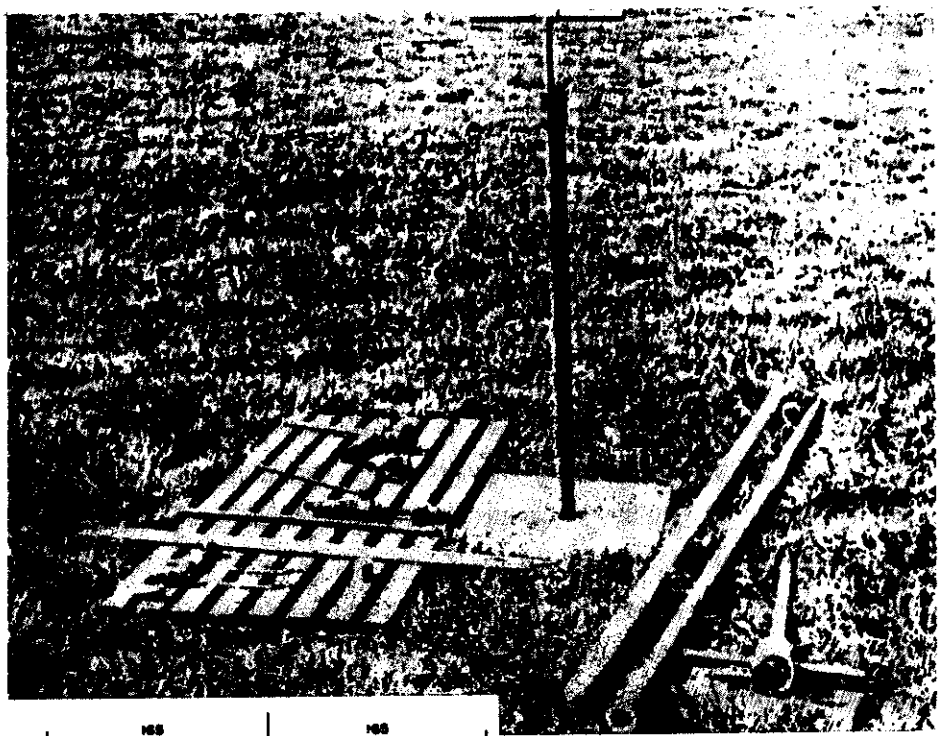
- ท่อนำร่อง (Guide tube) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับท่อวัดความชื้น
- สว่านเจาะดิน (Auger) มีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อนำร่อง (Guide tube) เล็กน้อย
- เครื่องกระแทก (Rammer)
- แผ่นเหล็ก (Base Plate) ซึ่งมีรูตรงกลางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับท่อนำร่อง

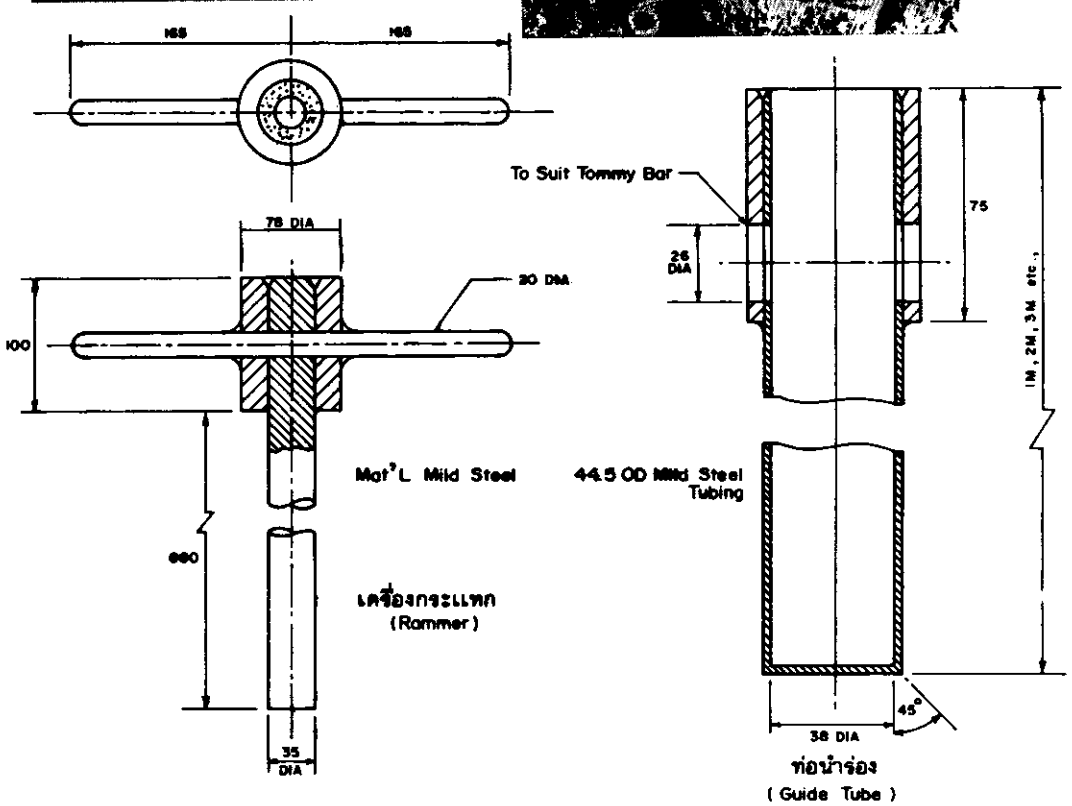
การเจาะรูจะเริ่มโดยใช้สว่านเจาะดิน เจาะดินลึกประมาณ 30 ซม. วางแผ่นเหล็ก (Base Plate) ตรงปากรูและค่อย ๆ สอดท่อนำร่องลงไป ต่อไปจึงสอดสว่านเจาะดินเข้าไปในท่อนำร่อง เพื่อเจาะดินออกให้ลึกกว่าปลายท่อนำร่อง ประมาณ 15 ซม. หลังจากนั้นจึงใช้เครื่องกระแทก (Rammer) ค่อย ๆ ตอกท่อนำร่อง ลงไปจนถึงระดับที่ได้ทำการเจาะไว้ เสร็จแล้วจึงใช้สว่านเจาะดินออกให้ต่ำกว่าปลายท่อนำร่องอีก 15 ซม. และใช้เครื่องกระแทกท่อนำร่องลงไปอีก ทำเช่นนี้จนได้ระดับที่ต้องการ จึงถอดท่อนำร่องออก และฝังท่อวัดความชื้นลงไปแทน โดยให้ปลายบนของท่อวัดความชื้น อยู่เหนือผิวดินประมาณ 10 ซม. และปลายล่างอยู่ที่ก้นหลุมพอดี

ในกรณีที่ไม่มีเครื่องมือดังกล่าวข้างต้น อาจจะใช้เพียงสว่านเจาะดินอย่างเดียว โดยใช้ขนาดเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อวัดความชื้น เจาะรูตามระดับที่ต้องการ และฝังท่อวัดความชื้นในทำนองเดียวกัน แต่การใช้สว่านเจาะดินเพียงอย่างเดียวอาจมีปัญหาว่าขนาดของรูที่เจาะจะไม่พอดีกับท่อวัดความชื้น โดยมากจะโตกว่าซึ่งจะแก้ไขได้โดยการใช้ดินละเอียดค่อย ๆ โรยเข้าไปในหลุมรอบ ๆ ท่อจนเต็ม

(4) การเทียบมาตรฐานเครื่องมือ (Calibration) - เนื่องจากค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือจะเปลี่ยนไปตามชนิดของดิน ความหนาแน่นของดิน และจำนวนความชื้นในดิน ซึ่งชนิดของดิน และความหนาแน่นของดินจะแตกต่างกันออกไปในแต่ละแห่ง ดังนั้นถ้าต้องการให้ค่าที่อ่านได้ถูกต้องแน่นอนแล้ว ควรจะมีการเทียบมาตรฐานเครื่องมือเสียก่อนที่จะนำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ การเทียบมาตราฐานเครื่องมือทำได้ทั้งในห้องทดลองและในสนามดังนี้

การเทียบมาตรฐานเครื่องมือในห้องทดลอง เป็นการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าที่อ่านได้ต่อค่ามาตรฐาน (Count Rate/Standard Count Rate ซึ่งเรียกว่า Count Rate Ratio) กับความชื้นในดิน โดยการใช้ถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 1.5 เมตร ลึกอย่างน้อย 1.2 เมตร ใส่ดินซึ่งมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous) ทั้งด้านคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ และจะต้องทำให้ดินในถังคล้ายคลึงกับธรรมชาติมากที่สุด ในการนี้จะต้องใช้ดินประมาณ 4 หรือ 5 ตัน ซึ่งขุดขึ้นมา





รูปที่ 2.16 การขุดเจาะดินเพื่อติดตั้งท่อวัดความชื้น (Access Tube

ด้วยความระมัดระวัง หลังจากนั้นจึงนำมาเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตากให้แห้ง และนำไปใส่ในถังดังกล่าว โดยพยายามให้ความหนาแน่นของดินสม่ำเสมอกันตลอดทั้งถัง ทำการติดตั้งท่อวัดความชื้น ที่ตรงจุดกึ่งกลางถังวัดค่าอัตราส่วนของค่าที่อ่านได้ต่อมาตราฐาน (Count Rate Ratio) และความชื้นในดิน หลังจากนั้นเติมน้ำลงไปในถังจนกระทั่งดินอิ่มตัว วัดค่า Count Rate Ratio และความชื้นในดินอีกครั้งหนึ่ง นำค่าที่ได้ทั้ง 2 จุดไปเขียนกราฟ จะได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับ Count Rate Ratio ซึ่งเรียกว่ากราฟเทียบมาตราฐาน ตัวอย่างแบบฟอร์มบันทึกข้อมูลจะแสดงไว้ในรูปที่ 2.17

การเทียบมาตราฐานเครื่องมือในสนามทำได้โดยการติดตั้งท่อวัดความชื้นในแปลง หลังจากนั้นจึงทำการเก็บตัวอย่างดินแบบคงสภาพ (undisturbed sample) ที่ระดับความลึกต่าง ๆ พร้อมทั้งวัดค่า Count Rate Ratio ไว้ การเก็บตัวอย่างดินจะต้องเก็บรอบ ๆ ท่อวัดความชื้น ประมาณ 6 ตัวอย่างที่แต่ละความลึก คำนวณหาความชื้นในดินที่แท้จริง และความหนาแน่นของดินแห้งโดยนำดินไปอบที่ 105° ซ ประมาณ 24 ชั่วโมง ทำเช่นเดียวกันในดินที่มีความชื้นต่าง ๆ กัน จากแห้งที่สุดและเปียกที่สุดนำค่าที่ได้ไปหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับ Count Rate Ratio โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression)

กราฟเทียบมาตราฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินและ Count Rate Ratio สำหรับ Wallingford Probe จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.18

(5) **การหาค่ามาตราฐาน (Standard Count Rate, Rs)** - การหาค่ามาตราฐานจะทำได้โดยใช้ถังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร บรรจุน้ำเต็ม มีท่อวัดความชื้น ติดตั้งอยู่ตรงกลางถัง หย่อนหัววัดรวจความชื้น ลงไปตรงจุดศูนย์กลางของถัง ค่าที่อ่านได้ คือ ค่ามาตราฐาน

ข้อควรจำทุก ๆ วัน ก่อนที่จะนำเอาเครื่องมือไปใช้ จะต้องหาค่ามาตราฐานเสียก่อนโดยการอ่านค่าเป็นเวลานานประมาณ 8 นาที

(6) **ข้อควรระวังในการใช้** - จะต้องระมัดระวังไม่ให้หัววัดรวจความชื้นเปียกน้ำได้ และเวลานำไปใช้ในสนามควรจะมีร่มกันแดดให้เครื่องมือด้วย เพราะเครื่องวัดเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กโทนิค ถ้าได้รับความร้อนมาก ๆ จะทำให้ค่าที่วัดผิดพลาดได้ง่าย นอกจากนี้สารกัมมันตภาพรังสีอาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้ได้ถ้าขาดความระมัดระวัง

2.6 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยพิจารณาการใช้น้ำของพืช

วิธีนี้เป็นการคำนวณหาความชื้นที่เหลืออยู่ในดินหลังจากการให้น้ำ โดยพิจารณาว่าปริมาณความชื้นที่สูญหายไปจากดินในเขตรากพืชแต่ละวัน คือปริมาณน้ำที่พืชดูดไปใช้ หลังจากทำการหักลบกันแล้วจะรู้ว่าดินมีความชื้นเหลือเท่าใด สมควรจะให้น้ำได้หรือไม่ ถ้าให้จะต้องให้เท่าใด ถ้าหากมีฝนตกหรือมีการให้น้ำชลประทาน ก็ให้เอาปริมาณน้ำฝนและน้ำชลประทานไปบวกความชื้นในดิน แต่ความชื้นในดินหลังจากที่เอาน้ำฝนหรือน้ำชลประทานไปบวกแล้วต้องไม่เกินค่าความชื้นชลประทาน Field Capacity ถ้าเกินให้ถือว่าส่วนที่เกินเป็นการสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ เพื่อให้เกิดความเข้าใจดียิ่งขึ้นพอจะเขียนวิธีการคำนวณเป็นสมการง่าย ๆ ได้ดังนี้

$$\text{ความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน} = \text{ความชื้นของดินเดิม} - \text{ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้} + \text{ปริมาณน้ำชลประทานหรือน้ำฝน} \quad \ldots\ldots\ldots 2.8$$

NEUTRON PROBE CALIBRATION RECORD FORM

SITE :	DEPTH :

Ref.	Weight in grams		1	2	3	4	5	6
a	Dish							
b	Wet core plus dish							
c	Dry core plus dish							
d	Wet core	b-a						
e	Dry core	c-a						
f	Water expelled	d-e						
g	Volume of core							
h	Dry bulk density	e/g						
i	Moisture volume fraction	f/g						

Mean Dry Bulk Density ____ Mean MVF ____

PROBE COUNT RATES

	R	R_w
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
Mean		
R / R_w		

Total Counting Times

Soil (t) sec.

Water Standard (tw) sec.

Calculation of Random Counting Error ($\sigma R/R_w$)

$$\sigma_{R/R_w} = \frac{R}{R_w}\left(\frac{1}{R.t} + \frac{1}{R_w.t_w}\right)^{\frac{1}{2}}$$

PROFILE DESCRIPTION

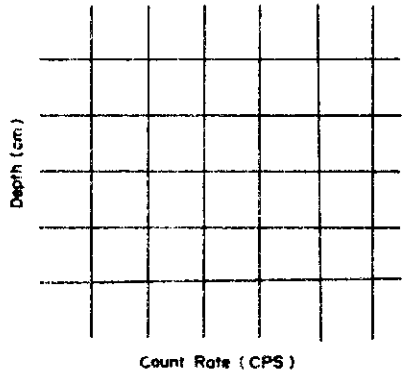
GENERAL INFORMATION

Probe No.	
Meter No.	
Date	
Observer	
Remarks	

DETAILS OF COUNT RATE PROFILE

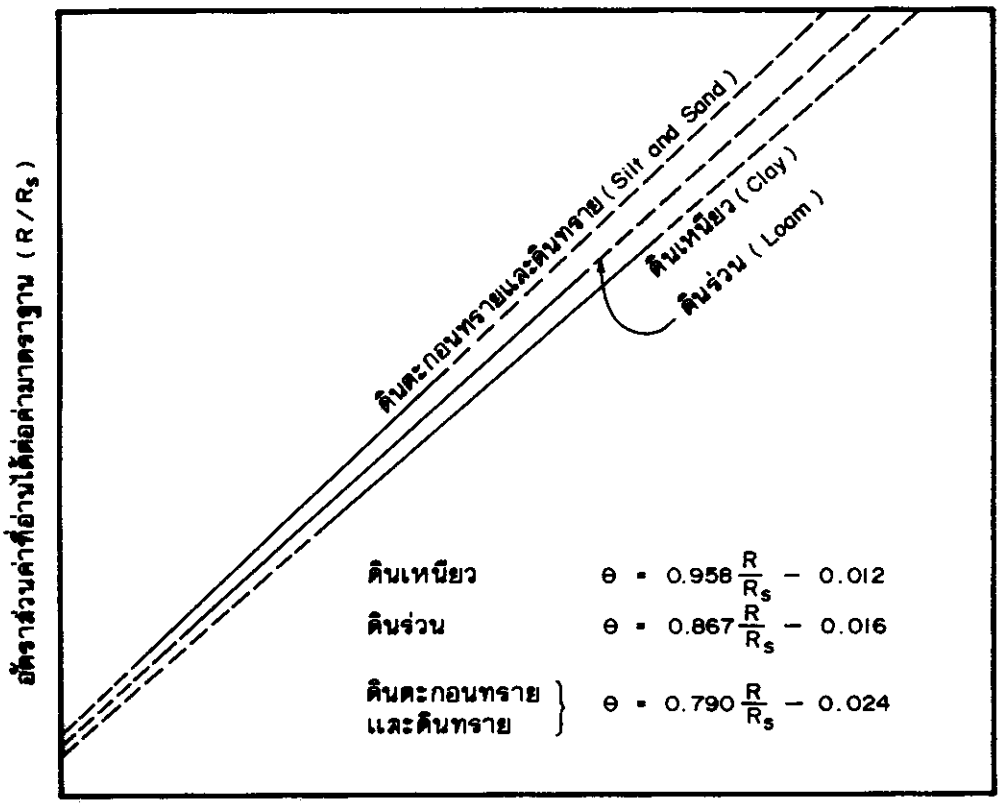
Depth	Count Time	Count Rate

PROFILE GRAPH



Calibration Ref.No.	Cal. Curve No.	Plotting Symbol

รูปที่ 2.17 แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลสำหรับการเทียบมาตราฐานเครื่องมือในสนาม



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างกราฟเทียบมาตราฐานของเครื่องวัดความชื้นแบบวัดการแผ่กระจายของนิวตรอน

สิ่งที่สำคัญในการกำหนดการให้น้ำโดยวิธีนี้ คือ การประเมินค่าความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ในบทนี้จะขอกล่าวถึงวิธีง่าย ๆ คือ การประเมินจากค่าการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหย ซึ่งสามารถจะคำนวนได้การคูณค่าการระเหยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยและสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช ก็จะทราบค่าการใช้น้ำของพืชได้

การกำหนดการให้น้ำด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกมากในทางปฏิบัติ เพราะใช้เพียงถาดวัดการระเหยและเครื่องวัดน้ำฝนเท่านั้น

ตัวอย่างการกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยการใช้ถาดวัดการระเหย จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การกำหนดการให้น้ำโดยใช้ถาดวัดการระเหย พืชที่ปลูก คือ ข้าวโพดหวาน

ความชื้นชลประทานในเขตรากพืช = 80 มม. ความชื้นที่จุดวิกฤต = 40 มม. ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร = 60 มม.

ในวันที่ 30 เมษายน 2524 ก่อนให้น้ำชลประทาน ได้ทำการตรวจวัดความชื้นในดินพบว่ามีค่าเท่ากับ 42 มม. ตลอดเขตราก การให้น้ำชลประทานแต่ละครั้งจะต้องมากพอที่จะเพิ่มความชื้นในดินให้ถึงค่าความชื้นชลประทาน

วัน/เดือน/ปี	ค่าการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ เอ (มม.)	ค่า ส.ป.ส.คูณการระเหยเป็นการใช้น้ำของพืช	ค่าการใช้น้ำของพืช (มม.)	ปริมาณฝน (มม.)	ปริมาณน้ำชลประทาน (มม.)	ความชื้นที่เหลือในดิน (มม.)	หมายเหตุ
30 เม.ย. 24	-	-	-	-	-	42.0	- ความชื้นเดิม
1 มี.ค. 24	5	0.4	2.0	-	40	80.0	- การให้น้ำครั้งที่ 1
2 "	6	0.4	2.4	-	-	77.6	
3 "	7	0.4	2.8	-	-	74.8	
4 "	8	0.4	3.2	-	-	71.6	
5 "	7	0.4	2.8	-	-	68.8	
6 "	8	0.4	3.2	-	-	65.6	
7 "	8	0.4	3.2	-	-	62.4	
8 "	6	0.4	2.4	-	-	60.0	
9 "	7	0.5	3.5	-	20	76.5	- การให้น้ำครั้งที่ 2
10 "	10	0.5	5.0	-	-	71.5	
11 "	9	0.5	4.5	-	-	67.0	
12 "	3	0.5	1.5	25	-	80.0	- น้ำที่สูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ 10.5 มม.

บทที่ 3
ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน
(Intake Characteristics of Soil)

การดูดซึมน้ำของดิน บางครั้งจะเรียกว่า การซึมของน้ำลงไปในดิน (Infiltration) คือ การเคลื่อนที่ของน้ำจากผิวดินเข้าไปในดินตามช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน ตามรอยแตกระแหง (ถ้ามี) ด้วยแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับน้ำของผิวดิน และแรงเนื่องจากความกดดันของน้ำที่ขังอยู่บนผิวดิน ส่วนอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า Intake Rate หรือเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration Rate)

3.1 วัตถุประสงค์ในการหาลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน

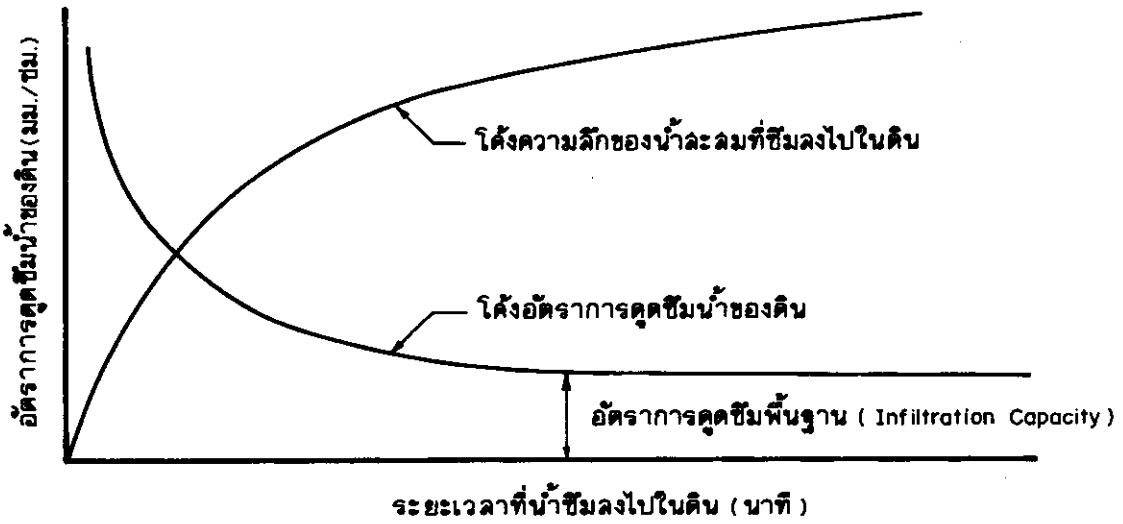
การดูดซึมน้ำของผิวดินเป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งต่อการชลประทานทางผิวดิน ซึ่งได้แก่ การให้น้ำขังเป็นอ่าง การให้น้ำเป็นผืน การให้น้ำแบบร่องคู และการให้น้ำแบบฝนโปรย การรู้ค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดิน (Intake Rate) จะทำให้ทราบว่าถ้าต้องการให้น้ำทางผิวดินเพื่อให้ดินมีความชื้นตามที่ต้องการจะต้องให้น้ำขังอยู่บนผิวดินเป็นระยะเวลานานเท่าใด เช่น ถ้าต้องการให้น้ำเป็นจำนวน 10 เซนติเมตร แก่ดินซึ่งมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 2.5 เซนติเมตรต่อชั่วโมง จะต้องให้น้ำขังอยู่บนผิวดินนานเท่ากับ 4 ชั่วโมง เป็นต้น

นอกจากนี้อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะมีผลต่อการกำหนดขนาดแปลง และอัตราการให้น้ำแก่แปลงด้วย เช่น ถ้าให้น้ำด้วยอัตราคงที่ ขนาดความยาวแปลงในดินที่มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงจะต้องสั้นกว่าความยาวแปลงในดินที่มีอัตราการดูดซึมต่ำ หรือถ้าแปลงเพาะปลูกมีขนาดเท่ากัน อัตราการส่งน้ำเข้าแปลงในดินที่มีอัตราการซึมสูง จะต้องมากกว่า เพื่อให้การให้น้ำมีความสม่ำเสมอดี และลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตราก

3.2 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซึมน้ำของดิน

อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดิน ลักษณะเนื้อดิน สภาพผิวดิน ความชื้นของดินก่อนการให้น้ำ และความลึกของน้ำที่ขังอยู่เหนือผิวดิน ตามปกติแล้วดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายจะมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว ดินชนิดเดียวกันเมื่อแห้งจะมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าเมื่อเปียก ดินที่มีการไถพรวนเป็นประจำจะทำให้โครงสร้างของดินมีลักษณะโปร่งน้ำ น้ำซึมผ่านได้ดีกว่าและถ้าน้ำขังอยู่บนผิวดินลึกกว่าย่อมก่อให้เกิดแรงดันให้น้ำไหลแทรกผ่านช่องว่างระหว่างเมล็ดดินได้มากกว่า

อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะมีค่าสูงในตอนแรกที่เริ่มทำการให้น้ำ แต่เมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งในที่สุดจะมีค่าเกือบคงที่ซึ่งเรียกว่า อัตราการดูดซึมพื้นฐาน (Infiltration Capacity) หรือถ้าพิจารณาความลึกสะสม (Accumulated Depth) ของน้ำที่ซึมลงไปในดิน จะเห็นว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน

3.2 การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดิน

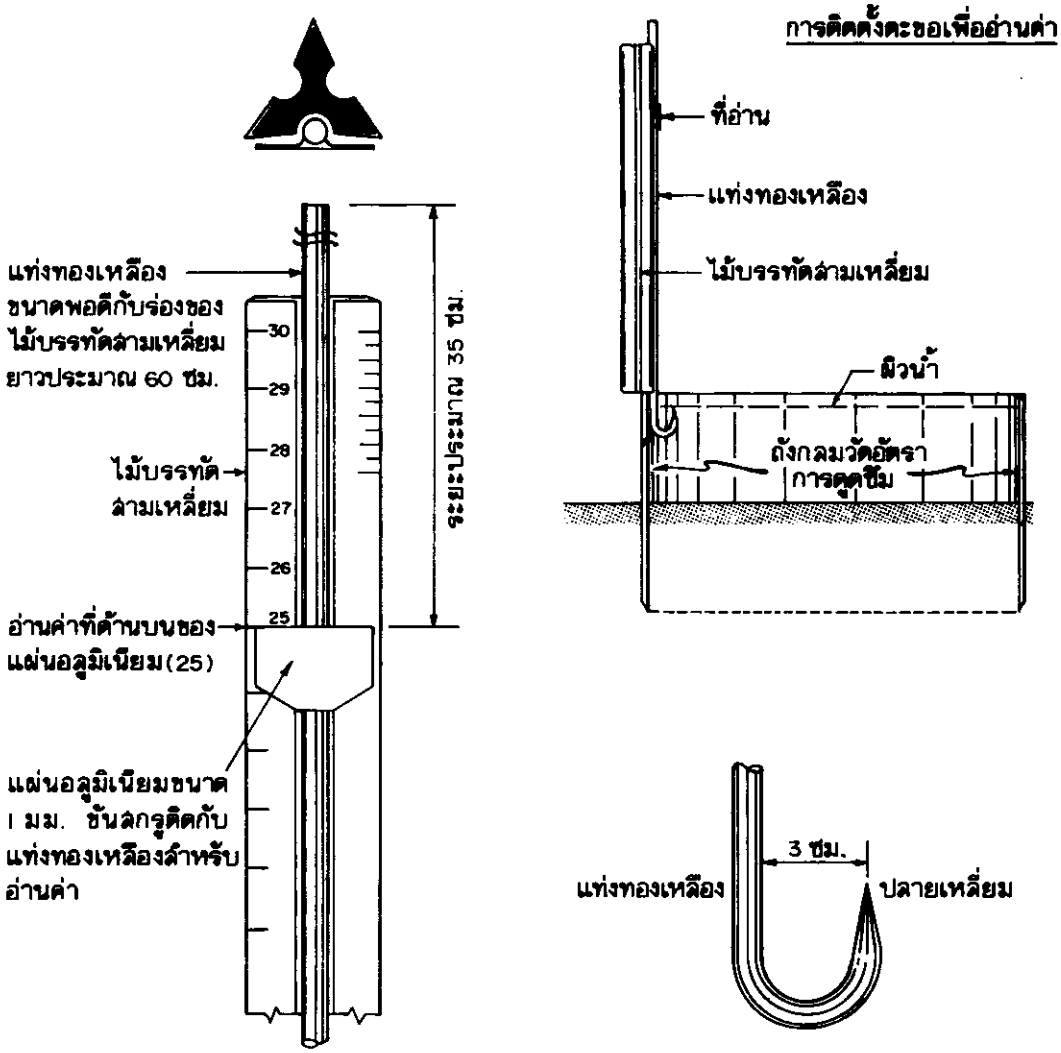
การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของการให้น้ำชลประทาน เช่น ถ้าทำการให้น้ำชลประทานแบบท่วมผิวดิน (Flooding Irrigation) จะต้องใช้วิธีการวัดแบบใช้ถังวัดอัตราการซึม (Infiltrometer) หรือวัดแบบให้น้ำท่วมขังบนผิวดินในแปลง (Ponding) แต่ถ้าทำการให้น้ำชลประทานแบบร่องดูจะต้องวัดโดยวิธีการวัดปริมาณน้ำไหลเข้าและไหลออก (Inflow-Outflow)

3.3.1 การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินโดยใช้ถังกลม

เราอาจวัดหาอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ขณะให้น้ำได้โดยใช้ถังกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 25 เซนติเมตรและสูงไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เปิดหัวและท้ายทั้งสองด้าน การวัดก็ทำโดยกดถังให้จมลงไปในดินประมาณ ๑๐ เซนติเมตร เทน้ำลงไปในถังแล้วจดบันทึกความลึกของน้ำที่หายไปที่ระยะเวลาต่าง ๆ

ขณะที่น้ำซึมลงไปถึงปลายของถังที่กดลงไปในดิน มันจะพยายามไหลซึมออกทางด้านข้าง ซึ่งจะทำให้ อัตราการดูดซึมน้ำของดินมีค่าสูงกว่าที่ควรจะเป็น การไหลซึมออกทางด้านข้างนี้อาจจะป้องกันได้โดยการใช้ถังอีกใบหนึ่งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่ากดลงไปในดินโดยให้ถังใบเล็กอยู่ตรงกลางแล้วเติมน้ำลงในช่องระหว่างถังทั้งสองใบนั้นให้มีระดับน้ำเท่ากับในถังลูกใน ดังรูปที่ 3.2 โดยวิธีนี้ความกดดันของน้ำระหว่างถังทั้งสองจะป้องกันมิให้น้ำในถังใบเล็กซึ่งใช้วัดอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ไหลซึมออกทางด้านข้างซึ่งจะเป็นผลให้ได้ค่าถูกต้องดีขึ้น ในกรณีที่มีถังเพียงลูกเดียวก็อาจใช้ดินกั้นเป็นคันล้อมรอบถังไว้แล้วเติมน้ำในคันดินแบบเดียวกันกับที่มีถังสองลูกก็ได้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าความลึกของน้ำเหนือผิวดินมีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซึมน้ำของดิน เพื่อที่จะให้ข้อมูลที่วัดได้สามารถใช้กำหนดระยะเวลาการให้น้ำได้ด้วย ความลึกของน้ำในถังจึงควรมีขนาดเดียวกันกับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง ๆ ในขณะให้น้ำแก่พืช และขณะที่บันทึกอัตราการดูดซึมน้ำของดิน จะต้องคอย



รายละเอียดตะขอวัดระดับน้ำ

รูปที่ 3.2 การติดตั้งถังวัดการดูดซึมน้ำของดิน

เติมน้ำในถังให้อยู่ที่ระดับเริ่มแรกเสมอ การเติมน้ำควรจะทำเมื่อน้ำในถังหายไปประมาณ 2-3 เซนติเมตร การจดบันทึกจะต้องทำจนกระทั่งค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดินมีค่าเกือบคงที่จึงหยุดและนำเอาข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาอัตราการดูดซึมน้ำของดินต่อไป

ถ้านำเอาความลึกของน้ำสะสม (Accumulated Depth) และเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำท่วมผิวดินมาเขียนลงในกระดาษกราฟ จะได้ความสัมพันธ์ในรูปของ สมการยกกำลัง

$$D = At^B \quad \ldots\ldots 3.1$$

เมื่อ D = ความลึกของน้ำสะสมที่ซึมลงไปในดิน (มิลลิเมตร)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

A และ B = เป็นค่าคงที่ของสมการ

ถ้านำเอาค่า D และ t ไปเขียนลงในกระดาษกราฟ log-log จะได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการเส้นตรง ซึ่งจะสามารถหาค่า A และ B ได้จากคุณสมบัติของกราฟเส้นตรงดังนี้

สมการ 3.1 นี้อาจเขียนใหม่ ได้เป็น

$$\log D = \log A + B \log \quad \ldots\ldots 3.2$$

ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

$$Y = mX + c \quad \ldots\ldots 3.3$$

ในสมการ (3.3) นี้ X และ Y เป็นค่าทางแกนราบและแกนตั้ง m เป็นความลาดเท (slope) ของเส้นซึ่งมีค่าเท่ากับ $\triangle y/\triangle x$ และ c เป็นค่าคงที่ซึ่งเท่ากับระยะทางจากจุดกำเนิด (origin) ถึงจุดตัดระหว่างเส้นกับแกน Y

จากคุณสมบัติดังกล่าวนี้ถ้าเราให้ D เป็นค่าทางแกนตั้ง และ t เป็นค่าทางแกนราบ เราอาจคำนวณหาค่าของ A และ B ได้จากกราฟที่เขียนบนกระดาษ log-log โดย

B = ความลาดเทของเส้นและมีค่าเท่ากับระยะทาง (linear scale) ในแนวตั้งหารด้วยระยะทางในแนวราบระหว่างจุดสองจุดบนเส้น โดยปกติแล้ว จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1

A = ระยะทางจากจุดกำเนิด (Origin) ถึงจุดที่เส้นตัดกับแกนตั้ง ในที่นี้จะมีค่าเท่ากับความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินสะสมที่เวลา $t = 1$ นาที

จากสมการความลึกของน้ำสะสมที่ซึมลงไปในดิน จะสามารถเปลี่ยนเป็นสมการดูดซึมน้ำของดินได้โดย

$$I = \frac{d(D)}{dt}$$

$$= \frac{d(At^B)}{dt}$$

$$= A.Bt^{B-1} \quad \ldots\ldots 3.4$$

เมื่อ I = อัตราการดูดซึมน้ำของดิน (มิลลิเมตร/นาที)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

ตามปกติแล้วมักจะใช้ค่า I มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมงจึงอาจเขียนสมการ (3.4) ใหม่ให้อยู่ในรูปง่าย ๆ ได้ดังนี้

$$I = kt^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 3.5$$

เมื่อ I = อัตราการดูดซึมน้ำของดิน (มม./ชั่วโมง)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

k = เป็นระยะจากจุดกำเนิดถึงจุดที่กราฟตัดแกนตั้ง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $60\ A.B$

n = ความลาดเทของกราฟ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ B-1

ตัวอย่างที่ 3.1 จากการทดลองหาอัตราการดูดซึมน้ำของดินในดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ได้ผลดังตาราง จงหาสมการอัตราการดูดซึมน้ำของดิน และการดูดซึมสะสม

ก. ถ้าต้องการจะให้น้ำแก่พืช 80 มม. จะต้องให้น้ำนานเท่าใด

ข. จงหา อัตราการดูดซึมน้ำของดิน หลังจากให้น้ำแล้ว 20 นาที และ 2 ชั่วโมง

ข้อมูลอัตราการดูดซึมน้ำของดินที่วัดจากถังกลม

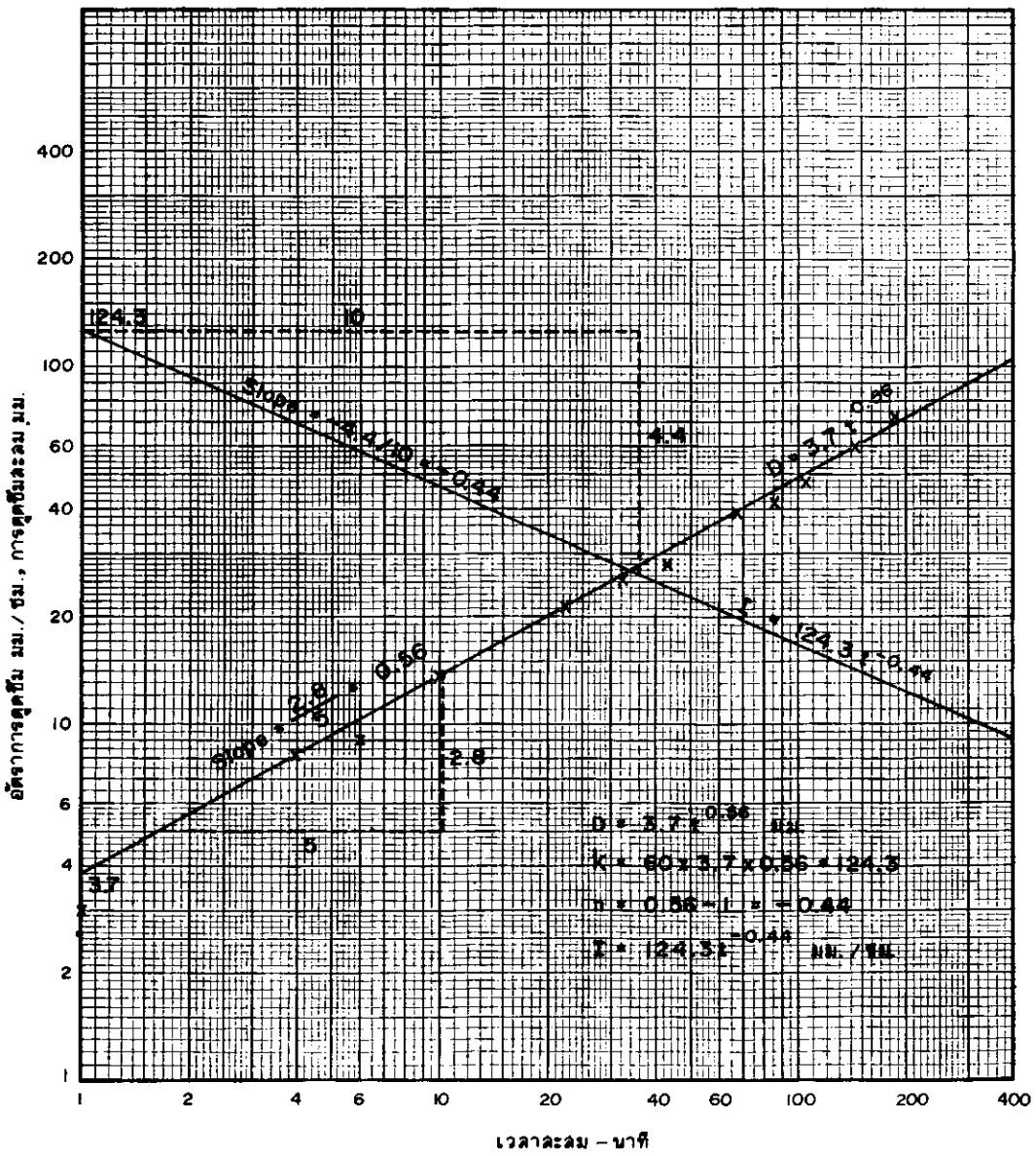
ดิน : ดินร่วนปนทราย

ความชื้นในดิน : 10% โดยน้ำหนักของดินแห้ง

เวลา (นาที)			การดูดซึมน้ำของดิน (มม.)		
เวลา...น.	เวลาต่าง	เวลาสะสม	ความลึก*	ความลึกต่าง	ความลึกสะสม
10:55	1	0	63	3	0
56	3	1	66	5	3
59	2	4	71	1	8
11:01	4	6	72	4	9
05	12	10	76	8	13
17	9	22	84	4	21
26	12	31	88	3	25
38	25	43	91	11	28
12:03	18	68	102	2	39
21	18	86	104	6	41
39	41	104	110	12	47
1:20	38	145	122	13	59
58		183	135		72

* วัดจากปากถังถึงผิวน้ำ

นำเอาค่าความลึกสะสม (D) และเวลาสะสม (t) ไปพล็อตลงในกระดาษ log-log จะได้กราฟการดูดซึมสะสมเป็นกราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึม ความลึกสะสมกับเวลา

จากกราฟการดูดซึมสะสม ระยะทางจากจุดกำเนิด ถึงจุดตัดที่แกนตั้งเท่ากับ 3.7 และ Slope ของเส้นเท่ากับ 0.56 ดังนั้นสมการของการดูดซึมสะสม (Accumulated Depth) คือ

$$D = 3.7\ t^{0.56}$$

โดย D มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และ t มีหน่วยเป็นนาที จากสมการนี้เราสามารถหาสมการอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ที่เวลาใดหลังจากให้น้ำได้ ดังนี้

$$K = 60.A.B$$

$$= 60 \times 3.7 \times 0.56 = 124.3$$

$$n = B - 1$$

$$= 0.56 - 1 = -0.44$$

$$I = 124.3\ t^{-0.44} \quad \text{มม./ชม.}$$

เพื่อความสะดวกในการหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ที่ระยะเวลาต่าง ๆ ควรจะเขียนกราฟของสมการข้างบนลงในกระดาษ log-log โดยเริ่มจากจุดที่แกนตั้ง (I) มีค่าเท่ากับ 124.3 จากนั้นเขียนเส้นตรง ซึ่งมีความลาดเทเท่ากับ -0.44 ซึ่งทำได้โดยลากเส้นในแนวราบให้ยาว 10 หน่วย แล้วลากเส้นในแนวดิ่งจากปลายของเส้นเดิมแต่อยู่ต่ำกว่า 4.4 หน่วย เมื่อลากเส้นต่อระหว่างจุดปลายของเส้นนี้กับจุดบนแกนตั้งที่มีค่า 124.3 ก็จะได้กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของดินตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ก. การหาว่าจะต้องให้น้ำแก่พืชนานเท่าใดนั้น อาจทำได้ 2 วิธีคือ โดยการอ่านจากกราฟ หรือแทนค่าลงในสมการที่หามาได้

จากกราฟการดูดซึมสะสมที่ D มีค่าเท่ากับ 80 มม. จะได้ว่า t มีค่าเท่ากับ 245 นาที หรือถ้าต้องการให้น้ำแก่พืช 80 มม. จะต้องให้น้ำขังอยู่บนผิวดินนาน 245 นาที เวลาที่ใช้ในการให้น้ำนี้อาจคำนวณได้โดยแทนค่า D ลงในสมการที่หาได้คือ

$$D = 3.7\ t^{0.56}$$

$$80 = 3.7\ t^{0.56}$$

$$t = \left(\frac{80}{3.7}\right)^{\frac{1}{0.56}}$$

$$= 242 \text{ นาที}$$

ข. ค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินหลังจากให้น้ำแล้ว 20 นาที และ 2 ชั่วโมง เมื่ออ่านจากกราฟจะได้

$$I_{20} = 34 \quad \text{มม./ชม.}$$

$$I_{120} = 15 \quad \text{มม./ชม.}$$

ค่าเหล่านี้อาจจะคำนวณจากสมการที่หาได้คือ

$$I = 124.3\ t^{-0.44}$$

$$I_{20} = 124.3\ (20)^{-0.44}$$

$$= 33.3 \quad \text{มม./ชม.}$$

และ $I_{120} = 124.3\ (120)^{-0.44}$

$$= 15.1 \quad \text{มม./ชม.}$$

วิธีการวัดการดูดซึมน้ำของดินที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะใช้เครื่องมือง่าย ๆ และวิธีการก็ง่าย แต่ยังมีวิธีการวัดอีกสองแบบซึ่งยังนิยมใช้กันอยู่และสมควรจะทราบ คือ

3.3.2 การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินโดยขังน้ำบนผิวดิน (Ponding)

วิธีนี้คล้ายคลึงกับวิธีแรกในข้อที่ว่า ขังน้ำบนผิวดินแล้ววัดเวลาและอัตราการดูดซึมน้ำของดินแตกต่างกันแต่เพียงขนาดหรือปริมาณน้ำที่ขัง วิธีนี้ต้องทำทำนบดินกั้นเป็นบ่อรูปสี่เหลี่ยมหรือวงกลมก็ได้ ดินที่ทำทำนบต้องไม่ขุดจากผิวดินในบ่อที่จะวัดอัตราการดูดซึม ขนาดใหญ่หรือเล็กขึ้นกับปริมาณของน้ำที่จะหามาใส่ในบ่อได้ ถ้าสามารถหาน้ำได้ก็ควรจะทำบ่อกว้าง ๆ เพื่อจะได้วัดอัตราการดูดซึมบนหน้าดินที่กว้างทั้งนี้เพราะโดยทั่ว ๆ ไปแล้วดินในที่แปลงเดียวกันอาจจะมีคุณสมบัติต่างกันได้มาก เมื่อใช้ถังกลมวัดอาจไปวัดตรงจุดที่มีคุณสมบัติพิเศษต่างกับจุดอื่น ๆ ได้ และนี่ก็เป็นเหตุผลหนึ่งที่เวลาใช้ถังกลมจะต้องวัดอย่างน้อย 3 จุด เพื่อขจัดปัญหาความแตกต่างของดินในจุดที่วัด

3.3.3 การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินโดยการวัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและไหลออก (Inflow-Outflow)

ในสองวิธีที่กล่าวข้างต้นเป็นการวัด เมื่อทิศทางการไหลซึมของน้ำอยู่ในแนวดิ่ง ซึ่งเป็นลักษณะของการให้น้ำแบบท่วมผิวดิน แต่ในการให้น้ำทางร่องคู (Furrow Irrigation) ลักษณะการดูดซึมจะแตกต่างออกไป กล่าวคือทิศทางที่น้ำไหลซึมเข้าไปในร่องคูจะมีทั้งในแนวดิ่งและในแนวราบ ดังนั้น ถ้าจะใช้วิธีวัดโดยถังกลมหรือโดยขังน้ำบนผิวดินกับการให้น้ำทางร่องคูจึงไม่ถูกต้อง วิธีที่ใช้กันคือ วัดความแตกต่างระหว่างอัตราที่น้ำไหลเข้าและออกจากช่วงความยาวของร่องช่วงหนึ่ง ค่าที่วัดได้นี้ก็คืออัตราที่น้ำซึมในร่องคูนั่นเอง

วิธีวัดทำโดยติดตั้งอาคารวัดน้ำขนาดเล็กไว้ที่หัวร่อง และที่จุดซึ่งอยู่ห่างออกไปทางท้ายร่องประมาณ 25-50 เมตร เริ่มวัดอัตราที่น้ำไหลเข้าเมื่อน้ำไหลมาถึงจุดกึ่งกลางระหว่างอาคารวัดน้ำทั้งสองและวัดครั้งต่อไปเมื่อน้ำไหลผ่านอาคารวัดน้ำอันหลังออกไปเล็กน้อย จากนั้นก็วัดต่อ ๆ ไปทุก 3-5 นาที หรือมากกว่าจนกว่าจะได้ข้อมูลมากพอ การวัดทุกครั้งจะต้องวัดพร้อมกันทั้งสองแห่ง

เนื่องจากว่าอัตราที่น้ำไหลผ่านนิยมบอกเป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลา อัตราการซึมในร่องคูที่วัดได้จึงบอกเป็น ปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อความยาวของร่องระหว่างอาคารวัดน้ำ เช่น ลิตร/วินาที/25 เมตร หรือแกลลอน/นาที/100 ฟุตเป็นต้น หน่วยดังกล่าวนี้สามารถแปลงให้เป็น มม./ชม. หรือ นิ้ว/ชม. ได้โดยถือว่าพื้นที่รับน้ำในร่องเท่ากับระยะทางระหว่างอาคารวัดน้ำคูณด้วยระยะทางระหว่างร่อง (Furrow Spacing)

3.4 การวัดความนำชลศาสตร์

ความนำชลศาสตร์ของดิน (Hydraulic Conductivity, K) เป็นข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต้องใช้ในการออกแบบระบบระบายน้ำใต้ดิน ทั้งนี้ไม่ว่าระบบระบายน้ำนั้นจะเป็นแบบสกัดกั้นไม่ให้น้ำไหลเข้ามาในพื้นที่ (Interception Drain) หรือการลดระดับน้ำใต้ดินในทุ่งราบ (Relief Drain)

การหาค่าความนำชลศาสตร์หรือค่า K ของชั้นดินอาจทำได้หลายวิธี เช่น เก็บตัวอย่างดินโดยใช้ปลอกเหล็กแล้วนำไปทดลองวัดในห้องปฏิบัติการหรืออาจทำการวัดโดยตรงในสนาม วิธีที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นวิธีวัดค่าความนำทางชลศาสตร์ของดินใต้ระดับน้ำใต้ดินโดยตรงในสนามแบบหนึ่งที่เรียกว่า

วิธีหลุมเจาะ (Auger Hole Method) ซึ่งทำการวัดโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในหลุมที่เจาะโดยใช้สว่านเจาะดิน (Auger) วิธีนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างง่าย ไม่ต้องการเครื่องมือมากและอาจทำไปพร้อม ๆ กับการเจาะสำรวจดินได้ แต่เป็นวิธีที่เหมาะกับดินที่มีคุณสมบัติสม่ำเสมอตลอดความลึกเท่านั้น

การวัดความนำชลศาสตร์โดยวิธีนี้ประกอบด้วยการขุดเจาะดินในสนาม บันทึกข้อมูลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในหลุมเจาะ และการคำนวณหาค่าความนำชลศาสตร์ โดยมีขั้นตอนดังนี้ คือ

(1) ใช้สว่านเจาะดินให้เป็นหลุมในแนวดิ่งลึกลงไปกว่าระดับน้ำใต้ดินระหว่าง 5 ถึง 10 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุม หลุมนี้จะต้องมีขนาดสม่ำเสมอและอยู่ในแนวดิ่ง

(2) สูบหรือตักน้ำออกจากหลุมหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้น้ำดันน้ำโคลนที่เคลือบอยู่ตามผนังของหลุมเจาะออกหมด เสร็จแล้วปล่อยให้น้ำในหลุมคืนสู่ระดับปกติ คือ เท่ากับระดับน้ำใต้ดิน

(3) เมื่อน้ำในหลุมคืนสู่ระดับปกติแล้วก็เริ่มทำการทดสอบโดยสูบหรือตักน้ำออกจากหลุมอีกครั้ง การสูบน้ำจากหลุมเพื่อลดระดับน้ำลงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความมั่นคงแข็งแรงของผนังหลุม ในกรณีที่ดินในหลุมพังทลายลงมาได้ง่ายก็อาจจะลดระดับลงมาเพียงเล็กน้อย หรือถ้าจำเป็นก็อาจจะใช้ตะแกรงมุ้งลวดทำเป็นปลอกป้องกันไว้

(4) บันทึกระดับน้ำในหลุมหลังจากสิ้นสุดการสูบน้ำ และบันทึกระดับน้ำหลังจากนั้นที่ระยะเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาคำนวณความแตกต่างระหว่างระดับน้ำใต้ดินกับระดับน้ำในหลุม (Residual Drawdown) นำค่านี้มาเขียนกราฟร่วมกับเวลานับจากการวัดระดับน้ำครั้งแรกหลังสิ้นสุดการสูบน้ำ โดยให้แกนตั้งเป็น Residual Drawdown และแกนราบเป็นเวลา

(5) เลือกช่วงของกราฟที่เป็นแนวเส้นตรงโดยให้ h = ช่วงของ Residual Drawdown ที่กราฟเป็นเส้นตรง และ t = ช่วงเวลาที่ตรงกันกับ h

(6) นำค่า h และ t ที่เลือกได้มาคำนวณความนำชลศาสตร์ของดินโดยใช้สมการของ Kirkham คือ

$$K = 37 \frac{r}{Sd} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3.6$$

K = ความนำชลศาสตร์ของดินเป็น ซม./ชม.

r = รัศมีของหลุมเจาะ เป็น ซม.

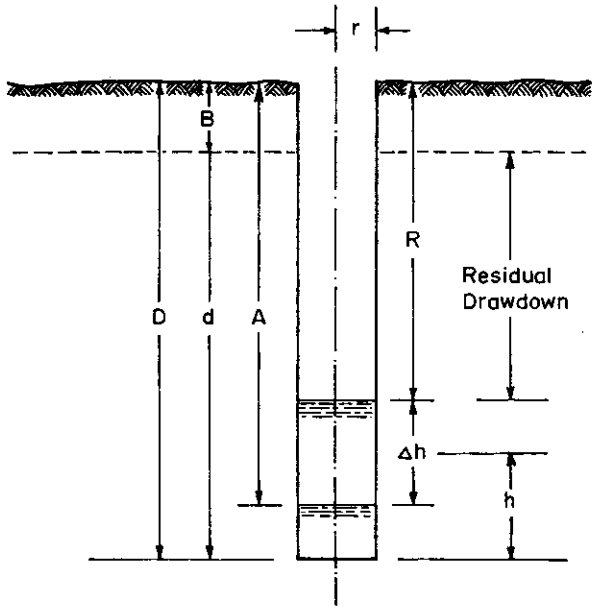
S = ค่าของฟังก์ชั่นซึ่งอ่านได้จากรูปที่ 3.4

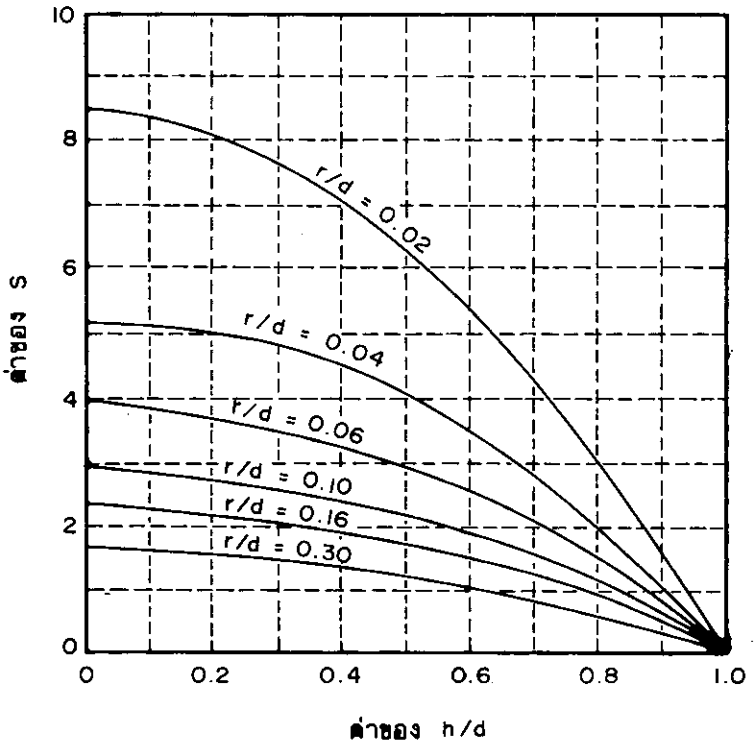
d = ความลึกของหลุมจากระดับน้ำใต้ดิน

h = การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในหลุมเป็นเซนติเมตร โดยใช้เวลา t วินาที ค่า h และ t ที่ใช้เลือกมาจากช่วงที่กราฟของ Residual Drawdown กับเวลาเป็นเส้นตรง

h = ความลึกเฉลี่ยของน้ำในหลุมขณะที่ทำการวัด

= (D - A + h/2)


r
B
D
d
A
R
Residual
Drawdown
Δh
h


10
8
6
4
2
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
ค่าของ S
ค่าของ h/d
r/d = 0.02
r/d = 0.04
r/d = 0.06
r/d = 0.10
r/d = 0.16
r/d = 0.30

รูปที่ 3.4 ค่า S

ตัวอย่างที่ 3.2 ในการทดสอบหาความนำชลศาสตร์ โดยใช้สว่านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร เจาะลึก 3.0 เมตร ได้ผลดังตารางที่แนบ จงหาค่าความนำชลศาสตร์ของดิน กำหนดให้ระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดิน 60 เซนติเมตร ระดับน้ำในหลุมเมื่อเริ่มทำการวัดเท่ากับ 2.40 เมตรจากผิวดิน

(1) จากตารางในแบบฟอร์มที่แนบ คำนวณระยะเวลานับจากเริ่มทำการวัดและ Residual Drawdown (R - B) จากนั้นนำค่าทั้งสองมาเขียนกราฟในตอนล่างของแบบฟอร์ม

(2) เลือก h และ t ในช่วงที่กราฟเป็นเส้นตรงจะได้

h = 139 ซม. t = 3 นาที

(3) คำนวณหา $\frac{r}{d}$ = 5/240 = 0.021

$$\frac{h}{d} = (D - A + h/2)/d$$

$$= (300 - 240 + 139/2)\ 240 = 0.54$$

(4) จากค่า $\frac{r}{d}$ = 0.021 ; $\frac{h}{d}$ = 0.54 อ่านกราฟค่า S ได้เท่ากับ 6.0

(5) แทนค่าสมการ

$$K = 37 \times \frac{r}{S.d} \times \frac{\Delta h}{\Delta t} \text{ ซม./ซม.}$$

$$= 37 \times \frac{5}{6 \times 240} \times \frac{139}{3} = 5.95 \text{ ซม./ซม.}$$

ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน = 5.95 ซม./ซม.

การทดสอบค่าความนำชลศาสตร์ โดยวิธีหลุมเจาะ (Auger Hole)

หลุมเจาะ A6

ค่า K ประเมิน _____ ค่า K ที่คำนวณได้ 5.95 ซม./ซม.

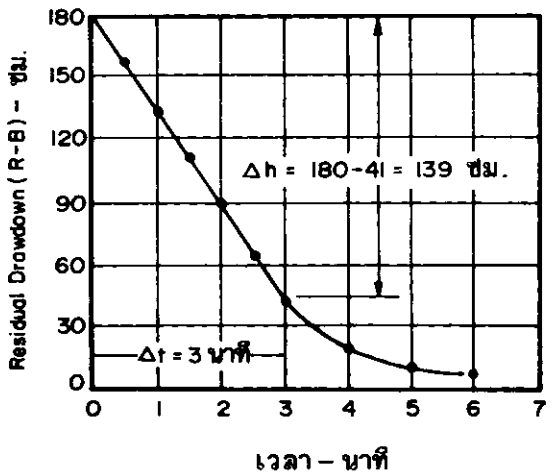
บริเวณที่ทดสอบ _____ วันที่ 20/3/81 ผู้ทำการทดสอบ _____

เส้นผ่าศูนย์กลางหลุมเจาะ 10 ซม. ความลึกหลุมเจาะ 3.0 m

การพังทะลายของผนังหลุมเจาะ เล็กน้อย จำนวนครั้งที่สูบน้ำออก 2

pH (ดิน — น้ำ —) ความเค็ม (ดิน — น้ำ —)

เวลา..น.	เวลาสะสม	△t	ระยะจากผิวน้ำถึงปากหลุมเจาะ			△h	ความต่างของระดับน้ำในบ่อจากระดับใต้ดิน
			ก่อนสูบน้ำ	หลังสูบน้ำ	ช่วงที่น้ำซึมเข้าบ่อ		
			B	A	R	A – R	R – B
	นาที	นาที	ซม.	ซม.	ซม.	ซม.	ซม.
			60				
10:030	0			240			180
:035	0.5				218		158
:040	1.0				195		135
:045	1.5				170		110
:050	2.0				146		86
:055	2.5				124		64
:060	3.0	3.0			101		41
:065	3.5				86		26
:070	4.0				79		19
:080	5.0				71		11
:090	6.0				68		8



หมายเหตุ

△h = 139 ซม.

△t = 3 นาที

บทที่ 4
การใช้น้ำของพืช
(Consumptive Use of Water)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบระบบการชลประทานและโครงการชลประทานจำเป็นจะต้องทราบ เพราะปริมาณการใช้น้ำของพืชนี้จะเข้ามาเกี่ยวข้องกับปริมาณและความถี่ในการให้น้ำ การออกแบบขนาดของอาคารชลประทาน การจัดหาน้ำมาให้กับโครงการชลประทาน ตลอดจนการศึกษาว่าโครงการชลประทานนั้นจะให้ผลคุ้มค่าหรือไม่ด้วย

ปริมาณการใช้น้ำของพืช ที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า Consumptive Use หรือ Evapotranspiration เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบขึ้นด้วยส่วนใหญ่ ๆ สองส่วนด้วยกัน คือ

1. ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศ
2. ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืชจากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการชลประทาน

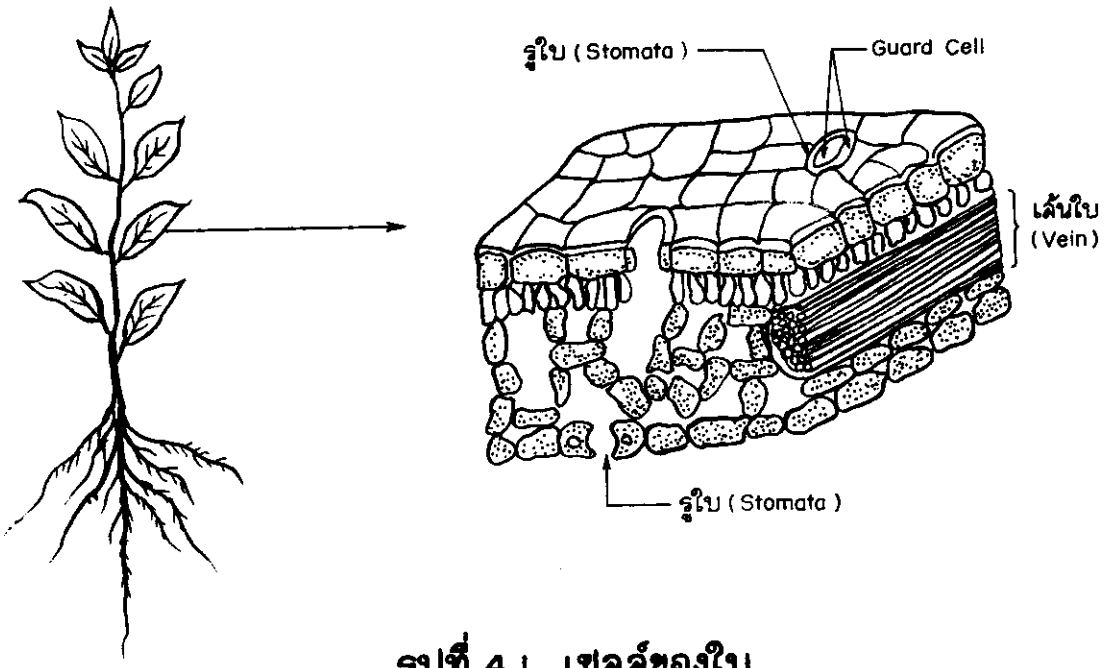
4.1 การคายน้ำ (Transpiration)

การคายน้ำคือขบวนการที่น้ำซึ่งพืชดูดไปจากดินไหลผ่านลำต้นไปสู่ใบ และสูญเสียไปในบรรยากาศในรูปของไอน้ำทางรูใบ

ถ้าพิจารณาดูเซลล์ที่ใบของพืชจะเห็นว่า เซลล์บางเซลล์จะติดอยู่กับใบซึ่งเป็นท่อนำน้ำมาสู่ใบ เมื่อมีการสูญเสียน้ำจากใบ เซลล์ของใบก็จะเหี่ยวซึ่งเป็นผลให้มีแรงดูดน้ำจากเส้นใบมากขึ้น น้ำก็ต้องไหลจากลำต้นไปสู่ใบเพิ่มขึ้น และรากพืชก็จะต้องดูดน้ำจากดินเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าดินมีความชื้นอย่างพอเพียงอยู่ตลอดเวลา อัตราที่พืชดูดน้ำจากดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำ (Transpiration rate) ในทางตรงกันข้าม ถ้าความชื้นในดินลดลงจนไม่พอเพียงกับความต้องการของพืช อัตราการคายน้ำก็จะขึ้นอยู่กับอัตราที่พืชดูดได้จากดิน

โดยแท้จริงแล้ว การคายน้ำเป็นการระเหย (Evaporation) ของน้ำในช่องอากาศระหว่างเซลล์ของใบ และแพร่กระจาย (Diffuse) ออกจากรูใบสู่บรรยากาศ ในช่องอากาศในใบนั้นจะมีไอน้ำอยู่เกือบอิ่มตัว การคายน้ำของพืชจึงขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอน้ำในใบกับบริเวณรอบ ๆ ใบ ดังนั้นถ้าอากาศยิ่งแห้งหรือยิ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมากเท่าใดพืชก็ยิ่งมีการคายน้ำมากขึ้นเท่านั้น

เมื่อใบของพืชได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะทำให้ใบมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศที่อยู่รอบ ๆ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองแห่งนี้อาจจะมากถึง 3-6 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น มันจะมีความชื้นที่จุดอิ่มตัวได้มากขึ้น ดังนั้นใบพืชซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความเข้มข้นของไอน้ำในช่องอากาศในใบมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของไอน้ำจากรูใบสูงขึ้นและพืชจะมีการคายน้ำเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.1 เซลล์ของใบ

พืชเกือบทุกชนิดจะมีการคายน้ำส่วนใหญ่ในระยะเวลาที่มีแสงแดดในตอนกลางวัน (พืชบางชนิด เช่น สับปะรด มีการคายน้ำในตอนกลางคืน) และอีกประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซนต์จะเกิดขึ้นในตอนกลางคืน อัตราการคายน้ำจะมีค่าน้อยที่สุดตอนก่อนพระอาทิตย์ขึ้น และมีค่าสูงสุดตอนก่อนเที่ยงเล็กน้อย

การคายน้ำของพืชจะทำให้ไอน้ำในอากาศรอบ ๆ ต้นพืชมีความเข้มข้นสูงขึ้น และเป็นผลให้อัตราการคายน้ำลดลง แต่ถ้าหากมีลมมาพัดพาไอน้ำที่สะสมกันอยู่รอบ ๆ ต้นพืชนั้นไปเสีย อัตราการคายน้ำก็จะเพิ่มขึ้นตามเดิม

พืชจะมีการคายน้ำได้ก็ต่อเมื่อมันมีน้ำใช้อยู่ตลอดเวลา ถ้าหากความชื้นในดินลดลงหรืออัตราการคายน้ำสูงกว่าอัตราที่พืชดูดได้จากดิน พืชก็จะเหี่ยว รูใบจะปิด และการคายน้ำก็จะลดลงหรือหยุดคายน้ำ ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการป้องกันไม่ให้พืชต้องได้รับความเสียหายมาก หรือทำให้ความเสียหายนั้นลดความรุนแรงลง เพราะการที่พืชไม่มีการคายน้ำจะทำให้เซลล์เหี่ยวและลดการสังเคราะห์แสงลง เนื่องจากการถ่ายเทอากาศกับบรรยากาศลดลง ซึ่งจะเป็นผลให้การเจริญเติบโตของพืชต้องหยุดชะงักลงด้วย

ถึงแม้ว่าการคายน้ำของพืชที่มากเกินไปจนกระทั่งทำให้เกิดการเหี่ยวเฉาขึ้นนั้น เป็นอันตรายต่อพืชและทำให้ผลผลิตลดลง แต่เนื่องจากว่า อัตราการคายน้ำของพืชขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิ แสงแดด และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ความเร็วของลม และความชื้นของบรรยากาศ ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ในทางปฏิบัติแล้ว จึงมีทางป้องกันมิให้เกิดความเสียหายแก่พืชได้โดยพยายามจัดให้พืชนั้นมีน้ำใช้อย่างพอเพียงตลอดเวลา และทำให้ดินมีคุณสมบัติที่จะทำให้รากพืชสามารถแผ่กระจายออกไปได้อย่างกว้างขวางและลึกซึ่งจะทำให้พืชสามารถดูดน้ำไปใช้ได้อย่างพอเพียงอยู่เสมอ

4.2 การระเหย (Evaporation)

การระเหยเป็นการแพร่กระจาย (Diffusion) ของน้ำในรูปของไอน้ำจากผิวน้ำสู่บรรยากาศ อัตราการระเหยนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวที่มีการระเหย ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ลม แสงแดด และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่นความเร็วของลม และความกดดันของบรรยากาศ ในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช การระเหยนี้จะรวมทั้งปริมาณที่ระเหยไปจากผิวดินหรือผิวน้ำโดยตรง และปริมาณที่ระเหยไปจากน้ำซึ่งเกาะอยู่ตามใบและลำต้นพืชด้วย

นอกเหนือจากพลังงานแสงแดด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมแล้ว การระเหยของน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอย่างอื่นด้วยกัน เช่น วิธีการให้น้ำ ดิน พืชที่ปลูก และวิธีการเพาะปลูก เป็นต้น

การให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่ให้บ่อยครั้งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยมากขึ้น ถ้าหากให้น้ำแก่พืชในปริมาณเท่ากันแต่ให้น้อยครั้งลงจะช่วยลดการระเหยได้มาก เพราะผิวดินมีการเปียกน้อยครั้งและน้ำซึมลงไปเก็บไว้ในดินได้ลึกกว่า ซึ่งเป็นผลให้น้ำที่ให้ถูกพืชดูดไปใช้ได้มากกว่า การให้น้ำแก่พืชโดยวิธีให้น้ำท่วมผิวดิน จะมีน้ำเป็นปริมาณมากสูญเสียไปโดยการระเหยจากผิวดินและผิวน้ำโดยตรง นอกจากนั้น ผิวดินหรือผิวน้ำที่มีการระเหยยังกว้างขวางกว่าการให้น้ำเปียกผิวดินเพียงบางส่วน เช่น แบบร่องคู เป็นต้น การให้น้ำแบบฉีดฝอย ซึ่งมีระยะเวลาการให้น้ำยาวนาน จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยมากกว่าแบบอื่น อย่างไรก็ตาม การระเหยจากผิวดินผิวน้ำ และจากที่เกาะอยู่ตามใบและต้นพืชนั้น มิใช่ว่าจะไม่เป็นประโยชน์แก่พืชเสียเลยทีเดียว เพราะว่าการระเหยของน้ำดังกล่าวนี้จะต้องใช้พลังงานความร้อนเหมือนกัน ซึ่งถ้าหากพลังงานเหล่านี้มิได้ถูกใช้ไปในการระเหยแล้ว มันก็จะถูกใช้ไปในการทำให้พืชต้องคายน้ำออกมาในปริมาณใกล้เคียงกับที่ระเหยจากผิวดิน นอกจากว่าต้นพืชนั้นยังเล็กอยู่และมีการคายน้ำไม่มากนัก ในกรณีนี้การระเหยจากผิวดินจะมากกว่าที่พืชคายออกทางใบ ในพื้นที่ที่ปลูกพืชต้นชิดกัน เช่น พวกข้าวต่าง ๆ และหญ้าเลี้ยงสัตว์ การระเหยจากผิวดินจะลดลง ทั้งนี้เพราะว่านอกจากพืชจะใช้ความชื้นในดินไปในการคายน้ำเป็นจำนวนมากแล้ว ใบของพืชยังปกคลุมมิให้แดดส่องไปถึงผิวดิน และความหนาแน่นของต้นพืชจะช่วยป้องกันมิให้ลมพัดพาเอาอากาศรอบ ๆ ต้นพืช ซึ่งมีไอน้ำมากไปจากพื้นที่เพาะปลูกอย่างรวดเร็วอีกด้วย

การระเหยของน้ำจากผิวดินจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินด้วย ดินที่มีการไหลซึมของความชื้น (Capillary Movement) สูง จะมีการระเหยจากผิวดินมาก ในทางตรงกันข้าม ดินที่มีเนื้อหยาบซึ่งมีการไหลซึมของความชื้นได้ช้ากว่าจะมีการระเหยจากผิวดินได้น้อย การระเหยจากผิวดินนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินแล้วยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอย่างอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นของอากาศ เป็นต้น

หลังจากให้น้ำแก่พืช การระเหยจากผิวดินจะมีค่าสูงตราบเท่าที่ดินในชั้นบนยังเปียกมากอยู่ อัตราการระเหยจากผิวดินที่เปียกจะมีค่าประมาณเท่ากับที่ระเหยจากผิวน้ำโดยตรง เมื่อความชื้นของดินชั้นบนลดลงอัตราการระเหยจากผิวดินจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดินที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง อัตราการระเหยของน้ำจากผิวดินจะมากเกือบเท่า ๆ กับที่ระเหยจากผิวน้ำ แต่ถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำ อัตราการระเหยจากผิวดินเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินจะลดลงมาก และจะเท่ากับอัตราการไหลซึมของความชื้นจากระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาสู่ผิวดิน

การระเหยจากผิวดินระหว่างที่ไม่มีการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับการไถพรวนดิน การคลุมดิน สภาพ

ของดินฟ้าอากาศ ชนิดของพืช ระยะการเจริญเติบโตของพืช วิธีการให้น้ำ และความลึกของน้ำที่ให้แต่ละครั้ง ในขณะที่พืชเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ พืชก็จะให้ร่มเงาแก่ดินได้มากขึ้น การระเหยจากผิวดินก็จะค่อย ๆ ลดลง

4.3 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการวัด

การวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยตรงนั้นอาจทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีมีทั้งข้อดีและข้อเสียตลอดจนมีปัญหาเข้ามาเกี่ยวข้องต่าง ๆ กัน การที่จะเลือกใช้วิธีหนึ่งวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ค่าใช้จ่ายในการซื้อและติดตั้งเครื่องมือ ชนิดของพืช และองค์ประกอบอื่น ๆ อีกหลายอย่าง วิธีที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปในงานชลประทานก็มี

1. วัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter)
2. ศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน
3. ศึกษาจากแปลงทดลอง

4.3.1 การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช

ถังวัดการใช้น้ำของพืชนั้น ถ้าจะเปรียบเทียบกันแล้วก็คือกระถางต้นไม้ขนาดใหญ่ที่ปลูกด้วยพืชที่ต้องการวัดการใช้น้ำ แล้วตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน โดยให้มีสภาพทั้งภายในและภายนอกกระถางคล้ายคลึงกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด กระถางดังกล่าวมีอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไป เพื่อจะได้สามารถนำมาคำนวณเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ได้ ปริมาณการใช้น้ำของพืชนิยมบอกเป็นความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น มม./วัน เป็นต้น

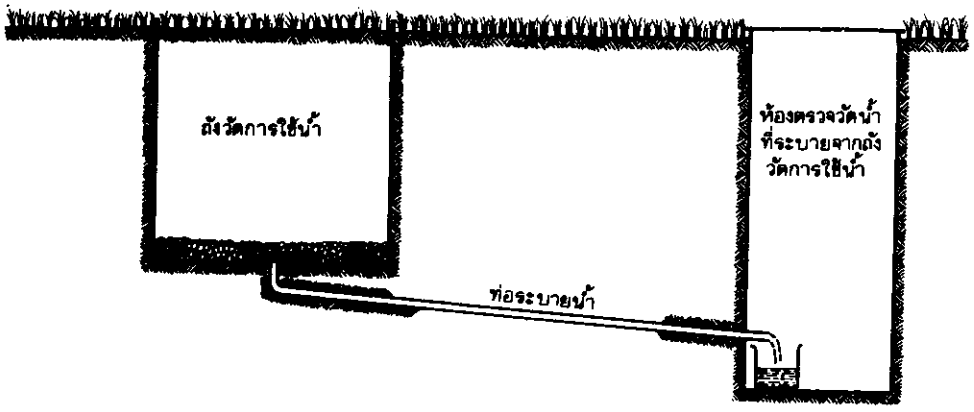
ถังวัดการใช้น้ำของพืชที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน อาจแบ่งแยกออกได้ตามลักษณะการทำงานของมันเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ประเภทที่วัดโดยไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก (Non-Weighing Lysimeters) และประเภทที่วัดโดยอาศัยน้ำหนักของถังที่ลดลงเป็นหลักในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Weighing Lysimeters)

1. **ประเภทวัดโดยไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก (Non-Weighing Lysimeters)** ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบนี้วัดปริมาตรหรือความลึกของน้ำที่หายไปจากถังแล้วเทียบมาเป็นปริมาณน้ำที่พืชใช้ ถังที่จัดอยู่ในประเภทนี้ก็มี

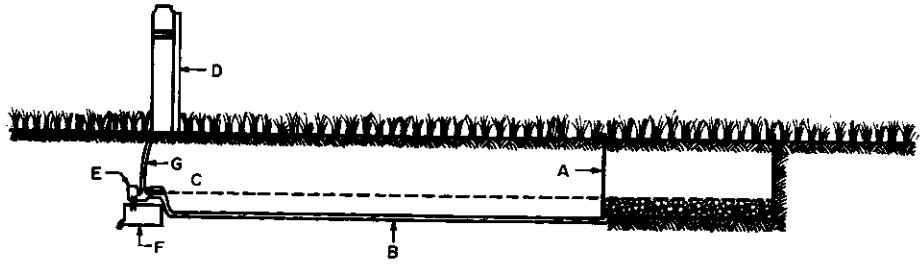
ก. ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation type รูปที่ 4.2) ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำด้วยความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปและระบายออกที่ก้นถัง รวมกับความแตกต่างของจำนวนความชื้นของดินในถังเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการวัด ความละเอียดถูกต้องของถังประเภทนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการคำนวณหาจำนวนความชื้นของดินในถัง ซึ่งอาจจะทำได้โดยการเก็บตัวอย่างดินหรือใช้เครื่องวัดแบบนิวตรอน (Neutron Moisture Meter) อย่างไรก็ตาม ถังประเภทนี้มักจะใช้วัดอัตราการใช้น้ำระยะยาว เช่น ต่อเดือนหรือตลอดฤดูการเพาะปลูก ซึ่งความแตกต่างของจำนวนความชื้นของดินภายในถังเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการวัดมีผลต่อความละเอียดถูกต้องของการวัดน้อยกว่า

ข้อดีและข้อเสีย

1. ก่อสร้างได้ง่ายและมีราคาถูก
2. ไม่มีขีดจำกัดเรื่องขนาด ดังนั้นสามารถใช้ได้ทั้งพืชไร่และพืชสวน



รูปที่ 4.2 ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation Type)



A. ถังวัดการใช้น้ำ
B. ท่อจ่ายน้ำใต้ดิน
C. ลูกลอยคุมระดับน้ำ (Float Valve)
D. ถังจ่ายน้ำและหลอดแก้วบอกระดับ
E. อุปกรณ์ทิ้งน้ำที่เกินระดับควบคุม
F. ถังเก็บน้ำทิ้ง
G. สายยางทิ้งน้ำจากถังจ่าย

รูปที่ 4.3 ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ (Constant Water-Table Type)

3. เหมาะสำหรับวัดอัตราการใช้น้ำระยะยาวเท่านั้น ถ้าวัดอัตราการใช้น้ำระยะสั้นจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับวัดจำนวนความชื้นของดินในถังด้วย อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้ถังแบบนี้วัดอัตราการใช้น้ำระยะสั้นกว่าหนึ่งสัปดาห์

ข. ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ (Constant water table type รูปที่ 4.3) ถังแบบนี้ให้น้ำแก่พืชที่ปลูกทางใต้ผิวดิน โดยการสร้างน้ำใต้ดินที่มีระดับคงที่ขึ้นภายในถัง ระดับน้ำใต้ดินดังกล่าวนี้ควบคุมโดยวาวลูกลอย (Float valve) ซึ่งจะเปิดจ่ายน้ำจนถึงระดับที่กำหนดไว้เมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลงโดยการใช้ของพืช ที่ก้นถังจะบรรจุด้วยกรวดและทรายขึ้นมาจนถึงระดับน้ำใต้ดินเพื่อให้การไหลของน้ำใต้ดินไปสู่รากพืชเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำที่พืชใช้คำนวณได้จากปริมาตรที่ลดลงของน้ำในถังจ่ายน้ำ

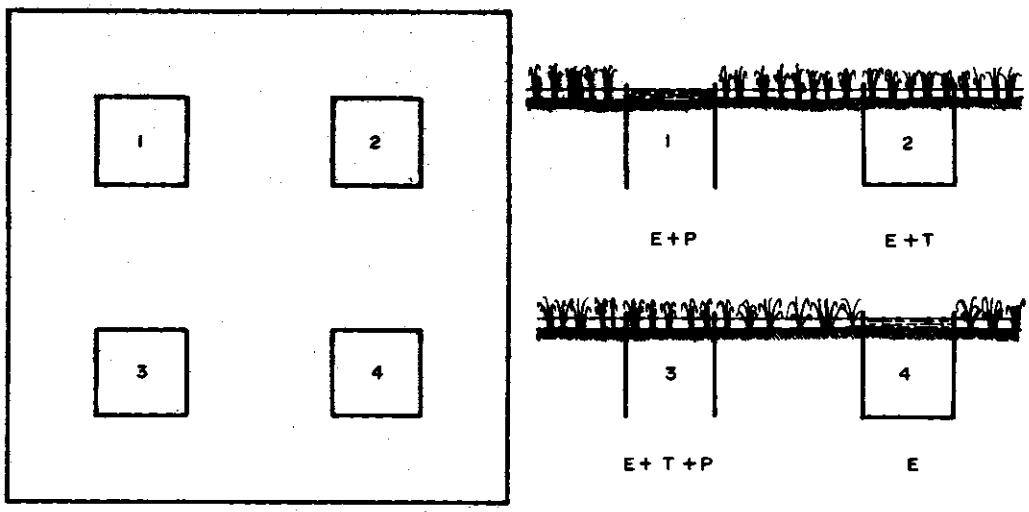
ข้อดีและข้อเสีย

1. สร้างได้ง่าย มีราคาถูก และให้ความละเอียดถูกต้องดี
2. อาจมีปัญหาเรื่องการอุดตันที่วาวลูกลอยได้
3. ควรจะใช้ในพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงในขนาดเดียวกันกับที่กำหนดไว้ในถัง
4. เพื่อให้การไหลของน้ำจากระดับน้ำใต้ดินขึ้นไปหารากพืชพอเพียงกับความต้องการ ชั้นดินเหนือระดับน้ำใต้ดินต้องไม่ลึกมาก จึงทำให้ใช้ได้ดีกับพืชที่มีรากตื้นเท่านั้น
5. อาจมีปัญหาเรื่องการสะสมของเกลือบนผิวดินได้ถ้าหากคุณภาพของน้ำไม่ดี

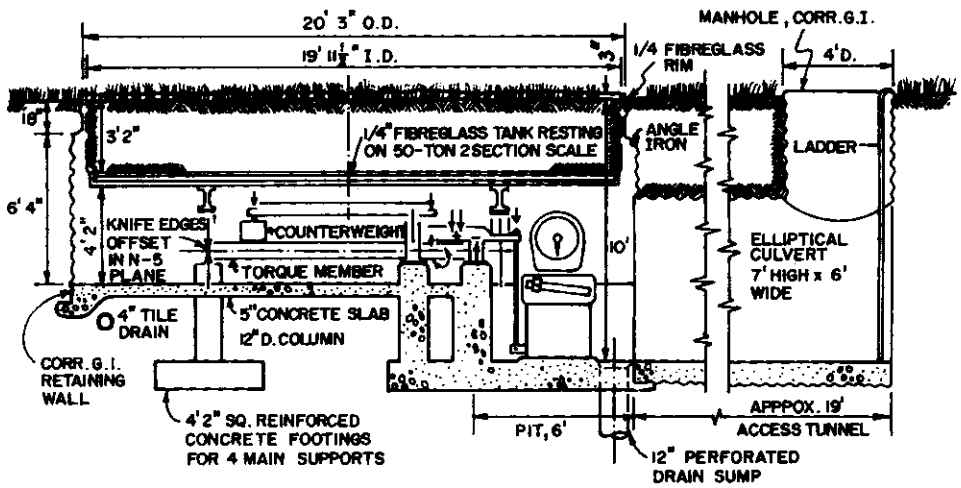
ค. ถังวัดการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter รูปที่ 4.4) ถังแบบนี้ออกแบบไว้สำหรับวัดการใช้น้ำของข้าวโดยเฉพาะ คือนอกจากจะวัดการระเหย (E) และการคายน้ำ (T) แล้ว ยังสามารถวัดการรั่วซึมในแปลงนา (P) ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในปริมาณน้ำที่ต้องจัดหาให้ข้าวด้วย ปกติอุปกรณ์วัดการใช้น้ำแบบนี้ประกอบด้วยถังขนาดเดียวกัน 4 ถัง เป็นถังเปิดหัว - ท้ายทั้งสองด้าน 2 ถัง และปิดก้น 2 ถัง ในแต่ละแบบจะมีอยู่ถังหนึ่งที่ไม่ปลูกข้าวหรือไม่มีการวัดการคายน้ำ ส่วนการสูญเสียน้ำในถังที่เปิดก้นจะมีส่วนหนึ่งที่เป็นการรั่วซึมในแปลงนาด้วย ระดับน้ำในแต่ละถังที่ลดลงวัดด้วยตะขอวัดระดับน้ำ (Hook gage) เมื่อนำค่าที่วัดได้ของสองถังที่มีความแตกต่างในการวัดเพียงอย่างเดียวมาหักลบกันก็จะได้องค์ประกอบของปริมาณน้ำที่ต้องการในนาข้าวได้

ข้อดีและข้อเสีย

1. สร้างได้ง่ายและมีราคาถูก
2. สามารถวัดส่วนประกอบของน้ำที่ต้องการในนาข้าวได้ทุกส่วน
3. ออกแบบไว้สำหรับข้าวและพืชที่ต้องใช้น้ำขังเท่านั้น
4. อาจมีความผิดพลาดในการวัดได้ถ้าหากดินที่ติดตั้งถังที่เปิดก้นสองแห่งไม่เหมือนกัน
5. ในขณะที่ต้นข้าวยังเล็กอยู่ ดินและลมอาจทำให้น้ำจากภายนอกกระฉอกเข้ามาในถังได้
6. ค่าการระเหยที่วัดได้ในถังที่ไม่มีการปลูกข้าวจะมีค่าสูงกว่าการระเหยจากถังที่มีการปลูกข้าว เนื่องจากได้รับแสงแดดและลมเต็มที่ เมื่อนำค่านี้ไปหักลบจากค่าที่วัดได้ในถังอื่นจะทำให้องค์ประกอบของน้ำที่พืชใช้ เช่น การคายน้ำ หรือการรั่วซึมในแปลงนามีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริง



รูปที่ 4.4 ถังวัดการใช้น้ำของข้าว



รูปที่ 4.5 ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง(Mechanically Weight) ชั่งติดตั้งที่ Davis, California

2. ประเภทวัดโดยอาศัยน้ำหนัก (Weighing Lysimeter) ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำของพืชโดยการสังเกตน้ำหนัก หรือสิ่งที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก เช่น ความดัน (Pressure) หรือความเค้น (Stress) ที่เปลี่ยนไป ชื่อของแต่ละแบบมักเรียกตามอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบหรือวัดค่าดังกล่าว ซึ่งสามารถแบ่งแยกได้เป็น

ก. ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง (Mechanically weight type) แบบที่สร้างขึ้นมาในระยะแรก ๆ เป็นถังขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา สามารถยกขึ้นมาชั่งโดยใช้ตาชั่งแขวน หรือเครื่องชั่งแบบธรรมดาได้ ภายหลังได้มีการพัฒนาให้มีขนาดใหญ่และวัดได้ละเอียดถูกต้องดีขึ้น เช่น ชุดที่สร้างที่ Dvais, California ในปี 1958 (รูปที่ 4.5) ถังดังกล่าวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ฟุต ลึก 3 ฟุต หนักประมาณ 45 ตัน วัดได้ละเอียดถูกต้องภายในประมาณ ± 0.0012 นิ้ว ถังขนาดใหญ่เช่นนี้มีราคาแพงมาก จึงไม่ปรากฏว่ามีรายงานการสร้างขนาดใหญ่ ๆ เช่นนี้อีก

ข้อดีและข้อเสีย

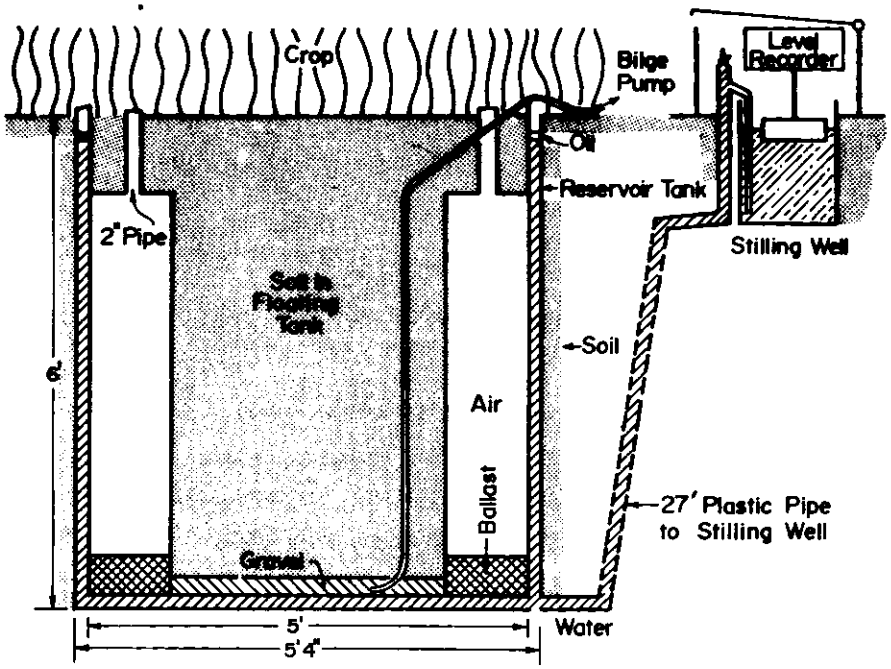
1. ให้ความละเอียดถูกต้องสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบที่ได้ยกตัวอย่างมาให้ดู สามารถวัดอัตราการใช้น้ำของพืชทุก 4 นาที และมีความละเอียดถูกต้องถึง 0.0012 นิ้ว เป็นต้น
2. มีราคาแพงมาก เพราะต้องออกแบบเครื่องชั่งเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงไม่มีการใช้แพร่หลายเหมือนแบบอื่น ๆ

เนื่องจากว่า เครื่องชั่งที่ต้องออกแบบใหม่เป็นพิเศษมีราคาแพงมาก จึงได้มีการดัดแปลงโดยใช้เครื่องแบบวางกับพื้นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดแล้วมารับน้ำหนักทั้งหมดของกระถาง แต่ให้คานของเครื่องชั่งถ่ายน้ำหนักเพียงบางส่วนไปยัง Strain gage load cell ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของถังวัดการใช้น้ำไปเป็นการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถเทียบกลับเป็นความลึกของน้ำ โดยให้ความละเอียดถูกต้องสูงเช่นเดียวกัน

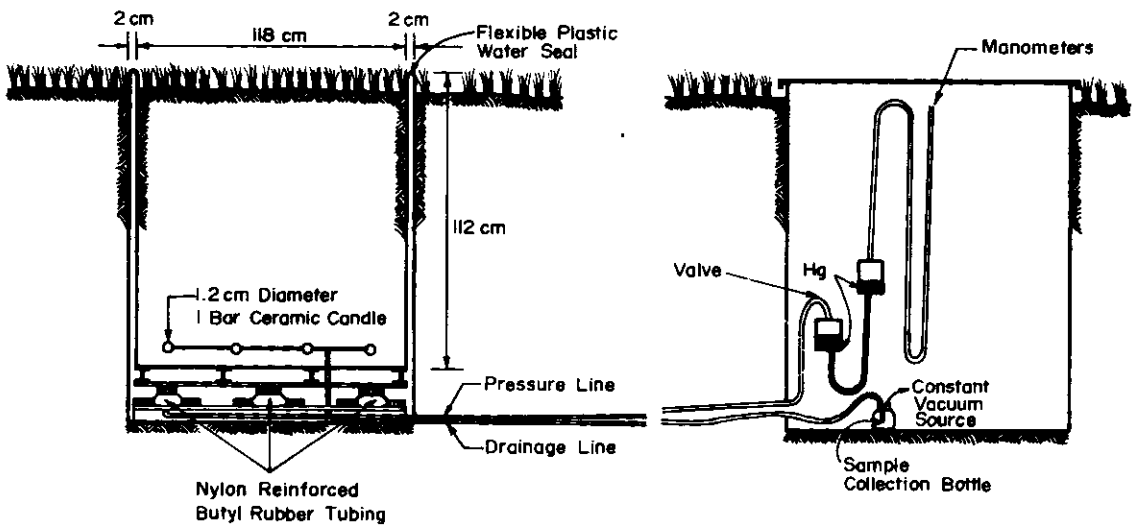
ข. ถังวัดการใช้น้ำแบบทุ่นลอย (Float Lysimeter) ถังวัดการใช้น้ำแบบนี้ทำงานโดยอาศัยหลักของอาคีเมดีสที่ว่าปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่โดยทุ่นลอยจะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของทุ่นลอยนั้น ดังนั้นถ้าให้ถังที่ปลูกพืชลอยอยู่ในภาชนะซึ่งบรรจุน้ำ น้ำหนักของถังซึ่งสูญเสียไปโดยการใช้น้ำของพืชย่อมสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในภาชนะนั้น จุดสำคัญของถังวัดการใช้น้ำแบบนี้ก็คือ จะต้องทำให้ถังปลูกพืชลอยน้ำได้ ซึ่งบางครั้งอาจจะต้องบรรจุวัสดุเบา เช่น Styrofoam หรือกล่องลมรอบ ๆ กระถางเพื่อช่วยให้มีน้ำหนักเบาขึ้น ตัวอย่างถังวัดการใช้น้ำแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6

ข้อดีและข้อเสีย

1. มีราคาถูกและเชื่อถือได้พอสมควร
2. การแผ่กระจายของรากพืชค่อนข้างจำกัด เนื่องจากต้องมีห้องอากาศภายในกระถาง เพื่อให้มีน้ำหนักเบาสามารถลอยน้ำได้
3. วัดอัตราการใช้น้ำระยะสั้นขนาดต่อวันได้ถูกต้อง
4. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในอ่างทำให้มีการวัดผิดพลาดได้เนื่องจากการขยายตัวของน้ำ
5. ความผิดพลาดในการวัดอาจจะเกิดได้จากการรั่วของถัง ซึ่งถ้ามีขนาดเล็กน้อยจะตรวจพบได้ยาก



รูปที่4.6 ถังวัดการใช้น้ำแบบทุ่นลอย(Float) และอุปกรณ์สำหรับวัดระดับน้ำ



รูปที่ 4.7 ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค(Hydraulic Weighing)

ค. ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค (Hydraulic weighing lysimeter รูปที่ 4.7) ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำของพืชโดยการสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำใน หมอนยางซึ่งรองรับน้ำหนักทั้งหมดของถังปลูกพืช จากหมอนยางจะมีท่อขนาดเล็กต่อไปเข้าอุปกรณ์วัดความดัน เมื่อมีการสูญเสียน้ำโดยการใช้ของพืชความดันของน้ำในหมอนยางก็จะลดลง ความแตกต่างของความดันน้ำนี้สามารถเทียบขนาดให้เป็นความลึกของน้ำที่พืชใช้ได้

ข้อดีและข้อเสีย

1. ราคาไม่แพงมากและให้ความละเอียดถูกต้องดี
2. การยืดตัวของหมอนยางและการขยายตัวของน้ำในหมอนเนื่องจากอุณหภูมิอาจทำให้การวัดผิดพลาดได้
3. การรั่วของหมอนยางและตามข้อต่อต่าง ๆ ตรวจพบได้ยาก

การเลือกใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบต่าง ๆ ตามที่ได้แนะนำมาข้างต้นนี้ ส่วนใหญ่จะถูกจำกัดโดยงบประมาณ ความละเอียดถูกต้องที่ต้องการวัด และชนิดของพืชที่ต้องการศึกษาการใช้น้ำ สำหรับถังวัดการใช้น้ำขนาดเดียวกัน แบบวัดโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก จะมีราคาแพงกว่าแบบวัดโดยไม่อาศัยน้ำหนัก แต่จะให้ความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ถ้าต้องการวัดอัตราการใช้น้ำสำหรับระยะเวลาไม่สั้นกว่า 24 ชั่วโมง แบบทุ่นลอยและแบบไฮดรอลิค จะให้ความละเอียดถูกต้องเชื่อถือได้ ถ้าระยะเวลาสั้นกว่านี้ ควรจะใช้แบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง ส่วนพวกวัดโดยไม่อาศัยการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักนั้น ราคาถูกกว่ามาก การเลือกใช้จึงมักถูกจำกัดโดยพืชหรือลักษณะของภูมิประเทศ เช่น ถ้าพื้นที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงอยู่ก่อนแล้วก็ควรใช้แบบระดับน้ำใต้ดินคงที่ เป็นต้น แบบระบายน้ำ ส่วนมากใช้ศึกษาการใช้น้ำระยะยาวและใช้กับพืชยืนต้นซึ่งต้องการขนาดของกระถางใหญ่เป็นพิเศษ

ความละเอียดถูกต้องของการวัดนอกจากจะขึ้นอยู่กับแบบที่เลือกใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับการติดตั้งและการบำรุงรักษาด้วย หลักสำคัญในการติดตั้งก็คือจะต้องพยายามให้สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกถัง เหมือนกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งอาจสรุปได้ว่าควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1. ถังที่ใช้ปลูกพืชจะต้องมีขนาดใหญ่และลึกพอเพื่อไม่ให้พืชที่ปลูกต้องเติบโตอยู่ในเนื้อที่ที่รากและลำต้นไม่อาจขยายตัวได้เต็มที่ สำหรับพืชไร่โดยทั่ว ๆ ไป ความกว้าง ยาว และลึกไม่ควรจะน้อยกว่าด้านละ 1 เมตร

2. พยายามให้คุณสมบัติของดินรวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นภายในและภายนอกถังปลูกพืชต่างกันน้อยที่สุด

3. จัดให้มีพืชชนิดเดียวกันปลูกล้อมรอบถังวัดการใช้น้ำเป็นระยะทางยาวพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านเหนือลม

นอกจากนี้ควรจะได้มีการบำรุงรักษาเป็นประจำ เช่น การตรวจหารอยรั่ว การทำความสะอาดถังจ่ายน้ำและวาวล์ลูกลอยในแบบน้ำใต้ดินคงที่ เป็นต้น

อุปกรณ์อื่นที่จำเป็นต้องใช้ร่วมกับถังวัดการใช้น้ำของพืชก็คือเครื่องวัดน้ำฝน ในวันที่ฝนตกปริมาณการใช้น้ำที่วัดได้อาจมีค่าติดลบเนื่องจากจำนวนน้ำฝนมีค่ามากกว่าที่พืชใช้ ดังนั้นจะต้องเอาจำนวนน้ำฝนรวมเข้ากับค่าที่วัดได้จึงจะเป็นจำนวนที่พืชใช้อย่างแท้จริง อย่างไรก็ตามความละเอียดถูกต้องของ

การวัดในวันที่มีฝนตกจะเชื่อถือได้น้อยกว่าค่าที่วัดได้ในวันที่ไม่มีฝนตก ทั้งนี้เพราะจำนวนฝนที่สถานีวัดน้ำฝนอาจต่างกับที่ตกจริงในถังวัดการใช้น้ำได้ นอกจากนั้นพื้นที่รับน้ำฝนของเครื่องวัดน้ำฝนกับถังวัดการใช้น้ำก็มีขนาดต่างกันมาก

4.3.2 การศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน

การวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชอาจจะทำได้โดยการศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอตลอดความลึก และระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินมาก วิธีวัดนี้ทำโดยการหาจำนวนความชื้นในดินก่อนและหลังให้น้ำแก่พืชทุกครั้ง และอาจจะต้องมีการวัดเพิ่มเติมในช่วงระยะเวลาที่มิได้มีการให้น้ำด้วย โดยปกติแล้วจะต้องมีการวัดจำนวนความชื้นของดินตัวอย่างเป็นจำนวนมาก จึงจะได้ความละเอียดถูกต้องดี หลังจากนั้นก็นำมาคำนวณหาความลึกของน้ำที่พืชดูดจากดินไปใช้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ได้

4.3.3 การศึกษาจากแปลงทดลอง

ถ้าหากสภาพแวดล้อมของแปลงทดลองมีคุณสมบัติเหมาะสม แปลงทดลองนั้นก็อาจใช้หาปริมาณการใช้น้ำของพืชได้ ดังเช่นการศึกษาของ Dr.John A. Widtsoe ซึ่งทำการทดลองที่ Utah State University ในปี ค.ศ. 1902 จนถึงปี ค.ศ. 1911

แปลงที่ทำการทดลองมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน 25 เมตร ซึ่งทำให้เชื่อได้ว่าพืชไม่สามารถดูดน้ำใต้ดินมาใช้ได้ ดังนั้นพืชจะใช้แต่น้ำฝนและน้ำชลประทานซึ่งสามารถวัดปริมาณได้ Dr. Widtsoe ทำการทดลองโดยให้น้ำแก่พืชในปริมาณต่าง ๆ กันแล้ววัดผลผลิตที่ได้ ปรากฏว่าพืชเกือบทุกชนิดที่ทำการทดลองให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อให้น้ำมากขึ้น จนกระทั่งถึงระดับหนึ่งที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ให้แล้วจะทำให้ผลผลิตลดลง เขาจึงใช้ค่าปริมาณน้ำที่จุดซึ่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงผลผลิตจากเพิ่มขึ้นเป็นลดลงนั้นเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืช การทดลองนี้ไม่มีน้ำไหลออกนอกแปลงทดลอง (Runoff) แต่เขาก็ไม่ได้วัดการไหลซึมของน้ำเลยเขตรากพืชไว้ ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืชที่หาได้จึงค่อนข้างสูง ค่าที่ได้นี้เป็นปริมาณที่พืชใช้ตลอดฤดูการเพาะปลูก การทดลองแบบนี้ต้องใช้เวลาและแรงงานมาก ปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้กัน

4.4 การคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศ

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศอาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน สูตรที่ใช้คำนวณนั้นมีตั้งแต่สูตรที่ได้จากการทดลองอย่างง่าย ๆ ซึ่งต้องการข้อมูลเพียงอย่างเดียวหรือสองอย่าง จนกระทั่งถึงสูตรที่ต้องการข้อมูลหลายอย่างและมีการคำนวณยุ่งยากมาก อย่างไรก็ตาม ไม่จำเป็นว่าสูตรที่ยุ่งยากและต้องการข้อมูลหลายอย่างจะให้ค่าถูกต้องดีกว่าสูตรง่าย ๆ เสมอไป การที่จะเลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่งมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการนั้น จะต้องพิจารณาจากลักษณะของงาน ความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ข้อมูลที่มีอยู่แล้ว และเครื่องมือเครื่องใช้ที่จะนำมาใช้วัดข้อมูล เป็นต้น วิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่จะกล่าวถึงก็มี

1. วิธีของ Blaney - Criddle
2. วิธีของ Makkink
3. วิธีของ Jensen - Haise
4. วิธีของ Penman

4.4.1 วิธีของ Blaney - Criddle

ในปี ค.ศ. 1942 Blaney และ Morin ได้เสนอสูตรสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยใช้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวของชั่วโมงกลางวันเป็นข้อมูลที่ต้องการ แต่เนื่องจากว่าในสมัยนั้นมีการวัดความชื้นสัมพัทธ์กันน้อยมาก ในปี ค.ศ. 1950 Blaney และ Criddle จึงได้ดัดแปลงสูตรดังกล่าวเสียใหม่โดยตัดเอาความชื้นสัมพัทธ์ออกจากสูตรเดิม สูตรนี้ภายหลังรู้จักกันดีว่าเป็นสูตรของ Blaney และ Criddle คือ

$$U = K.F = K\Sigma \frac{t.p}{100} \qquad .....4.1$$

โดย U = ปริมาณการใช้น้ำของพืชตลอดฤดูการเพาะปลูก เป็นนิ้ว

K = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และความยาวของฤดูการเพาะปลูก (ดูตาราง A-1 ในภาคผนวกท้ายบท)

F = Consumptive use factor ซึ่งเท่ากับผลรวมของผลคูณระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นองศาฟาเรนไฮท์ กับเปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันตลอดฤดูการเพาะปลูกใน 1 ปี

t = อุณหภูมิเฉลี่ย เป็นองศาฟาเรนไฮท์

p = เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันของฤดูการเพาะปลูกในระยะเวลา 1 ปี

ถ้าเป็นการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชประจำเดือน เรามักจะใช้อักษรตัวเล็กแทน คือ

$$u = k.f = k.\frac{t.p}{100} \qquad .....4.2$$

u = ปริมาณการใช้น้ำของพืชประจำเดือน เป็นนิ้ว

k = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายเดือน (Monthly crop coefficient)

= 1 ถ้าเป็นการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration) เช่น หญ้าหรืออัฟฟัลฟา

t = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือน เป็นองศาฟาเรนไฮท์

p = เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันของเดือนนั้นในระยะเวลา 1 ปี (ดูตาราง A-2 ในภาคผนวกท้ายบท)

ตัวอย่างที่ 4.1

จงหาปริมาณการใช้น้ำตลอดฤดูการเพาะปลูกของข้าวโพด ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยว 4 เดือน เริ่มปลูกตั้งแต่เดือนพฤษภาคม และเก็บเกี่ยวเดือนสิงหาคม พื้นที่เพาะปลูกอยู่ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม มีดังนี้คือ 30.6, 29.6, 28.9 และ 28.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

วิธีทำ

เดือน	อุณหภูมิ °C	อุณหภูมิ °F	p 1/	$\frac{t.p}{100}$
พฤษภาคม	30.6	87.1	8.98	7.82
มิถุนายน	29.6	85.3	8.81	7.51
กรกฎาคม	28.9	84.0	9.04	7.59
สิงหาคม	28.7	83.7	8.83	7.39
			$\Sigma \frac{t.p}{100}$	30.31

1/ จากตาราง A- 2 ของภาคผนวก

จากตาราง A-1 ของภาคผนวกสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ, K ตลอดฤดูการเพาะปลูก (4 เดือน) ของข้าวโพด เท่ากับ 0.75

$$U = K \Sigma \frac{t.p}{100}$$

$$= 0.75 \times 30.31 = 22.73 \text{ นิ้ว} = 577 \text{ มม.}$$

ดังนั้นตลอดฤดูการเพาะปลูกข้าวโพดจะใช้น้ำ 577 มม.

ถึงแม้ว่าสูตรของ Blaney - Criddle เป็นสูตรที่นำมาใช้ได้ง่าย เพราะต้องการอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนซึ่งหาได้ง่ายมาใช้เพียงค่าเดียว แต่สูตรนี้ก็มีจุดอ่อนอยู่หลายประการด้วยกัน กล่าวคือ

1. อุณหภูมิของบรรยากาศมิใช่เป็นสิ่งที่จะใช้บอกถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้สำหรับการระเหยและการคายน้ำได้อย่างถูกต้อง เพราะว่าพลังงานที่นำมาใช้ในการระเหยและการคายน้ำที่แท้จริงนั้นคือ รังสีอาทิตย์ (Solar radiation) พลังงานจากดวงอาทิตย์นี้ไม่เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิของบรรยากาศของผิวโลก เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนพฤษภาคม และมีนาคมของประเทศเนเธอร์แลนด์ เท่ากับ 5.4 และ 5.0 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกันมาก แต่รังสีอาทิตย์และอัตราการใช้น้ำของพืชที่วัดได้นั้นต่างกันเกือบสี่เท่า เป็นต้น

2. อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังฤดูหนาว มักจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าที่โลกได้รับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น กล่าวคือ โลกได้รับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นนานหลายอาทิตย์แล้ว แต่อุณหภูมิของบรรยากาศเพิ่งค่อยสูงขึ้น ดังนั้นอัตราการใช้น้ำของพืชที่คำนวณโดยใช้สูตรนี้สำหรับระยะเวลาดังกล่าวจะต่ำกว่าค่าที่แท้จริงเสมอ

3. ตามสูตรของ Blaney - Criddle ถ้าหากอุณหภูมิของบรรยากาศเท่ากับหรือต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส พืชจะไม่มีการใช้น้ำซึ่งไม่เป็นความจริง เพราะว่าค่าอุณหภูมิที่ใช้ในสูตรเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดเดือน ในเดือนนั้นอาจจะมีทั้งวันที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและต่ำกว่าศูนย์ก็ได้

4. Blaney - Criddle ไม่ได้พิจารณาเอาความเร็วของลม ตลอดจนผลของการมีลมที่แห้งและร้อนพัดผ่านเข้ามาเกี่ยวข้องในสูตรด้วยเลย ลักษณะดังกล่าวนี้จะมีผลต่อการระเหยและการคายน้ำมาก

อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ซึ่งไม่มีข้อมูลอื่นนอกจากอุณหภูมิของบรรยากาศเพียงอย่างเดียวแล้ว สูตรของ Blaney - Criddle อาจนำมาใช้หาค่าอัตราการใช้น้ำของพืชอย่างหยาบ ๆ ได้

จากรายงานการใช้สูตรของ Blaney - Criddle จากที่ต่าง ๆ ปรากฏว่าถึงแม้ว่าสูตรนี้มีจุดอ่อนดังกล่าวแล้ว แต่ก็มีผู้นิยมใช้กันกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะสูตรนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช K ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด อายุ ความสูง ตลอดจนความหนาแน่นในการปกคลุมผิวดิน ซึ่งถ้าหากมีการวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชต่าง ๆ อย่างถูกต้องอยู่แล้ว ก็จะสามารถคำนวณค่า K ที่ถูกต้องเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในแถบนั้นได้ การหาปริมาณการใช้น้ำโดยสูตรนี้ในบริเวณใกล้เคียง หรือบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศคล้ายคลึงกันก็จะถูกต้องดีขึ้น

4.4.2 วิธีของ Makkink

สูตรของ Makkink นั้นต่างกับสูตรอื่นที่ได้กล่าวมาแล้วตรงที่ว่าเขาได้นำเอารังสีอาทิตย์ (Solar radiation) เข้ามาใช้ สูตรนี้ได้คิดขึ้นจากการวัดการใช้น้ำของหญ้าซึ่งเป็นพืชอ้างอิงด้วยถังวัดการใช้น้ำของพืชที่ประเทศ Netherlands

$$ET_P = 0.61\ Q\ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0.12 \qquad .....4.3$$

ET_P = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration) เป็น มม./วัน

Q = รังสีตกจากดวงอาทิตย์ (Incoming solar radiation) ซึ่งเทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม./วัน ถ้าหากไม่มีการวัดไว้ก็อาจจะคำนวณหาได้จากสูตร

$$Q = Q_A\ (0.18 + 0.55\ n/N) \qquad .....4.4$$

Q_A = เป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่ เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำเป็น มม./วัน (ดูตาราง A-3 ในภาคผนวกท้ายบท)

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลานั้น

สำหรับที่ซึ่งไม่มีการวัดระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริงไว้ ก็อาจจะหาจากปริมาณความครึ้มของเมฆได้โดยใช้สูตร

$$Q = Q_A (0.803 - 0.340\,C - 0.458\,C^2) \quad \text{.....4.5}$$

C = ปริมาณความครึ้มของเมฆเฉลี่ยประจำเดือน มีค่าจาก 0 ถึง 1
วันที่มีเมฆครึ้ม C = 1

สำหรับประเทศไทย ไพฑูรย์ พะยายะสุด ได้หาอัตราส่วน n/N สำหรับปริมาณความครึ้มของเมฆซึ่งแบ่งขนาดตั้งแต่ 0 ถึง 8 ไว้ในรูปสมการ

$$n/N = 0.745 + 0.095\,C_c - 0.02\,C_c^2 \quad \text{.....4.6}$$

C_c = ปริมาณความครึ้มของเมฆ ซึ่งวัดตั้งแต่ 0 ถึง 8

Δ = ความลาดเทของกราฟของความดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturated vapor pressure) กับอุณหภูมิ ที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย

γ = Psychrometric constant

ค่าอัตราส่วน $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส จะดูได้จากตาราง A-4 ในภาคผนวกท้ายบท

ตัวอย่างที่ 4.2

จงหาการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration) ในเขตโครงการเจ้าพระยา ซึ่งอยู่ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ โดยวิธีของ Makkink

เดือน	อุณหภูมิ °C	ขีดความครื้มของเมฆ C_c	Q_A มม/วัน	Q มม/วัน	$\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$	ET_P	
						มม/วัน	มม/เดือน
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
ม.ค.	24.6	2.8	12.2	7.93	.730	3.41	106
ก.พ.	27.3	3.1	13.4	8.66	.756	3.87	108
มี.ค.	30.3	2.8	14.8	9.62	.783	4.47	139
เม.ย.	31.2	3.5	15.7	10.01	.790	4.70	141
พ.ค.	30.6	5.7	15.9	8.43	.785	3.92	122
มิ.ย.	29.6	6.5	15.8	7.34	.777	3.36	101
ก.ค.	28.9	6.7	15.8	7.04	.771	3.19	99
ส.ค.	28.7	6.9	15.7	6.69	.769	3.02	94
ก.ย.	28.1	6.6	15.0	6.83	.763	3.06	92
ต.ค.	27.6	5.3	14.0	7.80	.759	3.49	108
พ.ย.	26.7	3.9	12.6	7.89	.750	3.49	105
ธ.ค.	25.0	3.3	11.8	7.58	.734	3.27	101

(2) และ (3) ได้จากสถิติของกรมอุตินิยมวิทยา

(4) จากตาราง A-3 ของภาคผนวก

(5) $Q = Q_A (0.18 + 0.55\ n/N)$

$n/N = 0.745 + 0.095\ C_c - 0.02\ C_c^2$

(6) จากตาราง A-4 ของภาคผนวก

(7) $ET_P = 0.61\ Q \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0.12$

4.4.3 วิธีของ Jensen-Haise

ในปี 1963 Jensen และ Haise ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของพืชกับรังสีอาทิตย์โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดประมาณ 3,000 ข้อมูล เมื่อเลือกพิจารณาจากการวัดที่ได้มาตรฐาน 1,000 ข้อมูล เขาพบว่ารังสีจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานหลักที่ควบคุมการใช้น้ำของพืช และได้ความสัมพันธ์ออกมาว่า อัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำของพืชต่อรังสีอาทิตย์ (Incoming Solar Radiation) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ สำหรับกรณีที่เป็นการใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่เป็นอัลฟัลฟา เขาได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการ

$$ET_P = C_t\,(T - T_X)\,.\,Q \qquad \text{.....4.7}$$

ET_P = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration) เป็น มม/วัน

T = ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ °C

Q = รังสีตกจากดวงอาทิตย์ (Incoming Solar Radiation) ซึ่งเทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม/วัน

C_t = สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับความกดดันของบรรยากาศ

$$C_t = \frac{1}{C_1 + C_2\,.\,C_H} \qquad \text{.....4.8}$$

เมื่ออุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส C_2 = 7.6 และ

$$C_1 = 38 - 2.0 \times \text{Elev.}/305 \qquad \text{.....4.9}$$

Elev. = ความสูงของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นเมตร

$$C_H = \frac{50}{e_2 - e_1} \qquad \text{.....4.10}$$

e_2 = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของอากาศในเดือนที่ร้อนที่สุดของปีเป็นมิลิบาร์ (ดูตาราง A-6 ของภาคผนวกท้ายบท)

e_1 = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของอากาศในเดือนเดียวกัน เป็นมิลิบาร์ (ดูตาราง A-6 ของภาคผนวกท้ายบท)

T_X = ค่าคงที่สำหรับพื้นที่เพาะปลูกซึ่งคำนวณได้จาก

$$T_X = -2.50 - 0.14\,(e_2 - e_1) - \text{Elev.}/550 \qquad \text{....4.11}$$

ตัวอย่างที่ 4.3

จงหาการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration) ในเขตโครงการเจ้าพระยา ซึ่งอยู่ที่ละติจูด 15 องศาเหนือ โดยใช้สูตรของ Jensen - Haise กำหนดให้

1. ความสูงของพื้นที่เฉลี่ยเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 28 เมตร
2. เดือนที่ร้อนที่สุดของปีคือเดือนเมษายน มีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.2°C
   อุณหภูมิสูงสุดประจำเดือน 37.5°C
   อุณหภูมิต่ำสุดประจำเดือน 24.9°C

3. ค่าอุณหภูมิและจุดความครื้มของเมฆเฉลี่ยประจำเดือนกำหนดให้ในตาราง (ข้อมูลเดียวกันกับตัวอย่างที่ 4.2)

จากข้อมูลที่กำหนดให้

C_1 = 38 - 2.0 × Elev./305

= 38 - 2.0 × 28/305 = 37.82

C_2 = 7.6

e_2 = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ 37.5°C = 64.49 มิลลิบาร์

e_1 = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ 24.9°C = 31.48 มิลลิบาร์

$$C_H = \frac{50}{e_2 - e_1} = \frac{50}{64.49 - 31.48} = 1.515$$

$$C_t = \frac{1}{C_1 + C_2 C_H} = \frac{1}{37.82 + 7.6 \times 1.515}$$

= 0.0203

T_X = -2.50 - 0.14 $(e_2 - e_1)$ - Elev./550

= -2.50 - 0.14 (64.49 - 31.48) - 28/550

= -7.172

แทนค่าในสูตรจะได้

ET_P = 0.0203 (T + 7.172) Q

เดือน	อุณหภูมิ °C	ดัชนีความครึ้มของเมฆ C_c	Q_A มม/วัน	Q มม/วัน	ET_P	
					มม/วัน	มม/เดือน
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
ม.ค.	24.6	2.8	12.2	7.93	5.11	159
ก.พ.	27.3	3.1	13.4	8.66	6.06	170
มี.ค.	30.3	2.8	14.8	9.62	7.32	227
เม.ย.	31.2	3.5	15.7	10.01	7.80	234
พ.ค.	30.6	5.7	15.9	8.43	6.46	200
มิ.ย.	29.6	6.5	15.8	7.34	5.48	164
ก.ค.	28.9	6.7	15.8	7.04	5.16	160
ส.ค.	28.7	6.9	15.7	6.69	4.87	151
ก.ย.	28.1	6.6	15.0	6.83	4.89	147
ต.ค.	27.6	5.3	14.0	7 80	5.51	171
พ.ย.	26.7	3.9	12.6	7.89	5.43	163
ธ.ค.	25.0	3.3	11.8	7.58	4.95	153

(2) และ (3) กำหนดให้

(4) จากตาราง A-3 ของภาคผนวก

(5) $Q = Q_A (0.18 + 0.55\ n/N)$

$n/N = 0.745 + 0.095\ C_c - 0.02\ C_c^2$

(6) $ET_P = 0.0203\ (T + 7.172)\ Q$

4.4.4 วิธีของ Penman

ในปี 1948 Penman ได้เสนอสูตรซึ่งได้รวมเอาพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยไว้ด้วยกัน พลังงานดังกล่าวนี้คือพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์และพลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลม สูตรของเขาคือ

$$ET_P = \frac{\Delta Q_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \qquad \text{.....4.12}$$

ET_P = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration) มม/วัน

Δ = ความลาดเทของกราฟของความดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturated vapor pressure) กับอุณหภูมิ ที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ย

γ = Psychrometric constant

Q_n = รังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ (net solar radiation) เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม/วัน

ในกรณีที่ไม่มีการวัดรังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ไว้ ค่านี้อาจจะประมาณหาได้จากสูตร

$$Q_n = Q_A\,(1 - r)\,(0.18 + 0.55\ n/N) - \sigma T^4\,(0.56 - 0.0797\sqrt{e_d})\,(0.10 + 0.90\ n/N) \qquad \text{.....4.13}$$

Q_A = เป็นรังสีจากดวงอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่ เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม/วัน (ดูตาราง A-3 ในภาคผนวกท้ายบท)

r = สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนออกไป ต่อรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวของวัตถุนั้น Penman ใช้ค่า r = 0.05 สำหรับผิวน้ำ 0.01 สำหรับดินเปียกที่ไม่มีพืชปกคลุมอยู่เลย และ 0.20 สำหรับพืชที่เขียวและสด

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลานั้น

σ = Stefan - Bolzman Constant

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ของอากาศ

σT^4 = รังสีที่สะท้อนจากวัตถุที่มีผิวดำสนิท แปลงให้เป็นความลึกของน้ำเป็น มม/วัน (ดูตาราง A-5 ในภาคผนวกท้ายบท)

e_a = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศ มีหน่วยเป็นมิลิบาร์ (ดูตาราง A-6 ในภาคผนวกท้ายบท)

e_d = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของจุดน้ำค้าง (dew point) มีหน่วยเป็นมิลิบาร์

e_d = (ความชื้นสัมพัทธ์) $\times$ e_a

E_a = ปริมาณการระเหยของน้ำเนื่องจากการเคลื่อนไหวของลม เป็น มม/วัน

$$E_a = 0.262 (e_a - e_d) (1 + .0062 U_2) \quad .....4.14$$

U_2 = ความเร็วเฉลี่ยของลมที่ระดับเหนือจากพื้นดิน 2 เมตร มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อวัน

ถ้าหากไม่มีการวัดความเร็วของลมที่ระดับ 2 เมตรไว้ ก็อาจดัดแปลงค่าที่วัดได้ที่ระดับอื่นมาเป็นค่าที่ระดับ 2 เมตร ได้โดยใช้สูตร

$$U_2 = U_1 \frac{\log 2}{\log h} = \frac{0.3010 U_1}{\log h} \quad ....4.15$$

U_1 = ความเร็วของลมเป็นกิโลเมตรต่อวันซึ่งวัดที่ระดับเหนือพื้นดิน h เมตร

ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบสูตรทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วโดยใช้ข้อมูลที่เชื่อถือได้จากแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลก ข้อสรุปสำหรับช่วงระยะเวลาที่สั้นที่สุดสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration) ที่จะให้ความถูกต้องเชื่อถือได้ คือ

1. วิธีของ Blaney - Criddle - ตลอดฤดูการเพาะปลูก หรือไม่สั้นกว่า 1 เดือน ถ้ามีการ Calibrate เฉพาะพื้นที่
2. วิธีของ Makkink - ไม่สั้นกว่า 10 วัน
3. วิธีของ Jensen - Haise - ไม่สั้นกว่า 5 วัน
4. วิธีของ Penman - ไม่สั้นกว่า 1 วัน

ข้อ 2-4 ถ้าค่ารังสีอาทิตย์ได้จากการวัด

ตัวอย่างการคำนวณ Potential Evapotranspiration โดยใช้สูตรของ Penman

Location.....Latitude.....Crop.....

		May	Jun.	Jul.	Aug.
A.	Data for Month of				
	1) Air temperature - ℃	30.6	29.6	28.9	28.7
	2) Relative humidity (R.H.) - %	69.1	70.2	73.0	75.1
	3) Cloudiness Cc - (0-8)	5.7	6.5	6.7	6.9
	4) Windspeed, u_2 - Km/day at 2 m.	80.41	87.12	88.23	82.65
	5) Radiation rate $Q_A$mm H_2O/day (see Table A-3)	15.9	15.8	15.8	15.7
	6) Reflection coefficient, r	0.20	0.20	0.20	0.20
B.	Solving expression Q_A (1-r) (0.18 + 0.55n/N)				
	7) $n/N = 0.745 + 0.095\ C_c - 0.02\ C_c^2$	.637	.517	.484	.448
	8) (1-r)	.80	.80	.80	.80
	9) (0.18 + 0.55n/N)	.530	.465	.446	.426
	10) Item 5 × item 8 × item 9	6.74	5.88	5.64	5.35
C.	Solving expression : $\sigma T^4(0.56-0.0797\ \sqrt{e_d})\ (0.10+0.90n/N)$				
	11) Vapor pressure-millibars				
	(a) Saturated, e_a (see Table A-6)	43.91	41.47	39.82	39.36
	(b) Actual e_d = (R.H. × e_a)/100	30.34	29.11	29.07	29.56
	(c) $\sqrt{e_d}$	5.51	5.39	5.39	5.44
	12) σT^4 (see Table A-5)	17.15	16.93	16.77	16.72
	13) $(0.56-0.0797\ \sqrt{e_d})$	.121	.130	.130	.127
	14) (0.10 + 0.90n/N)	.673	.565	.536	.503
	15) Item 12 × item 13 × item 14	1.40	1.20	1.17	1.07
D.	Solving for Q_n				
	16) Item 10 minus item 15	5.34	4.64	4.47	4.28
E.	Solving for $E_a = 0.262(e_a-e_d)(1+0.0062\ u_2)$				
	17) $0.262(e_a-e_d)$	3.56	3.24	2.82	2.57
	18) $(1+0.0062\ u_2)$	1.50	1.54	1.55	1.51
	19) Item 17 × item 18	5.34	4.99	4.37	3.88
E.	Solving for $ET_P = (\triangle Q_n + \gamma E_a) / (\triangle + \gamma)$				
	20) $\triangle/(\triangle+\gamma)$ (see Table A-4)	.785	.777	.771	.769
	21) $\gamma/(\triangle+\gamma)$ (1.0-item 20)	.215	.223	.229	.231
	22) Item 16 × item 20	4.19	3.61	3.45	3.29
	23) Item 19 × item 21	1.14	1.11	1.00	0.09
	24) ET_p = Item 22 + item 23 (mm/day)	5.33	4.72	4.45	4.19
	(mm/month)	165	142	138	130

4.5 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถาดวัดการระเหย

เครื่องมือที่ใช้วัดการระเหยอาจแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ แบบที่เป็นถาดบรรจุน้ำหรือที่เรียกว่าถาดวัดการระเหย (Evaporation pan) ซึ่งยอมให้น้ำระเหยจากผิวน้ำได้โดยตรง และแบบซึ่งให้น้ำระเหยจากผิวของวัตถุพรุนซึ่งเปียกน้ำ ถึงแม้ว่าการระเหยของน้ำจะไม่เหมือนกับการคายน้ำของพืช แต่ขบวนการของทั้งสองอย่างนี้คล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ เป็นการแพร่กระจายของไอน้ำสู่บรรยากาศ แต่การคายน้ำจะถูกควบคุมโดยการปิดเปิดของรูใบในขณะที่การระเหยจากผิวน้ำไม่มีอะไรควบคุมเลย

เนื่องจากว่าสภาพของอุณหภูมิอากาศทุกอย่าง เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของลม ฯลฯ ที่มีผลต่อการคายน้ำ ก็มีผลต่อการระเหยจากถาดวัดการระเหยด้วยเช่นกัน ดังนั้นถาดวัดการระเหยที่ได้รับการติดตั้งอย่างถูกต้องจึงมักใช้เทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในระยะเวลาสั้น ๆ ได้ละเอียดถูกต้องดีกว่าสูตรที่ได้จากการทดลอง ที่ใช้ข้อมูลอากาศเพียงอย่างเดียวหรือสองสามอย่าง เช่นสูตรของ Blaney-Criddle นอกจากนั้นถาดวัดการระเหยยังใช้ง่ายและราคาถูกด้วย

4.5.1 การติดตั้งถาดวัดการระเหย

อัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยนั้นขึ้นอยู่กับขนาด สี วัสดุที่ใช้ทำถาด ความลึกของน้ำในถาดและองค์ประกอบอื่น ๆ อีกหลายอย่าง อัตราการระเหยจากถาดที่มีขนาดใหญ่จะน้อยกว่าอัตราการระเหยจากถาดขนาดเล็กถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น ความแตกต่างระหว่างอัตราการระเหยจากถาดที่มีขนาดไม่เท่ากันจะลดลง ความแตกต่างดังกล่าวนี้ส่วนหนึ่งเนื่องจากการพัดผ่านของมวลอากาศที่แห้งและร้อน ดังนั้น ในบริเวณรอบ ๆ ถาดวัดการระเหยจึงควรมีพืชปลูกอยู่ทางด้านเหนือลมเป็นระยะห่างพอสมควร เพื่อควบคุมให้บรรยากาศรอบ ๆ ถาดวัดการระเหยนั้นให้มีความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงอยู่เสมอ

เนื่องจากว่า วัสดุที่มีสีดำจะดูดเอาพลังงานความร้อนไว้ได้มากกว่าวัสดุที่มีสีอ่อน ดังนั้นการระเหยจากถาดที่มีสีดำจะมากกว่าการระเหยจากถาดขนาดเดียวกันแต่มีสีขาว เช่น การระเหยจากถาดที่ทำด้วยทองแดง จะมากกว่าถาดที่ทำด้วยอลูมิเนียม เป็นต้น

ระดับน้ำในถาดก็มีผลต่อการระเหยเหมือนกัน ถาดที่มีระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขอบถาดมากจะมีการระเหยมากกว่าถาดขนาดเดียวกันแต่มีระดับน้ำสูงกว่า ทั้งนี้เพราะผิวน้ำของถาดที่มีระดับน้ำต่ำจะได้รับความกระทบกระเทือนจากความปั่นป่วนของลมที่พัดผ่านมากกว่า นอกจากนั้นขอบถาดยังมีอุณหภูมิสูงเนื่องจากมีผิวที่สัมผัสกับแสงแดดและบรรยากาศมากกว่าด้วย อุณหภูมิของน้ำในถาดที่มีน้ำตื้นจึงสูงกว่าในถาดที่มีน้ำลึก ซึ่งเป็นผลให้การระเหยในถาดที่มีน้ำตื้นสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในถาดนั้น จะมีผลต่ออัตราการระเหยของถาดที่วางอยู่บนดิน หรืออยู่เหนือผิวดินมากกว่าถาดที่ฝังไว้ในดิน

ถาดวัดการระเหยบางครั้งจะฝังไว้ในดินโดยให้ขอบของถาดสูงกว่าระดับผิวดิน 3-4 นิ้ว ความสูงของถาดเหนือพื้นดินจะมีผลต่ออัตราการระเหยจากถาดเหมือนกัน ถาดที่วางไว้บนผิวดินหรือยกให้สูงกว่าระดับผิวดินจะมีอัตราการระเหยสูงกว่าถาดที่ฝังไว้ในดิน ถ้าหากถาดวัดการระเหยติดตั้งอยู่ในแปลงเพาะปลูกซึ่งมีพืชปลูกอยู่เต็มถาดที่ยกให้อยู่ในระดับความสูงของพืชโดยเฉลี่ยจะให้ผลดีกว่าถาดที่ฝังไว้ในดิน

ถาดวัดการระเหยที่นิยมใช้กันทั่วไปและเป็นที่ยอมรับของ World Meteorological Organization ก็คือถาด U.S. Weather Bureau Class A หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า Class-A pan ถาดวัดการระเหยชนิดนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 47.5 นิ้ว ลึก 10 นิ้ว ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสี หรือโลหะผสมที่

ทนทานต่อการผุกร่อนถ้าหากน้ำในบริเวณนั้นมีความเป็นกรดหรือด่างสูง ถาดนี้จะวางอยู่บนแผงไม้บนเนินดิน โดยให้ก้นถาดอยู่เหนือจากระดับดินเดิมประมาณ 4 นิ้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.8

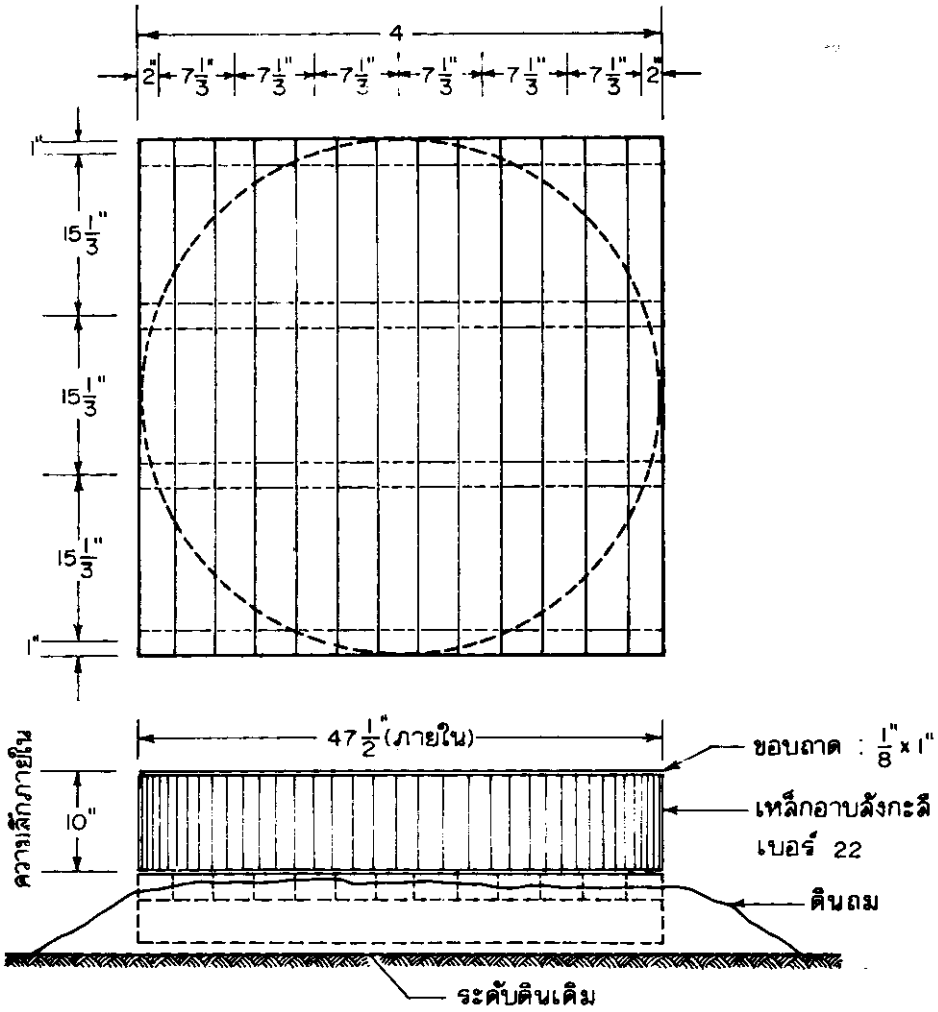
พื้นที่บริเวณรอบ ๆ ถาดจะต้องราบเรียบและมีหญ้าขึ้นเต็ม ถ้าหากหญ้าขึ้นสูงก็จะต้องคอยตัดให้มันอยู่ต่ำกว่าระดับของถาดเสมอ หญ้าดังกล่าวนี้จะต้องได้รับการรดน้ำให้ชุ่มชื้นอยู่เป็นประจำ นอกจากนั้นจะต้องไม่มีอาคารหรือต้นไม้มาทำให้เกิดร่มเงา ทำให้เปลี่ยนทิศทางการพัดของลมไปยังถาด หรือทำให้เกิดการแผ่กระจายความร้อนไปยังถาดภายหลังจากที่อุณหภูมิของบรรยากาศเย็นลงแล้ว ถ้าหากจำเป็นจะต้องติดตั้งถาดวัดการระเหยในบริเวณใกล้เคียงกับอาคาร ถนน หรือต้นไม้สูง ควรจะตั้งอยู่ทางด้านเหนือลมที่พัดอยู่เป็นประจำ ระยะทางระหว่างถาดกับอาคารหรือต้นไม้ควรจะอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่าสี่เท่าของความสูงของอาคารหรือต้นไม้นั้น อาคารหรือต้นไม้จะต้องไม่ก่อให้เกิดร่มเงาแก่ถาดในเวลาใดเวลาหนึ่ง ยกเว้นตอนพระอาทิตย์ขึ้นหรือตก ระดับน้ำในถาดควรจะอยู่ต่ำกว่าขอบถาดประมาณ 2 นิ้ว และเติมให้อยู่ในระดับนี้เมื่อน้ำระเหยไปประมาณ 1 นิ้ว

ในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ขนาดของพื้นที่มีหญ้าขึ้นเต็มบริเวณรอบ ๆ ถาด อาจจะไม่มีผลต่ออัตราการระเหยจากถาดมากนัก แต่ในบริเวณที่มีอากาศแห้งแล้ง ถ้าพื้นที่ซึ่งมีหญ้าขึ้นอยู่มีขนาดเล็กหรือไม่มีพืชขึ้นอยู่เลย อัตราการระเหยของถาดจะสูงมาก ดังนั้น ถ้าจะติดตั้งถาดวัดการระเหยในพื้นที่เพาะปลูก ถาดควรจะอยู่ทางใต้ลมและอยู่ห่างจากขอบของพื้นที่ที่มีพืชปลูกกับที่ไม่มีพืชขึ้นอยู่เป็นระยะทางไกลพอสมควร จากการทดลองในบริเวณที่มีอากาศแห้งแล้ง ถ้าจะให้การระเหยจากถาดวัดการระเหยไม่ได้รับความกระทบกระเทือนจากมวลอากาศที่แห้งแล้งและร้อนพัดผ่านแล้ว จะต้องติดตั้งถาดให้อยู่ห่างจากขอบของพื้นที่เพาะปลูกมาทางใต้ลมไม่น้อยกว่า 300 เมตร

4.5.2 การใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากถาดวัดการระเหย

การใช้น้ำของพืชนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและระยะการเจริญเติบโต (Growth stages) โดยปกติแล้วพืชมีการใช้น้ำน้อยที่สุดเมื่อเริ่มเพาะปลูก และจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมากที่สุดเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อพืชออกผล ผลแก่ และถึงระยะเวลาเก็บเกี่ยว เราอาจจะแบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกได้เป็น 3 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงแตกใบ (Vegetative stage) ช่วงออกดอก (Flowering stage) และช่วงออกผล (Fruiting stage) สำหรับช่วงแตกใบยังแบ่งออกเป็นสองช่วงด้วยกัน คือ เมื่อพืชยังอ่อนอยู่ และเมื่อพืชมีการแตกกิ่งก้านอย่างเต็มที่แล้ว ส่วนช่วงออกผลก็อาจแบ่งเป็น 2 ช่วงได้เช่นเดียวกัน คือช่วงที่ผลหรือเมล็ดยังสดอยู่ และช่วงที่เมล็ดหรือผลเริ่มแห้งซึ่งพืชจะต้องการน้ำน้อยมาก พืชอาจจะถูกเก็บเกี่ยวที่ช่วงการเจริญเติบโตระยะใดระยะหนึ่งก็ได้ พวกผักต่าง ๆ เช่น ผักกาดขาว ผักคะน้า กะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus) หญ้าเลี้ยงสัตว์ จะเก็บเกี่ยวในช่วงแตกใบ พวกดอกไม้ต่าง ๆ และพวกผักที่ใช้ดอกเป็นอาหาร เช่น กระหล่ำดอก จะเก็บเกี่ยวในช่วงออกดอก ส่วนพวกพืชที่ใช้ผลสดเป็นอาหาร เช่น มะเขือเทศ ข้าวโพด กล้วย ส้ม แตงโม ฯลฯ จะเก็บเกี่ยวในช่วงผลสด สำหรับพืชที่ต้องรอให้แห้งเสียก่อนจึงเก็บเกี่ยวก็มี ข้าว ฝ้าย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วที่ใช้เมล็ดเป็นอาหาร เช่น ถั่วเขียว ถั่วเหลือง ฯลฯ เก็บเกี่ยวในช่วงผลแห้ง

การใช้น้ำในขณะที่พืชยังเล็กอยู่นั้นค่อนข้างน้อย อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่พืชใช้ (Evapotranspiration) กับปริมาณที่ระเหยจากถาดวัดการระเหยจะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.5 ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่เนื่องมาจากการระเหยจากผิวดิน เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ กล่าวคือ



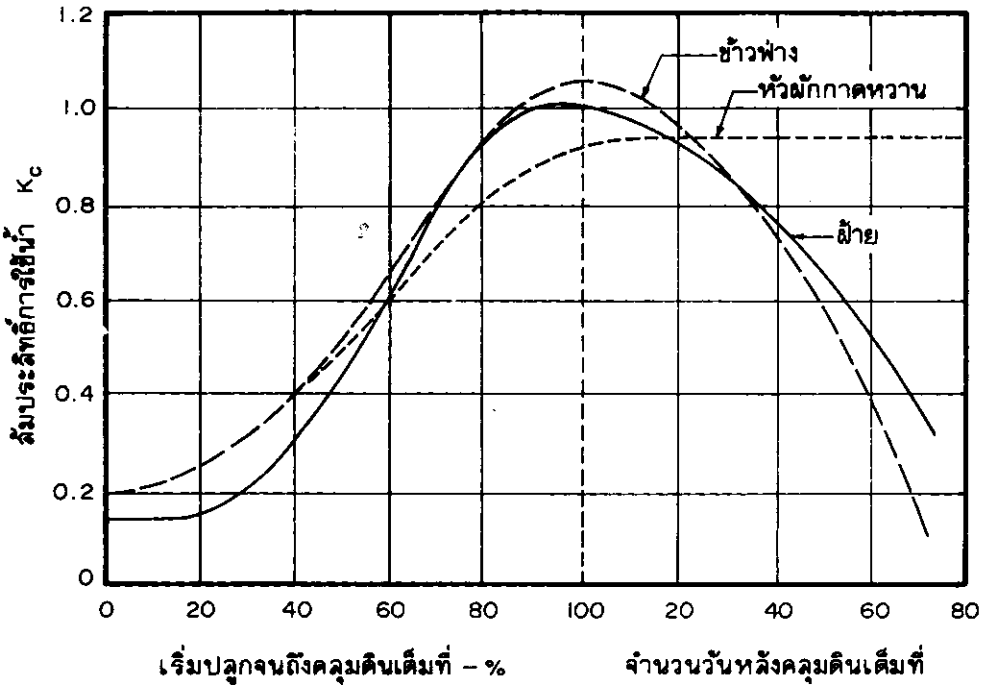
รูปที่ 4.8 การติดตั้ง U.S. Weather Bureau Class A Pan.

ในระยะหลังของช่วงแตกใบและในช่วงออกดอก พืชจะมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้น อัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.75 ถึง 1.0 หรือบางครั้งอาจมากกว่า 1.0 ได้เล็กน้อย ยกเว้นพืชบางชนิด เช่น สับปะรด ซึ่งจะมีอัตราส่วนประมาณ 0.35 ทั้งนี้เพราะรูใบของสับปะรดจะปิดในตอนกลางวัน ช่วงออกผล การใช้น้ำของพืชจะลดลงเพราะพืชจะมีการเจริญเติบโตน้อยลง แต่จะลดไม่มากนักในระยะที่ผลยังสดอยู่ กล่าวคือจะลดจากระยะที่พืชมีการเจริญเติบโตที่ประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่การใช้น้ำจะลดลงมากในระยะผลแห้ง

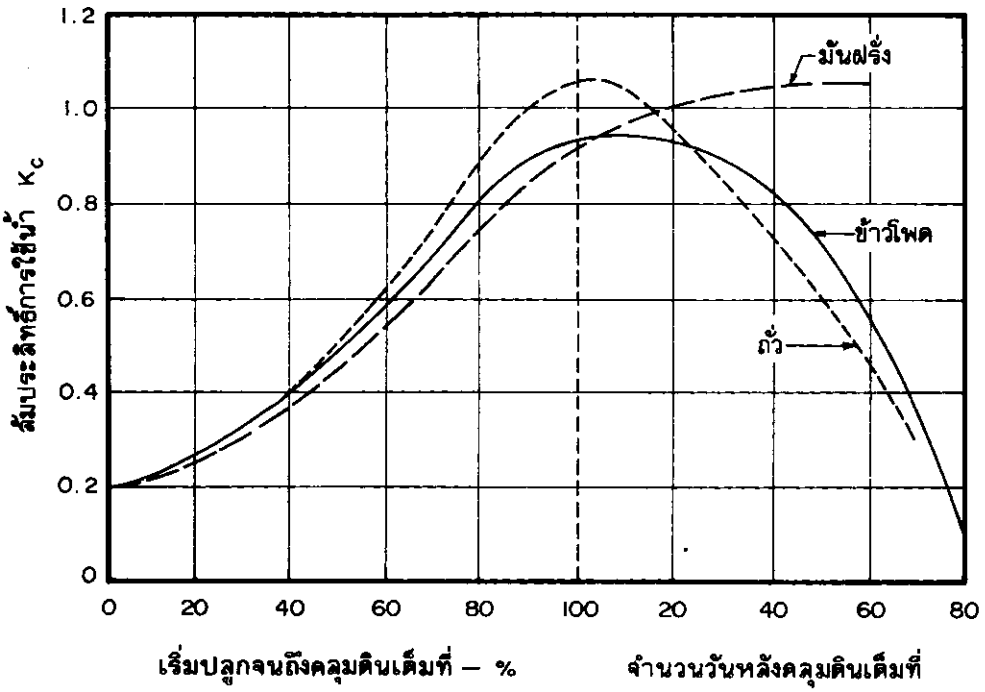
การที่จะหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งโดยอาศัยข้อมูลจากถาดวัดการระเหยนั้น เราจำเป็นจะต้องทราบอัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากถาดวัดการระเหย อัตราส่วนดังกล่าวนี้เรียกว่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย (Pan Coefficient) ค่าดังกล่าวสำหรับพืชบางชนิดอาจดูได้จากตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับอายุของพืชที่ปลูกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและฤดูการเพาะปลูกด้วย พืชบางชนิดจะมีการใช้น้ำมากเพียงไม่กี่วัน พืชบางชนิดอาจมีระยะเวลาที่ใช้น้ำมากนานเป็นเดือน อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าได้มีผู้ศึกษาการใช้น้ำของพืชโดยการเทียบกับการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_P) อยู่มาก ดังนั้นถ้าหากไม่สามารถหาสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยได้โดยตรงแล้ว ก็อาจจะแปลงการระเหยจากถาดวัดการระเหยให้เป็น ET_P เสียก่อน โดยการคูณการระเหยจากถาดวัดการระเหยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ค่าหนึ่ง สำหรับประเทศไทยค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวอาจจะใช้เท่ากับ 0.85 จากนั้นจึงหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการ โดยการคูณค่าที่ได้ด้วยสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (ดังเช่นจากรูปที่ 4.9-4.12 และตารางที่ 4.2) สำหรับพืชที่ต้องการในภายหลัง สำหรับระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงโตคลุมดินเต็มที่ (Planting to effective cover) สำหรับพืชสำคัญ ๆ มีดังนี้คือ ถั่ว 35 วัน ข้าวโพด 85 วัน ฝ้าย 140 วัน มันฝรั่ง 65 วัน หัวผักกาดหวาน (Sugar Beets) 110 วัน ข้าวฟ่าง 85 วัน

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคูณการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ Class-A pan เพื่อให้ได้ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

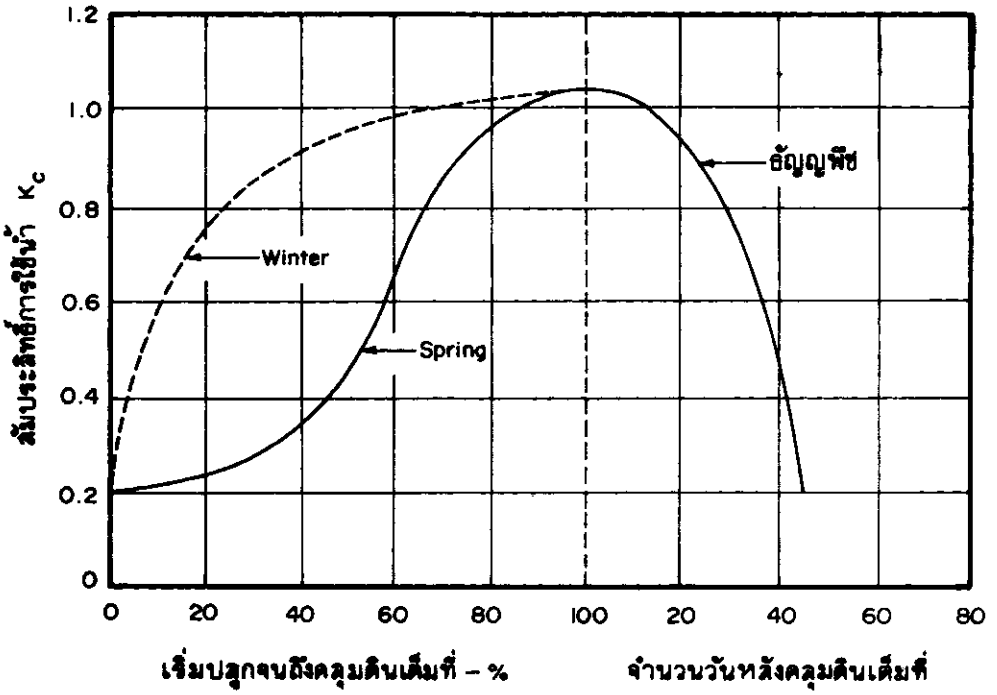
พืช	เปอร์เซนต์ของอายุพืช										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ถั่วต่าง ๆ	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.80	0.60	0.35	0.20
พืชผลไม้ประเภทส้มและอาโวกาโด	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.55	0.60	0.55	0.50
ข้าวโพด	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.60	0.50
ฝ้าย	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35
ไม้ผลประเภทผลัดใบ	0.20	0.30	0.50	0.65	0.70	0.75	0.70	0.60	0.50	0.40	0.20
ไม้ผลมีพืชคลุมดิน	ค่าเฉลี่ยประมาณ 1.0 ในช่วงที่พืชคลุมดินกำลังโตเต็มที่										
ข้าวฟ่าง	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.15
ธัญญพืชปลูกฤดูใบไม้ผลิ	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
ธัญญพืชปลูกฤดูหนาว	0.15	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.90	0.30
องุ่น	0.15	0.15	0.20	0.35	0.45	0.55	0.55	0.45	0.35	0.25	0.20
ถั่วลิสง	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30
มันฝรั่ง	0.20	0.35	0.45	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90
ข้าว	0.80	0.95	1.05	1.15	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50
อ้อย	มีค่าอยู่ในช่วงจาก 0.55 ถึง 1.0 ขึ้นอยู่กับอัตราและช่วงการเจริญเติบโต										
พืชผัก											
รากลึก	0.20	0.20	0.25	0.35	0.50	0.65	0.70	0.60	0.45	0.35	0.20
รากตื้น	0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30



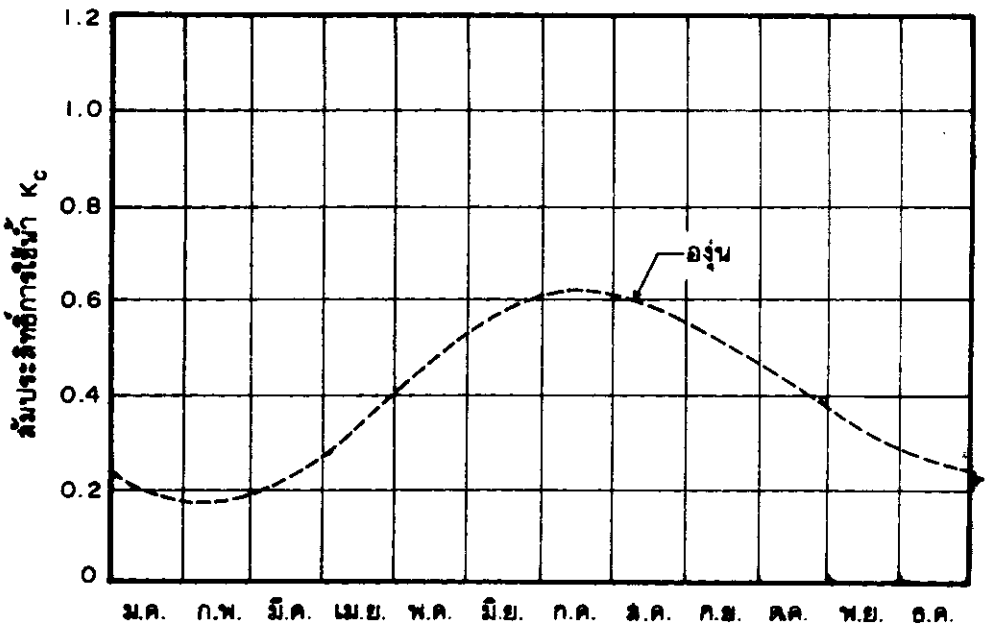
รูปที่ 4.9 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ สำหรับฝ้าย ข้าวฟ่าง และหัวผักกาดหวาน



รูปที่ 4.10 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ สำหรับมันฝรั่ง ข้าวโพด และถั่ว



รูปที่ 4.11 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ สำหรับธัญญพืช(Small Grains)



รูปที่ 4.12 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ สำหรับองุ่น

ตารางที่ 4.2 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ระยะการเจริญเติบโตช่วงต่างๆ

พืช	เริ่มปลูกจนถึงคลุมดินเต็มที่ - เปอร์เซนต์									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ธัญญพืช	0.19	0.22	0.30	0.44	0.61	0.80	0.98	1.13	1.23	1.25
ถั่ว (ต้น)	0.24	0.28	0.36	0.47	0.61	0.76	0.91	1.05	1.18	1.28
ถั่ว (เถา)	0.24	0.29	0.37	0.48	0.61	0.76	0.90	1.04	1.16	1.26
มันฝรั่ง	0.12	0.16	0.24	0.36	0.49	0.64	0.78	0.91	1.02	1.09
หัวผักกาดหวาน	0.12	0.16	0.24	0.36	0.49	0.64	0.78	0.91	1.02	1.09
ข้าวโพด	0.24	0.28	0.35	0.46	0.59	0.73	0.86	0.98	1.09	1.15
อัลฟัลฟา	0.43	0.56	0.70	0.82	0.94	1.08	1.20	1.20	1.20	1.20
ทุ่งหญ้า	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

	จำนวนวันนับจากคลุมดินเต็มที่									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
ธัญญพืช	1.25	1.13	0.89	0.59	0.23	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
ถั่ว (ต้น)	1.22	1.15	1.02	0.88	0.71	0.54	0.37	0.23	0.12	0.12
ถั่ว (เถา)	1.18	1.22	1.19	0.91	0.24	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
มันฝรั่ง	1.08	1.02	0.90	0.72	0.46	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
หัวผักกาดหวาน	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08
ข้าวโพด	1.18	1.18	1.12	0.98	0.82	0.65	0.48	0.34	0.24	0.20
อัลฟัลฟา	0.90	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
ทุ่งหญ้า	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05

ที่มา : ASCE Committee on Irrigation Water Requirements.

ภาคผนวก

ตารางสำหรับใช้คำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration)

ตาราง A-1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชตลอดฤดูการเพาะปลูก (K) สำหรับใช้ในสูตรของ Blaney-Criddle

ตาราง A-2 เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันในเดือนต่าง ๆ ของปี (p) สำหรับซีกโลกเหนือ ตั้งแต่ละติจูด 0 ถึง 25 องศา

ตาราง A-3 รังสีอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่สำหรับซีกโลกเหนือ เทียบเป็นอัตราการระเหยของไอน้ำที่ 20° C เป็น มม./วัน

ตาราง A-4 ค่าของ $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

ตาราง A-5 ค่าของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีผิวดำสนิท σT^4 เทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม./วัน

ตาราง A-6 ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็นมิลิบาร์

ตาราง A-1 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชตลอดฤดูการเพาะปลูก (K) สำหรับใช้ในสูตรของ Blaney-Criddle

พืช	อายุการเพาะปลูก 1/	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (K) 2/
อัลฟัลฟ่า	ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 0°C	0.80 - 0.90
กล้วย	ตลอดปี	.80 - 1.00
ถั่วต่าง ๆ	3 เดือน	.60 - .70
กาแฟ	ตลอดปี	.70 - .80
ข้าวโพด	4 เดือน	.75 - .85
ฝ้าย	7 เดือน	.60 - .70
อินทผาลัม	ตลอดปี	.65 - .80
ป่าน	7-8 เดือน	.70 - .80
ธัญญพืช	3 เดือน	.75 - .85
ข้าวฟ่าง	4-5 เดือน	.70 - .80
พืชน้ำมัน (เมล็ด)	3-5 เดือน	.65 - .75
พืชสวน :		
อาโวกาโด	ตลอดปี	.50 - .55
Grapefruit	ตลอดปี	.55 - .65
ส้มและมะนาว	ตลอดปี	.45 - .55
วอลนัท	ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 0°C	.60 - .70
พืชผลัดใบ	ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 0°C	.60 - .70
ทุ่งหญ้าอาหารสัตว์		
หญ้า	ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 0°C	.75 - .85
Ladino Whiteclover	ช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 0°C	.80 - .85
มันฝรั่ง	3-5 เดือน	.65 - .75
ข้าว	3-5 เดือน	1.00 - 1.10
ถั่วเหลือง	140 วัน	.65 - .70
หัวผักกาดหวาน	6 เดือน	.65 - .75
อ้อย	ตลอดปี	.80 - .90
ยาสูบ	4 เดือน	.70 - .80
มะเขือเทศ	4 เดือน	.65 - .70
ผักต่าง ๆ	2-4 เดือน	.60 - .70
องุ่น	5-7 เดือน	.50 - .60

1/ อายุการเพาะปลูกส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับพันธุ์และฤดูที่ปลูก พืชชนิดเดียวกันถ้าปลูกในฤดูหนาวจะมีอายุการปลูกมากกว่าถ้าปลูกในฤดูร้อน

2/ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (K) ค่าต่ำใช้สำหรับเขตชุ่มชื้น และค่าสูงใช้สำหรับเขตแห้งแล้ง K = 1.0 สำหรับการระเหยจากอ่างเก็บน้ำในเขตแห้งแล้ง และ K = 0.90 สำหรับอ่างเก็บน้ำบริเวณชายฝั่งทะเล

ตาราง A-2 เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันในเดือนต่าง ๆ ของปี (p) สำหรับซีกโลกเหนือ ตั้งแต่เส้นรุ้ง 0 ถึง 25 องศา

เส้นรุ้ง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
25°	7.54	7.14	8.39	8.62	9.33	9.24	9.45	9.08	8.31	8.08	7.40	7.42
24°	7.58	7.16	8.39	8.60	9.30	9.19	9.40	9.06	8.31	8.10	7.44	7.47
23°	7.62	7.19	8.40	8.58	9.26	9.15	9.36	9.04	8.30	8.12	7.47	7.51
22°	7.67	7.21	8.40	8.56	9.22	9.11	9.32	9.01	8.30	8.13	7.51	7.56
21°	7.71	7.24	8.41	8.55	9.18	9.06	9.28	8.98	8.29	8.15	7.55	7.60
20°	7.75	7.26	8.41	8.53	9.15	9.02	9.24	8.95	8.29	8.17	7.58	7.65
19°	7.79	7.28	8.41	8.51	9.12	8.97	9.20	8.93	8.29	8.19	7.61	7.70
18°	7.83	7.31	8.41	8.50	9.08	8.93	9.16	8.90	8.29	8.20	7.65	7.74
17°	7.87	7.33	8.42	8.48	9.04	8.89	9.12	8.88	8.28	8.22	7.68	7.79
16°	7.91	7.35	8.42	8.47	9.01	8.85	9.08	8.85	8.28	8.23	7.72	7.83
15°	7.94	7.37	8.43	8.45	8.98	8.81	9.04	8.83	8.27	8.25	7.75	7.88
14°	7.98	7.39	8.43	8.43	8.94	8.77	9.00	8.80	8.27	8.27	7.79	7.93
13°	8.02	7.41	8.43	8.42	8.91	8.73	8.96	8.78	8.26	8.29	7.82	7.97
12°	8.06	7.43	8.44	8.40	8.87	8.69	8.92	8.76	8.26	8.31	7.85	8.01
11°	8.10	7.45	8.44	8.39	8.84	8.66	8.88	8.73	8.26	8.33	7.88	8.05
10°	8.14	7.47	8.45	8.37	8.81	8.61	8.85	8.71	8.25	8.34	7.91	8.09
9°	8.18	7.49	8.45	8.35	8.77	8.57	8.81	8.68	8.25	8.36	7.95	8.14
8°	8.21	7.51	8.45	8.34	8.74	8.53	8.78	8.66	8.25	8.37	7.98	8.18
7°	8.25	7.53	8.46	8.32	8.71	8.49	8.74	8.64	8.25	8.38	8.01	8.22
6°	8.28	7.55	8.46	8.31	8.68	8.45	8.71	8.62	8.24	8.40	8.04	8.26
5°	8.32	7.58	8.47	8.29	8.65	8.41	8.67	8.60	8.24	8.41	8.07	8.30
4°	8.36	7.59	8.47	8.28	8.62	8.37	8.64	8.57	8.23	8.43	8.10	8.34
3°	8.40	7.61	8.48	8.26	8.58	8.33	8.60	8.55	8.23	8.45	8.13	8.38
2°	8.43	7.63	8.49	8.25	8.55	8.29	8.57	8.53	8.22	8.46	8.16	8.42
1°	8.47	7.65	8.49	8.23	8.52	8.25	8.53	8.51	8.22	8.48	8.19	8.46
0°	8.50	7.67	8.49	8.22	8.49	8.22	8.50	8.49	2.21	8.49	8.22	8.50

ตาราง A-3 รังสีอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่สำหรับซีกโลกเหนือ เทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำที่ 20C เป็น มม/วัน

เส้นรุ้ง	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
50°	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48°	4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46°	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44°	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42°	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40°	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38°	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36°	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34°	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32°	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30°	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28°	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8
26°	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24°	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22°	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20°	11.2	12.7	14.4	15.6	16.3	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18°	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.8	14.9	13.6	12.0	11.1
16°	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14°	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12°	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10°	13.2	14.2	15.3	15.7	15.5	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8°	13.6	14.5	15.3	15.6	15.3	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6°	13.9	14.8	15.4	15.4	15.1	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4°	14.3	15.0	15.5	15.5	14.9	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2°	14.7	15.3	15.6	15.3	14.6	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0°	15.0	15.5	15.7	15.3	14.4	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

ตาราง A-4 ค่าของ $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

อุณหภูมิ °C	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
0	.398	.402	.405	.408	.412
1	.415	.418	.422	.425	.428
2	.431	.435	.438	.441	.444
3	.447	.451	.454	.457	.460
4	.463	.466	.470	.473	.476
5	.479	.482	.485	.488	.491
6	.494	.497	.500	.503	.506
7	.509	.512	.515	.518	.521
8	.524	.527	.530	.533	.536
9	.539	.541	.544	.547	.550
10	.553	.556	.558	.561	.564
11	.567	.570	.572	.575	.578
12	.580	.583	.586	.589	.591
13	.594	.597	.599	.602	.604
14	.607	.610	.612	.615	.617
15	.620	.622	.625	.627	.630
16	.632	.635	.637	.640	.642
17	.645	.647	.650	.652	.654
18	.657	.659	.662	.664	.666
19	.669	.671	.673	.676	.678
20	.680	.682	.685	.687	.689
21	.691	.694	.696	.698	.700
22	.702	.705	.707	.707	.711
23	.713	.715	.717	.719	.721
24	.723	.726	.728	.730	.732
25	.734	.736	.738	.740	.742
26	.743	.745	.747	.749	.751
27	.753	.755	.757	.759	.761
28	.762	.764	.766	.768	.770

ตาราง A-4 ค่าของ $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส (ต่อ)

อุณหภูมิ °C	.0.0	0.2	0.4	0.6	0.8
29	.771	.773	.775	.777	.779
30	.780	.782	.784	.785	.787
31	.789	.790	.792	.794	.795
32	.797	.799	.800	.802	.803
33	.805	.807	.808	.810	.811
34	.813	.814	.816	.817	.819
35	.820	.822	.823	.824	.826
36	.827	.829	.830	.831	.833
37	.834	.835	.837	.838	.839
38	.841	.842	.843	.845	.846
39	.847	.848	.850	.851	.852
40	.853	.854	.855	.857	.858
41	.859	.860	.861	.862	.863
42	.864	.866	.867	.868	.869
43	.870	.871	.872	.873	.874
44	.875	.876	.877	.878	.878
45	.879	.880	.881	.882	.883
46	.884	.885	.885	.886	.886
47	.888	.889	.890	.890	.891
48	.892	.893	.893	.894	.895
49	.895	.896	.897	.897	.898
50	.899				

ตาราง A-5 ค่าของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีผิวดำสนิท σT^4 เทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำเป็น มม/วัน

อุณหภูมิ °C	σT^4 มม/วัน	อุณหภูมิ °C	σT^4 มม/วัน	อุณหภูมิ °C	σT^4 มม/วัน
0	11.21	17	14.28	34	17.93
1	11.38	18	14.48	35	18.17
2	11.55	19	14.68	36	18.41
3	11.72	20	14.88	37	18.64
4	11.89	21	15.08	38	18.89
5	12.06	22	15.29	39	19.13
6	12.23	23	15.50	40	19.38
7	12.41	24	15.71	41	19.63
8	12.59	25	15.92	42	19.88
9	12.77	26	16.14	43	20.13
10	12.95	27	16.35	44	20.39
11	13.13	28	16.57	45	20.65
12	13.32	29	16.79	46	20.91
13	13.51	30	17.02	47	21.17
14	13.70	31	17.24	48	21.44
15	13.89	32	17.47	49	21.70
16	14.08	33	17.70	50	21.98

* คำนวณจาก Table 129-B, Smithsonian Meteorological Tables by R.J. List, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol. 114 pp. 413, 1966

** ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอน้ำใช้ค่าคงที่เท่ากับ 580 แคลอรี่ต่อกรัม

ตาราง A-6 ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็น มิลิบาร์

อุณหภูมิ °C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
0	6.11	6.15	6.20	6.24	6.29	6.33	6.38	6.42	6.47	6.52
1	6.57	6.61	6.66	6.71	6.76	6.81	6.85	6.90	6.95	7.00
2	7.05	7.10	7.16	7.21	7.26	7.31	7.36	7.41	7.47	7.52
3	7.57	7.63	7.68	7.74	7.79	7.85	7.90	7.96	8.01	8.07
4	8.13	8.19	8.24	8.30	8.36	8.42	8.48	8.54	8.60	8.66
5	8.72	8.78	8.84	8.90	8.96	9.03	9.09	9.15	9.22	9.28
6	9.35	9.41	9.48	9.54	9.61	9.67	9.74	9.81	9.88	9.94
7	10.01	10.08	10.15	10.22	10.29	10.36	10.43	10.50	10.58	10.65
8	10.72	10.79	10.87	10.94	11.02	11.09	11.17	11.24	11.32	11.40
9	11.47	11.55	11.63	11.71	11.79	11.87	11.95	12.03	12.11	12.19
10	12.27	12.35	12.44	12.52	12.61	12.69	12.77	12.86	12.95	13.03
11	13.12	13.21	13.29	13.38	13.47	13.56	13.65	13.74	13.83	13.92
12	14.02	14.11	14.20	14.30	14.39	14.49	14.58	14.68	14.77	14.87
13	14.97	15.07	15.17	15.27	15.36	15.47	15.57	15.67	15.77	15.87
14	15.98	16.08	16.19	16.29	16.40	16.50	16.61	16.72	16.83	16.93
15	17.04	17.15	17.26	17.38	17.49	17.60	17.71	17.83	17.94	18.06
16	18.17	18.29	18.41	18.52	18.64	18.76	18.88	19.00	19.12	19.24
17	19.37	19.49	19.61	19.74	19.86	19.99	20.12	20.24	20.37	20.50
18	20.63	20.76	20.89	21.02	21.15	21.29	21.42	21.56	21.69	21.83
19	21.96	22.10	22.24	22.38	22.52	22.66	22.80	22.94	23.08	23.23
20	23.37	23.52	23.66	23.81	23.96	24.11	24.26	24.41	24.56	24.71
21	24.86	25.01	25.17	25.32	25.48	25.63	25.79	25.95	26.11	26.27
22	26.43	26.59	26.75	26.92	27.08	27.25	27.41	27.58	27.75	27.92
23	28.09	28.26	28.43	28.60	28.77	28.95	29.12	29.30	29.47	29.65
24	29.83	30.01	30.19	30.37	30.55	30.74	30.92	31.11	31.29	31.48

ตาราง A-6 ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็น มิลิบาร์ (ต่อ)

อุณหภูมิ °C	.0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9
25	31.67	31.86	32.05	32.24	32.43	32.63	32.82	33.02	33.21	33.41
26	33.61	33.81	34.01	34.21	34.41	34.61	34.82	35.02	35.23	35.44
27	35.65	35.86	36.07	36.28	36.49	36.71	36.92	37.14	37.36	37.58
28	37.80	38.02	38.24	38.46	38.69	38.91	39.14	39.36	39.59	39.82
29	40.05	40.29	40.52	40.75	40.99	41.23	41.47	41.70	41.94	42.19
30	42.43	42.67	42.92	43.17	43.41	43.66	43.91	44.16	44.42	44.67
31	44.93	45.18	45.44	45.70	45.96	46.22	46.49	46.75	47.02	47.28
32	47.55	47.82	48.09	48.36	48.64	48.91	49.19	49.47	49.74	50.02
33	50.31	50.59	50.87	51.16	51.45	51.74	52.03	52.32	52.61	52.90
34	53.20	53.50	53.80	54.10	54.40	54.70	55.00	55.31	55.62	55.93
35	56.24	56.55	56.86	57.18	57.49	57.81	58.13	58.45	58.77	59.10
36	59.42	59.75	60.08	60.41	60.74	61.07	61.41	61.74	62.08	62.42
37	62.76	63.10	63.45	63.80	64.14	64.49	64.84	65.20	65.55	65.91
38	66.26	66.62	66.98	67.35	67.71	68.08	68.45	68.81	69.19	69.56
39	69.93	70.31	70.69	71.07	71.45	71.83	72.22	72.60	72.99	73.38.
40	73.78	74.17	74.57	74.97	75.36	75.77	76.17	76.57	76.98	77.39
41	77.80	78.21	78.63	79.05	79.46	79.88	80.31	80.73	81.16	81.58
42	82.01	82.45	82.88	83.32	83.75	984.19	84.64	85.08	85.52	85.97
43	86.42	86.87	87.33	87.78	88.24	88.70	89.16	89.63	90.09	90.56
44	91.03	91.51	91.98	92.46	92.94	93.42	93.90	94.39	94.87	95.36
45	95.85	96.35	96.84	97.34	97.84	98.35	98.85	99.36	99.87	100.38
46	100.89	101.41	101.93	102.45	102.97	103.50	104.03	104.56	105.09	105.62
47	106.16	106.70	107.24	107.78	108.33	108.88	109.43	109.98	110.54	111.10
48	111.66	112.22	112.79	113.36	113.93	114.50	115.07	115.65	116.23	116.81
49	117.40	117.99	118.58	119.17	119.77	120.37	120.97	121.57	122.18	122.79
50	123.40	124.01	124.63	125.25	125.87	126.49	127.12	127.75	128.38	129.01

บทที่ 5
น้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช และประสิทธิภาพในการชลประทาน

วัตถุประสงค์หลักของการชลประทานนั้น ก็เพื่อจัดหาน้ำมาให้แก่พืชให้ทันเวลาและมีปริมาณพอเหมาะกับที่มันต้องการ โดยปริมาณที่ให้แต่ละครั้งจะต้องไม่น้อยจนเกินไป จนกระทั่งพืชต้องขาดน้ำก่อนที่จะถึงกำหนดการให้น้ำครั้งต่อไป หรือมากเกินไปจนกระทั่งดินในเขตรากไม่สามารถเก็บไว้ได้หมด และทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยการซึมลงเขตรากขึ้น ยกเว้นแต่ว่าส่วนที่เกินจากที่ดินจะเก็บไว้ได้นั้นเพื่อประโยชน์อย่างอื่นด้วย เช่น เพื่อการชะล้างเกลือออกจากดิน และเพื่อควบคุมอุณหภูมิของบรรยากาศรอบ ๆ ต้นพืช เป็นต้น การให้น้ำแก่พืชมากจนเกินพอนั้น นอกจากจะสูญเสียน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์แล้ว ยังจะทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง อาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำ ซึ่งแก้ไขได้ยาก และอาจจะทำให้คุณภาพของพื้นที่เพาะปลูกและผลิตผลลดลงด้วย

5.1 ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช

โดยปกติแล้ว น้ำที่พืชใช้ในการเจริญเติบโตจะได้มาจาก 4 แหล่งด้วยกัน คือ

1. จากความชื้นที่เหลืออยู่ในดินหลังการเก็บเกี่ยว หรือสิ้นฤดูการเพาะปลูกแล้ว เมื่อปลูกพืชครั้งต่อไป ความชื้นดังกล่าวนี้ถ้ามีปริมาณมากพอพืชก็สามารถนำไปใช้ได้ บางแห่งอาจจะได้รับเพิ่มเติมจากฝนที่ตกนอกฤดูการเพาะปลูกด้วย อย่างไรก็ตาม น้ำจากแหล่งนี้มีให้พืชเอาไปใช้ไม่มากนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่มีรากตื้น เพราะดินในชั้นบนจะมีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยจากผิวดินไปบ้าง

2. จากน้ำใต้ดิน ถ้าหากน้ำใต้ดินอยู่ในระดับที่จะซึมขึ้นมาถึงเขตรากได้ พืชก็จะได้รับน้ำส่วนนี้เหมือนกัน แต่น้ำจะต้องมีคุณภาพดี มิฉะนั้นจะทำให้มีการสะสมเกลือในเขตรากขึ้น

3. จากฝนที่ตกในฤดูการเพาะปลูก ซึ่งพืชอาจจะนำไปใช้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เพราะส่วนที่ซึมลงไปเก็บไว้ในดินและพืชนำไปใช้ได้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น อัตราและปริมาณของฝน อัตราการซึมของน้ำฝนเข้าไปในดิน ความสามารถเก็บน้ำของดิน และความชื้นเดิมของดินก่อนฝนตก เป็นต้น ถ้าอัตราที่ฝนตกสูงกว่าอัตราที่มันซึมเข้าไปในดิน ส่วนที่เกินก็จะกลายเป็นน้ำผิวดิน (Runoff) ไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง หรือถ้าปริมาณที่ซึมลงไปในดินมากกว่าที่ดินจะเก็บไว้ได้ ก็จะมีการซึมเลยเขตรากพืชออกไปอีก ดังนั้นปริมาณน้ำฝนที่พืชจะนำไปใช้ได้อย่างแท้จริง จึงจำกัดเฉพาะส่วนที่เก็บกักอยู่ในเขตราก หรือในแปลงนาซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ได้เท่านั้น

4. จากน้ำชลประทานที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืชเพิ่มเติมจากในข้อ 1 ถึง 3 แต่เนื่องจากว่าความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน และที่ซึมขึ้นมาจากใต้ดินมีปริมาณไม่มากนัก และยังหาจำนวนที่แน่นอนได้ยากในทางปฏิบัติ น้ำดังกล่าวนี้จึงไม่นำมาหักออกจากปริมาณน้ำที่ต้องการทั้งหมด ดังนั้น น้ำชลประทานที่จะต้องจัดหามาเพิ่มเติมที่แปลงเพาะปลูกคือ ปริมาณที่พืชต้องการสำหรับการระเหยและคายน้ำรวมกับที่ต้องการสำหรับวัตถุประสงค์อย่างอื่น เช่น สำหรับการควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเขตราก หักด้วยปริมาณน้ำฝนที่พืชนำไปใช้ได้หรือฝนใช้การ (Effective Rainfall) ซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการ

$$W_n = ET_c + W_l - R_e \qquad .....5.1$$

โดย W_n เป็นปริมาณสุทธิที่พืชต้องการซึ่งจะต้องจัดหามาให้แก่พื้นที่เพาะปลูก (Net Water Requirement) กล่าวคือ เป็นปริมาณที่ดินทุก ๆ จุดในพื้นที่จะได้รับจากน้ำชลประทาน ET_c เป็นปริมาณที่พืชใช้สำหรับการระเหยและคายน้ำ W_l เป็นปริมาณที่เผื่อไว้สำหรับควบคุมความเข้มข้นของเกลือในดิน (Leaching Requirement) และ R_e เป็นฝนใช้การ (Effective Rainfall)

เนื่องจากว่าน้ำที่พืชใช้นั้น ส่วนหนึ่งเป็นการระเหยจากผิวดินโดยตรง นอกจากนั้นน้ำที่พืชใช้ไปในการคายน้ำพาเอาเกลือไปด้วยน้อยมาก ดังนั้น ถ้าน้ำหรือดินมีเกลืออยู่มาก ปริมาณน้ำสุทธิที่ให้แก่พืชจะต้องเผื่อไว้สำหรับชะล้างเกลือในดินด้วย ปริมาณที่ให้เพิ่มเติมเพื่อการชะล้างเกลือในดินนี้เรียกว่า **Leaching Requirement** สำหรับประเทศไทย เกลือที่อยู่ในดินและน้ำค่อนข้างน้อยเนื่องจากว่ามีฝนช่วยชะล้างให้อยู่เป็นประจำทุกปี ดังนั้นโดยปกติแล้วไม่จำเป็นต้องเผื่อไว้สำหรับการนี้

5.2 ฝนใช้การ (Effective Rainfall)

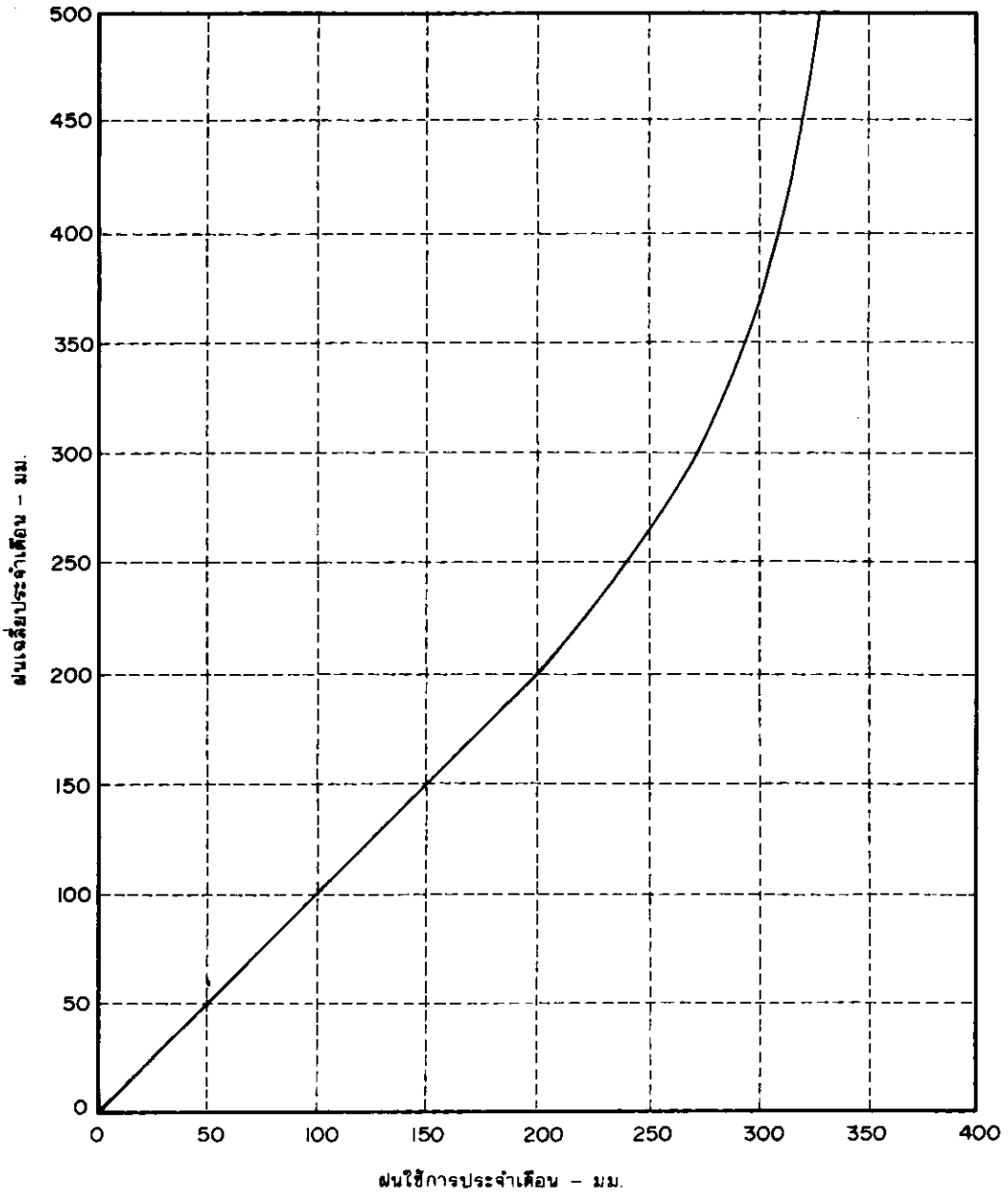
ฝนใช้การ (Effective Rainfall) หมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรืออีกนัยหนึ่งเป็นส่วนของน้ำฝนที่ทดแทนความต้องการน้ำชลประทานที่แปลงเพาะปลูกซึ่งจะต้องให้แก่พืชในวันที่มีฝนตกนั้น

โดยปกติแล้วไม่จำเป็นว่าฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะว่าส่วนที่จะเป็นประโยชน์อย่างแท้จริงนั้นคือส่วนที่เก็บกักไว้ในเขตรากที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ในภายหลัง หรือในกรณีที่เป็นนาข้าวก็จะเป็นส่วนที่ขังอยู่ในแปลงนาในระดับที่ไม่มากเกินไปจนเป็นอันตรายแก่ข้าว เช่น สมมุติว่า ในวันที่ 20 กรกฎาคม ถึงกำหนดที่จะต้องให้น้ำแก่ข้าวโพดจำนวน 100 มม. ถ้าฝนตกในวันที่ 19 จำนวน 30 มม. ฝนดังกล่าวนี้ก็อาจจะเป็นฝนใช้การทั้งหมด ในทางตรงกันข้าม ถ้าฝนตกในวันที่ 21 ซึ่งเพิ่งให้น้ำเสร็จ ฝน 30 มม. อาจจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชเลยก็ได้ จะเห็นได้ว่าจำนวนฝนใช้การที่แท้จริงนั้น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น ความชื้นของดินหรือระดับน้ำในแปลงนาก่อนฝนตก อัตราและปริมาณของฝน อัตราการซึมของน้ำฝนเข้าไปในดิน ความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตราก ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เพาะปลูก ชนิดและอัตราการใช้น้ำของพืชที่ปลูก เป็นต้น

เนื่องจากว่าวิธีการให้น้ำของข้าวนั้นแตกต่างจากพืชไร่มาก ดังนั้น ปริมาณฝนใช้การสำหรับข้าวจะได้พิจารณาแยกต่างหากจากพืชไร่

5.2.1 **ฝนใช้การสำหรับข้าว** ก่อนอื่นต้องเข้าใจว่านาข้าวส่วนใหญ่มีคันดินล้อมรอบ ฝนที่ตกลงในนาถ้ามีปริมาณไม่มากจนเกินไปก็จะถูกเก็บกักไว้ได้ทั้งหมด นอกจากนั้นข้าวยังมีความต้องการน้ำชลประทานสูงเพราะจะต้องเผื่อไว้สำหรับการรั่วซึมในแปลงนาซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ด้วย โดยปกติความต้องการน้ำในแปลงนาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 150 ถึง 300 มิลลิเมตรต่อเดือน ดังนั้น อาจถือว่าฝนที่ตกด้วยอัตราปกติและแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดเดือนในขนาดไม่เกินความต้องการน้ำสำหรับเดือนนั้น ๆ เป็นฝนใช้การทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ข้อกำหนดดังกล่าวนี้จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อระดับน้ำในแปลงนาไม่สูงจนเกินไปในขณะที่ฝนตก เพราะเมื่อมีน้ำฝนมาเพิ่ม ระดับน้ำอาจจะสูงเกินไปจนไม่สามารถใช้น้ำฝนให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ นี่เป็นสาเหตุหนึ่งที่แนะนำชาวนาให้รักษาระดับน้ำในนาให้ต่ำเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา (Engineering Consultants, Inc.) ได้แนะนำวิธีการคำนวณปริมาณฝนใช้การสำหรับนาข้าวไว้ดังรูปที่ 5.1 ข้อแนะนำ



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยประจำเดือน และฝนใช้การสำหรับนาข้าวซึ่งแนะนำโดยบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา (Engineering Consultants, Inc.)

ดังกล่าวมีอว่าฝนที่ตกไม่เกิน 200 มม. ตลอดเดือนเป็นฝนใช้การได้ทั้งหมด ส่วนที่เกิน 200 มม. ฝนใช้การลดลงตามส่วนดังนี้ คือ

ฝนรายเดือน-มม.	ฝนใช้การ-มม.(%)	% ของฝนที่เพิ่มขึ้น 50 มม.
200	200 (100%)	
250	237.5 (95.0%)	75%
300	270.0 (90.0%)	65%
350	292.5 (83.6%)	45%
400	310.0 (77.5%)	35%
450	320.0 (71.1%)	20%
500	325.0 (65.0%)	10%

จากรูปที่ 5.1 และตัวเลขที่แสดงข้างบนจะเห็นว่า เมื่อฝนรายเดือนเพิ่มขึ้นจาก 200 มม. เปอร์เซนต์ของฝนรายเดือนที่ใช้การได้จะลดลง เช่น เมื่อฝนรายเดือนเท่ากับ 400 มม. จะเป็นฝนใช้การเพียง 310 มม. หรือ 77.5 เปอร์เซนต์ของฝนรายเดือนเท่านั้น สัดส่วนของฝนใช้การจะลดลงเมื่อฝนรายเดือนมีค่าเพิ่มขึ้น เช่นฝนรายเดือนมีค่าเพิ่มจาก 200 แต่ไม่เกิน 250 ฝนที่เพิ่มจาก 200 มม. เป็นฝนใช้การ 75 เปอร์เซนต์ และส่วนที่เพิ่มจาก 250 แต่ไม่เกิน 300 มม. เป็นฝนใช้การเพียง 65 เปอร์เซนต์ เป็นต้น

ขอให้สังเกตว่าฝนใช้การสำหรับนาข้าวนั้นอาจมีค่ามากกว่าความต้องการน้ำชลประทานที่แปลงนาได้ ทั้งนี้เพราะถ้าระดับน้ำไม่สูงมากอยู่ก่อนแล้ว ฝนที่ตกลงมาก็สามารถเก็บไว้ใช้ในเดือนถัดไปได้ ซึ่งตรงกันข้ามกับพืชไร่ที่ฝนใช้การมีค่าเกินความต้องการน้ำไม่ได้ เพราะส่วนที่เกินนั้นจะซึมเลยเขตรากและไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ตัวอย่างที่ 5.1

จงหาจำนวนฝนใช้การสำหรับนาข้าวในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งมีฝนตกในเดือนกรกฎาคม สิงหาคม และกันยายน เท่ากับ 172.6, 222.6 และ 391.0 มม. ตามลำดับ

วิธีทำ

เดือนกรกฎาคม ฝนตก 172.6 มม. น้อยกว่า 200 มม. ดังนั้นฝนใช้การสำหรับเดือนนี้เท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ หรือ 172.6 มม.

เดือนสิงหาคม ฝนตก 222.6 มม. มากกว่า 200 มม. ส่วนที่เกิน 200 มม. คือ 22.6 มม. ใช้การ 75%

ดังนั้นฝนใช้การสำหรับเดือนสิงหาคม $= 200 + \frac{75}{100} \times 22.6 =$ **217 มม.**

หรืออ่านจากกราฟรูปที่ 5.1 ฝนใช้การ = **220 มม.**

เดือนกันยายน ฝนตก 391.0 มม.

จากตารางถ้าฝนตก 350 มม. เป็นฝนใช้การ 292.5 มม.

จาก 350 ถึง 400 มม. เป็นฝนใช้การ 35%

ดังนั้นฝนใช้การสำหรับเดือนกันยายน $= 292.5 + (391 - 350) \times \frac{35}{100}$

$= 292.5 + \frac{41 \times 35}{100} = 306.9$ มม.

อ่านจากกราฟรูปที่ 5.1 ฝนใช้การ = 307.5 มม.

5.2.2 **ฝนใช้การสำหรับพืชไร่** ค่าฝนใช้การสำหรับพืชไร่หมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ซึมลงไปในดินและเก็บไว้ในเขตรากที่พืชจะสามารถนำไปใช้ได้ในภายหลัง การประมาณค่าดังกล่าวนี้ค่อนข้างจะยุ่งยากมากกว่าในกรณีที่เป็นนาข้าว ทั้งนี้เพราะว่าตัวแปรที่มีผลต่อค่าดังกล่าวมีมากกว่า เช่น คุณสมบัติของดินที่มีผลต่ออัตราการซึมแตกต่างกันได้มาก ความลึกของรากพืชแต่ละชนิดไม่เท่ากัน ความลาดเทของแปลงซึ่งเกี่ยวข้องกับโอกาสที่น้ำฝนจะซึมลงไปในดินก็ต่างกันมาก ดังนั้นถ้าจะให้การประมาณค่าฝนใช้การมีความถูกต้องสูงแล้ว จะต้องแบ่งแยกพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ ให้มีลักษณะของตัวแปรที่กล่าวข้างต้นคล้ายคลึงกัน แล้วจึงแยกคำนวณปริมาณฝนใช้การของแต่ละแปลงย่อยนั้น

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาเรื่องนี้อย่างจริงจัง ค่าที่ใช้ในการออกแบบที่บริษัทวิศวกรที่ปรึกษาเลือกใช้ก็มีอยู่หลายแบบ ตารางที่ 5.1 เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กันอยู่นี้เป็นของกระทรวงเกษตร สหรัฐอเมริกา ซึ่งได้จากการวิเคราะห์สถิติน้ำฝนและคำนวณสมดุลย์ของความชื้นในดิน ทั้งนี้สมมุติว่าในขณะที่ถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำแก่พืชนั้น ดินในเขตรากมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ 75 มม. แต่ถ้าดินเก็บน้ำไว้มากกว่าหรือน้อยกว่าก็จะต้องใช้ตัวคูณปรับแก้จากบรรทัดล่างสุดของตารางคูณเข้าอีกทีหนึ่ง

เนื่องจากว่าประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้ ดังนั้นจึงไม่อาจบอกได้แน่นอนว่าค่าที่ประมาณได้นั้นถูกต้องมากน้อยแค่ไหน อย่างไรก็ตาม ในขณะที่ยังไม่มีผลการศึกษาในเรื่องนี้ เราอาจจะใช้วิธีการของกระทรวงเกษตรสหรัฐไปก่อน เข้าใจว่าโดยเฉลี่ยแล้วจะไม่ผิดความจริงมากนัก ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์ของกระทรวงเกษตรสหรัฐรวมเอาตัวเลขจากเขตชุ่มชื้นไปพิจารณาด้วย

การใช้ตารางที่ 5.1 เพื่อคำนวณฝนใช้การสำหรับพืชไร่ต้องการข้อมูลหลายอย่างด้วยกัน คือ จำนวนน้ำฝนตลอดเดือน อัตราการใช้น้ำของพืชสำหรับเดือนนั้น และความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก

ตัวอย่างที่ 5.2

สมมุติว่าการปลูกพืชฤดูแล้งในเขตโครงการชลประทานแห่งหนึ่ง ในเดือนที่ต้องการคำนวณฝนใช้การ มีฝนตก 60 มม. แต่จากการคำนวณพืชต้องการน้ำ 125 มม. ฝนใช้การจะเท่ากับเท่าไร ถ้าดินในเขตรากสามารถเก็บน้ำไว้ได้ (ก) 75 มม. (ข) 50 มม. (ค) 100 มม.

วิธีทำ

(ก) จากตารางเมื่อมีฝนตก 60 มม. พืชใช้น้ำ 125 มม.

ฝนใช้การจะเท่ากับ 43 มม.

ตารางที่ 5.1 ค่าฝนใช้การ (Effective Rainfall) ของพืชไร่สำหรับฝนรายเดือนเฉลี่ย และอัตราการใช้น้ำของพืชขนาดต่าง ๆ ตัวเลขในตารางสำหรับกรณีที่ดินในเขตรากเก็บน้ำไว้ได้ 75 มม.

ฝนรายเดือนเฉลี่ย-มม.	อัตราการใช้น้ำของพืช (ET) ประจำเดือน - มม.									
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
	ฝนใช้การประจำเดือน (Re) มม.									
15	9	10	10	11	11	12	12	13	14	15
20	12	13	14	14	15	16	17	18	19	20
30	18	19	21	22	22	23	24	26	28	30
40	23	25	27	29	30	31	32	35	38	40
50	25	32	34	35	36	38	40	43	46	49
60		38	40	42	43	45	47	51	55	59
70		43	46	49	51	53	55	59	63	68
80		48	52	55	58	60	63	67	71	77
90		50	57	61	64	67	70	75	79	85
100			63	67	71	74	78	82	87	94
110			68	73	78	80	84	89	95	102
120			73	78	84	86	91	97	102	110
130			75	83	89	92	98	104	110	118
140				89	95	99	105	112	118	126
150				94	101	105	110	120	125	134
160				99	106	110	117	125	132	142
170				100	111	116	123	131	138	149
180					116	121	129	136	144	155
190					121	126	134	142	150	161
200					125	132	140	148	157	168
ความสามารถเก็บน้ำของดินในเขตราก มม.	20	30	40	50	60	75	100	125	150	175
ตัวคูณปรับแก้	0.74	0.82	0.88	0.93	0.96	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07

หมายเหตุ ฝนใช้การเฉลี่ยประจำเดือนต้องไม่มากกว่าจำนวนฝนเฉลี่ยหรืออัตราการใช้น้ำของพืชในเดือนเดียวกัน ในกรณีที่ฝนเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่าค่าต่ำสุดของฝนใช้การในตารางข้างบนให้ถือว่าฝนดังกล่าวเป็นฝนใช้การทั้งหมด

(ข) เมื่อดินในเขตรากสามารถเก็บน้ำไว้ได้เพียง 50 มม. จากตัวเลขในบรรทัดสุดท้ายของตาราง ตัวคูณปรับแก้ = 0.93

ดังนั้นฝนใช้การ = 0.93 × 43 = 40 มม.

(ค) เมื่อดินในเขตรากสามารถเก็บน้ำไว้ได้ 100 มม. ตัวคูณปรับแก้จากตารางเท่ากับ 1.02

ดังนั้นฝนใช้การ = 1.02 × 43 = 44 มม.

ตารางของกระทรวงเกษตรสหรัฐที่ยกมาให้ดูนี้เป็นตารางที่บอกค่าฝนใช้การอย่างหยาบ ๆ สำหรับพื้นที่ปลูกพืชไร่โดยทั่ว ๆ ไป ในกรณีที่เราทราบรายละเอียดของพื้นที่เพาะปลูก ดินและพืช เราอาจจะพิจารณาเลือกใช้ค่าอื่นนอกเหนือจากตารางนั้นก็ได้ เช่น สมมุติว่าในตัวอย่างที่แล้วนี้เป็นการปลูกพืชในแปลงนา ดินในเขตรากมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ 50 มม. ในเดือนดังกล่าวมีฝนตกหลายครั้ง เมื่อพิจารณาจากข้อเท็จจริงที่ว่า ฝนที่ตกในแปลงนาส่วนใหญ่จะซึมเก็บไว้ในดิน เราอาจจะเลือกใช้ฝนใช้การเท่ากับ 50 มม. จากฝนทั้งหมด 60 มม. ก็ไม่น่าจะผิดไปจากความจริงเท่าใดนัก ในทางตรงกันข้าม ถ้าเป็นการปลูกพืชในพื้นที่ที่มีความลาดเทสูง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ หรือฝน 60 มม. เป็นฝนที่ตกหนักในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ก็อาจจะลดฝนใช้การให้เหลือเพียง 30 หรือ 35 มม. ก็ได้

5.3 การระเหยและการรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำ

ในกรณีที่แหล่งน้ำสำหรับทำการชลประทานเป็นอ่างเก็บน้ำ น้ำที่เก็บไว้จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ทั้งหมด เนื่องจากว่าจะมีส่วนหนึ่งจะต้องสูญเสียไปโดยการระเหยและรั่วซึม การสูญเสียส่วนนี้จะเป็นการสูญเสียจากพื้นที่เท่ากับพื้นที่ของผิวน้ำ กล่าวคือถ้าพื้นที่น้ำท่วมยิ่งกว้างขวางมากก็จะยิ่งมีการสูญเสียมาก แต่เมื่อคิดเป็นความลึกของน้ำที่ลดลงแล้วจะไม่แตกต่างกันมาก ในทางปฏิบัติ การสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยการระเหยและรั่วซึมอาจจะประมาณได้โดยถือว่า การระเหยจากผิวน้ำมีค่าประมาณ 70 เปอร์เซนต์ของการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ Class-A ส่วนการรั่วซึมจะขึ้นอยู่กับชนิดของอ่างเก็บน้ำ คุณสมบัติของดินฐานรากและดินในอ่าง การรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำอาจจะถือว่าอยู่ในอัตรา 1-2 มม./วัน ในช่วงฤดูฝนการสูญเสียโดยการระเหยและรั่วซึมอาจได้รับการชดเชยจากฝน ดังนั้น การสูญเสียโดยการระเหยและรั่วซึมจากอ่างเก็บน้ำ อาจจะประมาณได้โดย

$$E_S = 0.70\, E_{pan} + P - R \qquad \text{.....5.2}$$

โดย E_S เป็นการสูญเสียน้ำจากอ่างเก็บน้ำโดยการระเหยและรั่วซึม E_{pan} เป็นการระเหยจาก Class-A pan ที่วัดได้ P เป็นการรั่วซึม และ R เป็นปริมาณฝนที่ตกในช่วงเวลาเดียวกัน ในกรณีที่ปริมาณน้ำฝนมีค่ามากกว่าผลรวมของการระเหยและรั่วซึมก็ถือว่าไม่มีการสูญเสียส่วนนี้

สำหรับพื้นที่ผิวน้ำซึ่งจะต้องนำมาใช้คูณกับ E_S เพื่อให้ได้เป็นปริมาตรนั้นอาจจะได้จากกราฟซึ่งเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่น้ำท่วม ปริมาตรอ่างกับระดับซึ่งโดยปกติจะมีข้อมูลนี้อยู่แล้วทุกอ่าง

5.4 ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency, Ei)

ประสิทธิภาพการชลประทาน หมายถึงอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช (Net Water Requirement) ต่อปริมาณทั้งหมดที่จะต้องจัดส่งให้ (Gross Water Requirement) หรือ

$$E_i = \frac{W_n}{W_g} \times 100 \qquad \text{.....5.3}$$

E_i = ประสิทธิภาพการชลประทาน

W_n = ปริมาณสุทธิที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช

W_g = ปริมาณทั้งหมดที่จะต้องจัดส่งให้

ทั้ง W_n และ W_g นี้อาจจะบอกเป็นความลึก หรือปริมาตรก็ได้

การหาประสิทธิภาพการชลประทานนั้นอาจทำได้หลายแห่ง คือถ้าวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่จัดส่งให้แก่พืชที่พื้นที่เพาะปลูก ก็เป็นประสิทธิภาพการชลประทานที่แปลงเพาะปลูก ถ้าวัดที่คลองส่งน้ำ ก็เป็นประสิทธิภาพการชลประทานที่ปากคลองส่งน้ำ และถ้าวัดที่หัวงานของโครงการชลประทาน ก็เป็นประสิทธิภาพการชลประทานที่หัวงาน หรือประสิทธิภาพของโครงการชลประทาน เป็นต้น

จะเห็นได้ว่า คำว่าประสิทธิภาพการชลประทานนั้นกว้างมาก คือ คลุมตั้งแต่จุดที่ทำการวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่จัดส่งให้แก่พืชจนถึงแปลงเพาะปลูก ในทางปฏิบัติเรามีวิธีแยกคิดทีละส่วน เพื่อที่จะได้ทราบว่าในช่วงตอนใดมีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบการชลประทานให้ดีขึ้นได้ถูกต้อง

5.4.1 **ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Water Conveyance Efficiency, E_c)** จุดแรกก่อนที่น้ำจะเข้ามาถึงพื้นที่เพาะปลูกก็คือระบบส่งน้ำ น้ำชลประทานทั่ว ๆ ไป จะถูกส่งมาจากแม่น้ำ คลอง หรืออ่างเก็บน้ำ จากจุดที่ส่งน้ำจนถึงพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะมีน้ำส่วนหนึ่งต้องสูญเสียไปโดยการรั่วซึมจากคลอง ระเหยจากผิวน้ำในคลอง และถูกพืชซึ่งขึ้นอยู่ริมคลองใช้ ระบบส่งน้ำทำหน้าที่ได้ดีเพียงใดจะบอกได้ด้วยประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ

$$E_c = \frac{W_f}{W_g} \times 100 \qquad \text{.....5.4}$$

โดย E_c = ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

W_f = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่พื้นที่เพาะปลูก

W_g = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าระบบส่งน้ำ ซึ่งจะเท่ากับปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องจัดส่ง

ในกรณีที่พื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรมีขนาดใหญ่มากจนต้องมีระบบส่งน้ำเพิ่มเติมภายในพื้นที่ของตนเอง การสูญเสียน้ำภายในระบบส่วนนี้จะต้องอยู่ในความรับผิดชอบของเกษตรกร ดังนั้นจึงมีการหาประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (Field Canal Efficiency) ขึ้นโดย

$$E_b = \frac{W_p}{W_f} \times 100 \qquad \text{.....5.5}$$

โดย E_b = ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ

W_p = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่แปลงเพาะปลูก

W_f = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าปากคูส่งน้ำ

ขอให้สังเกตว่าในกรณีที่น้ำจากคลองส่งน้ำไหลเข้าแปลงโดยตรงไม่ผ่านคูส่งน้ำ $W_p = W_f$ หรือ E_b = 100 เปอร์เซนต์

5.4.2 **ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Water Application Efficiency, E_a)** เมื่อส่งน้ำมาถึงพื้นที่เพาะปลูกแล้ว น้ำส่วนนี้ก็จะถูกให้แก่พืชเพื่อเพิ่มความชื้นของดินในเขตรากให้ขึ้นมาถึง Field Capacity ส่วนที่เกินกว่าดินในเขตรากจะเก็บไว้ได้ก็เป็นการสูญเสีย ดังนั้น

$$E_a = \frac{W_s}{W_p} \times 100 \qquad \text{.....5.6}$$

โดย E_a = ประสิทธิภาพการให้น้ำ

W_s = ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากจากการให้น้ำซึ่งต้องการให้มีค่าเท่ากับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช, W_n

W_p = ปริมาณน้ำที่ได้รับและให้แก่พืชที่พื้นที่เพาะปลูก

ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในขณะที่ให้น้ำส่วนใหญ่เป็นการไหลเลยพื้นที่เพาะปลูกออกไป (Run-off) และซึมเลยเขตราก (Deep Percolation) ส่วนการระเหยจากพื้นที่เพาะปลูกในขณะให้น้ำนั้นน้อยมาก การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่เนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของพื้นที่ ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูง อัตราการให้น้ำไม่เหมาะกับดินและวิธีการให้น้ำ และพื้นที่เพาะปลูกใหญ่หรือยาวเกินไป เป็นต้น ความสามารถของผู้ให้น้ำก็มีผลต่อประสิทธิภาพในการให้น้ำมากเหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการให้น้ำทางผิวดินที่มีความลาดเท เช่น แบบร่องคูลาด (Graded Furrow) และแบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border) เพราะการชลประทานแบบนี้จะต้องเริ่มให้น้ำด้วยอัตราที่ค่อนข้างสูง และต้องลดอัตราการให้น้ำลงเมื่อน้ำไหลไปถึงบริเวณท้ายแปลงแล้วเพื่อป้องกันมิให้มีการไหลเลยท้ายแปลงออกไปมาก ถ้าหากผู้ให้น้ำสามารถลดอัตราการให้น้ำให้พอเหมาะกับอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินได้ ก็จะทำให้การสูญเสียน้ำน้อยลงและเป็นผลให้มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงขึ้น

เมื่อทราบประสิทธิภาพของแต่ละส่วนที่แยกออกมาแล้ว กล่าวคือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (E_c) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (E_b) และประสิทธิภาพการให้น้ำ (E_a) แล้ว การหาประสิทธิภาพรวมของโครงการชลประทานก็ทำได้โดย

$$E_i = E_a \cdot E_b \cdot E_c \qquad \text{.....5.7}$$

ค่าทั่ว ๆ ไปของประสิทธิภาพทั้งสามส่วนนี้สำหรับวิธีการส่งน้ำ ให้น้ำ และคุณสมบัติของดินอาจดูได้จากตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (E_c) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (E_b) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_d = E_b . E_c$) และประสิทธิภาพการให้น้ำ (E_a) สำหรับวิธีการส่งน้ำ ขนาดของพื้นที่ ลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำแบบต่าง ๆ

ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Conveyance Efficiency, E_c)	ประสิทธิภาพ
ส่งน้ำแบบตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้อย	90%
ส่งน้ำแบบหมุนเวียน โครงการขนาด 20,000-40,000 ไร่	
พื้นที่หมุนเวียน 500-2,000 ไร่ มีการจัดการดี	80%
ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในโครงการขนาดใหญ่มาก (มากกว่า 60,000 ไร่)	
หรือโครงการเล็ก (น้อยกว่า 6,000 ไร่) การจัดการไม่ดีพอ	65-70%
ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (Field Canal Efficiency, E_b)	
สำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า 125 ไร่ : คลองดิน	80%
คลองคาดหรือท่อส่งน้ำ	90%
สำหรับพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 125 ไร่ : คลองดิน	70%
คลองคาดหรือท่อส่งน้ำ	80%
ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_d = E_c . E_b$)	
สำหรับการส่งน้ำแบบหมุนเวียนที่มีการจัดการและการประสานงาน	
ก. ดี	65%
ข. พอใช้	55%
ค. เกือบพอใช้	40%
ง. เลว	30%

ตารางที่ 5.2 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (E_c) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (E_b) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_d = E_b \cdot E_c$) และประสิทธิภาพการให้น้ำ (E_a) สำหรับวิธีการส่งน้ำ ขนาดของพื้นที่ ลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำแบบต่าง ๆ(ต่อ)

ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency, E_a)	ประสิทธิภาพ
ให้น้ำทางผิวดิน :	
ดินทราย	55%
ดินร่วน	70%
ดินเหนียว	60%
แบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border)	60-75%
แบบท่วมเป็นอ่างหรือเป็นผืนราบ (Basin and Level Border)	60-80%
แบบท่วมจากคูตามเส้นขอบเนิน (Contour Ditch)	50-55%
แบบร่องคู	55-70%
แบบร่องคูเล็ก	50-70%
ให้น้ำใต้ผิวดิน	ไม่เกิน 80%
ให้แบบฉีดฝอย (Sprinkler)	
อากาศร้อนและแห้ง	60%
อากาศอบอุ่นปานกลาง	70%
อากาศชุ่มชื้นและเย็น	80%
การให้น้ำสำหรับนาข้าว	32%

บทที่ 6
การจัดการเรื่องน้ำในไร่นาและประสิทธิภาพของการใช้น้ำ

วัตถุประสงค์ของการชลประทานนั้นเป็นการจัดหาน้ำมาให้ หรือให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโต เพื่อให้ได้ผลิตผลสูงสุด ส่วนการจัดการเรื่องน้ำในไร่นานั้น เป็นการจัดการเพื่อใช้น้ำที่จัดหามาได้ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของการชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวอย่างง่าย ๆ ก็คือการเก็บกัก วางแผนส่งน้ำ และให้น้ำอย่างไรจึงจะให้ได้ผลตอบแทนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำสูงสุด

จะเห็นได้ว่าขอบข่ายของงานจัดการเรื่องน้ำนั้นกว้างขวางมาก คือครอบคลุมตั้งแต่แหล่งน้ำที่มีอยู่ลงมาจนกระทั่งถึงพื้นที่เพาะปลูก องค์ประกอบที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้น้ำก็มีหลายด้านรวมทั้ง งานทางด้านวิศวกรรม เกษตรกรรม เศรษฐกิจ และสังคม การที่จะบรรยายถึงการจัดการเรื่องน้ำให้ครบถ้วนย่อมจะต้องใช้เวลามากและจะยาวเกินกว่าที่จะนำมาบรรจุไว้ในการอบรมครั้งนี้ได้ เพื่อให้สั้นเข้าในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงการจัดการเรื่องน้ำเฉพาะระดับไร่นาซึ่งปัญหาหลักที่เกี่ยวข้องจะลดลงมาเหลือแต่ด้านวิศวกรรมและเกษตรกรรม คือ เราจะใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพอย่างไร

เพื่อที่จะให้มองเห็นภาพเด่นชัดขึ้น สมมุติว่ามีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ 100 ไร่ แต่น้ำที่โครงการชลประทานส่งมาให้นั้นมีมากพอที่จะใช้ทำการชลประทานด้วยวิธีที่ใช้กันตามปกติเพียง 50-60 ไร่ ท่านจะแนะนำให้เกษตรกรแก้ปัญหาอย่างไรกับสถานการณ์เช่นนี้ คำตอบแบบกำปั้นทุบดินที่ง่ายและถูกต้องก็คือ "ต้องประหยัดน้ำและใช้น้ำที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ" การประหยัดน้ำหรือใช้น้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุดอาจทำได้หลายรูปแบบคือ

1. เลือกวิธีการชลประทานให้เหมาะสมกับสภาพของภูมิประเทศ ดิน และพืช
2. เลือกปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยแต่ให้ผลตอบแทนสูง
3. กำหนดการให้น้ำแก่พืชให้พอเหมาะ และให้ด้วยปริมาณที่ไม่เกินความต้องการ
4. พยายามจัดตารางการปลูกพืชให้ใช้ประโยชน์จากน้ำฝนให้มากที่สุดและให้สัมพันธ์กับการส่งน้ำจากโครงการชลประทาน
5. พยายามลดการสูญเสียน้ำในรูปต่าง ๆ ให้เหลือน้อยที่สุด
6. พยายามรวบรวมเอาน้ำไหลเลยท้ายแปลง (Runoff) กลับมาใช้อีกถ้าไม่ต้องลงทุนเพิ่มขึ้นอีกมาก

6.1 การเลือกวิธีการให้น้ำ

การให้น้ำแก่พืชอาจทำได้หลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้น จะต้องพิจารณาจากลักษณะของภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้ พืชที่จะปลูก วิธีการเพาะปลูก เงินค่าลงทุน ตลอดจนน้ำต้นทุนที่จะนำมาให้แก่พืช วิธีการให้น้ำอาจแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ ด้วยกันคือ

1. การให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation)
2. การให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation)

3. การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation)
4. การให้น้ำแบบหยด (Drip หรือ Trickle Irrigation)

6.1.1 การให้น้ำแบบฉีดฝอย การชลประทานแบบนี้จะให้น้ำแก่พืชโดยการฉีดน้ำจากหัวฉีดขึ้นไปในอากาศแล้วให้หยดน้ำตกลงมาโดยมีรูปทรงการแผ่กระจายของหยดน้ำสม่ำเสมอ และอัตราของน้ำที่ตกลงมาบนผิวดินมีค่าน้อยกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ระบบชลประทานแบบฉีดฝอยอาจแบ่งออกเป็น 3 แบบด้วยกัน คือ แบบติดอยู่กับที่ (Permanent System) แบบเคลื่อนย้ายได้เพียงบางส่วน (Semi-portable System) และแบบเคลื่อนย้ายได้ทั้งหมด (Portable System) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสำหรับการชลประทานแบบนี้ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 75 ถึง 85 เปอร์เซนต์

6.1.2 การให้น้ำทางผิวดิน การชลประทานแบบนี้ให้น้ำโดยการชังหรือปล่อยให้น้ำไหลไปบนผิวดินและซึมเข้าไปในดินตรงจุดที่น้ำนั้นชังหรือไหลผ่าน การให้น้ำทางผิวดินอาจแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ แบบให้น้ำท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่ (Flooding) และแบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่องคู (Furrow) ทั้งสองแบบนี้ยังสามารถแบ่งแยกออกไปอีกว่า แปลงที่ให้น้ำนั้นมีความลาดเทหรือไม่ หรือมีทิศทางไปในแนวเดียวกับเส้นชั้นความสูง (Contour) หรือไม่

สำหรับวิธีการให้น้ำท่วมเป็นผืนใหญ่นั้น โดยปกติแล้วต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่าแบบให้ท่วมเฉพาะในร่องคู และในแต่ละแบบเหล่านี้ แปลงที่ไม่มีความลาดเทจะต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่าแปลงมีความลาดเทเพราะแปลงที่ไม่มีความลาดเทน้ำจะไหลไปถึงจุดต่าง ๆ ในแปลงได้ช้า ดังนั้นจะต้องให้น้ำด้วยอัตราสูงเพื่อให้น้ำท่วมแผ่ไปทั้งแปลง หรือไหลจากหัวร่องไปถึงท้ายร่องอย่างรวดเร็ว การให้น้ำบนแปลงที่มีความลาดเท ถ้าหากน้ำไหลไปถึงท้ายแปลงแล้วก็จะต้องลดอัตราการให้น้ำลงเพราะมิฉะนั้นน้ำจะไหลเลยท้ายแปลงออกไป ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ ในกรณีที่มีฝนตกไม่มากนักแปลงที่ไม่มีความลาดเทจะเก็บน้ำฝนไว้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่จะมีปัญหาเรื่องการระบายน้ำออกจากแปลงถ้าฝนตกหนัก

เนื่องจากว่าการให้น้ำทางผิวดินแบ่งแยกออกไปมากมายหลายวิธี ดังนั้น ประสิทธิภาพในการให้น้ำจึงแตกต่างกันไปได้มาก แต่โดยเฉลี่ยแล้วประสิทธิภาพในการให้น้ำจะอยู่ระหว่าง 40 ถึง 80 เปอร์เซนต์ ถ้ามีการจัดการที่ดี

6.1.3 การให้น้ำทางใต้ผิวดิน การชลประทานแบบนี้เป็นการให้น้ำโดยการยกระดับน้ำใต้ดินให้ขึ้นมาอยู่ในระดับที่น้ำจะไหลซึมขึ้นมาสู่เขตรากได้ วิธีเพิ่มระดับน้ำใต้ดินอาจทำได้สองแบบคือ โดยการให้น้ำในคูและโดยการให้น้ำในท่อซึ่งฝังไว้ใต้ดิน ความลึกของระดับน้ำใต้ดินขณะให้น้ำจะอยู่ระหว่าง 30 ถึง 60 เซนติเมตร การให้น้ำโดยวิธีนี้ไม่นิยมใช้กันเพราะมีข้อจำกัดมาก ประสิทธิภาพในการให้น้ำจะมีค่าจาก 30 ถึง 50 เปอร์เซนต์ ในบางท้องที่จนถึง 70 ถึง 80 เปอร์เซนต์ในพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับการชลประทานประเภทนี้

6.1.4 การให้น้ำแบบหยด เป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลาย ๆ จุดบนผิวดินหรือในเขตราก โดยอัตราที่ให้นั้นไม่มากพอที่จะทำให้ดินในเขตรากอิ่มน้ำเป็นบริเวณกว้างแต่จะทำให้ดินมีแรงดึงความชื้นต่ำอยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วผิวดินจะเปียกแต่เฉพาะตรงจุดที่ให้น้ำเท่านั้น การชลประทานแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงมากเพราะว่ามีการสูญเสียโดยการระเหยน้อย ดังนั้น ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำที่ใช้จึงมากกว่าการชลประทานแบบอื่น ๆ

สำหรับประเทศไทย ผลตอบแทนจากผลิตผลทางการเกษตรยังอยู่ในระดับต่ำ ยกเว้นในกรณีที่เป็นพืชผักและผลไม้ ดังนั้นโดยทั่ว ๆ ไปแล้วการชลประทานที่ใช้กันจึงมักเป็นแบบผิวดิน รายละเอียดของการให้น้ำทางผิวดินซึ่งรวมทั้งการพิจารณาความเหมาะสม การออกแบบและประเมินผลการให้น้ำจะได้กล่าวถึงในภาคหลัง ๆ

เมื่อได้พิจารณาถึงข้อดีข้อเสียของการชลประทานแบบต่าง ๆ แล้ว ก็จะสามารถเลือกวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมได้ การเลือกวิธีการให้น้ำที่ไม่ถูกต้องอาจจะทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ได้มากถึง 60-70 เปอร์เซนต์ หรือมากกว่า ดังนั้นในการใช้น้ำอย่างประหยัดบางครั้งอาจจะต้องมีการเปลี่ยนวิธีการให้น้ำให้ถูกต้องเหมาะสมด้วย

6.2 การเลือกพืชที่ปลูก

ในกรณีที่มีน้ำอยู่อย่างจำกัดแต่มีพื้นที่เพาะปลูกเหลือเฟือ การเลือกปลูกพืชที่ใช้น้ำมากโดยถือว่าถึงจะขายไม่ได้แต่ก็เก็บไว้กินได้เป็นสิ่งที่ไม่ถูกต้องในเชิงเศรษฐกิจ โดยหลักการแล้วควรจะพิจารณาใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดผลตอบแทนในรูปของเงินเป็นมูลค่าสูงสุด เช่น ในตัวอย่างที่ยกขึ้นมาในตอนแรกที่ว่ามีน้ำพอสำหรับทำนา 50-60 ไร่ แต่มีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ 100 ไร่ การที่จะจำกัดการเพาะปลูกโดยทำนาอย่างเดียวอาจได้ผลประโยชน์น้อยกว่าปลูกพืชอื่น เช่น ข้าวโพด ถั่ว ทั้งหมด 100 ไร่ โดยใช้น้ำเท่าเดิม ดังนั้น ในกรณีที่มีปัญหาเรื่องน้ำเช่นนี้อาจจะต้องเปลี่ยนแนวความคิดของเกษตรกรให้พิจารณาปลูกพืชอื่นที่ใช้น้ำน้อยกว่าแทน

6.3 การกำหนดการให้น้ำ

ในการให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลตอบแทนสูงนั้น เรามักจะพบปัญหาซึ่งเป็นหัวใจของการชลประทานอยู่เสมอคือ เมื่อไรจึงควรจะให้น้ำแก่พืช และให้เป็นปริมาณเท่าใด ถ้าหากทราบคำตอบทั้งสองข้อนี้ก็ย่อมเป็นที่แน่ใจได้ว่าการชลประทานนั้นจะสัมฤทธิ์ผลในการเพิ่มผลผลิตขึ้นได้อย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะให้คำตอบนี้ได้นั้น เราจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับพืช ดิน และน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของการชลประทานเสียก่อน สิ่งที่เราต้องการทราบได้แก่

1. ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุของพืช
2. ความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตราก
3. ปริมาณน้ำที่จะหามาทำการชลประทานได้ และกำหนดเวลาที่จะได้รับน้ำนั้น

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุของพืช และความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตราก เป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นซึ่งจะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำ และปริมาณที่จะต้องให้ในแต่ละครั้งอย่างไรก็ตาม ในบางครั้งเราไม่สามารถจะให้น้ำแก่พืชได้เต็มจำนวนตามที่พืชต้องการเสมอไป เนื่องจากว่าน้ำที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด หรือในขณะที่พืชกำลังต้องการน้ำนั้น ยังไม่ถึงกำหนดส่งน้ำจากโครงการชลประทาน ดังนั้น จึงต้องทราบด้วยว่าจะมีน้ำที่สามารถให้แก่พืชได้อย่างแน่นอนเท่าไรและมีหมายกำหนดการส่งน้ำอย่างไร เพื่อที่ว่าจะได้จัดเวลาที่ยอมให้พืชขาดน้ำอยู่ในช่วงที่จะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด หรือถ้ามีน้ำอย่างพอเพียง แต่การส่งน้ำนั้นไม่ตรงกับที่พืชต้องการ ก็จะได้จัดเตรียมเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงที่มิได้มีการส่งน้ำด้วย

พืชที่กำลังเจริญเติบโตย่อมมีการใช้น้ำอยู่ตลอดเวลา อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช อุณหภูมิ และสภาพของภูมิอากาศอื่น ๆ การให้น้ำแก่พืชในแต่ละครั้ง ปริมาณที่ให้ควรจะพอเพียงกับความต้องการน้ำของพืชไปจนกว่าจะถึงกำหนดการให้น้ำคราวหน้า

พืชเกือบทุกชนิดจะให้ผลผลิตน้อยลงหรือมีคุณภาพเลวลง ถ้ามีการขาดน้ำที่ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ช่วงเวลาที่เมื่อมีการขาดน้ำแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากที่สุดเรียกว่า ช่วงวิกฤติ (Critical Period) ดังนั้น ในช่วงเวลาดังกล่าวนี้จะต้องคอยรักษาให้ดินมีความชื้นสูงอยู่เสมอ ช่วงวิกฤตสำหรับพืชบางชนิดกำหนดในตารางที่ 6.1

ถึงแม้ว่าการรักษาความชื้นของดินให้อยู่ในระดับสูงอยู่เสมอเป็นสิ่งที่จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง แต่ในทางปฏิบัติแล้ว เราไม่สามารถจะรักษาความชื้นของดินให้อยู่ที่ระดับใดระดับหนึ่งตลอดฤดูการเพาะปลูกได้ นอกจากนั้น พืชแต่ละชนิดยังต้องการให้ดินมีความชื้นแตกต่างกันอีกด้วย พืชบางชนิดต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาจึงจะให้คุณภาพและปริมาณของผลผลิตดี กล่าวคือ จะต้องไม่ยอมให้ความชื้นของดินลดลงไปใกล้จุดเฉา (Wilting Point) เลย ระดับความชื้นก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งที่จะบอกว่าดินนั้นมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาหรือไม่ เราอาจถือว่า ถ้าดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ประมาณสองในสาม หรือประมาณ 66 เปอร์เซนต์แล้วดินนั้นยังชื้นอยู่ แต่ถ้าความชื้นดังกล่าวเหลืออยู่เพียงหนึ่งในสาม หรือประมาณ 33 เปอร์เซนต์ก็ถือว่าดินนั้นแห้ง

การกำหนดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะว่าพืชจะไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ได้พอเพียงกับความต้องการน้ำถ้าหากความชื้นของดินลดลงใกล้จุดเฉา เนื่องจากแรงดึงดูดความชื้นจะสูงมากจากการทดลองพบว่า ผลผลิตของพืชเกือบทุกชนิดจะลดลงถ้าหากความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงเหลือ 20 เปอร์เซนต์หรือต่ำกว่า สำหรับพืชและดินบางชนิด ผลผลิตอาจจะลดลงได้เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 30 ถึง 50 เปอร์เซนต์)

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดิน ในระดับที่เริ่มจะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตนี้เรียกว่า ระดับความชื้นวิกฤต (Critical Moisture Level) หรือบางทีเรียกสั้น ๆ ว่า จุดวิกฤต (Critical Point) ค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืชที่ปลูก ดังนั้นถ้าจะป้องกันมิให้พืชต้องขาดน้ำแล้ว การกำหนดระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่จะต้องพิจารณาจากดินและพืชเป็นราย ๆ ไป แต่สำหรับการออกแบบระบบการชลประทานโดยทั่ว ๆ ไป ระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดินควรอยู่ระหว่าง 30 ถึง 50 เปอร์เซนต์

การกำหนดการให้น้ำ นอกจากจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของดินและพืชที่ปลูกแล้วยังมีองค์ประกอบอย่างอื่นที่จะต้องนำเอาเข้ามาพิจารณาด้วย คือ สภาพภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูก สภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องก็มี รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศ ชั่วโมงที่มีแสงแดด ตลอดจนความยาวของฤดูการเพาะปลูกเป็นต้น สภาพภูมิอากาศเหล่านี้จะมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชซึ่งจะต้องนำมาใช้ความถี่ในการให้น้ำนั่นเอง สำหรับองค์ประกอบเกี่ยวกับการจัดการเพาะปลูกก็ได้แก่ ช่วงของฤดูที่ทำการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว ความหนาแน่นของการปลูกพืช วิธีการและค่าใช้จ่ายในการให้น้ำและการใช้ปุ๋ย เป็นต้น

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทุกอย่างแล้วอาจสรุปได้ว่า เราสามารถแบ่งการกำหนดการให้น้ำเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งมีสภาวะที่ต้องการการให้น้ำบ่อยครั้งจึงจะให้ผลผลิตสูง ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนักก็ได้

ตารางที่ 6.1 ช่วงวิกฤตของพืชบางชนิด

พืช	ช่วงวิกฤต
กะหล่ำปลี	เริ่มออกดอกจนเก็บเกี่ยว
กะหล่ำดอก	ตลอดฤดูการปลูก
ข้าวโพด	ผลิดอกจนถึงติดฝัก
แตง	ผลิดอกจนถึงเก็บเกี่ยว
ถั่วต้น	ผลิดอกจนถึงออกฝัก
ถั่วเถา	ผลิดอกจนถึงออกฝัก
ธัญญพืช	ตั้งท้องออกรวง
บรอคเคอลี่	เริ่มออกดอกจนเก็บเกี่ยว
ฝ้าย	ผลิดอกจนถึงสมอแก่
พืชผัก	ตลอดฤดูการปลูก
มะเขือเทศ	ผลิดอกออกผล
มันฝรั่ง	เริ่มลงหัวจนถึงเก็บเกี่ยว
ไม้ผลประเภทส้ม	ผลิดอกออกผล
ยาสูบ	สูงประมาณ 50 ซม. ถึงผลิดอก
ละหุ่ง	ช่วงเจริญเติบโตเต็มที่
อ้อย	ช่วงเจริญเติบโตเต็มที่

กลุ่มที่ต้องการการให้น้ำบ่อยครั้ง มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูก ดังนี้คือ

ก. พืช

1. มีรากตื้น ไม่หนาแน่น และอัตราการแผ่ขยายต่ำ
2. การเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ไม่มีฝน หรือช่วงที่มีการระเหยและคายน้ำมาก
3. ผลผลิตที่ต้องการเป็น ลำต้น ใบ ดอก หรือผลสด

ข. ดิน

1. ชั้นดินตื้น โครงสร้างของดินไม่ดีทำให้รากแผ่ขยายออกไปได้แคบ
2. อัตราการซึมผ่านผิวดินต่ำ การระบายน้ำในดินไม่ดี และมีการถ่ายเทอากาศไม่ดี
3. มีโรคที่เป็นอันตรายต่อรากพืชอยู่ในดิน
4. ดินระบายน้ำออกมาให้พืชได้น้อยเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ
5. เป็นดินเค็ม (Saline Soil) และ/หรือน้ำชลประทานมีเกลือละลายอยู่เป็นปริมาณมาก
6. มีปุ๋ยอยู่ในดินเป็นปริมาณมาก หรือปุ๋ยส่วนใหญ่อยู่ในดินชั้นบน
7. ดินมีอุณหภูมิสูงมาก และพืชมีรากตื้น

ค. ภูมิอากาศ

1. มีลักษณะที่ทำให้อัตราการระเหยและการคายน้ำสูง
2. ไม่มีฝนตกในฤดูการเพาะปลูก

ง. การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกพืชตอนต้นฤดูแล้ง
2. ต้องการผลผลิตสูง ถึงแม้ว่าจะทำให้การเก็บเกี่ยวล่าช้าไปบ้างก็ยอม
3. ราคาของผลผลิตขึ้นอยู่กับน้ำหนักสด หรือขนาดของส่วนที่เก็บเกี่ยว

กลุ่มที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนัก มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูกดังนี้คือ

ก. พืช

1. มีรากลึก แผ่กระจายอย่างหนาแน่น และมีอัตราการแผ่ขยายของรากสูง
2. มีความต้านทานต่อการขาดน้ำสูง
3. การเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในฤดูฝน หรือในช่วงที่มีการระเหยและการคายน้ำน้อย
4. ผลผลิตที่ต้องการเป็นเมล็ดหรือผลแห้ง

ข. ดิน

1. ชั้นดินลึก โครงสร้างดี
2. อัตราการซึมผ่านผิวดินพอเหมาะ การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในดินดี
3. ดินระบายน้ำออกมาให้พืชได้มากเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ
4. ดินและน้ำชลประทานมีเกลืออยู่น้อย
5. มีปุ๋ยในดินไม่มากนักและแผ่กระจายอยู่ตลอดความลึกของชั้นดิน
6. น้ำใต้ดินอยู่ในระดับที่พืชสามารถดูดมาใช้ได้บ้าง

ค. ภูมิอากาศ

1. มีอัตราการระเหยและการคายน้ำต่ำ
2. มีฝนตกในฤดูการเพาะปลูก

ง. การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกและเจริญเติบโตในฤดูฝน และ/หรือในช่วงที่มีการระเหยและการคายน้ำน้อย
2. ปลูกและเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนถึงฤดูแล้ง
3. ต้องการให้ผลผลิตแก่หรือสุกเร็ว เพราะว่าตลาดกำลังต้องการถึงแม้ว่าคุณภาพและปริมาณจะด้อยกว่าปกติก็ยอม

6.4 การจัดแผนการปลูกพืชให้เหมาะสม

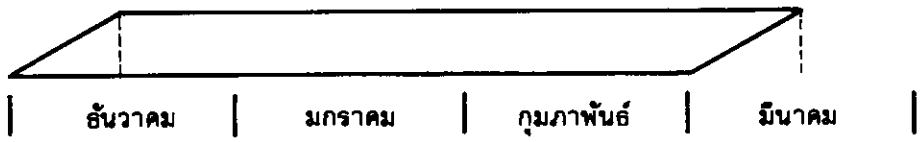
การจัดแผนการปลูกพืชให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของพื้นที่เป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถลดความต้องการน้ำชลประทานลง น้ำชลประทานที่ส่งจากหัวงานหรือปากคลองส่งน้ำจะต้องสูญเสียไปมากมายก่อนที่จะถึงแปลงเพาะปลูก การสูญเสียขนาด 50 เปอร์เซนต์นั้นอาจจะถือว่าไม่ใช่เรื่องผิดปกติสำหรับโครงการชลประทานทั่ว ๆ ไป แต่ฝนซึ่งตกลงมาซึ่งไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายแต่อย่างใด ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการส่งน้ำ เช่น ในเดือนที่ข้าวมีความต้องการน้ำ 150 มม. ถ้าฝนตกลงมา 150 มม. ก็ถือว่าใช้การได้หมดแต่ในกรณีที่ใช้น้ำชลประทานอาจจะต้องส่งน้ำเข้าคลองมามากถึง 300 มม. เป็นต้น ดังนั้น ถ้าสามารถวางแผนการปลูกพืชโดยให้ช่วงที่พืชต้องการใช้น้ำสูงสุดตรงกันกับช่วงที่มีฝนตกชุกที่สุดก็จะช่วยลดความต้องการน้ำชลประทานลง การที่จะใช้วิธีการเช่นที่ว่านี้จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณความถี่และโอกาสที่ฝนจะตกไม่น้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดให้ ปริมาณน้ำฝนและอัตราการระเหยได้มีการศึกษาและรายงานไว้แล้วดังปรากฏในเอกสารอ้างอิง เมื่อนำข้อมูลนี้ไปพิจารณาร่วมกับวิธีการให้น้ำแบบที่สามารถใช้น้ำฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่น Level Border หรือ Furrow ก็จะช่วยลดการใช้น้ำชลประทานได้มาก

ในกรณีที่การส่งน้ำจากโครงการชลประทานเป็นแบบส่งน้ำตลอดเวลา และอัตราการส่งค่อนข้างจำกัด การจัดการปลูกพืชให้ช่วงใช้น้ำสูงสุดเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน เช่น จัดแบ่งพื้นที่เพาะปลูกออกเป็นแปลงย่อย ๆ แล้วทยอยปลูกทีละแปลง ก็จะช่วยให้อัตราความต้องการน้ำสูงสุด (Peak Demand) ลดลงได้ มิฉะนั้นแล้วอัตราที่ส่งมาถึงพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดอาจไม่มากพอแก่ความต้องการของพืชตลอดทั้งพื้นที่ได้

ในโครงการชลประทานนั้น เราต้องการใช้น้ำที่มีอยู่ให้ได้พื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด และในขณะเดียวกันก็ต้องเพิ่มความหนาแน่นของการปลูกพืช (Cropping intensity) ฉะนั้นในการจัดการหรือวางโครงการนั้นก่อนอื่นต้องจัดทำแผนการปลูกพืช (Cropping pattern) ก่อน โดยเลือกพืชที่สามารถปลูกได้ดีในพื้นที่มาจัดทำตารางปลูกพืช เมื่อได้ตารางการปลูกพืชแล้ว ขั้นต่อไปก็คือการคำนวณหาความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดที่จะปลูกในโครงการ จากนั้นก็สามารถจะคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้สำหรับการปลูกพืชในเนื้อที่ต่าง ๆ ของโครงการ เมื่อนำเอาฝนใช้การ (Effective rainfall) มาหักลบจากปริมาณน้ำที่ต้องการทั้งหมด ก็จะเป็นปริมาณน้ำสำหรับการชลประทานในแต่ละเดือน

เพื่อเป็นแนวทางในการคำนวณปริมาณน้ำเพื่อการชลประทานของโครงการ จะยกตัวอย่างการจัดแผนการปลูกพืชของโครงการชลประทานสูบน้ำใต้ดิน จังหวัดสุโขทัย มาประกอบคำบรรยายและแสดงวิธีคำนวณ รูป 6.1 แสดงถึงแผนการปลูกพืชที่ได้จัดทำขึ้นสำหรับโครงการ การจัดทำแผนการปลูกพืชนั้นต้องยึดหลักสำคัญ ๆ ดังนี้ พืชที่จะปลูกในโครงการต้องเป็นพืชที่ให้รายได้สูงแก่เกษตรกร เหมาะกับสภาพของดินฟ้าอากาศ และเป็นพืชที่เกษตรกรยอมรับ เมื่อเลือกพืชที่ปลูกได้แล้ว ก็จัดอันดับความเหมาะสมแล้วแบ่งพื้นที่เพาะปลูกสำหรับพืชแต่ละชนิดตามอันดับความเหมาะสมและคุณสมบัติของดิน ในรูป 6.1 ยังแสดงถึงสัดส่วนของพื้นที่ที่ทำการปลูกพืชแต่ละชนิดตลอดปี

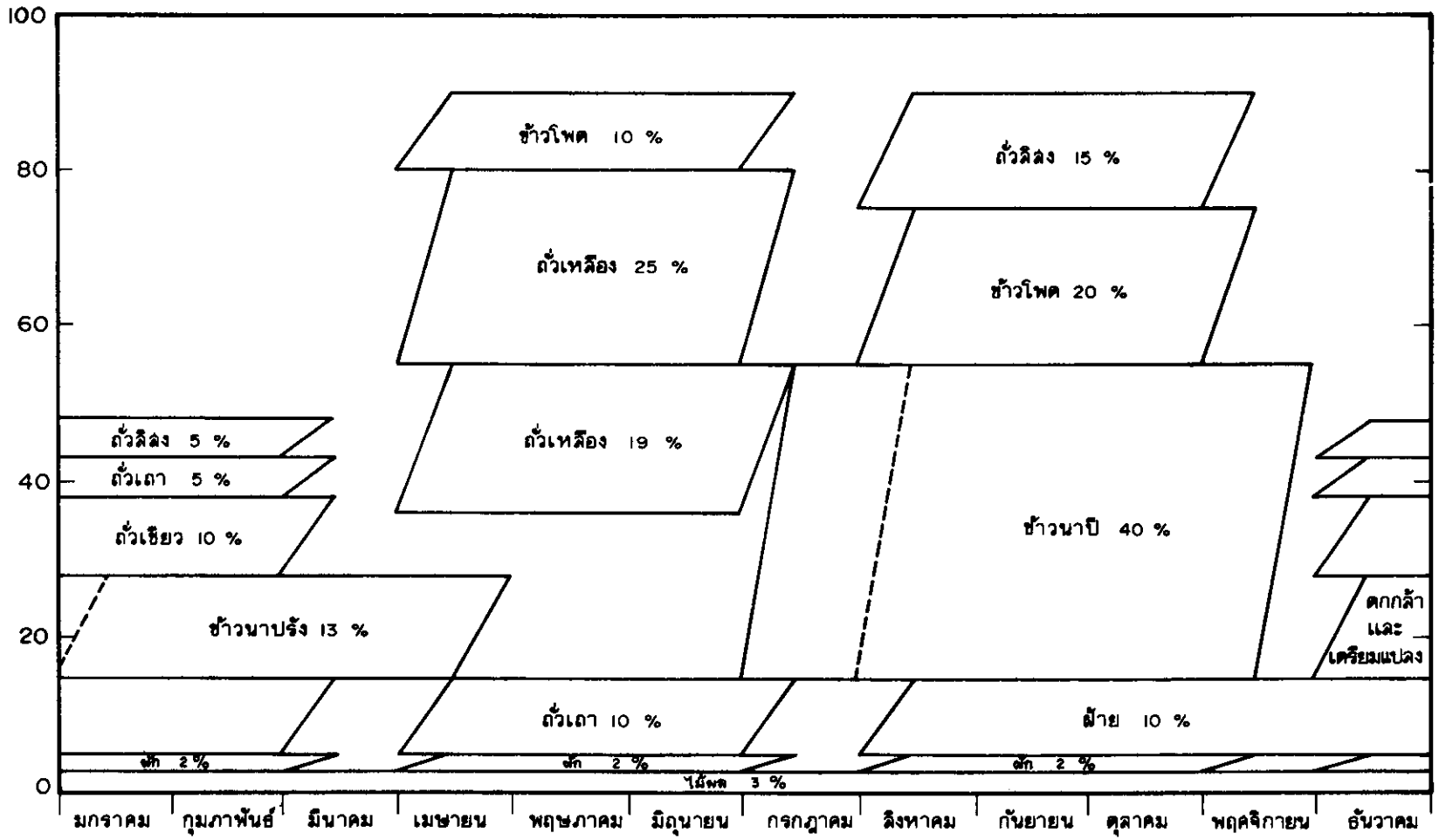
เมื่อได้แผนการปลูกพืชแล้ว ขั้นต่อไปคือการคำนวณความต้องการน้ำของพืชแต่ละชนิดตามแผนที่กำหนดไว้ ซึ่งวิธีคำนวณได้บรรยายแล้วในบทก่อน ๆ อย่างไรก็ดี ตารางที่ 6.2 แสดงข้อมูลภูมิอากาศของเขตโครงการ ตารางที่ 6.3 แสดงค่า K_c ของพืชต่าง ๆ จากตาราง 6.2 และ 6.3 จะสามารถคำนวณความต้องการน้ำของพืชในแต่ละเดือนดังแสดงในตารางที่ 6.4 เพื่อเป็นการทบทวนจะแสดงวิธีคำนวณความต้องการน้ำของถั่วเขียวและถั่วเถา ซึ่งมีระยะเวลาการปลูกดังแสดงในรูปข้างล่าง



จากรูปจะเห็นว่าเริ่มปลูกถั่วเขียวและถั่วเถาในเดือนธันวาคม และใช้เวลา 15 วันในการปลูกให้ครบพื้นที่ 15 เปอร์เซนต์ของโครงการ ถั่วเขียวและถั่วเถามีฤดูการปลูกนาน 90 วัน จากการเหลื่อมกันของฤดูการปลูกของพื้นที่ที่ปลูกก่อนและที่ปลูกหลังเราจำเป็นต้องหาค่า K_c เฉลี่ยของแต่ละเดือนใหม่สำหรับถั่วเขียวและถั่วเถา ซึ่งทำได้ดังนี้ ธันวาคม มกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม

	ธันวาคม		มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม
	1-15	16-31	1-15	16-31	1-14	15-28	1-15
K_c ชุดแรก	0.36	0.66	0.97	1.04	1.03	0.94	
K_c ชุดหลัง		0.36	0.66	0.97	1.04	1.03	0.94
K_c เฉลี่ย	0.36	0.51	0.82	1.01	1.09	0.99	0.94

เมื่อได้ค่า K_c เฉลี่ยของแต่ละเดือนแล้ว ก็จะสามารถคำนวณความต้องการน้ำของถั่วเขียวและถั่วเถาในแต่ละเดือนได้ เช่นในเดือนธันวาคม



รูปที่ 6.1 แผนการปลูกพืชและความหนาแน่นของการปลูกพืช

ความต้องการน้ำของถั่วเขียว = $\frac{117}{2} \times 0.36 + \frac{117}{2} \times 0.51 = 50.89$ มิลลิเมตร แต่ตัวเลขในตารางที่ 6.4 มีค่า 76.8 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพราะต้องให้น้ำก่อนทำการปลูกประมาณ 26 มิลลิเมตรสำหรับเดือนต่อ ๆ ไปตัวเลขจะได้โดยตรงดังวิธีคำนวณข้างต้น

เมื่อได้ความต้องการน้ำของพืชทั้งหมดที่จะปลูกในโครงการแล้ว ขั้นต่อไปคือการคำนวณปริมาณน้ำเพื่อการชลประทานในแต่ละเดือนของโครงการ โดยที่วิธีการคำนวณสำหรับพืชไร่และข้าวต่างกันจึงต้องแบ่งการคำนวณออกเป็นสองตอน สำหรับพืชไร่จะยกตัวอย่างในเดือนธันวาคม ดูตารางที่ 6.2 และตารางที่ 6.4 ประกอบ

ปริมาณน้ำชลประทาน = $[(\frac{76.8}{2} \times \frac{0.15}{2}) + (\frac{76.8}{2} \times 0.15)] +$

$[(\frac{47.09}{2} \times \frac{0.05}{2}) + (\frac{47.09}{2} \times 0.05)] +$

$(132.22 \times 0.1) + [(\frac{50}{2} \times \frac{0.02}{2}) + (\frac{50}{2} \times 0.02)]$

$+ (94.0 \times 0.03)$

= $2.88 + 5.76 + 0.588 + 1.18 + 13.2 + 0.25 + 0.5 + 2.82$

= 27.178 มิลลิเมตร

แต่โดยที่ระบบชลประทานมีการสูญเสีย ฉนั้นสมมุติประสิทธิภาพของโครงการเท่ากับ 65%

ปริมาณน้ำชลประทานในเดือนธันวาคม = $\frac{27.178}{0.65}$ = 41 มิลลิเมตร

อนึ่งหน่วยที่ใช้เป็นมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่าจะต้องให้น้ำโดยเฉลี่ย 41 มิลลิเมตร บนพื้นที่ของโครงการทั้งหมดที่ทำการเพาะปลูกในเดือนธันวาคม

สำหรับข้าวนั้นจะต้องคำนวณความต้องการน้ำของพืชโดยใช้ค่า K_c และค่าฝนใช้การต่างจากพืชไร่ ทั้งนี้เพราะแปลงนามีคันกั้นน้ำโดยรอบ ฉนั้นจึงสามารถเก็บกักน้ำไว้ได้มากกว่า พันธุ์ข้าวที่ใช้ในการคำนวณนี้ใช้พันธุ์ กข 11 ซึ่งมีค่า K_c ดังนี้

ช่วงของการเจริญ	ระยะเวลา	ค่า K_c
1. ปักดำและแตกกอ	10 วัน	1.0
2. เจริญเติบโตเต็มที่	30 วัน	1.2
3. ตั้งท้องออกรวง	30 วัน	1.3
4. ข้าวเหลือง	23 วัน	1.0
5. เก็บเกี่ยว	15 วัน	-

ตารางที่ 6.2 ข้อมูลภูมิอากาศของเขตโครงการน้ำใต้ดิน จังหวัดสุโขทัย

	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
ฝนเฉลี่ย 22 ปี[1] มม.	7	11	26	50	141	129	125	176	217	163	15	3
ฝนใช้การ[2] มม.	–	11	24	47	111	94	94	124	127	121	11	–
การใช้น้ำของพืชอ้างอิง ET(ET_p)[3] มม.	120	132	173	196	173	144	142	135	125	134	121	117
ET_p มม./วัน	3.87	4.71	5.58	6.53	5.58	4.80	4.58	4.35	4.17	4.32	4.03	3.77
การระเหยจากถาดระเหย[4] มม.	100.0	104.5	143.0	170.5	160.5	134.5	127.5	117.5	118.0	109.0	109.0	102.0
ความชื้นสัมพัทธ์[4] %	67	64	62	63	73	78	79	82	82	78	26	24
อุณหภูมิ[4] °C	23.9	26.1	28.8	30.5	29.5	28.3	28.0	27.5	27.7	27.6	25.8	24.1
ความเร็วลม[4] ม./วินาที	0.617	0.669	0.875	0.978	0.978	0.875	0.875	0.823	0.669	0.617	0.617	0.721

1. ฝนจากสถานีสวรรคโลก
2. ฝนใช้งานสำหรับพืชไร่ (หาโดยวิธีของ SCS, กระทรวงเกษตรแห่งสหรัฐอเมริกา)
3. หาโดยวิธีของ Penman ที่ปรับปรุงแล้ว
4. เฉลี่ยจากสถานีอุตรดิตถ์และพิษณุโลก

ตารางที่ 6.3 ค่า K_c ของพืชต่างๆ

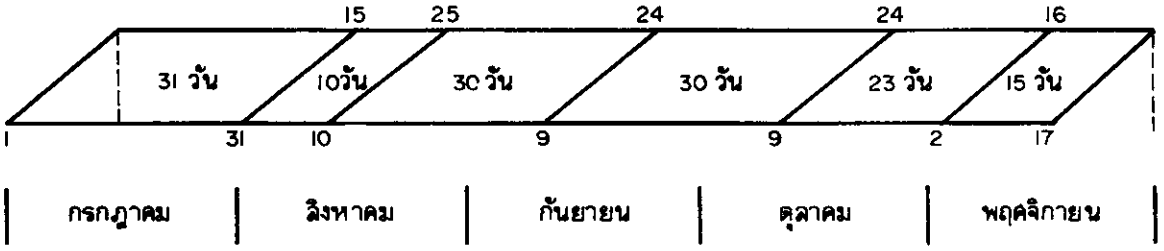
	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม		เมษายน		พฤษภาคม		มิถุนายน		กรกฎาคม		สิงหาคม		กันยายน		ตุลาคม		พฤศจิกายน		ธันวาคม	
	1*	2*	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
ถั่วเหลือง	1.1	1.17	1.01	0.88			0.28	0.68	1.01	1.04	0.96	0.58											0.37	0.7
ถั่วเขียว	0.97	1.04	1.03	0.94			0.26	0.63	0.93	0.98	0.92	0.87											0.36	0.66
ข้าวโพด	1.04	1.07	1.04	0.98			0.26	0.47	0.86	1.07	1.09	0.97			0.34	0.51	0.87	1.05	1.08	1.04	0.97		0.35	0.68
ถั่วลิสง	0.87	0.98	0.97	0.74											0.34	0.53	0.86	0.97	0.95	0.75			0.36	0.53
ฝ้าย	1.06	0.98	0.86	0.71											0.32	0.4	0.51	0.75	0.95	1.07	1.12	1.13	1.13	1.11
อ้อย		0.55		0.80	0.92			1.02		1.05		1.06	1.06			1.08		0.97		0.91		0.80		

* 1 และ 2 หมายถึงช่วงครึ่งเดือนแรกและครึ่งเดือนหลัง

ตารางที่ 6.4 ความต้องการน้ำของพืชคิดเฉลี่ยแต่ละเดือน หน่วยเป็นมิลลิเมตร

พืช	เดือน											
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
ถั่วเหลือง				73.26	160.84	124	40.12					
ถั่วเขียว	109.20	133.32	81.31	69.09	150.10	132.84	58.51					76.80
ข้าวโพด				61.25	141.0	151.92	68.67	51.64	103.12	103.02	58.69	
ถั่วลิสง	97.50	120.78	64.01					52.31	101.63	121.27	45.38	47.09
ฝ้าย	126.15	112.37	61.42					45.73	67.66	124.62	134.35	132.22
อ้อย	66.0	106.0	106.0	200.0	183.0	153.0	151.0	146.0	122.0	122.0	97.0	
ผัก	125.0	115.0		90.0	110.0	102.0		55.0	120.0	115.0		50.0
ไม้ผล	72.0	89.0	130.0	98.0	104.0	101.0	121.0	135.0	138.0	147.0	109.0	94.0

การปลูกข้าวนั้นผิดจากพืชไร่ กล่าวคือในแปลงนามีน้ำขังตลอดเวลา ฉนั้นจึงต้องคิดค่าน้ำที่สูญเสียไปในรูปของการซึมลงใต้ดิน ซึ่งพอประมาณค่าได้เท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวัน ก่อนเก็บเกี่ยว 15 วัน จะต้องระบายน้ำออกจากแปลงนาให้หมด ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการเก็บเกี่ยวและป้องกันความเสียหายแก่รวงข้าว น้ำสำหรับการเตรียมดินและตกกล้านั้น โดยทั่วไปแล้วจะอยู่ประมาณ 350 มิลลิเมตร ฝนใช้การสำหรับข้าวคิดตามอัตราส่วนที่แสดงในตารางที่ 6.5 พร้อมกับใช้ประสิทธิภาพการชลประทาน 90 เปอร์เซนต์



ปริมาณน้ำชลประทาน

เดือนกรกฎาคม

เตรียมดินใน 3/4 ของเนื้อที่ปลูกข้าว $= \frac{(350 - 125) \times 0.4 \times 0.75}{0.9}$

$= 75.0$ มิลลิเมตร

เดือนสิงหาคม

เตรียมดินใน 1/4 ที่เหลือ $= 350 \times 0.25 \times 0.4^{*} = 35$

การใช้น้ำของข้าว $= \frac{10}{31} \times 117.5 \times 1.0$

$+ \frac{6 + 21}{2 \times 31} \times 117.5 \times 1.2$

$= 99.3$ ม.ม.

การซึมลงใต้ดิน $= 3 \times 31 = 93$ ม.ม.

รวม $= 35 + 99.3 + 93 = 227.3$ ม.ม.

หักฝนใช้การ $= 176$ ม.ม.

∴ น้ำชลประทาน $= \frac{(227.3 - 176) \times 0.4}{0.9} = 22.8$ ม.ม.

* 0.4 นี้คือค่าจากประสพการณ์ในสนาม เมื่อพื้นที่ข้างเคียงส่วนใหญ่ได้เตรียมแปลงแล้วจะมีน้ำที่ซึมออกจากแปลงเหล่านั้นเข้าสู่แปลงที่ยังไม่ได้เตรียม ฉนั้นทางปฏิบัติจึงคิดแค่ 40 เปอร์เซนต์ของปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเตรียมแปลงสำหรับพื้นที่ที่เหลือ

ตารางที่ 6.5 ฝนใช้การสำหรับข้าว

ปริมาณน้ำฝนต่อเดือน (ม.ม.)	ฝนใช้การ (ม.ม.)
200	200 (100%)
250	235 (94%)
300	270 (90%)
350	290 (83%)
400	315 (79%)
450	320 (71%)
500	325 (65%)

1. สุรีย์ สอนสมบูรณ์ (2508) "คู่มือเกษตรชลประทาน"

เดือนกันยายน

การใช้น้ำของพืช $= \frac{24+9}{2 \times 30} \times 118.0 \times 1.2 + \frac{6+21}{2 \times 30} \times 118 \times 1.3$

$= 77.88 + 69.03 = 146.91$ ม.ม.

การซึมลงใต้ดิน $= 3 \times 30 = 90.00$ ม.ม.

รวม $= 236.91$

หักฝนใช้การ $= 211.79$ ม.ม.

∴ น้ำชลประทาน $= \frac{(236.91 - 211.79) \times 0.4}{0.9}$

$= 11.16$ ม.ม.

เดือนตุลาคม

การใช้น้ำของพืช $= \frac{9+24}{2 \times 31} \times 109 \times 1.3 + \frac{7+22}{2 \times 31} \times 109 \times 1.0$

$= 75.42 + 50.98 = 126.40$ ม.ม.

การซึมลงใต้ดิน $= 3 \times 31 = 93$ ม.ม.

รวม $= 219.40$ ม.ม.

หักฝนใช้การ $= 163$ ม.ม.

∴ น้ำชลประทาน $= \frac{(219.40 - 163) \times 0.4}{0.9} = 25$ ม.ม.

เดือนพฤศจิกายน

การใช้น้ำของพืช $= \frac{16+2}{2 \times 30} \times 109 \times 1.0 = 32.7$ ม.ม.

การซึมลงใต้ดิน $= \frac{16+2}{2} \times 3 = 27$

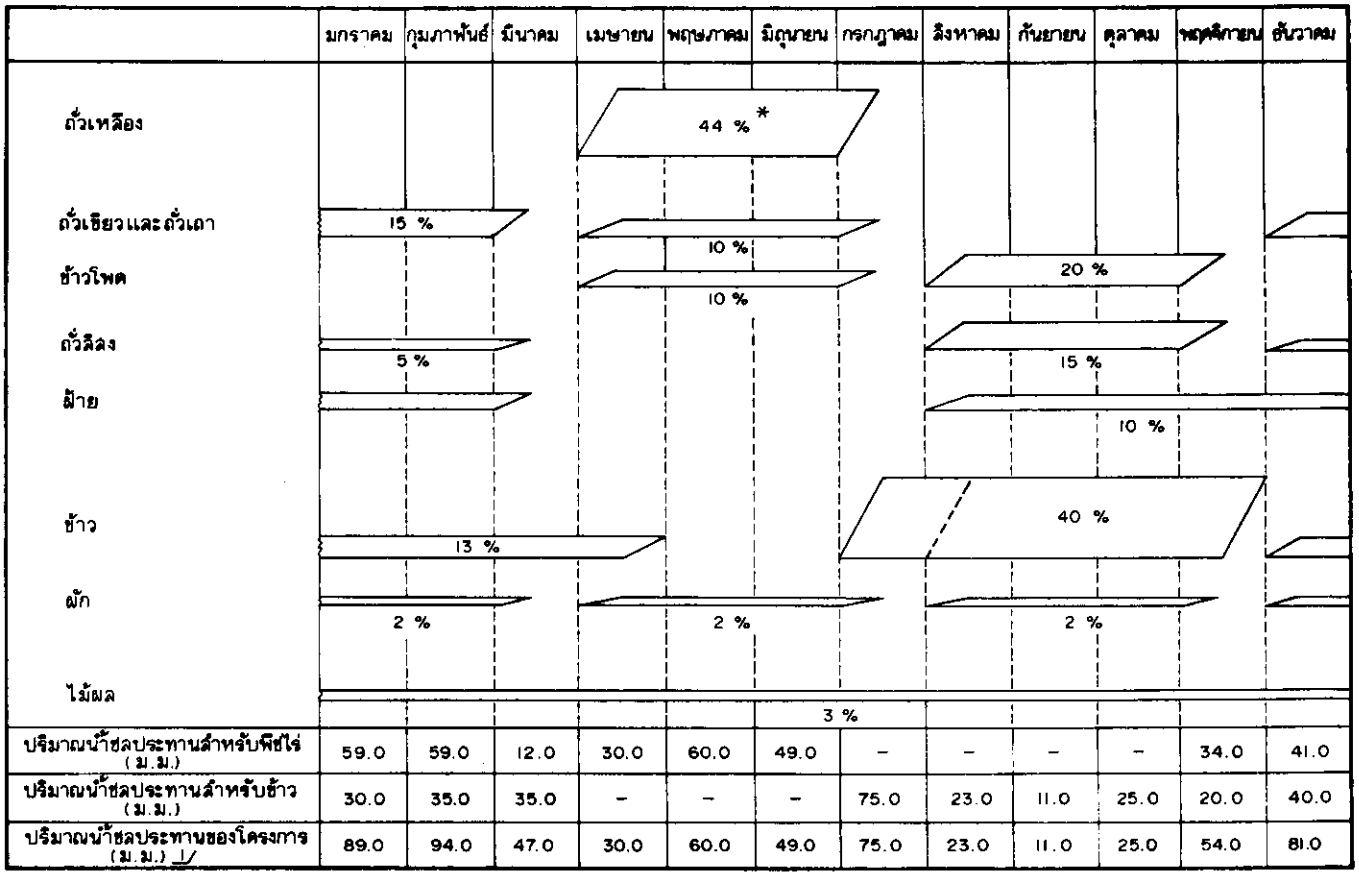
ฝนใช้การ $= 15$ ม.ม.

∴ น้ำชลประทาน $= \frac{(32.7 + 27 - 15) \times 0.4}{0.9}$

$= 19.86$ ม.ม.

เมื่อได้ปริมาณน้ำชลประทานทั้งของพืชไร่และข้าวแล้ว ก็จะสามารถหาปริมาณน้ำชลประทานในแต่ละเดือนของโครงการได้ดังแสดงในตารางที่ 6.6

อนึ่งในกรณีที่แหล่งน้ำนั้นเป็นอ่างเก็บน้ำ เราต้องจัดแผนการปลูกพืชโดยยึดหลักว่าเมื่อสิ้นฤดูฝนจะต้องมีน้ำอยู่เต็มอ่างหรืออยู่ระดับเก็บกักสูงสุด ส่วนในกรณีของการใช้น้ำจากใต้ดิน ต้องจัดแผนการปลูกพืชโดยยึดหลักว่า ปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องการในฤดูแล้งต้องน้อยกว่าปริมาณน้ำที่สามารถสูบมาใช้ได้ และควรจะกระจายเกือบเท่ากันตลอดฤดูแล้ง การจัดแผนการปลูกพืชที่กล่าวข้างต้นนั้นอาจจะต้องทำหลายครั้งเพื่อจะให้ได้ตามหลักเกณฑ์ที่วางไว้



	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม
ปริมาณน้ำชลประทานสำหรับพืชไร่ (ม.ม.)	59.0	59.0	12.0	30.0	60.0	49.0	–	–	–	–	34.0	41.0
ปริมาณน้ำชลประทานสำหรับข้าว (ม.ม.)	30.0	35.0	35.0	–	–	–	75.0	23.0	11.0	25.0	20.0	40.0
ปริมาณน้ำชลประทานของโครงการ (ม.ม.) 1/	89.0	94.0	47.0	30.0	60.0	49.0	75.0	23.0	11.0	25.0	54.0	81.0

รวมทั้งปี
- 638 ม.ม.
- 36.88 ล้านลูกบาศก์เมตร

* การคำนวณพื้นที่ของพืชแต่ละชนิด = พื้นที่ทั้งหมด x เปอร์เซนต์ของการปลูกพืช
ตัวอย่าง ถั่วเหลือง (เมษายน ถึง มิถุนายน) = 5780 X 0.44 = 2543.2 เฮกตาร์ หรือ 15,895 ไร่

1/ ปริมาณน้ำที่ต้องสูบในแต่ละเดือน = ความต้องการน้ำทั้งหมดในแต่ละเดือน x พื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด
ตัวอย่าง เดือน มกราคม = 0.089 X 57.80 = 5.144 ล้านลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 6.6 ปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องการในแต่ละเดือนของโครงการ สำหรับพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด 36,125 ไร่ (อัตราการใช้ที่ดินร้อยละ 90 ความหนาแน่นของการปลูกพืช 187 เปอร์เซนต์)

6.5 การลดการสูญเสียน้ำ

การสูญเสียน้ำในไร่นาแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ การสูญเสียโดยการระเหยและรั่วซึมในระบบส่งน้ำ และการสูญเสียในขณะให้น้ำ

การสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำในไร่นาขึ้นอยู่กับวิธีการส่งน้ำ คุณสมบัติของดินที่นำมาก่อสร้างคลอง การป้องกันการรั่วซึม การบำรุงรักษา ฯลฯ การส่งน้ำแบบตลอดเวลาทำให้คลองดินปราศจากรอยแตกร้าวหรือรอยรั่ว คลองดินเหนียวมีการรั่วซึมน้อยกว่าคลองดินทราย คลองที่มีคันมั่นคงแข็งแรง ปราศจากวัชพืชในคลองจะมีการสูญเสียน้ำน้อยกว่าที่ไม่ได้รับการบำรุงรักษา เป็นต้น จากการศึกษาประสิทธิภาพของคูส่งน้ำของโครงการล้าปาว จังหวัดกาฬสินธุ์ ปรากฏว่าประสิทธิภาพของคูส่งน้ำที่ไม่ได้ดาดจะมีค่าจาก 50 ถึง 70 เปอร์เซนต์ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 63 เปอร์เซนต์ (มีการสูญเสียน้ำ 37 เปอร์เซนต์)

การลดการสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำในไร่นาทำได้โดยการให้การบำรุงรักษาที่ดี เช่น การกำจัดวัชพืชและขุดลอกตะกอนทราย เป็นประจำ เพราะสิ่งเหล่านี้จะทำให้อัตราการไหลของน้ำในคลองลดลง และเปิดโอกาสให้มีการรั่วซึมมากขึ้น การดาดคลองอาจจะไม่ช่วยแก้ปัญหาการรั่วซึมได้ถ้าขาดการบำรุงรักษา โดยการปล่อยให้วัสดุดาดคลองนั้นแตกร้าว

การสูญเสียน้ำในขณะให้น้ำอาจเกิดขึ้นโดยการไหลเลยท้ายแปลงออกไป (Runoff) ในกรณีที่พื้นที่เพาะปลูกมีความลาดเท และให้น้ำด้วยอัตราที่สูงเกินกว่าที่ดินจะดูดซับเอาไว้ได้ การสูญเสียอีกแบบหนึ่งเป็นการสูญเสียโดยการซึมเลยเขตราก (Deep Percolation) การสูญเสียทั้งสองรูปแบบนี้ป้องกันได้โดยการเลือกใช้วิธีการให้น้ำให้เหมาะกับ ดิน พืช และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ทราบความต้องการน้ำที่อายุต่าง ๆ ของพืช และให้น้ำแก่พืชโดยการวัดปริมาณให้พอดีกับความต้องการ

6.6 การอนุรักษ์น้ำ

ดังได้กล่าวแล้วว่าน้ำที่ต้องส่งมาจากแหล่งน้ำที่อยู่ห่างไกลออกไปจะมีการสูญเสียไปโดยการระเหยและรั่วซึมตลอดจนถูกวัชพืชใช้ไปเป็นจำนวนมาก การสูญเสียจะเพิ่มมากขึ้นถ้าพื้นที่เพาะปลูกอยู่ห่างไกลจากแหล่งน้ำมากขึ้น ดังนั้น ควรจะมีการใช้น้ำที่เหลือมาถึงพื้นที่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพราะถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียที่แปลงเพาะปลูกไม่มากนัก แต่เมื่อเทียบกลับไปเป็นปริมาณน้ำที่ส่งเข้าปากคลองสายใหญ่หรือคลองซอยแล้วจะเป็นปริมาณไม่น้อยทีเดียว

ในการชลประทานแบบผิวดินบนพื้นที่ที่มีความลาดเท มักจะมีน้ำส่วนหนึ่งไหลเลยท้ายแปลงออกไป กลายเป็นน้ำผิวดิน (Runoff) ถ้าหากน้ำส่วนนี้มีปริมาณมากพอก็ควรจะได้มีการเก็บรวบรวมนำมาใช้อีก โดยการทำร่องระบายนำน้ำไปรวมไว้ที่จุดต่ำสุดของพื้นที่ แล้วใช้เครื่องสูบน้ำสูบกลับมาสู่คูส่งน้ำอีก

ฝนที่ตกลงบนพื้นที่เป็นน้ำที่ได้มาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายซึ่งไม่ควรจะมองข้ามไปเสีย ควรจะเลือกวิธีการให้น้ำแบบที่สามารถใช้น้ำฝนอย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าหากทำได้ เช่น แบบ Level Border หรือ Level Furrow ในกรณีที่พืชเป็นประเภทที่ต้องการให้มีการระบายน้ำดี ก็อาจเลือกใช้ประเภทที่มีความลาดเทพอสมควรพร้อมกับจัดระบบระบายน้ำไว้ให้ดีพอ สำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทสูงอาจเลือกใช้

ระบบที่วางขนานกับเส้นชั้นความสูง เช่น Contour Furrow หรือ Contour Check ไม่ควรเลือกใช้ร่องคูที่มีทิศทางไปตามความลาดเทหลักเพราะจะทำให้เกิดการกัดเซาะในร่องอย่างรุนแรงได้ และโอกาสที่น้ำฝนจะซึมลงไปในดินเก็บไว้ให้พืชใช้ได้จะลดลง

6.7 วิธีการส่งน้ำ

การที่จะใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพนั้น นอกจากต้องคำนึงถึงหัวข้อต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วข้างต้น ยังต้องคำนึงถึงวิธีการส่งน้ำด้วย โดยทั่วไปแล้ว การส่งน้ำนั้นทำได้ 3 วิธีคือ

1. การส่งน้ำตลอดเวลา เป็นวิธีที่ใช้มากที่สุดในโครงการชลประทาน วิธีนี้คำนวณชลภาระ (Water duty) โดยคิดว่าเกษตรกรจะให้น้ำตลอด 24 ชั่วโมง ความจุของคลองสายใหญ่และคลองซอยจะเล็กแต่การสูญเสียน้ำจะมีมาก เพราะเกษตรกรจะขาดความกระตือรือล้นในการประหยัดน้ำ

2. การส่งน้ำแบบหมุนเวียน พื้นที่ในเขตชลประทานจะหมุนเวียนกันได้รับน้ำ ช่วงเวลาของการหมุนเวียนนั้นอาจคำนวณจากความถี่ของการให้น้ำ (Irrigation interval) หรือตามกำหนดเวลาที่จัดล่วงหน้า นอกจากนั้นการหมุนเวียนยังทำได้โดยการเวียนในระดับคลองซอย หรือในระดับคลองไส้ไก่ ระบบการส่งน้ำแบบนี้คลองซอยจะมีขนาดใหญ่กว่าแบบแรก แต่การประหยัดน้ำของเกษตรกรจะดีกว่า แม้ตามหลักการแล้ว วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีแต่ในทางปฏิบัติแล้วทำได้ยากเพราะเกิดการแย่งน้ำของเกษตรกรที่มีที่เพาะปลูกอยู่ต้นน้ำ นอกเสียจากจะสามารถตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำที่เข้มแข็ง และจัดสรรน้ำในหมู่เกษตรกรกันเองได้

3. การส่งน้ำตามคำขอ วิธีการนี้เหมาะกับโครงการขนาดเล็ก ซึ่งการส่งน้ำจะกระทำตามคำขอของเกษตรกร การจัดการโครงการค่อนข้างจะยุ่งยาก และต้องทราบช่วงเวลาที่น้ำจะส่งไปถึงแต่ละจุดของโครงการด้วย ต้องมีการจัดการและบริหารงานที่ดี

การเลือกวิธีการส่งน้ำควรพิจารณาถึงการสูญเสียน้ำเป็นเกณฑ์ จากนั้นก็ความยากง่ายของการจัดการเพราะว่าโดยหลักการแล้ว วิธีหนึ่งอาจจะดีกว่าอีกวิธีหนึ่ง แต่ก็ต้องขึ้นอยู่กับการจัดการและบริหารการส่งน้ำ หากการจัดการไม่ดีพอและเกษตรกรไม่ให้ความร่วมมือ วิธีการจะดีอย่างไรก็มีประสิทธิภาพต่ำเช่นกัน

6.8 การประเมินผลของโครงการ

การประเมินผลของโครงการนั้นเป็นสิ่งจำเป็นและสำคัญมาก การประเมินผลนั้นเป็นการวัดความสำเร็จหรือประสิทธิภาพของการจัดการโครงการว่าทำได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่ นอกจากนั้นแล้ว ยังเป็นแนวทางเพื่อการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้ตามเป้าหมาย สำหรับการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพนั้น เราประเมินผลของโครงการโดยการวัดประสิทธิภาพของการส่งน้ำตั้งแต่คลองสายใหญ่จนถึงจุดที่จะเข้าแปลงนา ซึ่งเรียกรวมกันว่า ประสิทธิภาพระบบส่งน้ำ (Distribution system efficiency) จากนั้นก็ประเมินประสิทธิภาพของการใช้น้ำระดับแปลงนา หรือเรียกว่า ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application efficiency) วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพเหล่านี้ได้กล่าวแล้วในบทก่อน

จากการสำรวจของ ICID และ ILRI ปรากฏว่าโครงการชลประทานส่วนใหญ่ในโลกยังมีประสิทธิภาพต่ำ ซึ่งยังสามารถจะปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ หากเราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำของทั้งโครงการได้อีก 10 เปอร์เซนต์ย่อมหมายถึงการเพิ่มพื้นที่เพาะปลูกอีกมาก สำหรับโครงการชลประทานใหญ่ ๆ และใช้ระบบการให้น้ำแบบผิวดินแล้ว ประสิทธิภาพจะต่ำกว่า 50 เปอร์เซนต์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่ง

จากผลการสำรวจของสองสถาบันข้างต้น ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพต่าง ๆ ได้นำแสดงในตารางที่ 6.7 โครงการชลประทานของเราส่วนมากออกแบบโดยใช้ค่าประสิทธิภาพมากกว่า 50 เปอร์เซนต์ขึ้นไป ฉะนั้นในทางปฏิบัติจึงเป็นการยากมากที่จะได้ตามค่าที่ออกแบบซึ่งอาจเป็นการคาดคะเนที่สูงไป แต่ก็ควรจะให้ได้ประสิทธิภาพของโครงการอย่างน้อย 40 เปอร์เซนต์

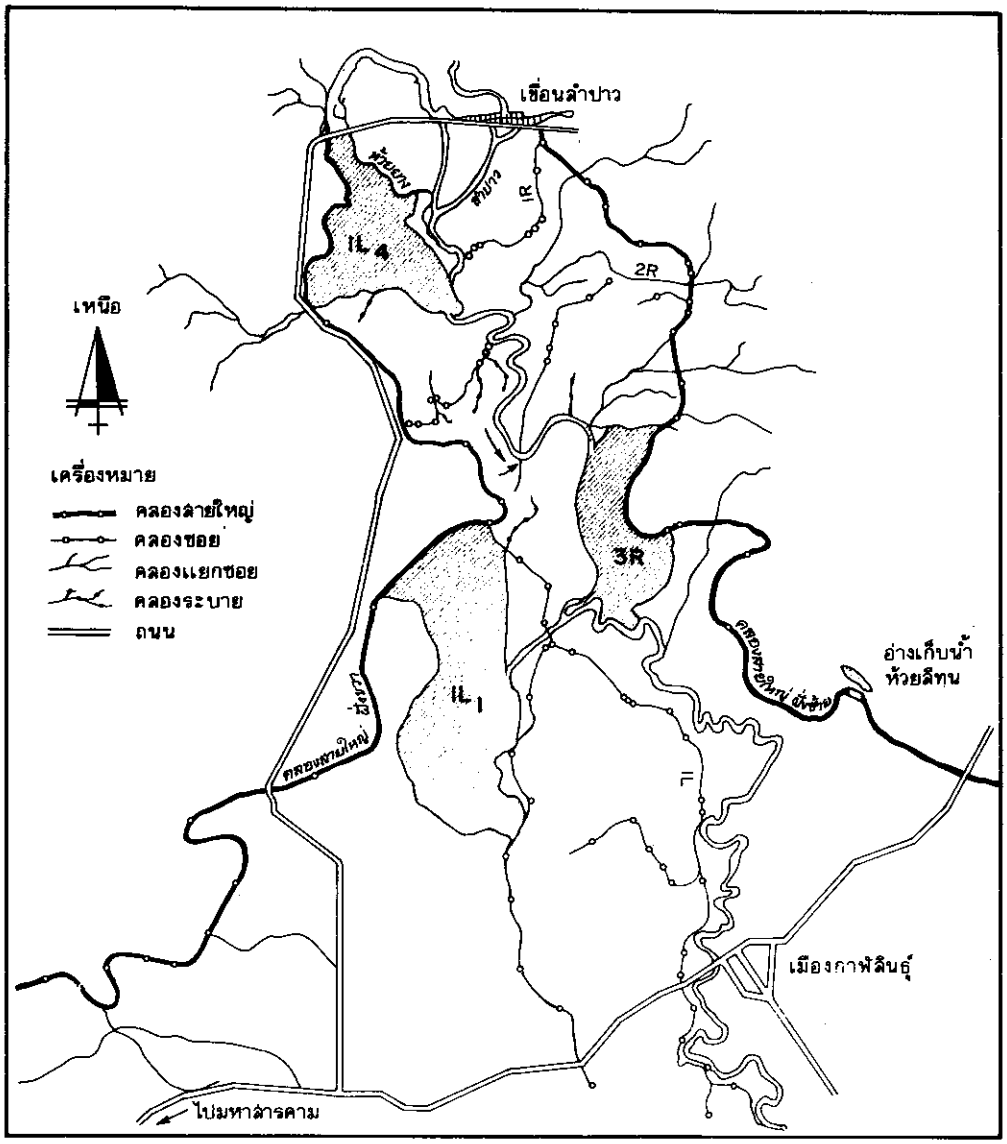
รูปที่ 6.2 และ 6.3 เป็นการแสดงพื้นที่ที่ทำการประเมินผลและผลที่ได้รับของโครงการชลประทานลำปาวซึ่งต้องถือว่าเป็นแค่ตัวอย่างเท่านั้น แต่มิได้หมายถึงค่าประสิทธิภาพจริง ๆ ของโครงการ ทั้งนี้เพราะว่าการประเมินนั้นได้ทำขึ้นในช่วงฤดูแล้ง และปกคลุมเนื้อที่เพียงเล็กน้อยของโครงการ จากผลที่แสดงในรูปที่ 6.3 เราสามารถรู้ได้ในขั้นตอนไหนของขบวนการส่งน้ำให้ประสิทธิภาพต่ำ และควรจะแก้ไขปรับปรุงที่จุดใด

ท้ายสุดนี้ใคร่ขอย้ำว่า การจัดตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำโดยให้กลุ่มทำหน้าที่และมีส่วนร่วมอย่างเต็มที่ในการบริหารโครงการนั้น นอกจากจะเป็นการช่วยในการใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ยังจะนำมาซึ่งความสำเร็จของโครงการในที่สุด

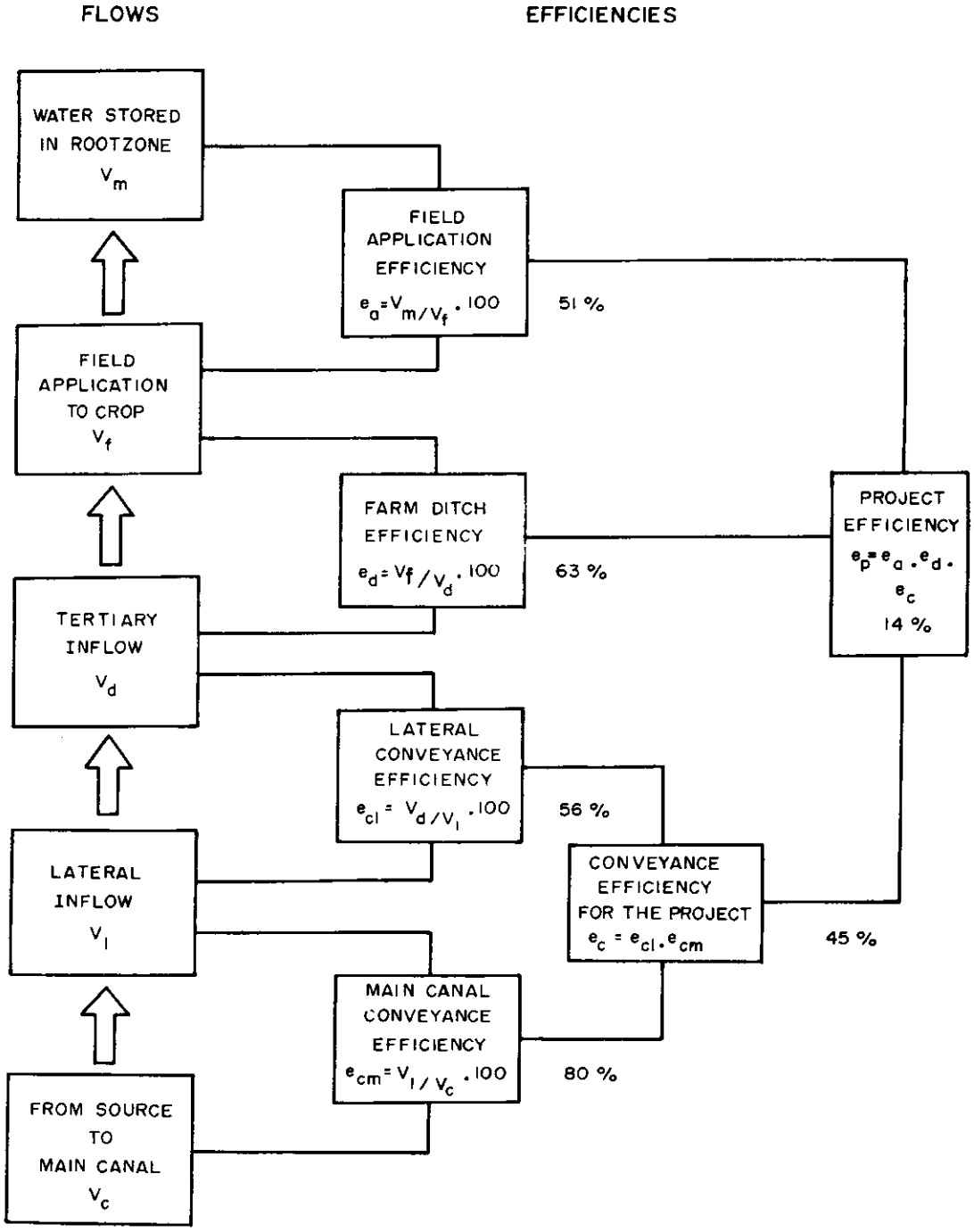
ตารางที่ 6.7 ประสิทธิภาพในการส่งน้ำ (E_c) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (E_b) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_d = E_b.E_c$) และประสิทธิภาพในการให้น้ำ (E_a) สำหรับวิธีการส่งน้ำ ขนาดของพื้นที่ ลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำแบบต่าง ๆ

Conveyance Efficicney (E_c)			**ICID/ILRI**
Continuous supply with no substantial change in flow			0.9
Rotational supply in projects of 3000-7000 ha and rotation areas of 70-300 ha, with effective management			0.8
Rotational supply in large schemes (>10 000 ha) and small schemes (<1000 ha) with respective problematic communication and less effective management:			
based on predetermined schedule			0.7
based on advance request			0.65
Field Canal Efficiency (E_b)			
Blocks larger than 20 ha:	unlined		0.8
	lined or piped		0.9
Blocks up to 20 ha:	unlined		0.7
	lined or piped		0.8
Distribution Efficiency ($E_d = E_c.E_b$)			
Average for rotational supply with management and communication adequate			0.65
sufficient			0.55
insufficient			0.40
poor			0.30
Field Application Efficiency (E_a)	**USDA**	**US (SCS)**	
Surface methods			
light soils	0.55		
medium soils	0.70		
heavy soils	0.60		
graded border		0.60-0.75	0.53
basin and level border		0.60-0.80	0.58
contour ditch		0.50-0.55	
furrow		0.55-0.70	0.57
corrugation		0.50-0.70	
Subsurface		up to 0.80	
Sprinkler, hot dry climate		0.60	
moderate climate		0.70	0.67
humid and cool		0.80	
Rice			0.32

Source: Doorenbos, J.and W.O. Pruitt, 1977. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24. FAO, Rome.



รูปที่ 6.2 แผนที่แสดงจุดที่ทำการประเมินผลในโครงการลำปาว (IL_4 , IL_1 , 3R)



รูปที่ 6.3 ประสิทธิภาพของการส่งน้ำที่ระดับต่าง ๆของโครงการลำปาว

ตัวอย่าง

ในแปลงทดลองซึ่งมีดินเป็นชนิดดินร่วนปนทรายความชื้นชลประทาน (FC) เท่ากับ 28% และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) เท่ากับ 12% จุดวิกฤต (Critical Point) เท่ากับ 30% เหนือ PWP ความลึกรากพืชเพาะปรากฏเท่ากับ 1.3 เริ่มปลูกข้าวโพดในเดือนมกราคมโดยมีช่วงการปลูกทั้งหมด 3 เดือน สมมุติว่า เมื่อเริ่มปลูกดินมีความชื้นที่ FC พอดี ความลึกโดยเฉลี่ยของเขตรากและความต้องการน้ำโดยเฉลี่ยของช่วง 15 วันในแต่ละเดือนปรากฏดังตารางข้างล่างนี้

	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม	
ความลึกเขตราก (ซม.)	10	20	35	60	60	60
ET (มม./วัน)	3.0	4.0	5.0	6.0	5.5	4.5

จงคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องให้สูงสุดและความถี่ของการให้น้ำที่ช่วงนี้พร้อมทั้งคำนวณความถี่ของการให้น้ำและปริมาณน้ำที่ต้องให้ปลายเดือนมกราคม

วิธีทำ

ความชื้นที่นำไปใช้ได้ = (28 – 12) X 1.3 X 0.7

. =

ช่วงต้องการน้ำสูงสุด ปลายเดือนกุมภาพันธ์

ความชื้นที่นำไปใช้ได้สำหรับเขตราก 0.6 เมตร = 14.56 × .60 = 8.73 ซม.

= 87 มม.

ความถี่ของการให้น้ำ = $\frac{87}{6}$ = 14.5 วัน

ช่วงปลายเดือนมกราคม

ความชื้นที่นำไปใช้ได้สำหรับเขตราก 0.2 เมตร = 14.56 × .2 = 29 มม.

ความถี่ของการให้น้ำ = $\frac{29}{4}$ = 7.3 วัน

ตัวอย่าง

ในแปลงทดลองซึ่งมีดินชนิดค่อนข้างเหนียว ความชื้นชลประทาน (FC) เท่ากับ 32% และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) เท่ากับ 15% จุดวิกฤติ (Critical Point) เท่ากับ 30% เหนือจุด PWP ความถ่วงจำเพาะปรากฏเท่ากับ 1.4 เริ่มปลูกถั่วเหลืองในเดือนมกราคมโดยมีช่วงฤดูการปลูกทั้งหมด 3 เดือน สมมุติว่าเมื่อเริ่มปลูกดินมีความชื้นที่ FC พอดี ความลึกโดยเฉลี่ยของเขตรากและความต้องการน้ำโดยเฉลี่ยของช่วง 15 วันในแต่ละเดือนปรากฏดังตารางข้างล่างนี้

	มกราคม		กุมภาพันธ์		มีนาคม	
ความลึกเขตราก (ซม.)	8	15	25	45	50	50
ET (มม/วัน)	3.0	3.5	4.5	5.5	5.0	5.0

จงคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องให้ในแต่ละครั้ง ความถี่ของการให้น้ำและปริมาณน้ำสุทธิทั้งหมดตลอดฤดูการปลูก โดยการแสดงกราฟการให้น้ำกับเวลา

วิธีทำ

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ $= (FC - PWP) \times A_s \times CP$

$= (32 - 15) \times 1.4 \times 0.7$

$= 166.6$ มม./ม.

จากความลึกเขตรากที่กำหนด จะสามารถคำนวณความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในแต่ละเดือนดังนี้

วันที่ 1 - 15 ม.ค.
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ = 166.6 × 0.08 = 13.3 มม.
วันที่ 16 - 31 ม.ค.
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ = 166.6 × 0.15 = 25 มม.
วันที่ 1 - 14 ก.พ.
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ = 166.6 × 0.25 = 41.6 มม.
วันที่ 15 - 28 ก.พ.
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ = 166.6 × 0.45 = 75.0 มม.
วันที่ 1 - 31 มี.ค.
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ = 166.6 × 0.5 = 83.3 มม.

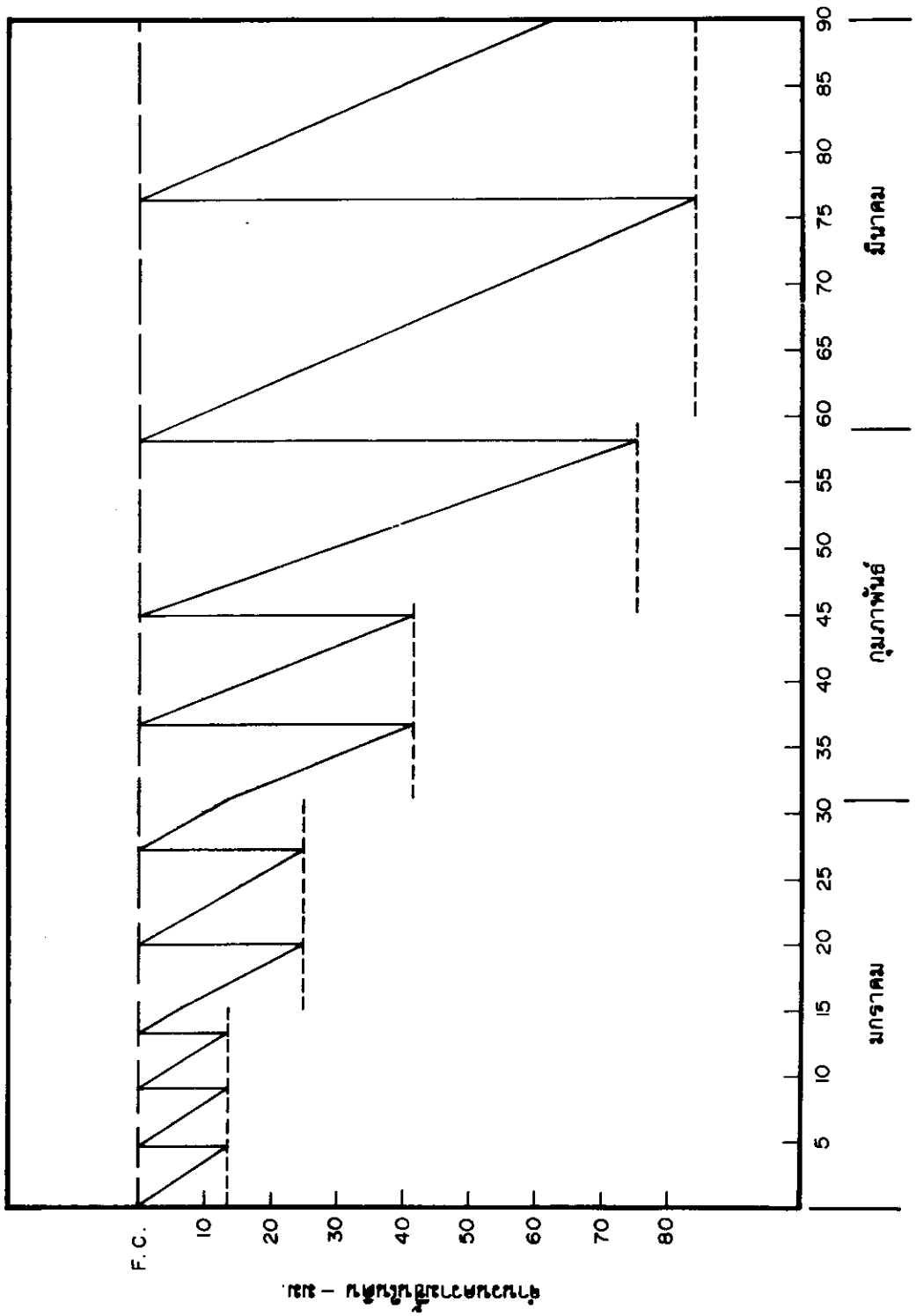
จากนั้นนำเอาความชื้นในหน่วยของความลึกนี้ไปเขียนในกราฟ และจากค่าของปริมาณน้ำที่พืชใช้ สามารถเขียนเป็นเส้นตาม slope ของ ET ได้เมื่อเส้นที่ลากจดกับจุดต่ำสุดของความชื้น ก็ต้องให้น้ำและนำความชื้นคืนถึงจุด FC จากรูปจะเห็นว่าจะต้องให้น้ำทั้งหมด 9 ครั้ง และปริมาณที่ให้ในแต่ละครั้งสามารถอ่านได้จากกราฟ

ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องให้ตลอดฤดูการเพาะปลูก

$$D = 13.3 + 13.3 + 13.3 + 25 + 25 + 41.6 + 41.6 + 75 + 83.3$$

$$= 286 \text{ มม.}$$

อนึ่งจากกราฟจะเห็นว่า slope ของเส้น ET นั้นเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาของฤดูการเพาะปลูก และค่าความชื้นเปลี่ยนตามความลึกของเขตรากจะเห็นว่าวิธีใช้กราฟนี้จะง่ายกว่าการคำนวณ แต่ถ้าเข้าใจในหลักการแล้วย่อมสามารถทำได้ทั้งสองวิธี


มกราคม
กุมภาพันธ์
มีนาคม
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
F.C.
10
20
30
40
50
60
70
80

บทที่ 7
การวัดปริมาณน้ำชลประทาน

ในปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ทำให้สามารถคำนวณหรือประมาณจำนวนน้ำในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และปริมาณการใช้น้ำของพืชได้อย่างใกล้เคียงถูกต้องพอสมควร ซึ่งทำให้สามารถกำหนดเวลาหรือจัดเวลาการส่งน้ำด้วยปริมาณที่เหมาะสมตามคุณสมบัติของดินและปริมาณการใช้น้ำของพืชได้อย่างถูกต้อง ฉะนั้นการวัดปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งไปในระบบและในแปลงเพาะปลูกจึงเป็นสิ่งจำเป็นมาก เพราะผลที่ได้จากการวัดนี้ จะทำให้ทราบจำนวนน้ำที่ส่งว่า เพียงพอกับความต้องการของพืชตามที่คำนวณไว้หรือไม่ นอกจากนี้ยังช่วยให้ทราบการสูญเสียน้ำในระบบชลประทานอีกด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่า การวัดน้ำเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการส่งน้ำให้มีประสิทธิภาพสูง และสิ่งที่แน่นอนที่สุด เราจะต้องมีเครื่องมือวัดน้ำที่ให้ผลอย่างถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน

7.1 ทำไมจึงต้องวัดหาปริมาณน้ำชลประทาน

1. เพื่อประโยชน์ในการกระจายน้ำไปอย่างทั่วถึงในเขตที่รับน้ำและที่ทำการเพาะปลูกอยู่

2. เพื่อจะได้ทราบว่ากสิกรได้รับปริมาณน้ำตามที่ได้จัดสรรให้ตามช่วงเวลาที่กำหนด (Schedule) หรือไม่

3. เพื่อประโยชน์ในการส่งน้ำ ได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ และในช่วงเวลาที่กำหนด เพื่อให้แผนการปลูกพืชดำเนินไปอย่างถูกต้องและไม่ผิดพลาด เมื่อกสิกรทราบจำนวนน้ำที่พืชต้องการใช้

4. เพื่อเป็นแนวทาง แก้ไข และปรับปรุง ประสิทธิภาพในการส่งน้ำ (Irrigation Efficiency) และประสิทธิภาพในการใช้น้ำบนแปลงนา (Farm Efficiency)

5. เพื่อเป็นหลักฐานหรือใช้เป็นเกณฑ์ในการเก็บค่าน้ำแก่กสิกรในกรณีที่มีการเก็บค่าน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพเศรษฐกิจและสังคมของโครงการชลประทานนั้น ๆ

7.2 ที่ใดควรวัดน้ำชลประทานบ้าง

1. ในระบบคลองส่งน้ำสายใหญ่ (Main Canal) ซึ่งจะมีอาคารแบบต่าง ๆ ที่จะสามารถใช้ประโยชน์ในการวัดน้ำ ได้อย่างแม่นยำพอเพียงโดยอาศัยหลักทางชลศาสตร์ ว่าด้วยลักษณะการไหลของน้ำแบบต่าง ๆ หรือจากสูตรที่ได้จากการทดลอง (Empirical formula) และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าได้ผลดี อาคารเหล่านี้คือ ปตร.ปากคลอง (Head Regulator) อาคารวัดน้ำกลางคลอง (Check Gate) ไซฟอนลอดลำน้ำต่าง ๆ (Inverted Syphon) ท่อลอดถนน (Culvert) ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout) ปตร.ปลายคลอง (Tail Regulator) และอื่น ๆ

2. ในระบบคลองซอย (Lateral Canel) หรือคลองแยกซอย (Sub-lateral Canal) จุดที่ควรจะวัดมีดังนี้คือ ปตร.ปากคลอง (Head Regulator) ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnout) ปตร.-ปลายคลอง (Tail Regulator) และอื่น ๆ โดยใช้หลักการคล้ายคลึงกับการวัดน้ำในคลองสายใหญ่

3. สำหรับการวัดน้ำในระดับแปลงนาหรือภายในแฉกส่งน้ำซึ่งเป็นจุดประสงค์ใหญ่ของการอบรมครั้งนี้นั้น มีความจำเป็นเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการส่งน้ำให้มีประสิทธิภาพ และสำหรับการศึกษาวิจัยการใช้น้ำ นอกจากนี้ยังอาจจำเป็นต้องใช้ในการแบ่งสรรปันส่วนน้ำในแฉกส่งน้ำหนึ่ง ๆ ที่มีการส่งน้ำแบบหมุนเวียน เพื่อให้การแบ่งสรรเป็นไปอย่างถูกต้อง สำหรับจุดจะทำการวัดน้ำนั้นก็ขึ้นกับจุดประสงค์ แต่ถ้าเป็นการวัดน้ำเพื่อควบคุมการหมุนเวียนของน้ำ ก็ควรวัดน้ำที่จุดแยกน้ำ เช่น ที่อาคารแบ่งน้ำ (Diversion Box) **ถ้าต้องการวัดน้ำในแต่ละแปลง ควรจะใช้เครื่องมือเช่นรางวัดน้ำ** (Flume) ชนิดที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก หรือเลือกใช้เครื่องมือวัดดังที่จะกล่าวต่อไป แต่อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการเพิ่มพูนความแม่นยำในการวัดยิ่งขึ้น ควรจะได้มีการตรวจสอบปริมาณที่ไหลผ่านอย่างแท้จริง (Calibration) สภาพของอาคารวัดน้ำ และลักษณะการไหลของน้ำโดยทั่ว ๆ ไปมีความยากง่ายในการวัดหรือเก็บข้อมูลอย่างไร เป็นต้น

7.3 จะทำการวัดหาปริมาตรน้ำชลประทานได้อย่างไร

วิธีการวัดน้ำที่ใช้กันโดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะวิธีการวัดปริมาณน้ำในคลองชลประทานขนาดเล็ก เพื่อให้สอดคล้องกับเนื้อหาของการอบรม และเป็นวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี ใหญ่ ๆ ดังนี้ คือ

7.3.1 **วัดปริมาณของน้ำและเวลาที่น้ำไหลผ่านโดยตรง (Volumetric Flow)** เราวัดโดยการจับเวลาที่น้ำจำนวนหนึ่งไหลเต็มถังที่เรารู้ปริมาตรแล้ว นั่นก็คือ

$$\text{อัตราปริมาณการไหล (ลิตร/วินาที)} = \frac{\text{ปริมาตรที่วัดได้ (ลิตร)}}{\text{เวลาที่ใช้วัดปริมาตรนั้น (วินาที)}} \quad \text{.....(7.1)}$$

วิธีวัดน้ำแบบนี้ง่ายและต้องการเครื่องมือไม่มากนัก ความแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้ ถ้าวัดปริมาณการไหลของน้ำไม่เกิน 1.5 ลิตรต่อวินาที แต่เราอาจจะใช้สำหรับการไหลที่มากกว่านี้โดยตั้งถังบรรจุน้ำให้ใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ก็จะมากขึ้น ทำให้ความแน่นอนเพิ่มขึ้น เพราะในการจับเวลาสำหรับนาฬิกาที่คุณภาพดีพอสมควรจะคลาดเคลื่อนประมาณ ± 0.2 วินาที ดังนั้นถ้าเราจะให้อัตราการไหลคลาดเคลื่อนภายใน 1 เปอร์เซนต์ เวลาในการบรรจุน้ำเต็มถังควรเป็น 20 วินาทีเป็นอย่างน้อย ในทำนองเดียวกันถ้าต้องการ 2 เปอร์เซนต์ เวลาในการเติมน้ำ เต็มถังประมาณ 10 วินาที และ 4 วินาทีสำหรับ 5 เปอร์เซนต์

ในทางปฏิบัติ วิธีการวัดแบบนี้ เราใช้วัดการไหลในร่องดู (Furrow) และบ่อยครั้งที่เรานำวิธีนี้ไปวัดปริมาณน้ำที่ออกจากหัวฉีด (Nozzle) แต่ละตัวในระบบฉีดฝอย (Sprinkler) หรือที่หัวปล่อยน้ำ (Emitter) แต่ละตัวในระบบหยดน้ำ (Trickle)

สำหรับการวัดน้ำในร่องดู (Furrow Stream) น้ำจะวิ่งผ่านท่อ (Furrow Tube) หรือรางเทเล็ก ๆ ที่ติดตั้งยื่นออกไปปลายท้ายน้ำ เพื่อปล่อยให้น้ำไหลอย่างอิสระลงไปในถังวัดน้ำ ดังรูปที่ 7.1 Furrow tube สามารถติดตั้งให้สูงเพียงพอที่จะใช้วัด Furrow-in flow เพราะว่า ponding (บ่อ) เหนือที่ที่จะให้น้ำเข้าไปไม่มีผลกระทบกระเทือนต่อการหา intake แต่พื้นที่ของบ่อ (ponded area) เหนือทางน้ำไหลออก (Outflow Station) อาจจะเพิ่ม intake rate ดังนั้นวิธีนี้ไม่ควรจะใช้สำหรับการวัด outflow

บน slope เรียบ ๆ แต่ถ้าใช้ furrow tube ขนาดใหญ่หรือรางเปิด บางครั้งสามารถใช้เพื่อที่จะเป็นการลด ponding เหนือ outflow station ได้

ในกรณีที่เราจำเป็นต้องวัด outflow บน slope ที่เรียบมาก ๆ เราอาจจะปรับปรุงวิธีการได้ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7.2 วิธีการไหลของน้ำไม่ได้ลงในถังโดยตรง มันจะไหลลงในบ่อพัก (sump) ก่อน แล้วระดับน้ำค่อย ๆ สูงขึ้น จนสันเข้ามาในถัง แล้วจับเวลา เราก็จะหาอัตราการไหลได้

เนื่องด้วยระดับผิวน้ำในบ่อพักจะค่อย ๆ สูงขึ้นจนเกินขอบถังเล็กน้อย แล้วจึงจะไหลลงถัง อาจเป็นเหตุให้การวัดคลาดเคลื่อนขึ้นได้ การคลาดเคลื่อนนี้จะขึ้นกับพื้นที่ของ pond ที่เกินออกมาจากถัง และความสูงของระดับน้ำเหนือขอบถัง (Lip) ดังนั้นพื้นที่ส่วนที่เกินออกมาเราต้องพยายามให้มีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ และวิธีนี้จะใช้กับการไหลที่ใช้เวลาในการบรรจุน้ำเต็มถังอย่างน้อยที่สุด 10 วินาที สำหรับการไหลที่ปริมาณน้อย (ใช้เวลาประมาณ 20 วินาทีหรือมากกว่า) และพื้นที่ของ sump น้อยกว่า 3 เท่าของพื้นที่ถัง ความคลาดเคลื่อนถือว่าน้อย ตัดทิ้งได้ สำหรับในการหา furrow-intake rate เราใช้อุปกรณ์ตามหัวข้อต่อไปนี้

1. Furrow tube 2 อัน ขนาด ϕ 3" ยาว 75 ซม. สำหรับแต่ละ furrow สำหรับ inflow station ควรจะติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการไหลของน้ำ
2. ถังน้ำที่รู้ปริมาตรแน่นอน 2 ใบ ความจุ 10-20 ลิตร สำหรับใช้ที่ inflow และ outflow stations.
3. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาข้อมือ 2 เรือน สำหรับจับเวลาที่น้ำเต็มถัง
4. นาฬิกาอีกเรือน ใช้สำหรับวัด elapsed flow time
5. ตารางสำหรับบันทึกข้อมูล

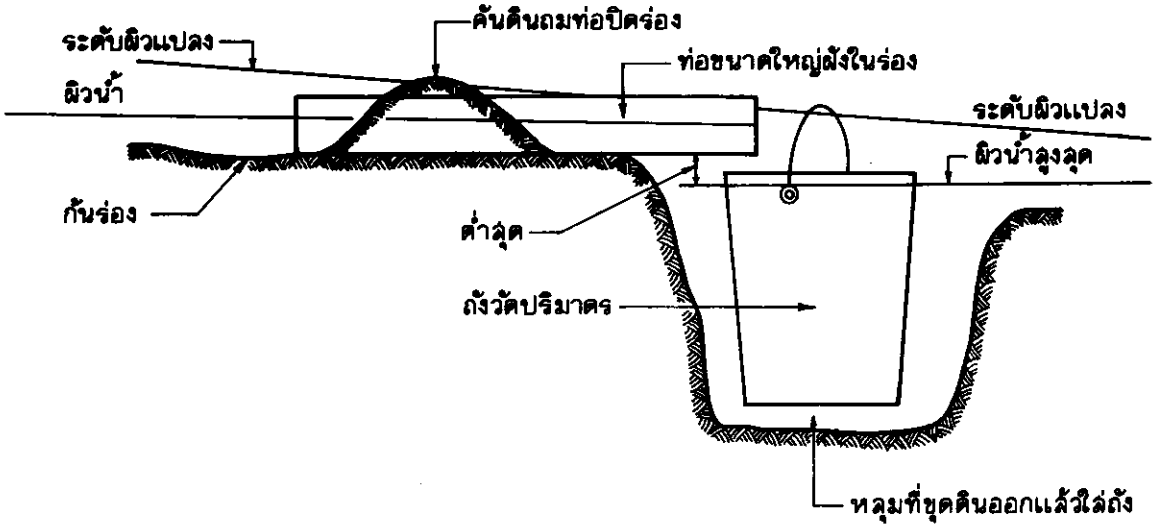
7.3.2 วิธีวัดความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ และพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำ

วิธีวัดน้ำแบบนี้ในระดับแปลงนา (On-farm) ไม่ค่อยนิยมมากนัก โดยเฉพาะลำน้ำเล็ก ๆ เพราะโอกาสผิดพลาดมีง่าย หรืออาจต้องใช้เครื่องมือราคาแพง แต่เพื่อให้เนื้อหาสมบูรณ์และเพื่อว่าบางท่านจำเป็นต้องใช้วิธีนี้จะได้เข้าใจและพอจะวัดได้ถูกต้องขึ้น

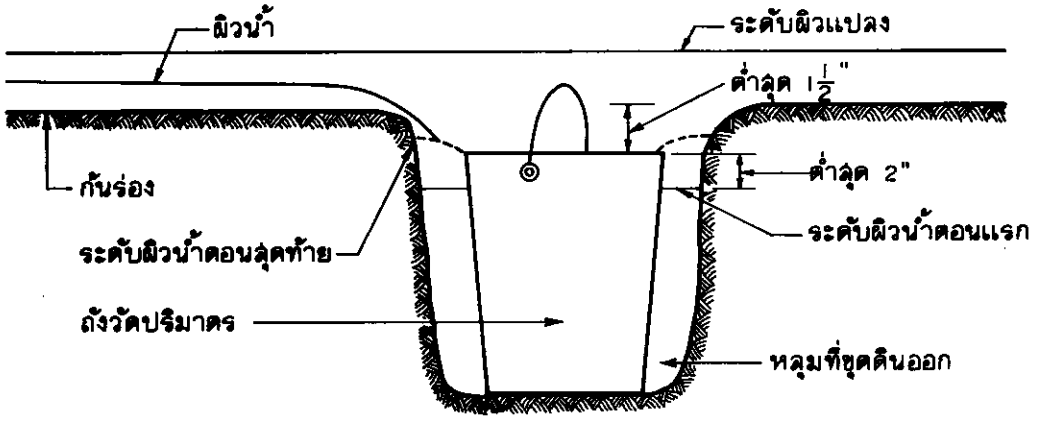
จากทฤษฎีที่ว่า อัตราการไหลของน้ำผ่านจุดใดจุดหนึ่งจะเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดในแนวตั้งฉาก กับทิศทางของกระแสน้ำของทางน้ำนั้น

$$\underset{Q}{\text{อัตราการไหล } (\text{ม}^3/\text{วินาที})} = \underset{A}{\text{พื้นที่หน้าตัด } (\text{ม}^2)} \times \underset{V}{\text{ความเร็วเฉลี่ย } (\text{ม}/\text{วินาที})} \quad ...(7.2)$$

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการหาพื้นที่หน้าตัดของคลองหรือดู หรือทางน้ำอื่นใดนั้น ทำได้โดยการวัดความลึกของน้ำโดยตรงหลาย ๆ จุดในช่วงสม่ำเสมอ ขวางทางน้ำนั้น ข้อควรระวังในกรณีที่เป็นคลองส่งน้ำและคาดคอนกรีต ไม่ควรใช้พื้นที่หน้าตัดที่แสดงอยู่ในแบบก่อสร้าง เพราะในสภาพเป็นจริงโดยทั่วไปแล้ว มักจะมีตะกอนตกอยู่ก้นคลอง ไม่มากก็น้อย ดังนั้นจึงควรทำการวัดจริงในสนามที่จุดนั้น ๆ



รูปที่ 7.1 การวางถังสำหรับวัดปริมาตรการไหลของน้ำใน Furrow



รูปที่ 7.2 การวางถังสำหรับวัดการไหลของน้ำใน Furrow โดยวิธีขจัด Ponding

วิธีวัดความเร็วของกระแสน้ำ

1. วิธีวัดโดยใช้ทุ่นลอย เป็นวิธีที่ง่ายแต่ได้ค่าโดยประมาณ มีขั้นตอนในการทำดังนี้คือ เลือกช่วงที่ตรงที่สุดของทางน้ำให้มีความยาวตั้งแต่ 20-30 เมตร ทั้งนี้ขึ้นกับความเร็วของกระแสน้ำ พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำจะต้องสม่ำเสมอตลอดช่วง ไม่มีวัชพืชขึ้นรกรุงรัง แล้วจึงทำการขึงเชือกขวางลำน้ำที่จุดห่างจากจุดเริ่มต้นสัก 1-2 เมตร แล้วจับเวลาที่ทุ่นลอยใช้ในการลอยจากจุดที่ผ่านเชือกจนถึงระยะที่กำหนด

$$\text{ความเร็วของทุ่นที่ลอยตามกระแสน้ำ} = \frac{\text{ระยะทางจากจุดเริ่มต้นถึงจุดกำหนด}}{\text{เวลาที่ใช้}} \quad ..(7.3)$$

เมื่อจะเทียบเป็นความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในทางน้ำนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของทุ่น ถ้าเป็นทุ่นลอยบนผิวน้ำ ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำจะเท่ากับความเร็วของทุ่นคูณด้วย 0.80 ดังในรูปที่ 7.3

2. วิธีใช้เครื่องวัดกระแสน้ำ (Current Meter) วิธีนี้เป็นวิธีที่ยอมรับกันว่าสามารถใช้วัดความเร็วของกระแสน้ำในทางน้ำเปิดได้แม่นยำที่สุด ตามธรรมดาเครื่องมือนี้ใช้วัดกระแสน้ำในลำน้ำที่มีขนาดใหญ่ และในทางน้ำที่เราจะใช้การวัดแบบโดยตรงธรรมดาไม่เหมาะสม

เครื่องมือประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นใบพัดหรือแบบกรวย (Cup Type Current Meter) และส่วนที่ให้สัญญานบอกจำนวนรอบการหมุนของใบพัด ดังในรูปที่ 7.4 ความเร็วของกระแสน้ำจะเท่ากับจำนวนรอบการหมุนของใบพัดคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์ บวกด้วยค่าคงที่จำนวนหนึ่ง แต่โดยมากจะมีตารางสำหรับเทียบความเร็วของการหมุนของใบพัดเป็นความเร็วของกระแสน้ำ แล้วแต่ขนาดของใบพัด

การสำรวจความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดกระแสน้ำ กระทำดังนี้

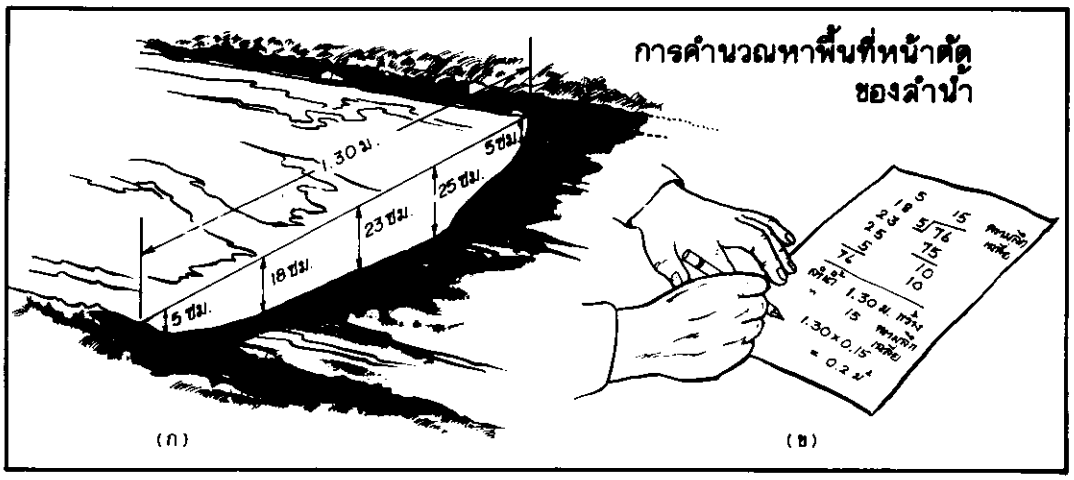
ก. การสำรวจความเร็วของกระแสน้ำ จะต้องสำรวจตามแนวตัดขวางของลำคูหรือลำคลองตรงแนวที่ต้องการสำรวจ และความลึกในแนวสำรวจมีความลึกพอจะใช้แกนหยั่งน้ำสำรวจได้

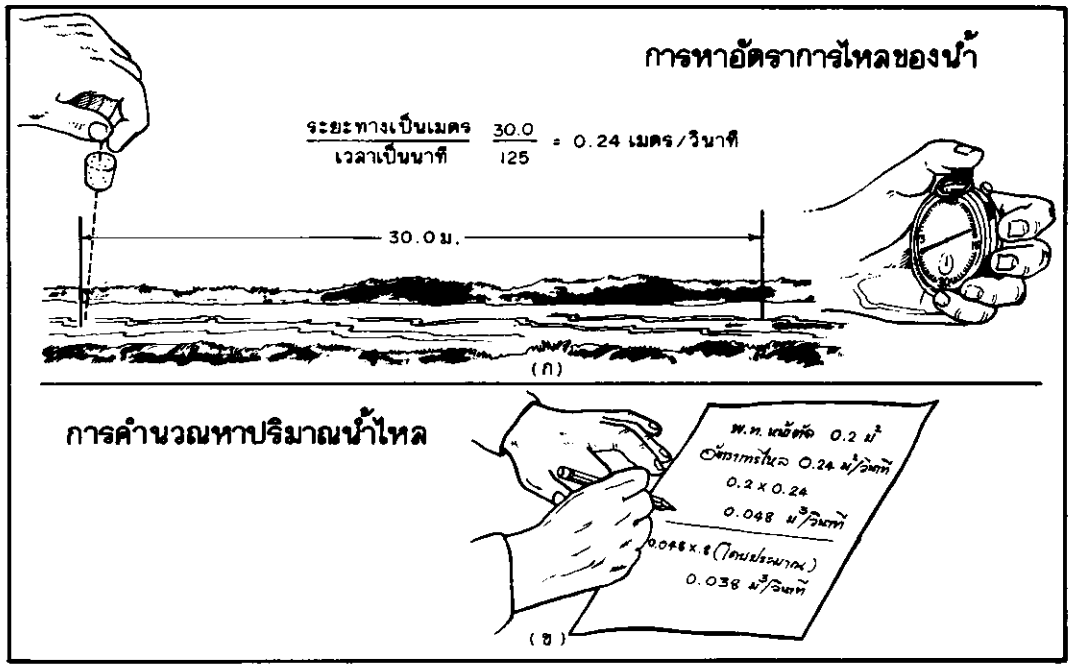
ข. ใช้เทปวัดระยะขึงตึงจากริมฝั่งข้างหนึ่งไปยังริมฝั่งอีกข้างหนึ่งเหนือผิวน้ำ และกำหนดจุดที่จะหย่อนเครื่องวัดกระแสน้ำตามความเหมาะสม เพื่อรู้ความกว้างของแต่ละช่องว่ามีความกว้างเท่าใด แล้วทำการบันทึกไว้ในแบบฟอร์มการสำรวจปริมาณน้ำ

ค. นำเครื่องวัดกระแสน้ำหย่อนลงไปในน้ำและปรับให้เครื่องวัดกระแสน้ำอยู่ตรงจุดที่กำหนดให้แป้นรองตั้งบนพื้นคลอง และให้เครื่องวัดกระแสน้ำหันชนและขนานกับความเร็วของกระแสน้ำ (คือตั้งฉากกับรูปตัดขวาง) เรียกว่าการสำรวจความเร็วของกระแสน้ำที่จุดหย่อนเครื่อง และดูความลึกจากก้นคลองถึงผิวน้ำจากแกนหยั่งน้ำว่ามีความลึกของลูกตั้งนั้นเท่าใด แล้วบันทึกความลึกจริงของท้องน้ำเป็นเมตร

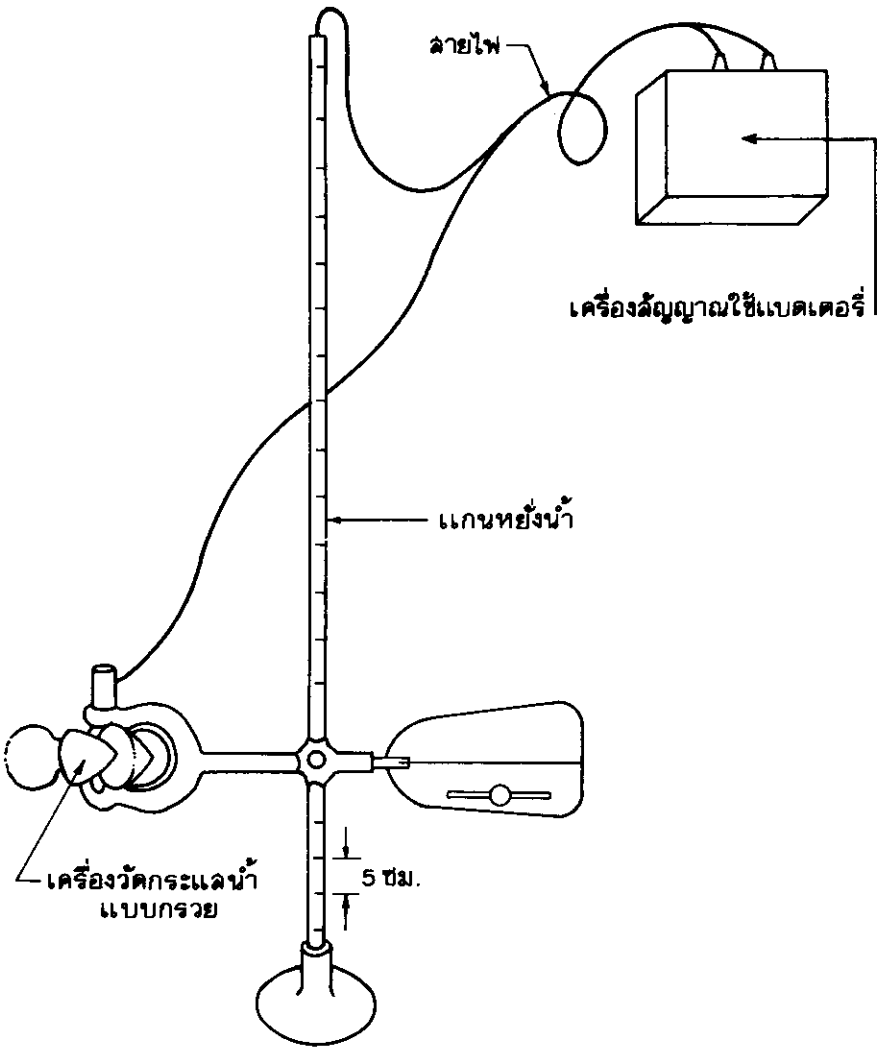
ง. การสำรวจความเร็ว ถ้าความลึกของผิวน้ำถึงก้นคลองน้อยกว่า 60 ซม. ให้ทำการสำรวจที่ระดับความลึก 0.6 จากผิวน้ำ และถือว่าเป็นความเร็วเฉลี่ยของลูกตั้งนั้น ถ้าความลึกของคลองเกิน 60 ซม. ให้ทำการสำรวจที่ระดับความลึก 0.2 และ0.8 จากผิวน้ำ แล้วหาร 2 ถือเป็นความเร็วเฉลี่ยของลูกตั้งนั้น

จ. ความเร็วของกระแสน้ำจะทำให้กรวยเครื่องวัดกระแสน้ำหมุน และเกิดเสียงสัญญานที่เครื่องสัญญาน แสดงว่ากรวยหมุนกี่รอบภายในเวลาที่กำหนดในตารางความเร็ว (Rating Table) ซึ่งกำหนดให้อยู่ระหว่าง 40-70 วินาที





รูปที่ 7.3 แสดงความเร็วของกระแสน้ำด้วยทุ่นลอย และการพื้นที่เฉลี่ยโดยประมาณ



รูปที่ 7.4 อุปกรณ์เครื่องวัดกระแสน้ำแบบกรวย
(Cup Type Current Meter)

ฉ. การจับเวลานาฬิกา ให้เริ่มจับเวลาตั้งแต่เสียงสัญญาณสิ้นสุด แล้วนับจำนวนเสียงสัญญาณให้ตรงกับจำนวนรอบและวินาทีที่กำหนดในตารางความเร็ว และเริ่มกดนาฬิกาจับเวลาหยุดเมื่อสิ้นเสียงสัญญาณเช่นเดียวกัน

7.3.3 วัดเป็นปริมาณการไหลของน้ำโดยตรง

ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะเครื่องมือวัดน้ำที่นิยมใช้วัดน้ำในระดับแปลงนา ซึ่งได้แก่

1. ประเภทฝายวัดน้ำ (Weirs)
   - ก. Rectangular Weir
   - ข. Cipolletti Weir หรือ Trapezodal Weir
   - ค. 90° - V notch Weir
2. ประเภทรางวัดน้ำ (Flume)
   - ก. Parshall Flume
   - ข. Cut-throat Flume
3. อาคารวัดน้ำที่มีระดับต่างคงที่ (Constant-Head Orifice)
4. ท่อกาลักน้ำ (Siphon Tubes)
5. น้ำไหลพุ่งจากท่อ (Trajectory Method)

1. ประเภทฝายวัดน้ำ (Weirs)

Weirs เป็นเครื่องมือวัดน้ำที่นิยมใช้กัน เพราะมีความละเอียดพอสมควร โดยอาศัยการบังคับน้ำให้ไหลผ่านช่องแคบ (ที่รู้ขนาดและระยะที่แน่นอน) ที่ยกให้สูงขึ้นจากพื้นลำน้ำหรือคลองเดิม นอกจากนี้ต้องมีระดับที่แตกต่างกันมากพอสมควรระหว่างด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ คือน้ำไหลผ่านช่องแคบควรจะต้องเป็นลักษณะ Free flow

Weirs แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะขอบของช่องแคบ

ก. ประเภทที่มีสันฝายคม (Sharp-crested weirs) นิยมใช้สำหรับการวัดน้ำชลประทาน

ข. ประเภทที่สันฝายไม่คมหรือ Broad crested weirs ไม่นิยมสำหรับใช้ในการวัดน้ำชลประทาน

Sharp-crested weirs ใช้สำหรับวัดน้ำนั้นมีลักษณะดังรูป 7.5 ซึ่งประกอบขึ้นด้วยไม้หรือเหล็ก หรือคอนกรีต ซึ่งมีขนาดมาตรฐาน ตรงปลายของของช่องแคบจะคมบางน้อยกว่า 1/8" และระดับน้ำที่ไหลเหนือจากสันฝายขึ้นไปเราเรียก Head (H)

ฝายวัดน้ำที่มีสันคม อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดด้วยกัน คือ

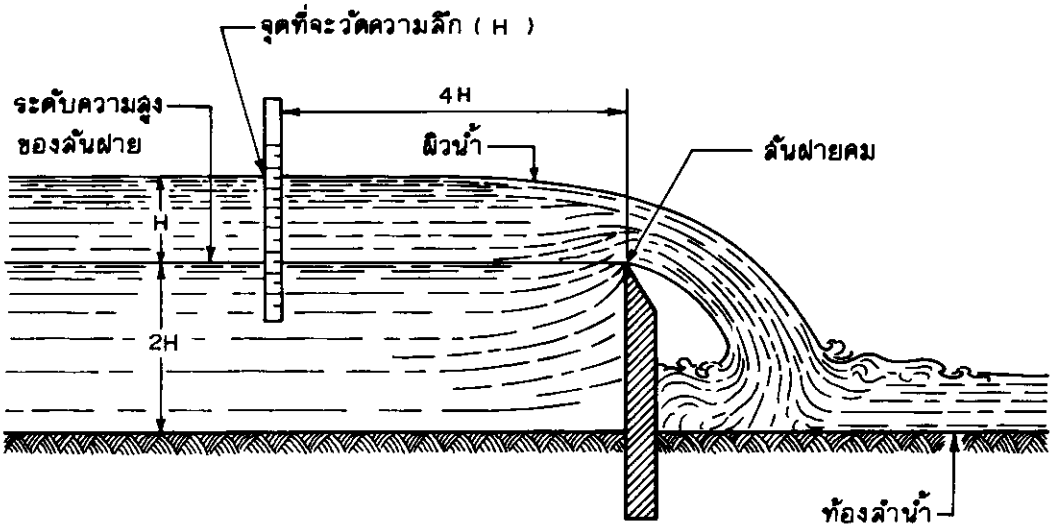
1. Rectangular Weir เป็นฝายวัดน้ำที่มีช่องแคบเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า คือมีพื้นที่ของร่องอยู่ในแนวระดับ และด้านข้างตั้งฉากกับพื้นร่อง ลักษณะการไหลเป็น Free flow ดังรูปที่ 7.6 ปริมาณน้ำสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = 0.0184\ (L - 0.2H)\ H^{1.5} \qquad \text{.....(7.4)}$$

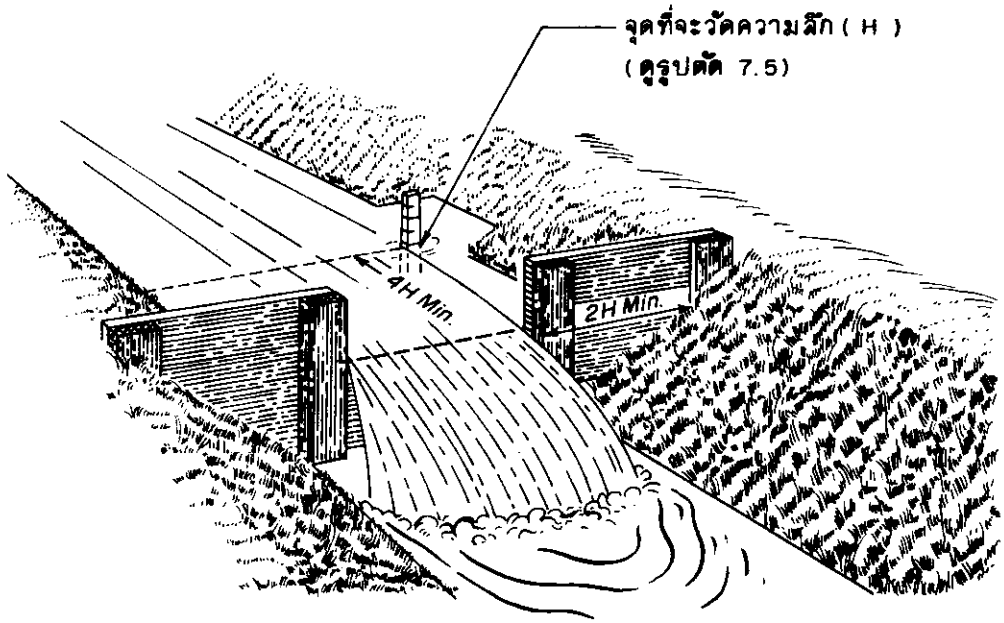
เมื่อ Q = ปริมาณน้ำ เป็นลิตร/วินาที

L = ความยาวของสันฝาย เป็น ซม.

H = ความสูงของระดับน้ำเหนือสันฝายซึ่งวัดที่จุดซึ่งอยู่ด้านเหนือน้ำ ห่างจากสันฝายเป็นระยะอย่างน้อย 4H เป็น ซม.



รูปที่ 7.5 รูปด้านข้างของฝายที่มีสันฝายคม



รูปที่ 7.6 ฝายวัดน้ำชนิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

เราสามารถทราบปริมาณน้ำผ่านฝายตามขนาดความกว้างต่าง ๆ เมื่อวัดค่าของ H ได้โดยใช้ตารางที่ .1 หรือจะใช้การคำนวณเอาเองก็ได้ เช่น

ตัวอย่างที่ 7.1

จงหาอัตราการไหลของน้ำ (discharge) ผ่าน Rectangular weir ขนาดกว้าง 45 ซม. โดยวัด H ได้ 15 ซม.

วิธีทำ

จากสมการที่ 7.1 $Q = 0.0184\ (L - 0.2H)\ H^{1.5}$

$= 0.0184\ (45 - 0.2 \times 15)\ 15^{1.5}$

$= 499$ ลิตร/วินาที

2. Cipolletti หรือ **Trapezodal Weir** เป็นฝายที่มีช่องแคบเป็นชนิดรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ด้านข้างของช่องแคบมีความลาด 1 : 4 (ราบ : ตั้ง) ดังรูป 7.7 ซึ่งปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = 0.0186\ LH^{1.5} \qquad \text{.....(7.5)}$$

ในเมื่อ Q = ปริมาณน้ำ เป็นลิตร/วินาที

L = ความกว้างของสันฝาย เป็น ซม.

H = ความสูงของระดับน้ำเหนือฝาย เป็น ซม.

เราสามารถทราบปริมาณน้ำผ่านฝาย ตามขนาดความกว้างต่าง ๆ เมื่อวัดค่าของ H ได้ โดยการคำนวณเอง หรืออาจจะใช้ตารางที่ 7.2 ก็ได้

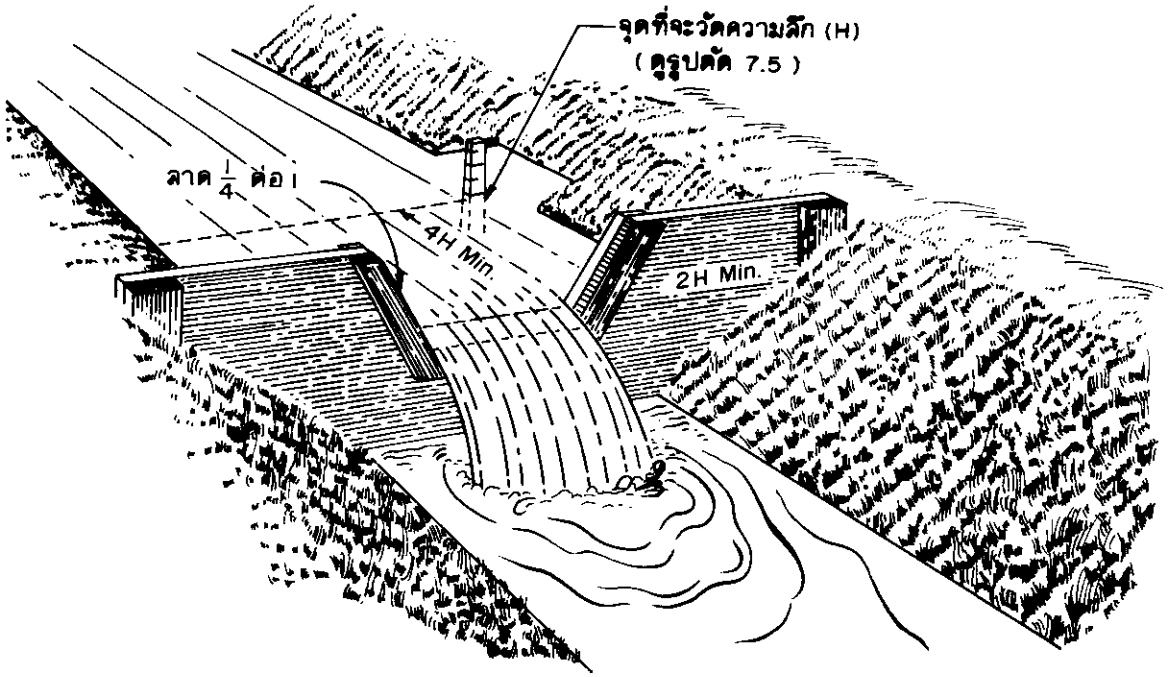
3. 90°-V-notch Weir เป็นฝายที่มีช่องแคบ เป็นชนิดรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ดังรูปที่ 7.8 ปกติใช้วัดลำน้ำขนาดเล็กและปานกลาง ข้อดีของ V-notch คือมีความสามารถวัดได้ละเอียดถูกต้องเมื่อมีปริมาณการไหลน้อย ๆ ซึ่งปริมาณน้ำสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = 0.0138\ H^{2.5} \qquad \text{.....(7.6)}$$

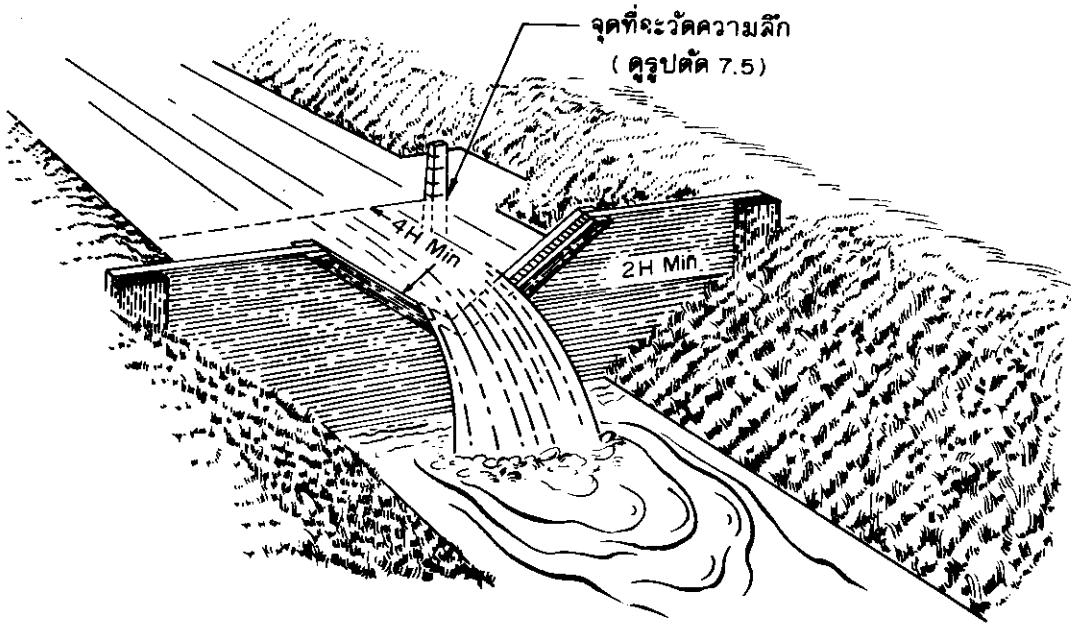
ในเมื่อ Q = ปริมาณน้ำ เป็นลิตร/วินาที

H = ความสูงของระดับน้ำเหนือจุดต่ำสุดของสันฝาย เป็นซม.

เราสามารถทราบปริมาณน้ำผ่านฝาย ตามขนาดความกว้างต่าง ๆ เมื่อวัดค่าของ H ได้ โดยการคำนวณเอง หรืออาจจะใช้ตารางที่ 7.3 ก็ได้



รูปที่ 7.7 ฝายรูปลี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 7.8 ฝายรูปตัววี 90°

ตารางที่ 7.1 ปริมาณน้ำไหลผ่าน Rectangular weirs เป็นลิตร/วินาที

Head (H) ซม	ความกว้างของสันฝาย (L)			
	30 ซม	40 ซม	50 ซม	60 ซม
5.0	5.97	8.0	10.1	12.2
5.5	6.9	9.3	11.6	14.0
6.0	7.8	10.5	13.1	15.9
6.5	8.4	11.8	14.9	17.9
7.0	9.7	13.2	16.6	20.0
7.5	10.7	14.5	18.3	22.1
8.0	11.8	16.0	20.1	24.3
8.5	12.9	17.6	22.1	26.7
9.0	14.0	19.0	24.0	28.9
9.5	15.2	20.7	26.0	31.2
10.0	16.3	22.2	28.0	33.8
10.5	17.5	23.7	30.0	36.2
11.0	18.7	25.3	32.0	37.7
11.5	19.9	27.1	34.3	41.4
12.0	21.3	29.0	36.7	44.4
12.5	22.5	30.7	39.0	47.1
13.0	23.7	32.3	40.9	49.5
13.5	24.8	34.0	43.0	52.2
14.0	26.2	35.8	45.4	55.2
14.5	27.7	37.9	48.2	58.5
15.0	28.8	39.5	50.3	60.9
16.0	31.6	43.3	55.2	67.0
17.0	34.3	47.2	60.1	73.0
18.0	37.0	51.0	65.3	79.0
19.0	39.8	55.0	70.2	85.3

ตารางที่ 7.1 ปริมาณน้ำไหลผ่าน Rectangular weirs เป็นลิตร/วินาที (ต่อ)

Head (H) ซม	ความกว้างของสันฝาย (L)			
	30 ซม	40 ซม	50 ซม	60 ซม
20.0	42.8	59.3	75.8	88.8
21.0	45.7	63.3	81.0	99.0
22.0	48.7	67.5	86.7	105.7
23.0	51.3	71.7	92.2	112.3
24.0	54.7	76.5	94.8	120.0
25.0	57.0	79.8	102.7	125.8
26.0	60.3	84.6	109.2	133.3
27.0	63.5	89.2	115.0	140.8
28.0	66.5	93.7	122.2	148.3
29.0	69.5	98.3	127.0	155.7
30.0	72.5	102.7	133.0	163.3

ตารางที่ 7.2 ปริมาณน้ำไหลผ่าน Cipolletti weirs เป็นลิตร/วินาที

Head (H) ซม	ความกว้างของสันฝาย (ซม)				
	25 ซม	50 ซม	75 ซม	100 ซม	150 ซม
1	0.5	0.9	1.4	1.8	2.7
1.5	0.9	1.7	2.6	3.4	5.1
2	1.3	2.6	3.9	5.2	7.8
3	2.4	4.8	7.2	9.6	14
4	3.7	7.4	11	15	22
5	5.2	10	16	21	31
6	6.8	14	21	27	41
8	10.5	21	32	42	63
10	15	29	44	59	88
12	19	39	58	77	116
14	24	49	73	97	146
16	—	60	89	119	178
18	—	71	106	142	212
20	—	83	125	166	249
25	—	—	174	232	349
30	—	—	229	305	458
35	—	—	—	391	577
40	—	—	—	477	705
45	—	—	—	571	842
50	—	—	—	—	986

ตารางที่ 7.3 ปริมาณน้ำไหลผ่าน 90V-notch weirs เป็นลิตร/วินาที

Head (H) ซม	ปริมาณน้ำ ลิตร/วินาที	H ซม	Q ลิตร/วินาที	H ซม	Q ลิตร/วินาที
4.0	0.45	13.0	8.6	22.0	31.0
4.5	0.60	13.5	9.5	22.5	34.0
5.0	0.80	14.0	10.5	23.0	35.7
5.5	1.0	14.5	11.3	23.5	38.2
6.0	1.2	15.0	12.3	24.0	40.0
6.5	1.5	15.5	13.3	24.5	42.7
7.0	1.8	16.0	14.5	25.0	44.5
7.5	2.2	16.5	15.6	25.5	46.7
8.0	2.5	17.0	16.7	26.0	48.8
8.5	2.8	17.5	18.3	26.5	51.0
9.0	3.4	18.0	19.4	27.0	53.8
9.5	3.9	18.5	21.7	27.5	56.3
10.0	4.5	19.0	22.3	28.0	58.7
10.5	5.1	19.5	23.5	28.5	61.5
11.0	5.7	20.0	25.5	29.0	64.5
11.5	6.3	20.5	27.0	29.5	66.8
12.0	7.1	21.0	28.3	30.0	69.4
12.5	7.8	21.5	30.3		

ข้อกำหนดในการติดตั้งฝายวัดน้ำ

ข้อกำหนดมีดังนี้

1. สันฝายและขอบข้างต้องให้มีความคมและสะอาดเรียบมากที่สุดโดยหนาไม่เกิน 1/8"
2. ตัวอาคารตั้งมั่นคงแข็งแรง ทนต่อแรงดัน กรณีเกิดน้ำหลากก็ไม่พัง
3. ต้องติดตั้นสันฝายให้ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของน้ำในทางน้ำนั้น และอยู่ในแนวระดับ
4. พยายามติดตั้งให้เป็น Free flow คือให้ระดับทางท้ายน้ำต่ำกว่าระดับสันฝาย
5. ความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำถึงสันฝาย ต้องลึกไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของ Head แต่ถ้าเป็นไปได้ ควรจะให้สูงถึง 3H ทั้งนี้เพื่อเผื่อปริมาณตะกอนและเศษสิ่งของต่าง ๆ ที่มากับน้ำมาตกจมลงหน้าฝาย และขอบของสันฝายจะต้องห่างจากตลิ่งทั้งสองข้าง ข้างละไม่น้อยกว่า 2H ที่ปริมาณน้ำ (Q) สูงสุด
6. การเลือกความยาวของสันฝายไม่น้อยกว่า 3H ($L \geq 3H$) จะทำให้ผลการวัดถูกต้องดีขึ้น และ H ควรสูงอย่างน้อย 5 ซม.
7. ต้องติดตั้งเสาวัดระดับน้ำให้ได้ดิ่ง และห่างจากจุดที่ตั้งฝายไปทางเหนือน้ำไม่น้อยกว่า 4H ที่ Q สูงสุด
8. ติดตั้งในช่วงของทางน้ำ หรือคลองที่ตรงเป็นระยะไม่น้อยกว่า 10 เท่าของความกว้างของสันฝาย

ถ้าการติดตั้งฝายเป็นไปตามกำหนดดังกล่าวได้มากที่สุดเท่าไร ก็จะมีความถูกต้องในการวัดมากขึ้นเท่านั้น

ข้อดีและข้อเสียของฝายวัดน้ำ

ถ้าวางและติดตั้งฝายวัดน้ำได้อย่างถูกต้อง จะเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างง่าย และวัดน้ำได้แม่นยำที่สุดแบบหนึ่ง คือ ถ้าสภาพทุกอย่างอำนวย การวัดน้ำโดยฝายจะผิดพลาดประมาณ 2-3 เปอร์เซนต์ แต่ในสนามจริง ๆ แล้ว จะผิดพลาดประมาณ 5-10 เปอร์เซนต์

ข้อเสียของฝายวัดน้ำอยู่ที่ว่า ถ้าน้ำที่ไหลผ่านนั้นมีตะกอนมาก ตะกอนจะมาตกอยู่บริเวณหน้าฝาย ซึ่งในกรณีนี้ จะทำให้การหาปริมาณการไหลของน้ำจากวิธีดังกล่าวข้างต้นน้อยกว่าความเป็นจริง ต้องมีการศึกษาขนาดและปริมาณของตะกอนเสียก่อน แล้วหาอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้น

ข้อจำกัดอีกอย่างหนึ่งก็คือ ถ้าต้องการให้การวัดน้ำถูกต้องที่สุด จะต้องให้ไหลแบบ Free flow จึงไม่เหมาะสมสำหรับทางน้ำที่มีความลาดเทน้อย ๆ เพราะจะเกิดกรณีฝายจมน้ำ (Submerged) ทำให้การวัดความเร็วน้ำที่ผ่านช่องแคบไม่ได้ค่าที่แท้จริง

2. ประเภทรางวัดน้ำแบบ Parshall

Parshall Measuring Flume เป็นเครื่องมือวัดน้ำที่ Mr. R.L. Parshall ได้เป็นผู้ประดิษฐ์ขึ้นเมื่อปี พ.ศ. 2463 โดยดัดแปลงมาจาก Venturi flume ซึ่งต่อมา Parshall flume ได้เป็นเครื่องมือวัดน้ำที่นิยมใช้กันแพร่หลายในวงการชลประทาน เพราะให้ผลแน่นอนและวัดน้ำได้หลายขนาด คือ ตั้งแต่ 1 1/sec จนถึง 850 m^3/sec โดยใช้ Parshall flume ขนาดต่าง ๆ ตั้งแต่ 25 มม. จนถึง 15 เมตร

หลักการของ Parshall flume

Parshall flume ใช้สำหรับวัดน้ำในทางน้ำเปิดที่มีผิวน้ำไหลเป็นอิสระ เราติดตั้ง Parshall flume ในทางน้ำเพื่อทำหน้าที่เป็น Control section สำหรับใช้วัดน้ำ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ 3 ส่วน คือ

1. ทางผายเข้า (Converging Section)
2. ส่วนคอ (Throat Section)
3. ทางผายออก (Diverging Section)

โดยปกติส่วนของผายเข้าจะถูกยกระดับให้สูงกว่าระดับก้นคลอง และอยู่ในแนวราบได้ระดับ ส่วน Throat เป็นตอนที่แคบที่สุด มีกำแพงสองข้างอยู่ในแนวดิ่ง พื้นลาดลง การวัดขนาดของ Flume ใช้วัดจากความกว้างของ Throat นี้ และส่วนที่ผายออกจะมีพื้นลาดขึ้นไปหาระดับก้นคลอง ตามรูปที่ 7.9 สำหรับขนาดสัดส่วนมาตราฐานดูในตารางที่ 7.5

เมื่อเราติดตั้ง Flume ในคลองหรือคูส่งน้ำแล้ว น้ำจะไหลผ่าน Throat ซึ่งมีรูปตัดเล็กกว่าคลองหรือคู จะทำให้เกิดลักษณะการไหลอาจจะเป็น Free flow หรือ Submerged flow สำหรับในกรณี Free flow จะทำให้เกิดความลึกวิกฤต (Critical depth) ที่ส่วนที่แคบที่สุดของ Flume และเกิด Hydraulic jump ทางด้านท้าย ด้วยความลึกของน้ำตรงส่วนที่ผายเข้า Ha จะมากกว่าที่วัดได้ตรงส่วนที่แคบที่สุด คือ Hb เสมอ และใช้อัตราส่วนของ Hb/Ha นี้เป็นเครื่องกำหนดว่าจะเป็น Free flow หรือ Submerged flow

กรณีที่เป็น Free flow อัตราส่วนของ Hb/Ha (Percentage of submergence) อยู่ในอัตราส่วนจำกัดไม่เกินค่าที่กำหนดดังต่อไปนี้

ขนาดของ Throat	Hb/Ha
2.5 ถึง 7.5 ซม.	0.5
15 ถึง 23 ซม.	0.6
30 ถึง 240 ซม.	0.7

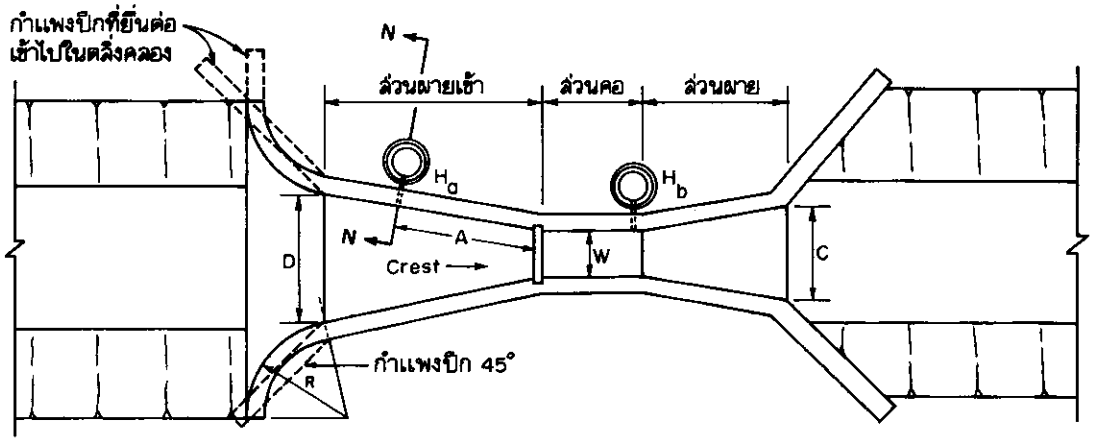
ถ้าหาก Hb/Ha มากกว่าที่กำหนดไว้นี้ จะเป็น Submerged flow สำหรับในกรณี Free flow นั้น จำนวนน้ำที่ผ่าน flume ย่อมขึ้นอยู่กับขนาดความกว้างของ flume และ Ha ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

ความกว้างของ Throat		สมการ	
7.5 ซม.	$Q = 0.142\ Ha^{1.547}$		.....(7.7)
15 ซม.	$Q = 0.262\ Ha^{1.58}$		.....(7.8)
23 ซม.	$Q = 0.466\ Ha^{1.53}$		.....(7.9)
30 ถึง 240 ซม.	$Q = 0.018\ W^{1.026}\ Ha^{1.522}$		.....(7.10)

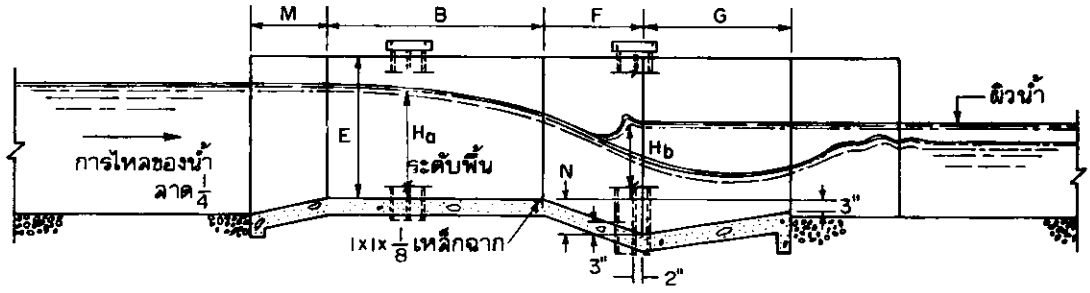
Q = ปริมาณน้ำเป็นลิตร/วินาที

W = ความกว้างของ Throat เป็น ซม.

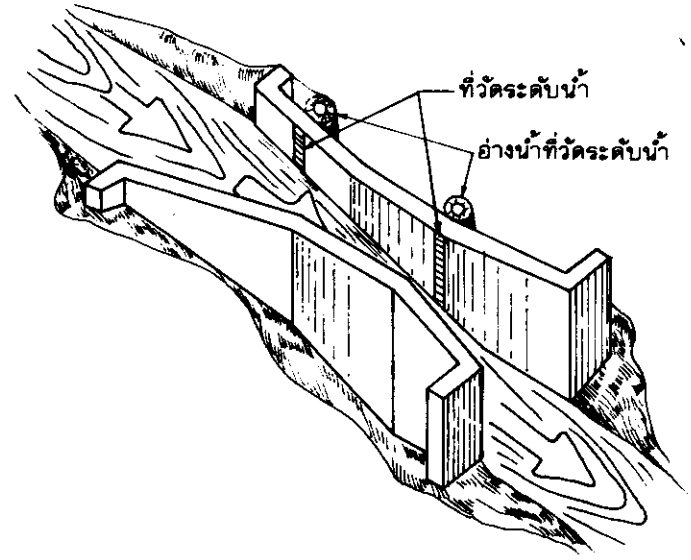
Ha = ความลึกของน้ำที่วัดได้เหนือ Throat เป็น ซม.

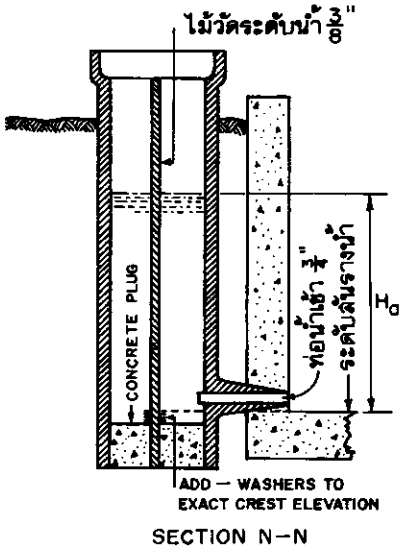


รูปด้านบน



รูปด้านข้าง





รูปที่ 7.9 แปลนและระดับของส่วนประกอบ Parshall Flume

เพื่อความสะดวกในการใช้งานสำหรับหาค่าต่าง ๆ ของ Q เมื่อทราบ W และ Ha จากสมการ 7.7, 7.8, 7.9 และ 7.10 ได้ทำเป็นตารางเพื่อจะได้ทราบค่าต่าง ๆ ได้ โดยรวดเร็ว ดังตารางที่ 7.4

สำหรับกรณีถ้าระดับน้ำด้านท้าย Hb สูงขึ้น จนเกิดเป็น Submerged flow จำนวนน้ำที่ผ่าน flume ขนาดต่าง ๆ จะต้องหักออกด้วยเลขจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะมีค่ามากน้อยแล้วแต่ขนาดของ Flume ออกจากสมการ 7.7, 7.8, 7.9 และ 7.10 ดังนั้นเพื่อตัดปัญหายุ่งยากควรหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดกรณี Submerged flow เสีย

ข้อดีข้อเสียของ Parshall flume

Parshall flume จะไม่ทำให้เกิดปัญหาการตกตะกอนข้างหน้าเหมือนกับฝายวัดน้ำประเภทต่าง ๆ Head loss เกิดขึ้นน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับฝายวัดน้ำกับ Parshall flume แบบ Free flow จะเกิด Head loss ประมาณ 25% ของฝายวัดน้ำเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตาม Parshall flume ก็มีข้อเสียตรงที่ว่ามีราคาแพง ถ้าใช้ขนาดใหญ่จะยากต่อการก่อสร้างและติดตั้ง เพราะต้องการความละเอียดและถูกต้องในสัดส่วนต่าง ๆ มากกว่าเครื่องมือวัดน้ำอย่างอื่น ๆ และไม่สามารถใช้ร่วมกับ Head gate หรือประตูปากคลองได้

การเลือกขนาดและติดตั้ง

การใช้เครื่องวัดน้ำแบบนี้ สิ่งที่สำคัญคือการเลือกขนาดที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ต้องการวัด เพื่อให้วัดปริมาณน้ำได้ตามที่ต้องการ โดยไม่ใช้ Parshall flume ที่มีขนาดใหญ่และแพงเกินไป และกำหนดระดับก้น flume ให้ถูกต้องตามความต้องการ

ขอยกตัวอย่างและข้อแนะนำที่ควรปฏิบัติดังต่อไปนี้

1. กำหนดปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องการวัด และคำนวณหาความลึกของน้ำในคลอง หรือวัดความลึกของน้ำในคลองก่อนติดตั้ง Parshall flume และระดับตลิ่งตรงจุดที่จะติดตั้ง

2. ถ้าเป็นไปได้ ควรกำหนดให้เป็นชนิด Free flow

3. กำหนดขนาดของ Parshall flume และ Hb/Ha และคำนวณหา Head loss โดยให้มีความลึกของน้ำในคลองรวมกับ Head loss ไม่เกินความสูงของระดับตลิ่ง จุดที่จะติดตั้งเครื่องวัดน้ำ

4. กำหนดระดับพื้นของทางผายเข้า (Converging Section) และต้องปรับให้อยู่ในแนวราบได้ระดับโดยถูกต้อง

5. ต้องติดตั้งเครื่องวัดน้ำนี้ในทางที่อยู่ในแนวตรง และน้ำไหล โดยมีความลึกสม่ำเสมอ (Uniform flow)

ตารางที่ 7.4 แสดงปริมาณน้ำไหลผ่าน Flume วัดน้ำชนิด Free Flow

Ha ซม.	ความกว้างของ Throat เป็น ซม.					
	7.5	15	23	30	61	91
	ปริมาณน้ำผ่าน ลิตร/วินาที					
3	0.8	1.4	2.6	3.1	—	—
4	1.2	2.3	4.0	4.5	—	—
5	1.7	3.3	5.5	7.0	—	—
6	2.3	4.4	7.2	9.6	18	27
7	2.7	5.4	8.5	11.4	23	34
8	3.5	7.2	11.1	14.4	28	41
9	4.3	8.5	13.5	17.7	35	51
10	5.0	10.2	15.9	21.1	41	60
11	5.8	11.6	18.1	23.8	46	69
12	6.7	13.5	21.1	27.5	52	78
13	7.5	15.0	23.3	31.0	61	90
14	8.5	17.3	26.7	35.0	68	101
15	9.4	19.2	29.5	38.7	75	111
16	10.4	21.2	32.5	42.7	82	122
17	11.4	23.2	35.6	46.7	92	137
18	12.4	25.3	39.0	51.2	100	149
19	13.6	27.8	42.5	55.0	108	161
20	14.3	30.0	45.8	59.7	117	173
21	15.8	32.7	49.3	64.7	127	190
22	17.1	35.2	53.3	69.8	136	204
23	18.2	37.7	56.8	74.0	145	216
24	19.4	40.1	60.5	79.0	155	234
25	20.0	42.7	64.5	84.1	166	248

ตารางที่ 7.4 แสดงปริมาณน้ำไหลผ่าน Flume วัดน้ำชนิด Free Flow (ต่อ)

Ha ซม	ความกว้างของ Throat เป็น ซม					
	7.5	15	23	30	61	91
	ปริมาณน้ำผ่าน ลิตร/วินาที					
26	22.0	45.7	69.3	89.0	176	264
27	23.3	48.1	72.4	94.3	186	278
28	24.8	51.5	76.7	100.0	199	298
29	26.0	54.0	80.7	105.1	209	313
30	27.5	57.3	85.3	111.0	220	330
32	30.3	63	93	122	244	368
34	—	70	103	134	270	400
36	—	76	110	146	290	440
38	—	82.6	121	157	320	480
40	—	89.6	131	170	350	520

ตารางที่ 7.5 ขนาดสัดส่วนมาตรฐานและช่องความสามารถวัดปริมาณน้ำ ของ Parshall Flumes ขนาดต่าง ๆ

ขนาดความกว้างของ Throat ซม. (W)		ขนาดสัดส่วนแสดงในรูปที่ 7.9 เป็น มม.										ความสามารถวัดน้ำ กรณี Free Flow	
		A	B	C	D	E	F	G	M	N	R	ค่าต่ำสุด l/S	ค่าสูงสุด l/S
7.5	(3")	311	457	178	259	457	152	305	—	57	—	0.77	32.1
15	(6")	414	610	394	397	610	305	610	305	115	410	1.50	111.0
23	(9")	588	864	381	575	760	305	455	305	115	410	2.50	251.0
30	(1')	914	134	610	845	914	610	914	381	229	508	3.32	457.0
61	(2')	1016	1495	914	1207	914	610	914	381	229	508	12.1	937.0
91	(3')	1126	1657	1229	1585	914	610	914	381	229	508	17.6	1427.0
122	(4')	1219	1794	1524	1937	914	610	914	457	229	610	35.8	1923.0
152	(5')	1321	1943	1829	2302	914	610	914	457	229	610	44.1	2424.0

ตัวอย่างที่ 7.2 การคำนวณสำหรับ Free Flow

ต้องการติดตั้ง Parshall Measuring flume ในคลองส่งน้ำที่มีลาดความยาวคลองปานกลาง (1 : 6000-1 : 8000) มีปริมาณน้ำที่วัดสูงสุด 0.15 $ม^3$/วินาที ก่อนติดตั้ง Flume น้ำในคลองลึก 30 ซม. มี Free Board 10 ซม. ท้องคลองกว้าง 0.30 เมตร ลาดด้านข้าง 1 : 1½ จะต้องใช้ Flume ขนาดเท่าไร

การเลือกขนาด

Parshall flume ที่จะใช้วัดปริมาณน้ำมีอยู่หลายขนาด แต่ขนาดที่ควรเลือกใช้คือ เล็กเหมาะสมและใช้งานได้ดี ราคาก่อสร้างถูกที่สุด ถ้าพิจารณาตารางที่ 7.4 จะเห็นว่าอาจจะใช้ขนาดเล็กที่สุดตั้งแต่ 30 ซม. ขึ้นไป

แต่ลองเลือกขนาด Flume กว้าง 61 ซม., W = 61 ซม. และกำหนดให้เป็น Free flow Hb/Ha = 0.70

ฉะนั้น Hb = 0.70 Ha

กำหนด Q = 150 ลิตร/วินาที

W = 61 ซม.

จากสมการ 7.10 คำนวณหา Ha ได้ 23.5 ซม. หรือดูค่า Ha จากตาราง เมื่อ Q = 150 ลิตร/วินาที และ W = 61 ซม. จะได้ Ha = 23.5 ซม. เช่นกัน

$\therefore$ Hb = 0.70 × 23.5

= 16.45 ซม.

เมื่อทราบ Hb/Ha = 0.70

และ Head loss = Ha - Hb

= Ha - 0.7 Ha

= 0.3 Ha

$\therefore$ Head loss = 0.3 × 23.5

= 7.05 ซม.

$\therefore$ ระดับน้ำด้านเหนือ Parshall flume จะลึก

= d + head loss

= 30 + 7.05 ซม.

ซึ่งใกล้เคียงกับความสูงของตลิ่ง = 30 + 10

= 40.0 ซม.

ฉะนั้น Parshall flume ขนาด 61 ซม. เป็นขนาดเล็กที่สุดที่จะใช้ได้ ถ้าใช้ขนาด 30 ซม. จะทำให้เกิด Head loss มากกว่า 10 ซม. หรือมากกว่า Free board ที่กำหนดจึงไม่ควรใช้

การกำหนดระดับกัน Flume

ความลึกของน้ำในคลองด้านเหนือ Flume = 37.05 ซม.

ความลึกของน้ำใน Flume ที่ Ha = 23.5 ซม.

∴ กัน flume ควรสูงกว่าระดับกันคลอง = 37.05 - 23.5

= 13.55 ซม.

หรือระดับกัน Flume ควรสูงกว่ากันคลอง = (d - Hb) = 30 - 16.45 ซม.

= 13.55 ซม.

อย่างไรก็ตาม การกำหนดขนาดของ Parshall flume นี้ อาจจะต้องคำนึงถึงราคาค่าก่อสร้างด้วย คือถ้ากำหนดขนาดเล็กกว่าความกว้างของคลองมาก อาจจะต้องเสียค่าทำ Transition ของทางเข้าและทางออกแพงมากก็ได้ โดยปกติขนาดของ Throat ควรจะกว้างประมาณ 1/3 ถึง 1/2 ของความกว้างของผิวน้ำในคลองเมื่อปริมาณน้ำสูงสุด และถ้าใช้ความกว้างของ Flume มาก ก็ต้องยกระดับกัน Flume สูง เพื่อให้เป็น Free flow ดังนั้น จึงต้องอยู่ในดุลยพินิจของผู้ที่ออกแบบ

สำหรับกรณี Submerged flow

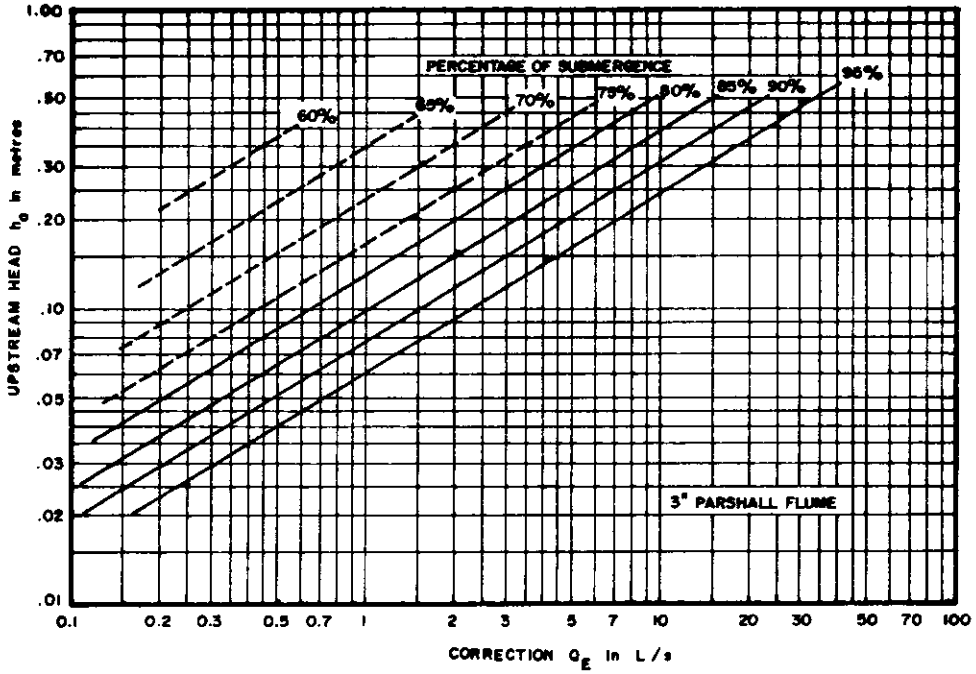
เมื่ออัตราส่วนของ Hb ต่อ Ha มากกว่าที่กำหนด ค่าปริมาณการไหลจะลดลงเมื่อเกิดกรณี Submerged flow ดังกล่าว ซึ่งค่าปริมาณการไหลที่ควรได้จริง (Q_S) จะเท่ากับ

$$Q_S = Q - Q_E \qquad .....(7.11)$$

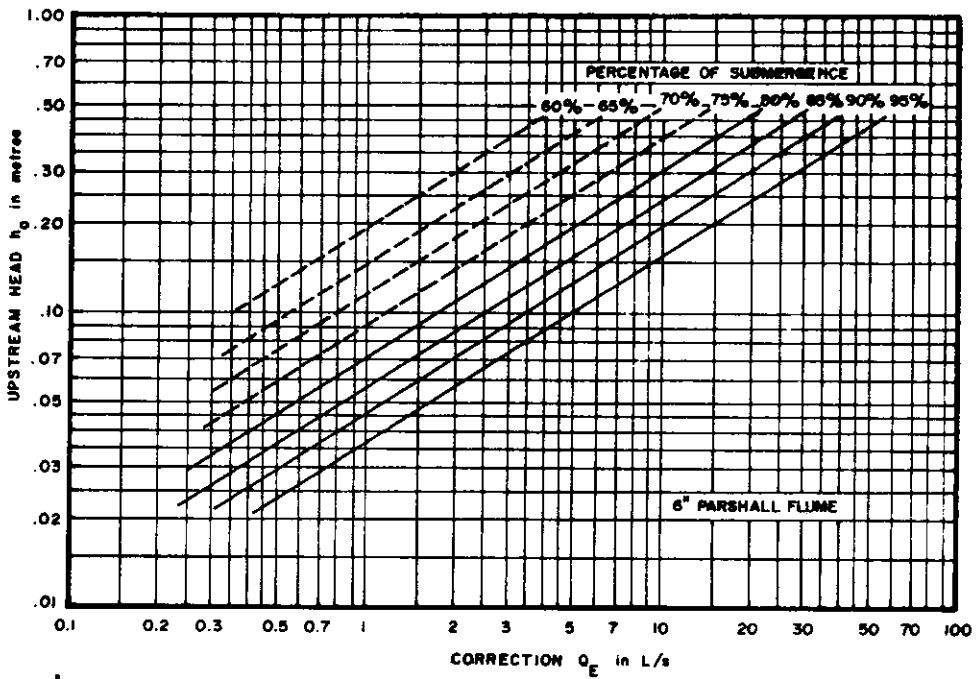
เมื่อ

Q คือ ปริมาณการไหลในกรณี Free flow (ตามตารางที่ 7.4)

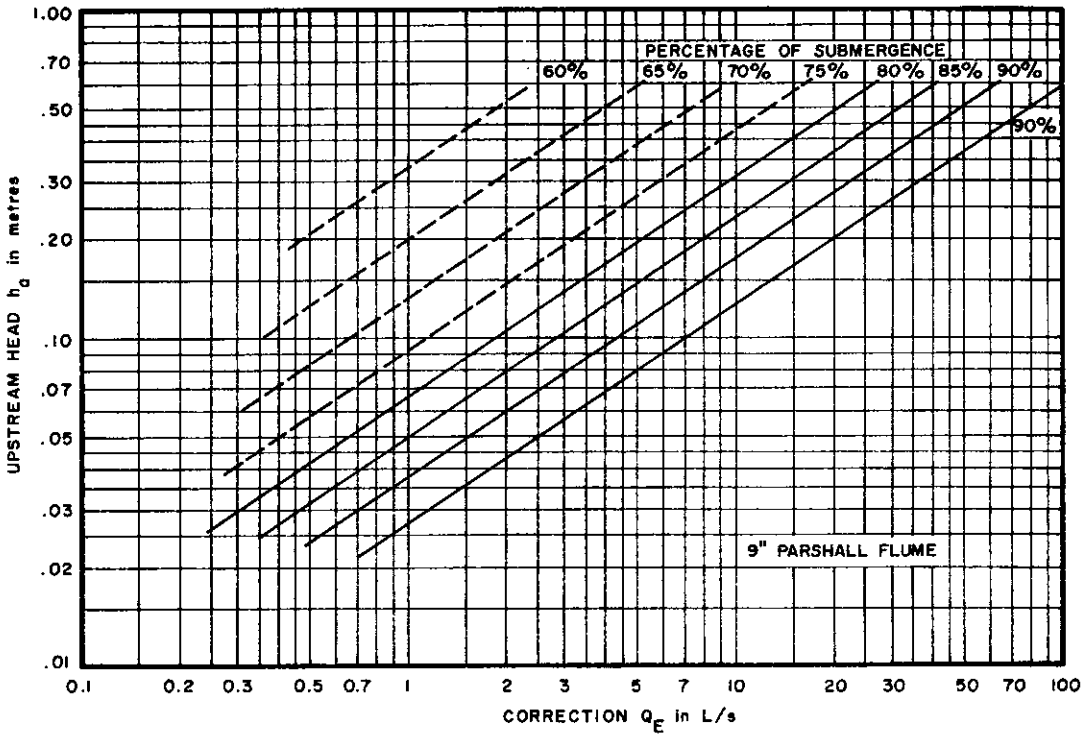
Q_E คือ ปริมาณการไหลที่ลดลงเนื่องจากกรณี Submergence จาก Graph รูปที่ 7.10 ถึง รูปที่ 7.13 จะให้ค่าที่ Q_E ที่จะเอาไปหักออก และสำหรับ flume ที่มีขนาดตั้งแต่ 1 ฟุต ถึง 8 ฟุต จะต้องคูณ Q_E ด้วยสัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้ก่อนตามขนาดของ flume นั้น ๆ ดังในรูปที่ 7.13 ส่วนรูปที่ 7.14 แสดงค่า Head loss ของ Parshall flume ขนาดตั้งแต่ 1 ฟุต ถึง 8 ฟุต



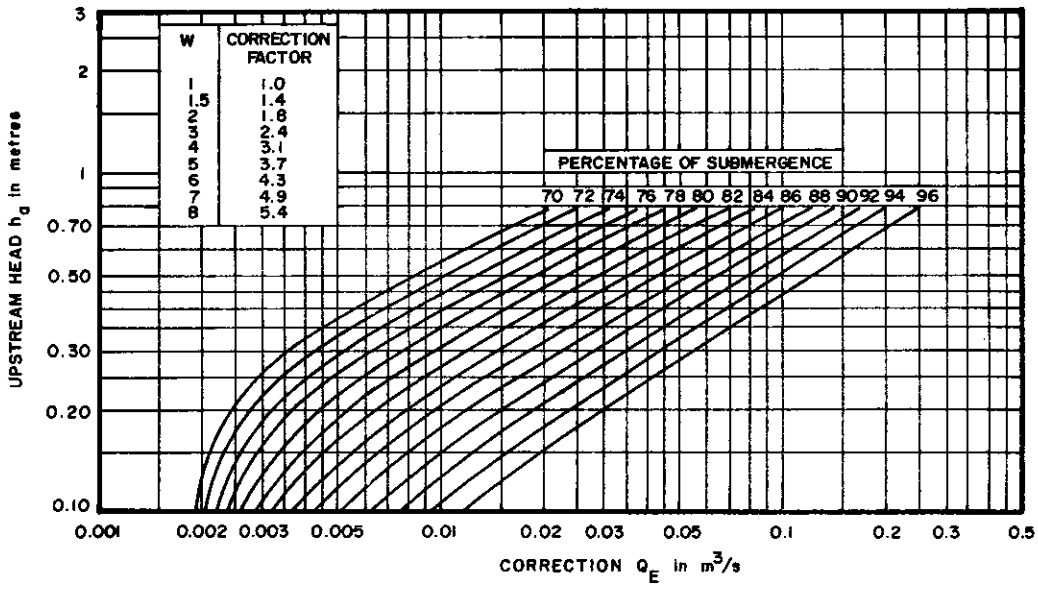
รูปที่ 7.10 ปริมาณการไหลที่ต้องแก้ไขกรณี Submerged Flow สำหรับ Parshall Flume ขนาด 3 นิ้ว หรือ 7.5 ซม.



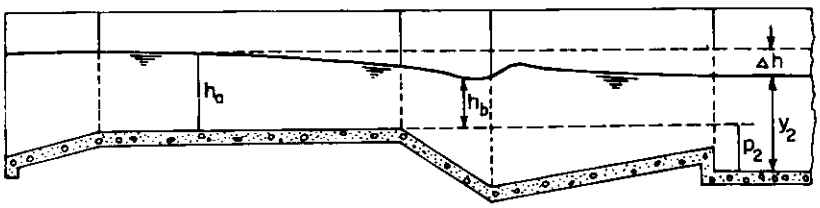
รูปที่ 7.11 ปริมาณการไหลที่ต้องแก้ไขกรณี Submerged Flow สำหรับ Parshall Flume ขนาด 6 นิ้ว หรือ 15 ซม.



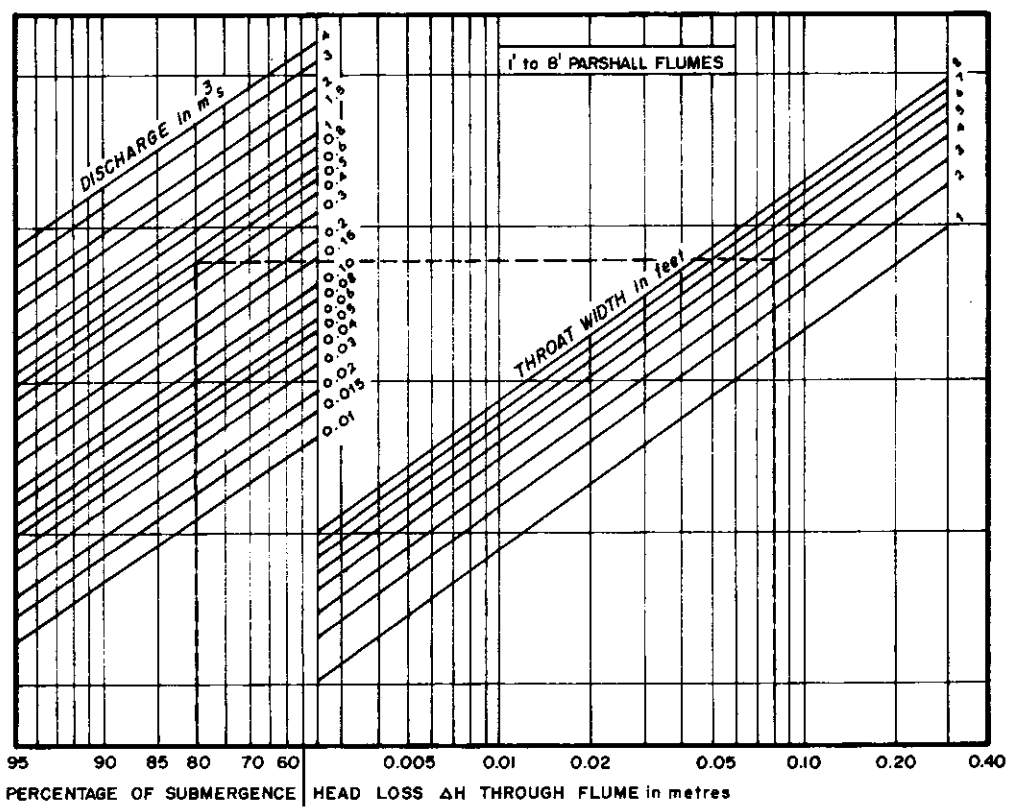
รูปที่ 7.12 ปริมาณการไหลที่ต้องแก้ไขกรณี Submerged Flow สำหรับ Parshall Flume ขนาด 9 นิ้ว หรือ 23 ซม.



รูปที่ 7.13 ปริมาณการไหลที่ต้องแก้ไขกรณี Submerged Flow สำหรับ Parshall Flume ขนาด 1 ฟุต หรือ 30 ซม.



รูปตัดของ Parshall Flume



รูปที่ 7.14 Head-loss ผ่าน Parshall Flumes ขนาด 1–8 ฟุต

ตารางที่ 7.6 DISCHARGE CHARACTERISTICS OF PARSHALL FLUMES

Throat width b in feet or inches	Discharge range in $m^3/s \times 10^{-3}$		Equation $Q = K h_a^n$	Head range in metres		Modular limit
	minimum	maximum	(metric)	minimum	maximum	h_b/h_a
1"	0.09	5.4	$0.0604\ h_a^{1.55}$	0.015	0.21	0.50
2"	0.18	13.2	$0.1207\ h_a^{1.55}$	0.015	0.24	0.50
3"	0.77	32.1	$0.1771\ h_a^{1.55}$	0.03	0.33	0.50
6"	1.50	111	$0.3812\ h_a^{1.58}$	0.03	0.45	0.60
9"	2.50	251	$0.5354\ h_a^{1.53}$	0.03	0.61	0.60
1'	3.32	457	$0.6909\ h_a^{1.522}$	0.03	0.76	0.70
1' 6"	4.80	695	$1.056\ h_a^{1.538}$	0.03	0.76	0.70
2'	12.1	937	$1.428\ h_a^{1.550}$	0.046	0.76	0.70
3'	17.6	1427	$2.184\ h_a^{1.566}$	0.046	0.76	0.70
4'	35.8	1923	$2.953\ h_a^{1.578}$	0.06	0.76	0.70
5'	44.1	2424	$3.732\ h_a^{1.587}$	0.06	0.76	0.70
6'	74.1	2929	$4.519\ h_a^{1.595}$	0.076	0.76	0.70
7'	85.8	3438	$5.312\ h_a^{1.601}$	0.076	0.76	0.70
8'	97.2	3949	$6.112\ h_a^{1.607}$	0.076	0.76	0.70
	in m^3/s					
10'	0.16	8.28	$7.463\ h_a^{1.60}$	0.09	1.07	0.80
12'	0.19	14.68	$8.859\ h_a^{1.60}$	0.09	1.37	0.80
15'	0.23	25.04	$10.96\ h_a^{1.60}$	0.09	1.67	0.80
20'	0.31	37.97	$14.45\ h_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
25'	0.38	47.14	$17.94\ h_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
30'	0.46	56.33	$21.44\ h_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
40'	0.60	74.70	$28.43\ h_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80
50'	0.75	93.04	$35.41\ h_a^{1.60}$	0.09	1.83	0.80

Cut-throat Flume (CTF) (รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ)

เป็นเครื่องมือวัดน้ำที่ดัดแปลงและพัฒนาจากรางวัดน้ำแบบ Parshall เริ่มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 ที่มหาวิทยาลัยรัฐโคโรลาโด โดย Skogerboe, Hyatt, Anderson และ Eggleson พวกเขาทั้ง 4 ได้ทำการศึกษาและพบว่าการวัดระดับน้ำที่ช่องคอ (throat) ของรางวัดน้ำแบบ Parshall คือ Hb นั้น วัดได้ยากในกรณี Submerged เนื่องจากระดับเปลี่ยนแปลงรวดเร็วและปั่นป่วนด้วย แต่เมื่อทดลองใช้รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ แล้ววัดระดับน้ำ Hb ทางช่องผ่านออก พบว่าระดับน้ำจะเรียบกว่า และวัดปริมาณการไหลของน้ำในกรณี Submerged flow แม่นยำกว่า ดังนั้นคณะผู้ที่ทำการศึกษาดังกล่าวจึงตัดส่วนที่เรียกว่าคอรวงวัดน้ำ (throat) ออกไป เพราะไม่มีความจำเป็นที่จะคงไว้ให้ยุ่งยาก รางวัดน้ำแบบนี้จึงถูกเรียกชื่อว่า รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut-throat Flume)

ลักษณะต่าง ๆ ที่สำคัญของรางวัดแบบไม่มีคอ

มีลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้ ดูรูปที่ 7.15 ประกอบ

- มีทางผายเข้า (Converging Inlet Section) และทางผายออก (Diverging Outlet Section)
- พื้นของรางวัดน้ำเรียบโดยตลอดไม่มีช่องเอียงขึ้นลงเหมือนกับรางวัดน้ำแบบ Parshall แต่มีกำแพงตั้งเหมือนกัน
- รางวัดน้ำทุกขนาดที่มีความยาวเท่ากัน จะมีขนาดเรขาคณิตเหมือนกัน เช่นระยะผายเข้าจะเอียง 3 : 1 ระยะผายออกจะเอียง 6 : 1 จะต่างกันก็เพียงแต่ความกว้างของคอรางน้ำ (throat) เท่านั้น
- หน้าตัดของรางวัดน้ำจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยตลอด
- มีตำแหน่งที่ต้องการวัดระดับน้ำอยู่ 2 ตำแหน่งตามรูป คือ Ha และ Hb โดยการวัดระดับเราวัดด้วย Staff gage หรือ Stilling well ถ้าเป็น staff gage จะติดที่ผนังของ Flume ในตำแหน่งที่กำหนด และควรให้ Datum อยู่ที่ท้อง Flume ตั้งให้ได้ตรงในแนวดิ่ง แต่ถ้าเป็นแบบ Stilling well มีลักษณะตามรูปที่ 7.15 การใช้ stilling well จะทำให้การวัดมีความแม่นยำมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากระดับน้ำจะไม่โดนกระทบกระเทือนเนื่องจากการขึ้น ๆ ลง ๆ ของระดับน้ำจากคลื่น และสามารถวัดได้ด้วยเครื่องมือวัดน้ำอัตโนมัติ

ลักษณะการไหลของน้ำ

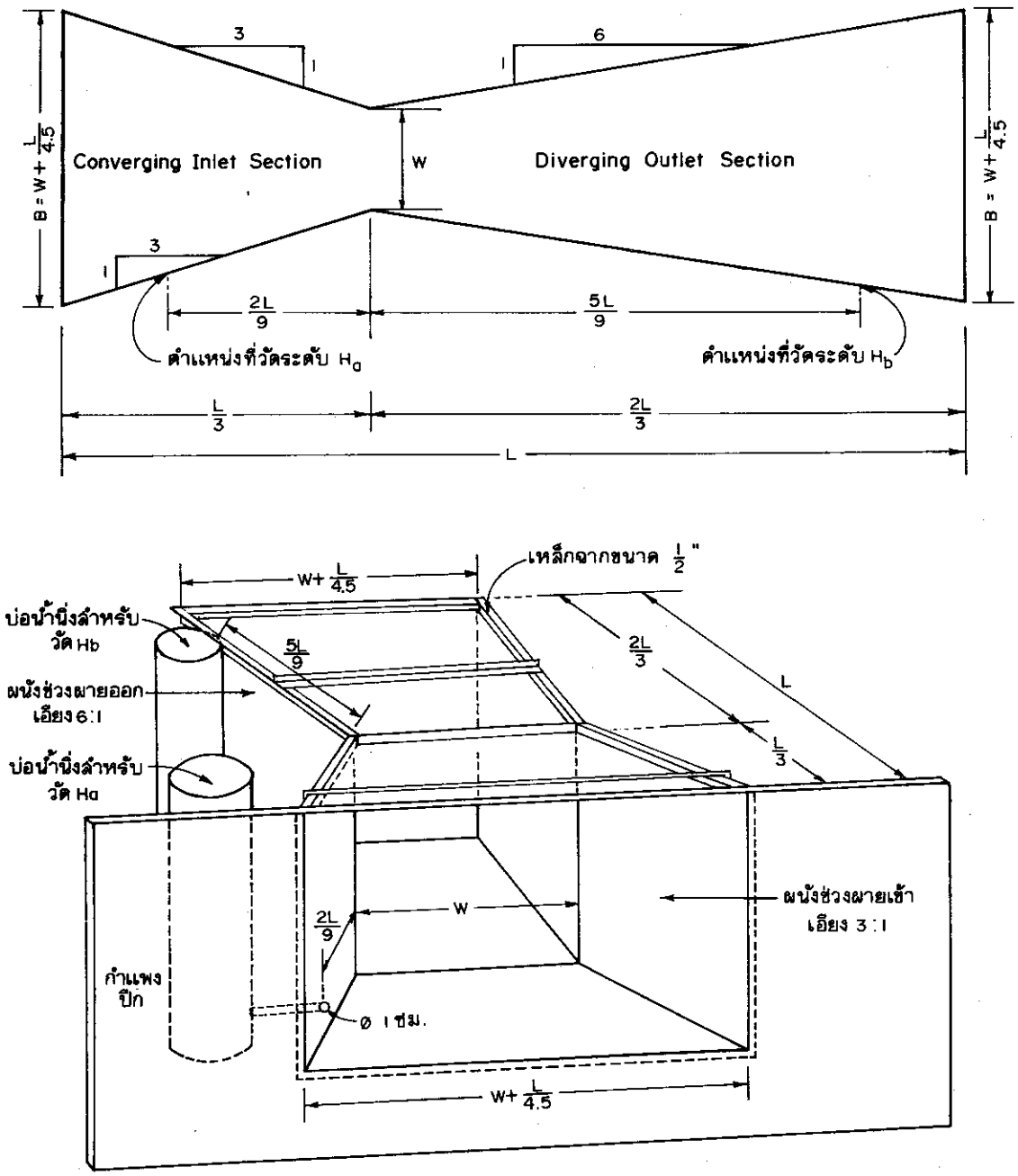
การไหลของน้ำผ่าน CTF มีอยู่ด้วยกัน 3 ลักษณะ ตามรูปที่ 7.16

1. ลักษณะผิวน้ำที่ (a) จะเป็นการไหลในลักษณะ Free flow
2. ลักษณะผิวน้ำที่ (b) จะเป็นการไหลในลักษณะ Transition submergence
3. ลักษณะผิวน้ำที่ (c) จะเป็นการไหลในลักษณะ Submergence

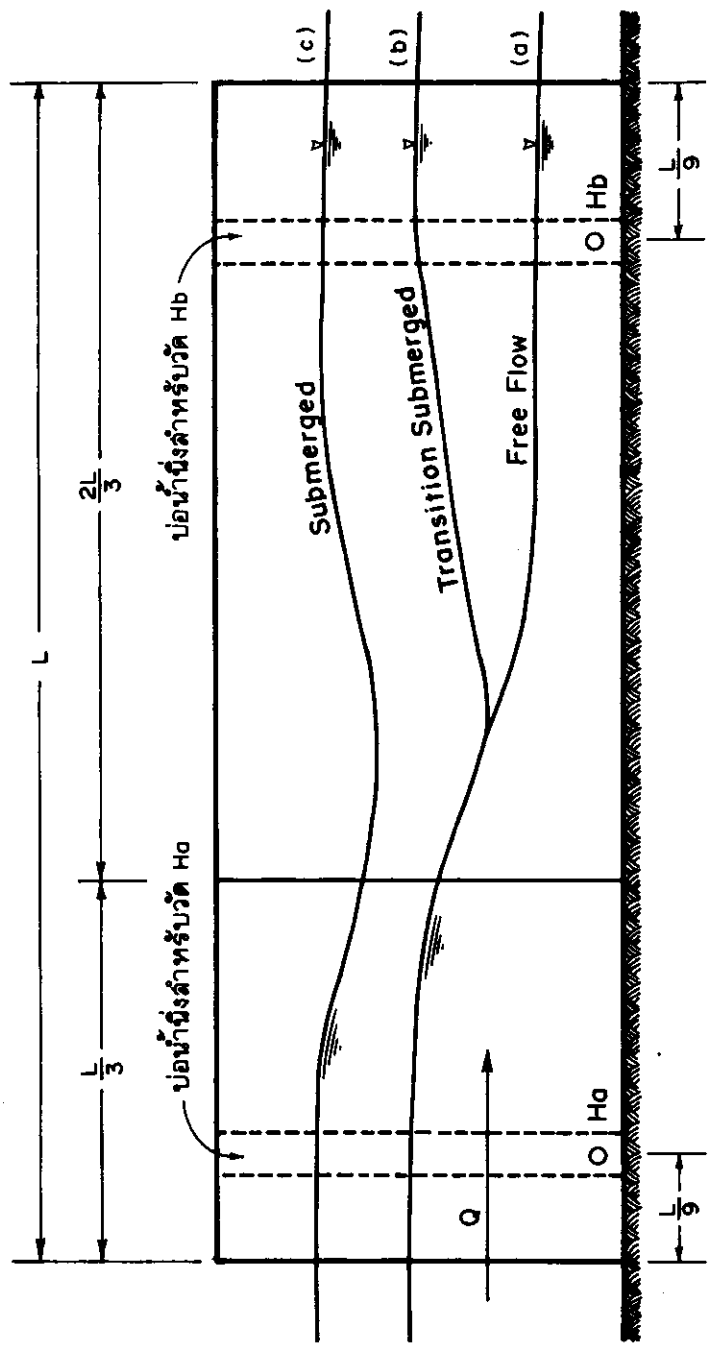
การที่จะทราบได้ว่าการไหลของน้ำเป็นไปในลักษณะใดนั้น จะกำหนดด้วยค่า Percent Submergence (S) = Hb/Ha × 100 คือเราอ่านค่า Hb และ Ha แล้วนำมาหาค่า S

เมื่อทราบค่าความยาวของ Flume (L) จาก Graph ที่ 7.17 เราก็สามารถทราบค่า Percent Transition Submergence (St)

ถ้า S > St การไหลจะเป็นลักษณะ Submergence flow เราก็จะใช้ตารางที่ 7.8 และอ่านค่าอัตราปริมาณการไหลออกมาได้ เอาไปลบกับตารางที่ 7.7



รูปที่ 7.15 ลัดส่วนต่าง ๆ ของ Cut - throat Flume



รูปที่ 7.16 รูปแบบการไหลของน้ำในกรณีต่างๆ สำหรับ
Cut – throat Flume

ถ้า S<St การไหลจะเป็นลักษณะ Free flow เราก็จะใช้ตารางที่ 7.7 และอ่านค่าปริมาณการไหลออกมาได้

ถ้า S = St การไหลจะเป็นลักษณะ Transition Submergence ซึ่งลักษณะการไหลแบบนี้ โอกาสที่จะเกิดน้อย แต่ถ้าเกิดเราก็ใช้ตารางเดียวกันกับกรณี Submergence flow

การเลือกขนาด Cut-throat Flume และการติดตั้ง

การเลือกขนาดที่เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ต้องการวัดเป็นสิ่งสำคัญของเครื่องวัดน้ำแบบนี้เช่นกัน โดยไม่ใช้ CTF ที่มีขนาดใหญ่และแพงเกินไป หรือว่าเล็กจนระดับน้ำที่สูงขึ้นมากกว่า Free board ที่กำหนด ทำให้น้ำล้นอาคาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังต้องกำหนดระดับก้น Flume ให้ถูกต้องตามความต้องการ สิ่งที่จะต้องทราบคือปริมาณน้ำสูงสุด (Maximum Discharge) ระดับน้ำสูงสุด, Free board, รูปหน้าตัดของคลอง หรือทางน้ำที่เราจะวัด

ถ้ากรณีลักษณะการไหลของน้ำผ่าน CTF เป็นแบบ Free Flow การหาอัตราปริมาณการไหลของน้ำนั้น ต้องการทราบเพียงระดับน้ำทางผายเข้า คือ Ha เท่านั้น และในกรณีที่การไหลของน้ำเป็นแบบ Free flow นี้ ระดับน้ำด้านผายออก Hb จะคงอยู่ระดับเดิม ฉะนั้นการคำนวณหาว่าจะต้องยกท้อง CTF สูงจากพื้นคลองในการติดตั้งเท่าไร จึงทำให้ถูกต้องได้ง่าย เพราะระดับน้ำด้านท้ายไม่เปลี่ยนแปลง

การติดตั้ง Cut-throat flume ให้ได้ Free flow

1. จากค่าปริมาณน้ำสูงสุด Free board และความกว้างของท้องคลอง เราใช้ตาราง 7.7 พิจารณาหาค่าขนาดของ Flume ซึ่งบอกค่าความกว้างตรงคอของ Flume กับความยาว (W×L) โดยความกว้างของท้องคลอง มีค่าโดยประมาณเท่ากับความกว้างของทางเข้าของ Flume ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $W + \frac{L}{4.5}$ สรุปแล้วเราจะทราบค่า W และ L

2. จากค่า L เราหาค่า k^*, n_1, St จากกราฟรูปที่ 7.17

3. จากสมการ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน CTF ในกรณีที่เป็น Free flow

$$Q = CHa^{n_1} \quad .....(7.12)$$

และ $$C = k^* W^{1.025} \quad .....(7.13)$$

Q มีหน่วยเป็น $ม^3$/วินาที

Ha มีหน่วยเป็น เมตร

W มีหน่วยเป็น เมตร

C = Free flow coefficient ไม่มีหน่วย

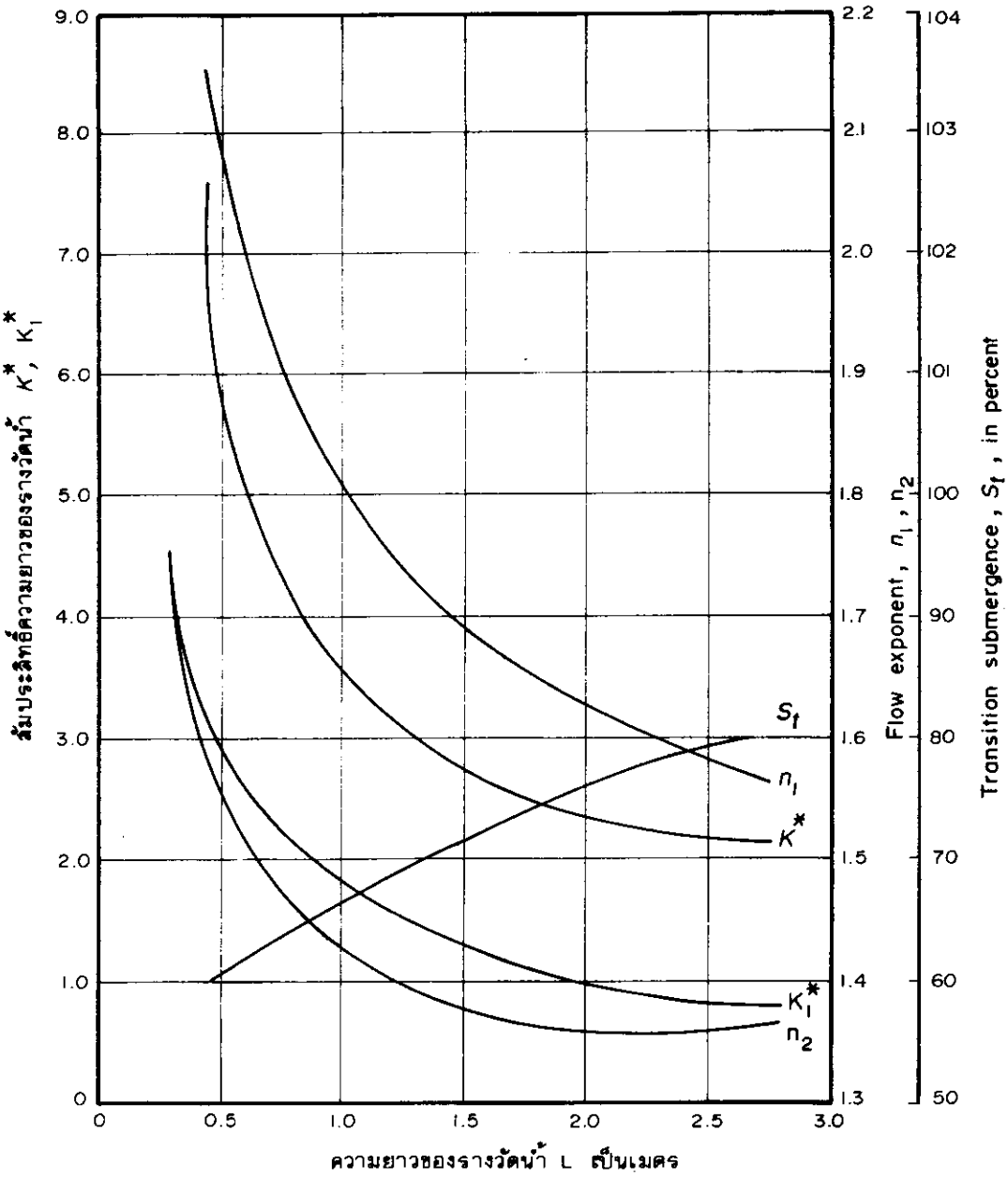
k^* = Flume Fength coefficient ไม่มีหน่วย

เพราะฉะนั้นจาก 2 สมการข้างต้นเราจะสามารถหาค่า Ha ได้

4. จาก $S = \frac{Hb}{Ha}$, เราให้ S ≃ St เพราะฉะนั้นเราสามารถหาค่า Hb ได้จาก Hb = SHa (เราให้ค่า S น้อยกว่าค่า St ที่เราอ่านจากกราฟรูปที่ 7.17 ได้นิดหน่อย)

5. เราจะทราบระดับท้อง Flume โดยวัดระดับจากระดับน้ำสูงสุดก่อนติดตั้ง Flume ลงมาลึก Hb เราก็สามารถติดตั้ง Flume ได้

(หมายเหตุ การไหลของน้ำจะเป็น Free flow ได้ก็เพราะค่า S ของ Free flow สูงสุดก็คือ S ≃ St)



รูปที่ 7.17 ค่าสัมประสิทธิ์โดยทั่ว ๆ ไปของ Free flow และ Submerged flow และค่ายกกำลัง และ S_t สำหรับ Cut - throat flumes

ตารางที่ 7.7 **Free Flow Calibrations for Selected Cut-throat Flumes, Expressed by Throat-witth W × Flume Length L**

Ha	Discharge Q (m^3 per second)								
(m)	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.005	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001
.010	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.001	.002
.015	.000	.000	.000	.000	.001	.001	.001	.002	.003
.020	.000	.001	.001	.001	.002	.002	.001	.003	.005
.025	.000	.001	.001	.001	.002	.003	.002	.004	.007
.030	.001	.001	.002	.001	.003	.005	.003	.005	.009
.035	.001	.002	.002	.002	.004	.006	.003	.007	.011
.040	.001	.002	.003	.002	.005	.007	.004	.008	.014
.045	.001	.003	.004	.003	.006	.009	.005	.010	.017
.050	.001	.003	.004	.003	.007	.011	.006	.012	.020
.055	.002	.004	.005	.004	.008	.002	.007	.014	.023
.060	.002	.004	.006	.005	.009	.014	.008	.016	.026
.060	.002	.004	.006	.005	.009	.014	.008	.016	.026
.065	.002	.005	.007	.005	.011	.016	.009	.018	.030
.070	.003	.006	.008	.006	.012	.018	.010	.020	.034
.075	.003	.006	.009	.007	.014	.021	.011	.022	.038
.080	.003	.007	.011	.007	.015	.023	.012	.025	.042
.085	.004	.008	.012	.008	.017	.025	.013	.027	.046
.090	.004	.009	.013	.009	.018	.028	.015	.030	.050
.095	.005	.010	.014	.010	.020	.030	.016	.032	.054
.100	.005	.011	.016	.011	.022	.033	.014	.035	.059
.105	.006	.012	.017	.012	.024	.036	.018	.038	.063
.110	.006	.013	.019	.013	.026	.039	.020	.040	.068
.115	.007	.014	.021	.013	.027	.042	.021	.043	.073
.120	.007	.015	.022	.014	.029	.045	.023	.046	.078
.125	.008	.016	.024	.015	.032	.048	.024	.049	.083
.130	.008	.018	.026	.016	.034	.051	.026	.052	.089
.135	.009	.019	.028	.018	.036	.054	.027	.056	.094
.140	.010	.020	.030	.019	.038	.057	.029	.059	.099
.145	.010	.022	.031	.020	.040	.061	.031	.062	.105
.150	.011	.023	.034	.021	.043	.064	.032	.066	.111

ตารางที่ 7.7 **Free Flow Calibrations for Selected Cut-throat Flumes, Expressed by Throat-width W × Flume Length L (ต่อ)**

Ha (m)	Discharge Q (m^3 per second)								
	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.155	.012	.024	.036	.022	.045	.068	.034	.069	.117
.160	.012	.026	.038	.023	.047	.072	.036	.073	.122
.165	.013	.027	.040	.024	.050	.075	.037	.076	.129
.170	.014	.029	.042	.026	.052	.079	.039	.080	.135
.175	.014	.031	.045	.027	.055	.083	.041	.083	.141
.180	.015	.032	.047	.028	.058	.087	.043	.087	.147
.185	.016	.034	.049	.030	.060	.091	.045	.091	.154
.190	.017	.036	.052	.031	.063	.095	.047	.095	.160
.195	.018	.037	.054	.032	.066	.099	.049	.099	.167
.200	.018	.039	.057	.034	.068	.104	.051	.103	.174
.205	.019	.041	.060	.035	.071	.108	.052	.107	.180
.210	.020	.043	.062	.036	.074	.112	.055	.111	.187
.215	.021	.045	.065	.038	.077	.117	.057	.115	.194
.220	.022	.047	.068	.039	.080	.121	.059	.119	.201
.225	.023	.049	.071	.041	.083	.126	.061	.123	.209
.230	.024	.051	.074	.042	.086	.130	.063	.128	.216
.235	.025	.053	.077	.044	.089	.135	.065	.132	.223
.240	.026	.055	.080	.045	.092	.140	.067	.137	.231
.245	.027	.057	.083	.047	.096	.145	.069	.141	.238
.250	.028	.059	.086	.049	.099	.150	.072	.146	.246
.255	.029	.061	.089	.050	.102	.155	.074	.150	.254
.260	.030	.063	.092	.052	.106	.160	.076	.155	.261
.265	.031	.066	.096	.053	.109	.165	.078	.159	.269
.270	.032	.068	.099	.055	.112	.170	.081	.164	.277
.275	.033	.070	.102	.057	.116	.175	.083	.169	.285
.280	.034	.073	.106	.059	.119	.180	.085	.174	.293
.285	.035	.075	.109	.060	.123	.186	.088	.179	.302
.290	.037	.078	.113	.062	.126	.191	.090	.183	.310
.295	.038	.080	.116	.064	.130	.197	.093	.188	.318
.300	.039	.082	.120	.066	.134	.202	.095	.193	.327

ตารางที่ 7.7 **Free Flow Calibrations for Selected Cut-throat Flumes, Expressed by Throat-width W × Flume Length L (ต่อ)**

Ha	Discharge Q (m^3 per second)								
(m)	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.305	.040	.085	.124	.067	.137	.208	.098	.199	.335
.310	.041	.088	.127	.069	.141	.213	.100	.204	.344
.315	.043	.090	.131	.071	.145	.219	.103	.209	.353
.320	.044	.093	.135	.073	.149	.225	.105	.214	.361
.325	.045	.096	.139	.075	.152	.231	.108	.219	.370
.330	.046	.098	.143	.077	.156	.237	.110	.224	.379
.335	.048	.101	.147	.079	.160	.243	.113	.230	.388
.340	.049	.104	.151	.081	.164	.249	.116	.235	.397
.345	.050	.107	.155	.083	.168	.255	.118	.241	.406
.350	.052	.110	.159	.085	.172	.261	.121	.246	.416
.355	.053	.112	.164	.087	.176	.267	.124	.252	.425
.360	.054	.115	.168	.089	.180	.273	.126	.257	.434
.365	.056	.118	.172	.091	.185	.279	.129	.263	.444
.370	.057	.121	.177	.093	.189	.286	.132	.268	.453
.375	.059	.124	.181	.095	.193	.292	.135	.274	.463
.380	.060	.127	.185	.097	.197	.299	.138	.280	.473
.385	.062	.131	.190	.099	.202	.305	.140	.286	.482
.390	.063	.134	.195	.101	.206	.312	.143	.291	.492
.395	.065	.137	.199	.103	.210	.318	.146	.297	.502
.400	.066	.140	.204	.105	.215	.325	.149	.303	.512
.405	.068	.143	.209	.108	.219	.332	.152	.309	.522
.410	.069	.147	.213	.110	.224	.339	.155	.315	.532
.415	.071	.150	.218	.112	.228	.345	.158	.321	.542
.420	.072	.153	.223	.114	.233	.352	.161	.327	.552
.425	.074	.157	.228	.116	.237	.359	.164	.333	.563
.430	.076	.160	.233	.119	.242	.366	.167	.339	.573
.435	.077	.163	.238	.121	.247	.373	.170	.346	.584
.440	.079	.167	.243	.123	.251	.380	.173	.352	.594
.445	.080	.170	.248	.126	.256	.388	.176	.358	.605
.450	.082	.174	.253	.128	.261	.395	.179	.364	.615

ตารางที่ 7.7 **Free Flow Calibrations for Selected Cut-throat Flumes, Expressed by Throat-width W × Flume Length L (ฟุต)**

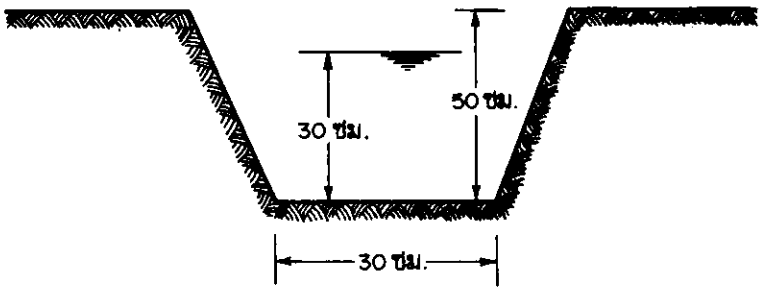
Ha (m)	Discharge Q (m^3 per second)								
	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.455				.130	.266	.402	.182	.371	.626
.460				.133	.270	.409	.185	.377	.637
.465				.135	.275	.417	.189	.383	.648
.470				.138	.280	.424	.192	.390	.659
.475				.140	.285	.432	.195	.396	.669
.480				.142	.290	.439	.198	.403	.681
.485				.145	.295	.447	.201	.409	.692
.490				.147	.300	.454	.205	.416	.703
.495				.150	.305	.462	.208	.423	.714
.500				.152	.310	.470	.211	.429	.725
.505				.155	.315	.477	.214	.436	.737
.510				.157	.321	.485	.218	.443	.748
.515				.160	.326	.493	.221	.450	.760
.520				.162	.331	.501	.224	.457	.771
.525				.165	.336	.509	.228	.463	.783
.530				.168	.342	.517	.231	.470	.794
.535				.170	.347	.525	.235	.477	.806
.540				.173	.352	.533	.238	.484	.818
.545				.176	.358	.541	.242	.491	.830
.550				.178	.363	.550	.245	.498	.842
.555				.181	.369	.558	.249	.505	.854
.560				.184	.374	.566	.252	.513	.866
.565				.186	.380	.575	.256	.520	.878
.570				.189	.385	.583	.259	.527	.890
.575				.192	.391	.591	.263	.534	.902
.580				.195	.396	.600	.266	.541	.914
.585				.197	.402	.609	.270	.549	.927
.590				.200	.408	.617	.273	.556	.939
.595				.203	.414	.626	.277	.563	.952
.600				.206	.419	.635	.281	.571	.964

ตารางที่ 7.7 **Free Flow Calibrations for Selected Cut-throat Flumes, Expressed by Throat-width W × Flume Length L (ฟุต)**

Ha (m)	Discharge Q (m^3 per second)								
	10 x 90 cm	20 x 90 cm	30 x 90 cm	20 x 180 cm	40 x 180 cm	60 x 180 cm	30 x 270 cm	60 x 270 cm	100 x 270 cm
.605							.284	.578	.977
.610							.288	.586	.989
.615							.292	.593	1.002
.620							.295	.601	1.015
.625							.299	.608	1.028
.630							.303	.616	1.040
.635							.307	.624	1.053
.640							.310	.631	1.066
.645							.314	.639	1.079
.650							.318	.647	1.092
.655							.322	.655	1.106
.660							.326	.662	1.119
.665							.330	.670	1.132
.670							.333	.678	1.145
.675							.337	.686	1.159
.680							.345	.694	1.172
.685							.345	.702	1.186
.690							.349	.710	1.199
.695							.353	.718	1.213
.700							.357	.726	1.226
.705							.361	.734	1.240
.710							.365	.742	1.254
.715							.369	.750	1.268
.720							.373	.759	1.281
.725							.377	.767	1.295
.730							.381	.775	1.309
.735							.385	.784	1.323
.740							.389	.792	1.337
.745							.393	.800	1.352
.750							.398	.809	1.366

ตัวอย่างที่ 7.3

สมมุติเราจะทำการติดตั้งรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ ณ ท่อส่งน้ำเข้าแฉกส่งน้ำแห่งหนึ่ง ซึ่งมีปริมาณน้ำสูงสุด 150 ลิตรต่อวินาที และมีหน้าตัดของคูดังในรูป



ระดับน้ำสูงสุด	30	ซม.
Free board	20	ซม.
ความกว้างของท้องคลอง	30	ซม.

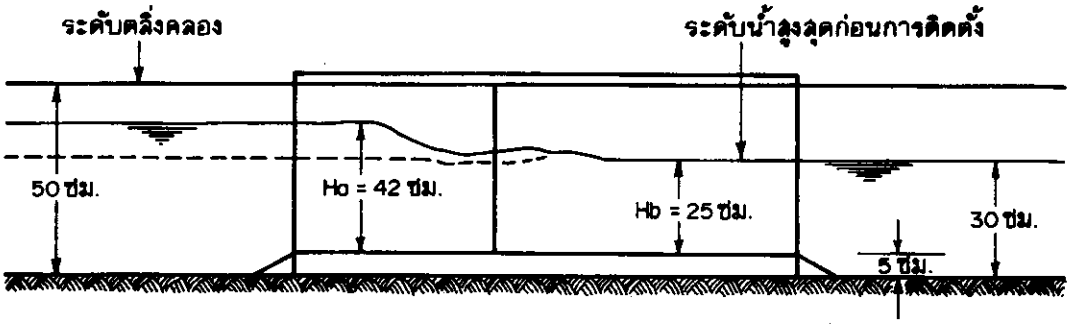
จากตารางที่ 7.7 เลือก Flume ขนาด 20 × 90 ซม. ให้ค่า Ha สูงสุด 0.415 น้อยกว่า 0.30 + 0.20 = 0.50 เมตร และปากทางเข้าของ Flume เท่ากับ $0.20 + \frac{0.90}{4.5} = 0.40$ ซึ่งมากกว่า 0.30 เมตร เราอาจจะต้องมีการขุดท้องคลองให้กว้างขึ้นเป็น 0.40 เมตร

จากค่า L = 0.90 เมตร ค่า St = 65%

เลือกค่า S ให้เท่ากับ 60%

Hb = 0.60 × 0.415 = 0.249 = 0.25 เมตร

เราติดตั้งท้อง Flume ให้ต่ำกว่าระดับน้ำสูงสุดก่อนติดตั้ง CTF เท่ากับ 0.25 เมตร การไหลก็จะเป็นแบบ Free flow ตลอดเวลา



จากวิธีที่หาค่า Ha จากสูตร ลองตรวจสอบดูก็จะได้ค่าใกล้เคียงกัน คือ L = 0.90 เมตร จากรูป 7.17 n_1 = 1.845 k_1^* = 2.1 k* = 3.6 St = 65% แทนค่าในสมการ (7.13) และ (7.12) จะได้ดังนี้ คือ

$$C = 3.6\ (0.20)^{1.025} = 0.69$$

และ $0.15 = 0.69\ Ha^{1.846}$

$$Ha = 0.43 \simeq 0.42$$

เหตุผลที่ให้วิธีคิดคำนวณไว้ทั้งนี้เนื่องจาก เราอาจจะใช้ขนาดของ Flume ที่ไม่มีในตารางก็ได้ แต่เราจะทำตารางขึ้นมาใหม่

(หมายเหตุ โดยทั่วไปแล้วหลังการติดตั้งระดับน้ำหน้ารางวัดน้ำจะสูงขึ้นเท่ากับ Ha-Hb)

การติดตั้ง Cut-throat Flume ให้ได้ Submerged flow

1. สมมุติค่า (Try) โดยกำหนดค่า W และ L โดยใช้หลักให้ความกว้างของท้องคลองมีค่าใกล้เคียงกับทางเข้าของ CTF, $W + \frac{L}{4.5}$ และพิจารณาปริมาณน้ำสูงสุด, Free board, ความลึกสูงสุดของน้ำในคลองประกอบด้วย

2. จากค่า L เราหาค่า St ได้จากรูปที่ 7.17

3. กำหนดค่า Ha สูงสุด โดยไม่ให้เกิน Free board, ส่วน Hb ให้มีค่าเท่ากับความสูงสุดของระดับน้ำตามธรรมชาติ

4. หาค่า S = Hb/Ha จะต้องมากกว่า St ที่อ่านได้ ถ้าได้น้อยกว่าให้กำหนดค่า Ha ใหม่ หรือกำหนด W และ L ใหม่

5. เมื่อได้ค่า L จากข้อ 4 แล้ว ก็ไปอ่านค่า n_1, n_2, k^*_1 จากกราฟรูปที่ 7.17

6. จากสูตร ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน CTF ในกรณี Submergence

$$Q = \frac{C_1\ (Ha - Hb)^{n_1}}{(-\log s)^{n_2}} \qquad \text{....(7.14)}$$

และ $C_1 = k^*_1\ W^{1.025}$ .....(7.15)

จากสมการทั้งสองนี้ เราก็สามารถหาค่า Q ได้ ซึ่งค่า ที่หามาได้ถ้าใกล้เคียงกับปริมาณน้ำสูงสุดที่กำหนดก็แสดงว่าใช้ได้ ถ้าน้อยกว่าหรือมากกว่าเราก็ต้องสมมุติค่า W และ L ใหม่

ตำแหน่งการติดตั้ง CTF ในสนาม

1. ติดตั้งในทางน้ำตรง

2. ติดตั้งให้ได้ระดับทั้งทางแนวราบและแนวดิ่ง

3. ติดตั้งในทางน้ำใกล้จุดแบ่งหรือใกล้ประตูน้ำ แต่ต้องไม่ให้ใกล้ประตูมากเกินไป เพราะจะถูกกระทบกระเทือนจากคลื่น

4. ไม่ควรติดตั้งในตำแหน่งท้ายน้ำของท่อลอด ในขณะที่น้ำลอดท่อออกมาทันทีทันใด

ข้อดีของรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (CTF) เมื่อเทียบกับรางวัดน้ำแบบ Parshall

1. ก่อสร้างได้ง่ายกว่า ถูกกว่า เพราะมีพื้นเรียบและไม่มีข้อ

2. ถ้าวัดอัตราการไหลของน้ำสูงสุดเท่า ๆ กัน รางวัดน้ำแบบไม่มีคอจะมีขนาดเล็กกว่าและมีขนาดแน่นอน เป็นอัตราส่วนที่จดจำได้ง่ายกว่า ทำให้สามารถตรวจสอบได้รวดเร็ว ว่าการสร้างทำได้ถูกต้องหรือไม่

3. การติดตั้งทำได้สะดวกและใช้เวลาน้อยกว่า เนื่องจากรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ มีพื้นเรียบทำให้สามารถใช้วางติดตั้งบนพื้นคลองที่ลาดได้ทันที

ตารางที่ 7.8 **Submerged flow calibration for 10 cm × 90 cm Cutthroat flume (Q, cms)**

h_a, meters	h_a-h_b, meters											
	.010	.020	.030	.040	.050	.060	.070	.080	.090	.100	.110	.120
.025		0	0	0	0	0	0	0	0	0	—	—
.050	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	—	—
.075	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	—	—
.100	.004	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	.005	—	—
.125	.006	.007	.007	.008	.008	.008	.008	.008	.008	.008	—	—
.150	.008	.009	.010	.011	.011	.011	.011	.011	.011	.011	—	—
.175	.010	.012	.013	.014	.014	.014	.014	.014	.014	.014	—	—
.200	.012	.015	.016	.017	.018	.018	.018	.018	.018	.018	—	—
.225	.014	.018	.020	.021	.022	.022	.023	.023	.023	.020	—	—
.250	.017	.021	.023	.025	.026	.026	.027	.028	.028	.028	—	—
.275	.019	.024	.027	.029	.031	.032	.032	.033	.033	.033	.033	.033
.300	.022	.027	.031	.033	.035	.036	.037	.038	.038	.039	.039	.039
.325	.025	.031	.035	.038	.040	.042	.043	.044	.044	.045	.045	.045
.350	.028	.035	.039	.043	.045	.047	.048	.050	.050	.051	.051	.051
.375	.031	.039	.044	.047	.050	.053	.054	.056	.057	.057	.058	.058
.400	.034	.043	.048	.052	.056	.058	.060	.062	.063	.064	.064	.065
.425	.037	.047	.053	.058	.061	.064	.067	.068	.070	.071	.072	.072
.450	.040	.046	.058	.063	.067	.070	.073	.075	.077	.078	.079	.080

ตารางที่ 7.8 Submerged flow calibration for 10 cm × 90 cm Cutthroat (Q, cms) (ต่อ)

h_a' meters	h_a-h_b, meters											
	.010	.020	.030	.040	.050	.060	.070	.080	.090	.100	.110	.120
.025	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	.001	—	—
.050	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	.003	—	—
.075	.005	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006	.006	—	—
.100	.008	.010	.010	.011	.011	.011	.011	.011	.011	.011	—	—
.125	.012	.014	.015	.016	.016	.016	.016	.016	.016	.016	—	—
.150	.016	.019	.021	.022	.022	.023	.023	.023	.023	.023	—	—
.175	.020	.024	.027	.028	.029	.029	.031	.031	.031	.031	—	—
.200	.024	.030	.033	.035	.036	.037	.037	.039	.039	.039	—	—
.225	.029	.036	.040	.043	.044	.045	.046	.049	.049	.049	—	—
.250	.034	.039	.047	.051	.053	.055	.056	.056	.059	.059	—	—
.275	.039	.049	.055	.059	.062	.064	.066	.066	.067	.070	.070	.070
.300	.045	.056	.062	.068	.071	.074	.076	.077	.078	.079	.082	.082
.325	.050	.063	.071	.077	.081	.085	.087	.089	.090	.091	.091	.096
.350	.056	.071	.080	.087	.092	.095	.098	.101	.102	.103	.104	.104
.375	.062	.078	.089	.096	.102	.107	.110	.113	.115	.117	.118	.118
.400	.069	.087	.098	.107	.113	.119	.123	.125	.128	.130	.132	.133
.425	.075	.095	.108	.117	.125	.131	.135	.139	.142	.144	.146	.146
.450	.082	.103	.118	.129	.136	.143	.148	.153	.156	.159	.161	.164

3. อาคารวัดน้ำที่มีระดับต่างคงที่ Constant-Head Orifice (CHO)

Constant-Head Orifice (CHO) เป็นอาคารชลประทานที่สามารถใช้วัดปริมาณน้ำ และทำหน้าที่เป็นอาคารควบคุมบังคับน้ำได้ด้วยในอาคารเดียวกัน โดยอาศัยหลักการที่น้ำไหลผ่านรูจมน้ำ (Submerged Orifice) นอกจากนั้นยังสามารถบังคับให้ปริมาณน้ำไหลผ่าน CHO ในอัตราที่ต้องการคงที่ในเมื่อระดับน้ำด้านเหนือน้ำในคลองส่งน้ำเปลี่ยนแปลงได้อีกด้วย เหตุที่อาคารวัดน้ำชนิดนี้ถูกเรียกว่า Constant-Head Orifice นั้น ก็เพราะว่าการทำการ (Operate) ของมัน ทำโดยการบังคับบานประตูน้ำให้มีความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือกับด้านหลังผนังบานประตู (Orifice Gate) ให้คงที่ ซึ่งโดยมากใช้เท่ากับ 6 ซม. อาคารวัดน้ำชนิดนี้โดยมากจะถูกออกแบบให้สร้างตั้งฉากชิดกับคลองส่งน้ำแล้วปล่อยให้น้ำไหลผ่านอาคารไปยังคูส่งน้ำเข้าสู่ไร่นาตามต้องการ

ลักษณะอาคารประกอบด้วยส่วนหน้ามีกำแพงนำน้ำเข้าสู่อาคารผ่านประตูน้ำ (Orifice Gate) ที่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้ ทำหน้าที่เป็นช่องน้ำผ่าน (Orifice) ซึ่งมีระดับน้ำอยู่เหนือช่องนี้ทั้งสองข้าง (Submerged Orifice) น้ำไหลผ่านประตูเข้าไปอ่างกลาง (Stilling Basin) และผ่านประตูท้ายน้ำ (Control Gate) ซึ่งเลื่อนขึ้นลง ช่วยบังคับระดับน้ำในอ่างให้มีระดับสูงต่ำตามต้องการ น้ำจะไหลผ่านประตูนี้ออกสู่กำแพงท้ายน้ำ และสู่คลองหรือคูน้ำต่อไป ดังรูปที่ 7.18

การทำการ (Operation) และการวัดน้ำ

ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน CHO วัดได้โดยอาศัยหลักการที่น้ำไหลผ่านรูจมน้ำ (Submerged Orifice) ซึ่งอาศัยจากการคำนวณสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) และสมการพลังงาน (Energy Equation) อาคารนี้จะใช้วัดและบังคับน้ำให้ไหลไปในอัตราใด ๆ ก็ได้ ไม่ว่าระดับน้ำในคลองนั้นจะสูงขึ้นหรือต่ำลง เพียงแต่ปรับระดับต่างให้ได้ตามที่กำหนด และทราบขนาดของช่องเปิดที่จะหาอัตราการไหลนั้น ๆ ได้ตามต้องการ ซึ่งขนาดของรูจมน้ำจะเปลี่ยนแปลงได้โดยการปิดเปิดประตูรูจมน้ำ (Orifice Gate) ส่วนความแตกต่างของระดับน้ำด้านหน้าและหลังรูจมน้ำ จะปรับให้คงที่ โดยมากให้ต่างกัน 6 ซม. โดยการปรับปิดหรือเปิดบานประตูบังคับควบคุม (Control Gate) และระดับน้ำหน้าและหลังประตูรูจมน้ำจะวัดด้วยแผ่นระดับน้ำ (Staff Gauge) ซึ่งอาจจะวัดในบ่อน้ำนิ่งหรือวัดโดยตรง

ปริมาณการไหลของน้ำผ่าน CHO สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q = CA.\sqrt{2g\,\Delta\, h} \qquad .....(7.16)$$

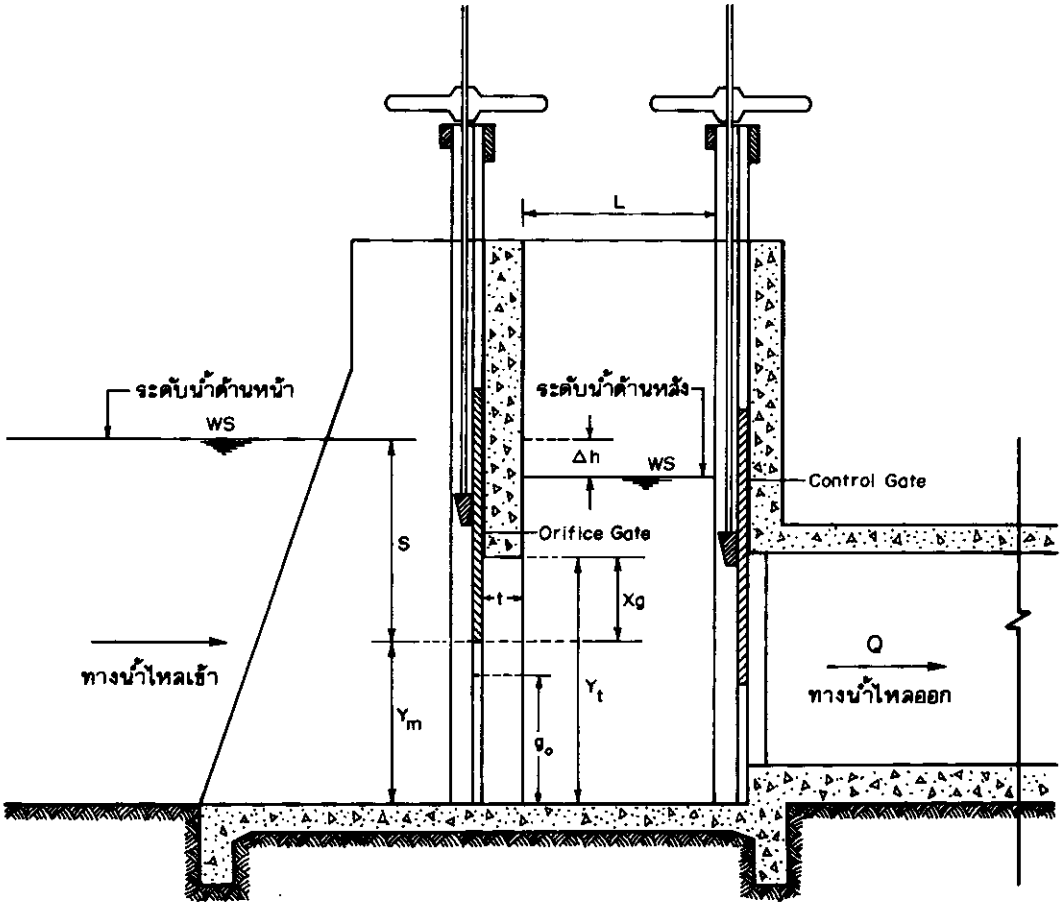
ในที่นี้ Q = ปริมาณการไหลของน้ำ เป็น ม^3/วินาที

C = สัมประสิทธิ์ของการไหลของน้ำผ่านรูจมน้ำ (ได้จากการทดลอง) (มีค่าอยู่ระหว่าง 0.62 - 0.70)

A = พื้นที่ส่วนของ Orifice ที่เปิดให้น้ำเข้า ($W \times Ym$) เป็น ม^2

g = ความเร่งของแรงดึงดูดของโลก 9.81 ม/วินาที^{2}

h = ความแตกต่างของระดับน้ำหน้าและหลังประตูรูจมน้ำ เป็น เมตร



รูปที่ 7.18 แสดงระยะต่าง ๆ ของอาคารวัดน้ำที่มีระดับคงที่

Yt	คือความลึกของ Orifice ทั้งหมด (ประตูเปิดเต็มที่)
Ym	คือความลึกที่เปิดบานบังคับน้ำเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำ (Q) สูงสุด เมื่อ $\triangle h$ = 6 ซม., $\frac{Ym}{Yt}$ = 0.8 Max.
g_o	คือความลึกที่เปิดบานบังคับน้ำเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำตามต้องการ เมื่อ $\triangle h$ = 6 ซม.
S	คือส่วนของบานที่จมน้ำ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า Ym เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องยิ่งขึ้น
Xg	คือส่วนของบานที่เลยจากกำแพงลงมา ซึ่งควรจะต้องเท่ากับหรือมากกว่า "t" (ความหนาของกำแพง) เมื่อปริมาณน้ำสูงสุด
L	ต้องมีค่าน้อยที่สุด 2.25 Ym หรือ 1.75 Yt (1.0 m.Min) เมื่อ Q มีค่าไม่เกิน 0.3 cms ถ้า Q มีค่ามากกว่านี้ L = 2.75 Ym (Min)

Ym = $\frac{A}{W}$; 0.75 Yt $\leqq$ Ym $\leqq$ 0.80 Yt

สำหรับค่า C นั้น อาจผันแปรได้ตั้งแต่ 0.62 ถึง 0.70 ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง แต่ที่สำคัญคือขนาดของบานประตู และความแตกต่างของระดับน้ำด้านหน้าและหลังบานประตูรูจมน้ำ ($\triangle h$) ซึ่งได้มีผู้ศึกษาและทดลองหาค่า C จากขนาดของบานประตูที่ใช้กันในกรมชลประทานเป็นส่วนมาก คือขนาดบานกว้าง (W) 0.60 เมตร สูง (Yt) 0.50 เมตร และขนาดกว้าง 0.40 เมตรสูง 0.50 เมตร จะได้ค่า C คงที่ตามลำดับคือ

C = 0.66 เมื่อ $\triangle h$ = 6 ซม.

และ C = 0.70 เมื่อ $\triangle h$ = 6 ซม.

ผลกระทบที่จะทำให้การวัดปริมาณน้ำผิดพลาด

พวกวัชพืชและเศษกิ่งไม้ใบหญ้าที่ไปอุดตันที่รูจมน้ำจะมีผลทำให้ปริมาณการไหลของน้ำผ่าน CHO ลดลงอย่างมาก และนอกจากนี้เนื่องจาก CHO จะสร้างตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของคลอง ซึ่งทำให้น้ำในคลองที่ไหลนั้นเกิดการไหลแบบปั่นป่วนวงวนเป็นจุด (eddy) หน้าประตูรูจมน้ำ ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณการไหลผ่าน CHO อย่างมาก เมื่อความเร็วของน้ำในคลองเพิ่มขึ้น และประตูรูจมน้ำเปิดกว้างเต็มที่ เช่นเมื่อคลองมีความเร็วของน้ำสูงถึง 1 เมตร/วินาที และประตูรูจมน้ำเปิดกว้างเต็มที่ จากการทดสอบพบว่าค่า C จะเบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยประมาณ 10-15% เป็นต้น

ข้อควรปฏิบัติในการวัดปริมาณน้ำจาก CHO

1. ทำความสะอาดประตูจมน้ำเป็นประจำ เพื่อป้องกันวัชพืชหรือเศษกิ่งไม้ใบหญ้าฟางไปอุดตัน

2. ตรวจสอบแผ่นวัดระดับน้ำด้านหน้าและหลังประตูรูจมน้ำ ให้อยู่ในระดับศูนย์เดียวกัน เพื่อจะได้อ่านความแตกต่างของระดับน้ำได้ถูกต้องมากที่สุด เพราะถ้าอ่านระดับ $\triangle h$ ผิดไป จะทำให้วัดปริมาณน้ำผ่าน CHO ผิดพลาดไป 8-9%

3. การหาระดับความสูงของบานประตูรูจมน้ำให้เปิดได้ตามความต้องการนั้น ทำได้โดยการหาระดับความสูงของเพลาเกลียวขณะบานปิดสนิท เมื่อต้องการเปิดประตูรูจมน้ำสูงเท่าไร ก็เอาไปบวกกับค่าบานปิดสนิทแล้วจึงไปเปิดบานให้เพลาเกลียวสูงเท่านั้น

4. การไหลของน้ำผ่านประตูรูจมน้ำต้องเป็นกรณี Submerged Orifice จึงจะใช้วัดปริมาณน้ำได้

5. ควรจะมีการ calibrate CHO ทุกตัวเพื่อหาค่า C ที่ถูกต้องก่อนน้ำไปใช้งาน นอกจากจะใช้ขนาด CHO มาตรฐานที่ได้ทดลองไว้แล้ว

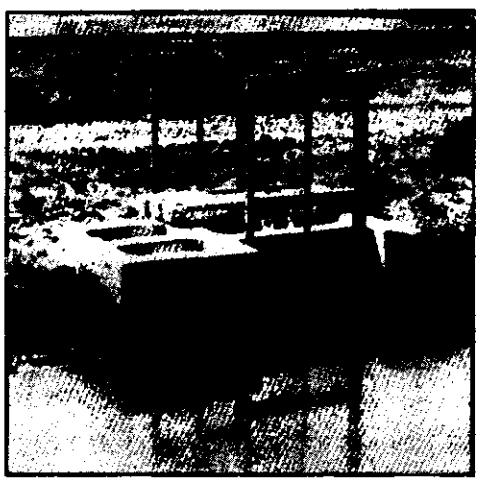
6. ควรตรวจสอบความกว้างยาวของช่องประตูรูจมน้ำและบานประตูว่า ถูกต้องตามแบบหรือแตกต่างอย่างไร ควรบันทึกไว้ เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำผ่าน CHO

4. ท่อกาลักน้ำ Siphon Tubes

ท่อ Siphon ตามธรรมดาใช้ในกรณีส่งน้ำจากคูน้ำหัวแปลง (Head Ditch) และกระจายน้ำไปตลอดทั้งแปลงเพาะปลูก ผ่าน furrow, corrugation, border แต่เราก็สามารถใช้มันเพื่อที่จะวัดปริมาณการไหลของน้ำภายในระบบกระจายน้ำได้ด้วย

Operator adjusting orifice gate on a constant-head orifice turnout.

Constant-head orifice turnout inlet.



Constant-head orifice turnout with stilling wells.

รูปที่ 7.19 อาคารวัดน้ำที่มีระดับคงที่ และแสดงการวัดระยะที่เปิดประตูบังคับควบคุม

ท่อ Siphon ส่วนมากทำจาก aluminium, plastic ยางหรือท่อ PVC ก็ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1" - 6" สำหรับขนาดเล็ก ๆ เราใช้กับ furrow และ corrugation ถ้าเป็นท่อขนาดใหญ่ใช้กับ borders

ท่อ Siphon มีข้อดีหลายด้าน เช่น น้ำหนักเบา ทำให้สามารถลดจำนวนของท่อได้ เพราะเราสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ทำให้ลดค่าทุนในการเริ่มต้นได้มาก การไหลของน้ำในแต่ละ furrow หรือ border สามารถควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการใช้ท่อทำการแบ่งน้ำจากคูน้ำหัวแปลง (head ditch) เข้าไปในทางน้ำแต่ละสายตามขนาดที่ต้องการได้

ปริมาณน้ำที่ผ่านท่อ Siphon

ปริมาณน้ำที่ผ่านขึ้นอยู่กับสิ่งต่อไปนี้คือ

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ
2. ความยาวของท่อ
3. ความหยาบของผิวท่อภายใน ความโค้งของท่อ
4. Head ของน้ำที่ท่อขณะที่กำลังใช้งาน (Operating head) ดังในรูปที่ 7.20

ในกรณีที่ปลายออกของท่อเป็น Submerge ; Head ที่เราวัดความแตกต่างของระดับน้ำระหว่างผิวน้ำที่ปากทางเข้า และที่ปากทางออกของท่อ ถ้าเป็นกรณี Free Flow Operating head คือความแตกต่างของระดับระหว่างผิวน้ำที่ปากทางเข้ากับจุดปลายของปากทางออกของท่อ

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$Q = 0.65 \times 10^{-3} A \sqrt{2gH} \qquad \text{..... (7.17)}$$

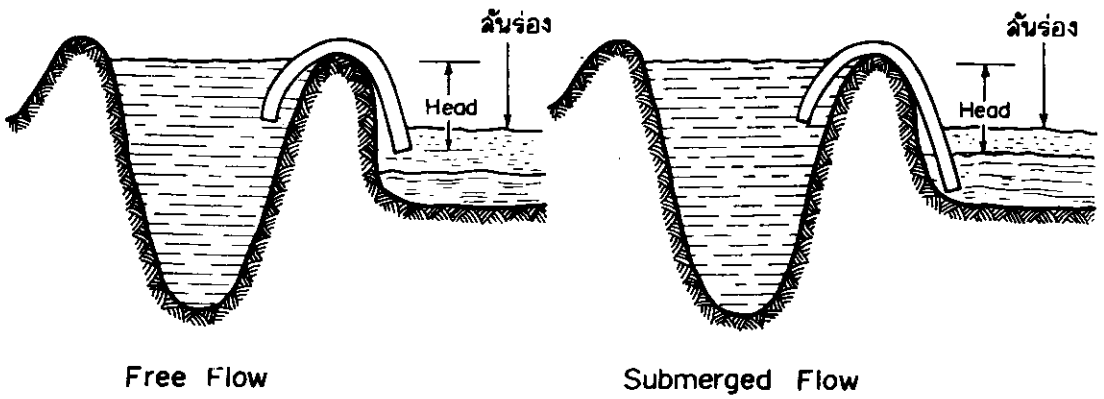
ในเมื่อ Q = ปริมาณน้ำ เป็นลิตร/วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อ เป็น ซม.^{2}

g = อัตราเร่ง 981 ซม./วินาที^{2}

H = ระดับแตกต่างของผิวน้ำ เป็นซม.

(สำหรับท่อพลาสติกยาวไม่เกิน 2.50 เมตร)



รูปที่ 7.20 การไหลลักษณะ Free flow และ Submerged flow

ตารางที่ 7.9 ปริมาณน้ำที่ไหลต่อ 1 ท่อ Sipphon เป็นลิตร/วินาที

ขนาดท่อ Siphon เป็นนิ้ว	Head เป็นซม.				
	5.0	7.5	10	12.5	15
3/4	0.13	0.19	0.32	0.38	0.44
1	0.25	0.32	0.44	0.51	0.57
1 1/8	0.38	0.44	0.51	0.63	0.69
1 1/4	0.51	0.63	0.76	0.82	0.95
1 1/2	0.82	1.01	1.14	1.32	1.51
2	1.33	1.70	2.02	2.27	2.52

ถ้าต้องการค่าที่ถูกต้องมากขึ้นอาจใช้สูตร

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

เมื่อ

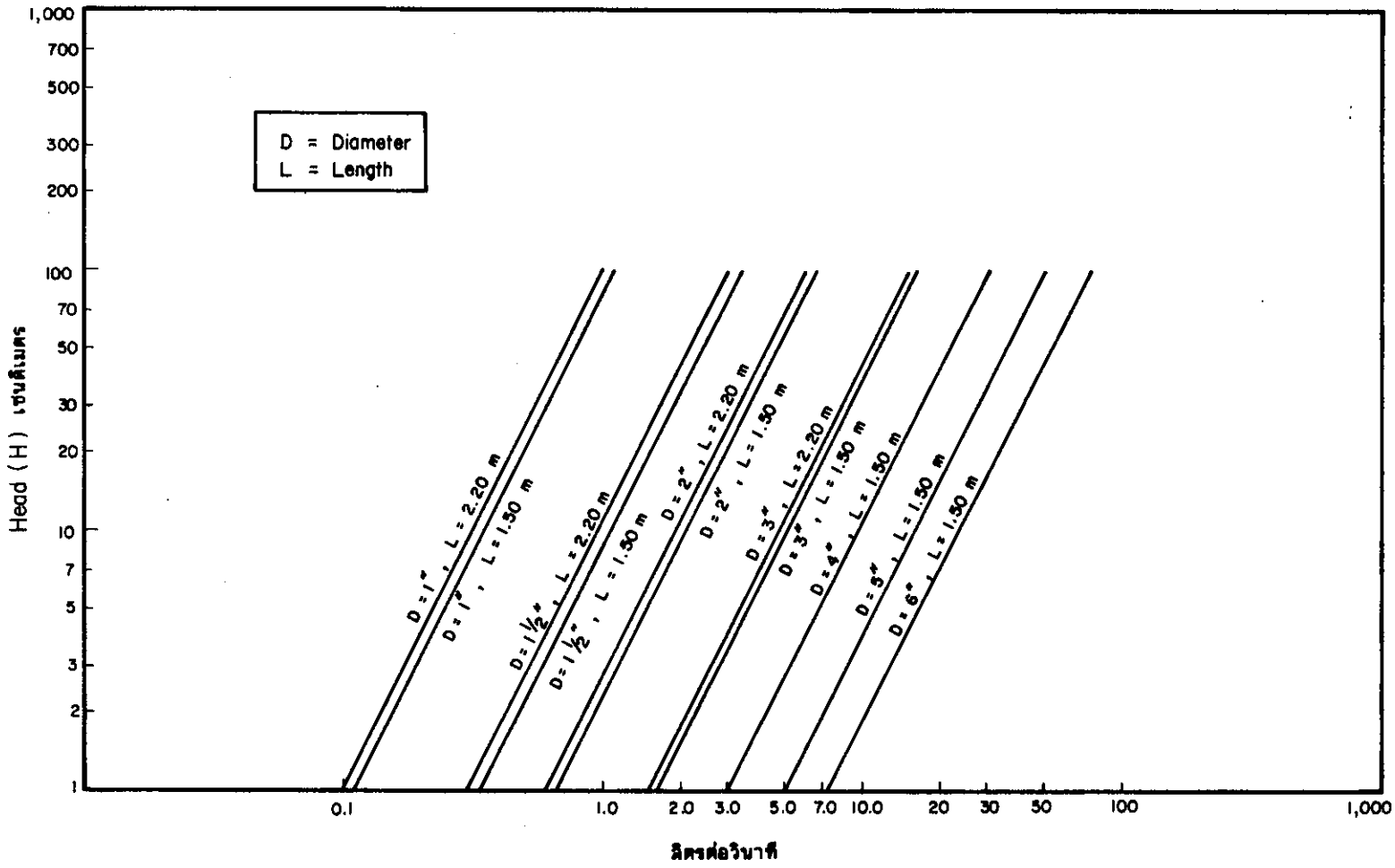
$$C = C_o\sqrt{\frac{d^{4/3}}{424n^2C_o^2L + d^{4/3}}} \qquad \text{.....7.18}$$

C_o = สัมประสิทธิ์ของปริมาณการไหลสำหรับทางเข้าท่อ (ประมาณ 0.83)

n = สัมประสิทธิ์ของความขรุขระของผิวท่อ (ท่ออลูมิเนียม = 0.008; ท่อพลาสติก = 0.010)

L = ความยาวของท่อเป็น ซม.

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อเป็น ซม.



รูปที่ 7.21 ปริมาณการไหลของน้ำจากท่อกาลักน้ำตามความยาวและขนาดต่าง ๆ

5. **Pipe Flow Trajectory Method** (การวัดประมาณน้ำไหลผ่านท่อ)

การวัดประมาณน้ำไหลผ่านท่อตามวิธีนี้ ถ้าต้องการได้ค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดจะต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขในการวัดอยู่ 3 ประการคือ

1. ท่อที่จะวัดปริมาณน้ำจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ

2. ท่อที่จะวัดปริมาณน้ำควรจะอยู่ในแนวระดับให้มากที่สุดเพื่อความสะดวกในการวัด ถึงแม้จะไม่อยู่ในแนวระดับก็วัดได้เช่นกันแต่ค่าอาจจะคลาดเคลื่อนได้ง่าย

3. น้ำที่ไหลออกจากท่อต้องสัมผัสกับอากาศ

สิ่งที่ต้องทำการวัดสำหรับการหาปริมาณการไหลคือ

1. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ เป็น ซม. หรือ นิ้ว

2. กรณีน้ำไหลเต็มท่อ วัดระยะน้ำพุ่งในแนวราบ (X) จากปลายท่อและระยะในแนวดิ่ง (y) จากด้านในปลายท่อไปสัมผัสผิวบนของลำน้ำที่พุ่งออกจากปลายท่อ (jet) ดังกล่าว ดังรูปที่ 7.22 ก

3. กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อ ระยะในแนวดิ่งจะวัดจากผิวน้ำด้านบนที่ปลายท่อถึงผิวน้ำที่พุ่งออกตามต้องการดังรูป 7.22 ข.

4. กรณีท่อไม่อยู่ในแนวดิ่ง ระยะแนวราบวัดตามทิศทางของท่อ ส่วนแนวดิ่งวัดเหมือน 2 กรณีที่กล่าวแล้วดังรูปที่ 7.22 ค.

เมื่อวัดระยะต่าง ๆ ได้แล้วก็สามารถคำนวณหาปริมาณการไหลของน้ำ (Q) ผ่านท่อได้จากสมการ

กรณีน้ำไหลเต็มท่อ

$$Q = \frac{0.017D^2X}{\sqrt{y}} \qquad \text{..... (7.19)}$$

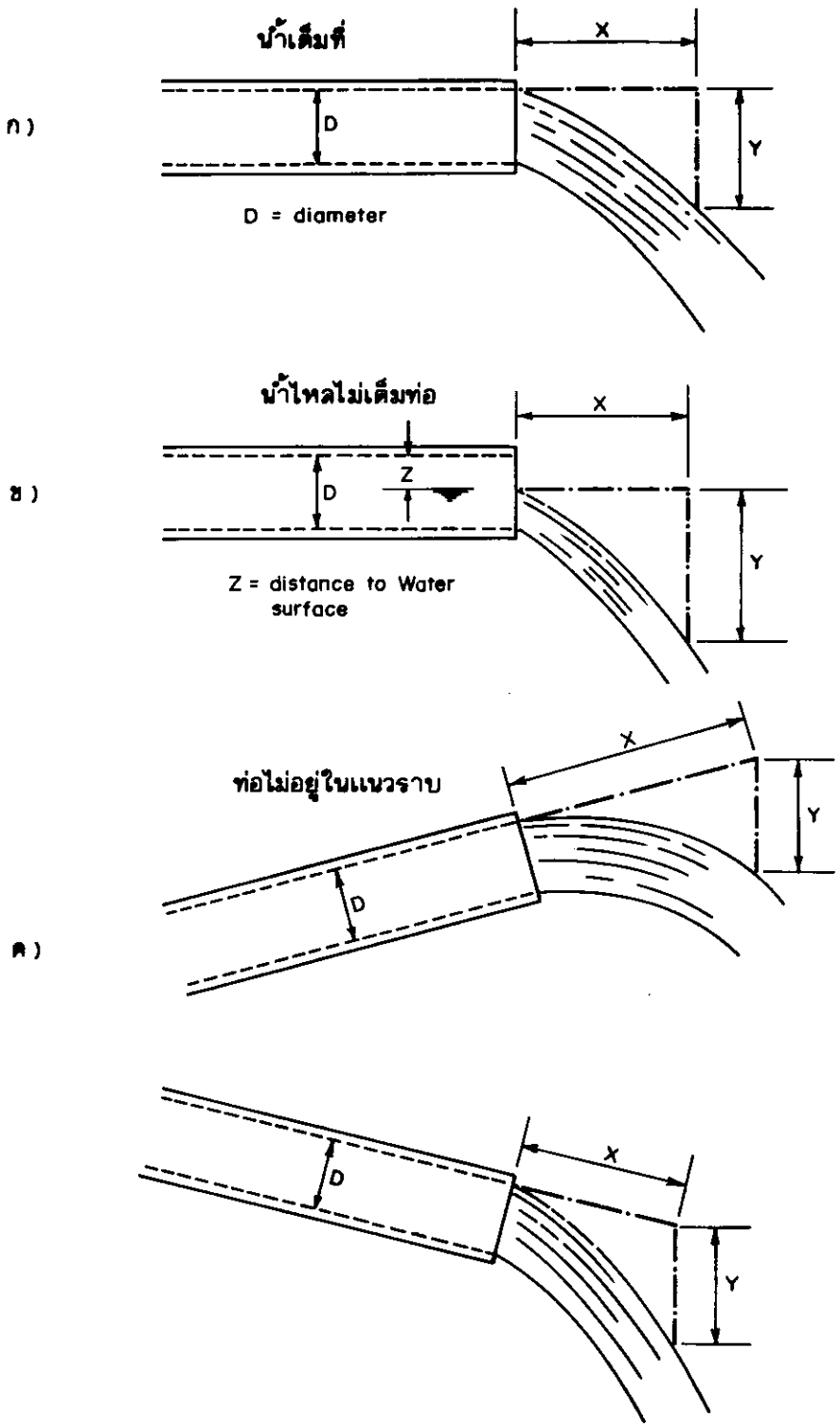
ในเมื่อ

Q	คือปริมาณการไหลของน้ำ	เป็น ลิตร/วินาที
D	คือเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ	เป็น ซม.
X	คือระยะวัดในแนวราบ	เป็น ซม.
Y	คือระยะวัดในแนวดิ่ง	เป็น ซม.

ถ้าใช้ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) เป็นนิ้ว จะได้สมการใหม่คือ

$$Q = \frac{0.112D^2X}{\sqrt{y}} \qquad \text{..... (7.20)}$$

ซึ่งอาจจะหาค่าได้จากตารางที่ 7.10 และตารางที่ 7.11 สำหรับค่า y คงที่ 15 ซม. และ 30 ซม. ตามลำดับ



รูปที่ 7.22 แสดงลักษณะการไหลของน้ำจากท่อและการวัดระยะแนวราบ (X) และแนวดิ่ง (Y)

กรณีน้ำไหลไม่เต็มท่อ

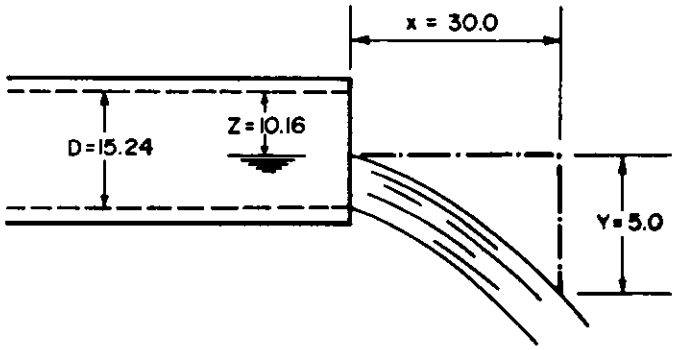
$$Q = \frac{0.017D^2X}{\sqrt{y}} \cdot \frac{a}{A} \qquad \text{..... (7.21)}$$

D	คือเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ	เป็น ซม.
x,y	คือระยะตามแนวราบและแนวดิ่งที่วัดได้	เป็น ซม.
a	คือพื้นที่หน้าตัดของลำน้ำที่พุ่งออกจากท่อ	เป็น ซม.^{2}
A	คือพื้นที่หน้าตัดของท่อ	เป็น ซม.^{2}

ถ้าใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (D) เป็นนิ้ว สมการ 7.21 จะเป็น

$$Q = \frac{0.112D^2X}{\sqrt{y}} \times \frac{a}{A} \qquad \text{..... (5.22)}$$

และเพื่อความสดวกในการหาค่า $\frac{a}{A}$ เราใช้เทียบเป็นอัตราส่วนระหว่าง Z/D แทน ซึ่งระยะ Z วัดจากผิวด้านในท่อถึงผิวน้ำตามรูป 7.22 ข. และค่าที่ได้แสดงในรูป 7.23



Ratio of a/A pipes flowing partly full

Z/D	a/A	Z/D	a/A
.05	.98	.45	.56
.10	.95	.50	.50
.15	.91	.55	.44
.20	.86	.60	.37
.25	.80	.65	.31
.30	.75	.70	.25
.35	.69	.75	.20
.40	.63	.80	.14
		.85	.09

Sample Computation

Given:

D = 15.24 cm
Z = 10.16 cm
X = 30 cm
Y = 5.0 cm

Solution:

$Z/D = 10.16/15.24 = 0.67$

Therefore a/A = .29 (From table by * interpertation)

$$Q = \frac{0.017D^2X}{\sqrt{Y}} \frac{a}{A} = \frac{0.017 \times 15.24^2 \times 30}{\sqrt{5}} \times$$

$$= 15.72 \text{ l/sec.}$$

*Interpolation:

Z/D	a/A
.65	.31
.67	x
.70	.25

.05 .03 .06

$$\frac{.03}{.05} \quad \frac{x}{.06}$$

$.05x = .0018$

$X = .036$

∴ a/A for .67 = .25 + .036 = .286
round up to 0.29

รูปที่ 7.23 แสดงอัตราส่วนระหว่าง Z/D เทียบกับ a/A และตัวอย่างการคำนวณเมื่อน้ำไหลไม่เต็มท่อ

ตารางที่ 7.10 ปริมาณการไหลจากท่อขนาดต่าง ๆ เมื่อระยะ y คงที่ 15 ซม.

ระยะ x ที่วัดได้	ปริมาณการไหล (Q) ลิตร/วินาที						
	ϕ 2"	ϕ 2½"	ϕ 3"	ϕ 4"	ϕ 5"	ϕ6"	ϕ8"
10	1.15	1.79	2.58	4.59	7.17		
12	1.38	2.15	3.10	5.50	8.61		
14	1.60	2.51	3.62	6.43	10.04		
16	1.84	2.87	4.13	7.34	11.48		
18	2.07	3.23	4.65	8.26	12.91		
20	2.30	3.59	5.17	9.18	14.35		
22	2.52	3.95	5.68	10.10	15.78		
24	2.76	4.30	6.20	11.02	17.72		
26	2.98	4.66	6.72	11.94	18.65		
28	3.21	5.02	7.23	12.86	20.09		
30	3.44	5.38	7.75	13.77	21.52		
32	3.67	5.74	8.26	14.69	22.96		
34	3.90	6.10	8.78	15.61	24.39		
36	4.13	6.46	9.30	16.53	25.83		
38	4.36	6.82	9.82	17.45	27.26		
40	4.59	7.18	10.33	18.37	28.70		

ตารางที่ 7.11 ปริมาณการไหลจากท่อขนาดต่าง ๆ เมื่อระยะ y คงที่ 30 ซม.

ระยะ x ที่วัดได้	ปริมาณการไหล (Q) ลิตร/วินาที					
	ϕ 2"	ϕ 2½"	ϕ 3"	ϕ 4"	ϕ 5"	ϕ 6"
10	0.80	1.25	1.80	3.20	5.0	7.20
12	0.96	1.50	2.16	3.84	6.0	8.64
14	1.12	1.75	2.52	4.48	7.0	10.08
16	1.28	2.00	2.88	5.12	8.0	11.52
18	1.44	2.25	3.24	5.76	9.0	12.96
20	1.60	2.50	3.60	6.40	10.0	14.40
22	1.76	2.75	3.96	7.04	11.0	15.84
24	1.92	3.00	4.32	7.68	12.0	17.28
26	2.08	3.25	4.68	8.32	13.0	18.72
28	2.24	3.50	5.04	8.96	14.0	20.16
30	2.40	3.75	5.40	9.60	15.0	21.60
32	2.56	4.00	5.76	10.24	16.0	23.04
34	2.72	4.25	6.12	10.88	17.0	24.48
36	2.88	4.50	6.48	11.52	18.0	25.92
38	3.04	4.75	6.84	12.16	19.0	27.36
40	3.20	5.00	7.20	12.80	20.0	28.80

บทที่ 8
การปรับระดับพื้นที่เพื่อการชลประทาน

การที่จะให้น้ำแก่พืชโดยการชลประทานแบบผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ผิวดินจะต้องเรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอกัน ดังนั้นในการชลประทานแบบผิวดินจึงต้องมีการปรับระดับพื้นที่ (Land leveling) ให้เหมาะสมกับวิธีให้น้ำเสียก่อน อย่างไรก็ตาม ก่อนที่จะตกลงใจทำการปรับระดับพื้นที่จะต้องพิจารณาดูเสียก่อนว่าพื้นที่นั้นเหมาะสมกับการชลประทานแบบผิวดินหรือไม่ และถ้าเหมาะสมจะเลือกวิธีการให้น้ำทางผิวดินแบบใด

8.1 ความเหมาะสมของพื้นที่ต่อการให้น้ำทางผิวดิน

โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว พื้นที่เพื่อการเกษตรส่วนใหญ่จะเหมาะแก่การให้น้ำทางผิวดิน ยกเว้นพื้นที่ที่มีลักษณะดังต่อไปนี้

8.1.1 **ดินมีอัตราการซึมมากเกินไป** ดินบางชนิด เช่นดินทราย หรือดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากมักจะมีอัตราการซึมมากเกินไป โดยปกติแล้วดินจะมีอัตราการซึมสูงเมื่อเริ่มต้นให้น้ำ แต่เมื่อให้น้ำต่อไป ค่านี้จะลดลงจนกระทั่งถึงค่าหนึ่งแล้วจะไม่ลดลงอีก อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่มีค่าคงที่นี้เรียกว่า "Infiltration Capacity" ถ้า Infiltration Capacity ของดินมากกว่า 3 นิ้วต่อชั่วโมงแล้ว การให้น้ำทางผิวดินจะไม่ได้ผลเนื่องจากจะมีการสูญเสียน้ำโดยการซึมเลยเขตราก (Deep Percolation) มาก ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำ และเรื่องดินเค็มขึ้นได้ในภายหลัง

8.1.2 **ดินมีความลึกน้อยเกินไป** ในกรณีที่ชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนั้นตื้นมาก ความลึกของดินที่ขุดออกเพื่อปรับระดับพื้นที่ให้เรียบและมีความลาดสม่ำเสมอกันอาจจะมากกว่า ในกรณีดังกล่าวนี้จะเป็นผลให้ต้องปลูกพืชในดินที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ผลผลิตต่อไร่ต่ำลง หรืออาจจะต้องใช้ปุ๋ยมากขึ้น

8.1.3 **พื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ** ในพื้นที่ที่ไม่ค่อยเรียบอยู่ก่อนแล้วจะพบว่าค่าลงทุนในการปรับระดับพื้นที่จะสูงมาก ตัวอย่างในแคลิฟอร์เนียพบว่าถ้ามีการขนย้ายดินมากกว่า 100 ลูกบาศก์หลาต่อเอเคอร์ (ประมาณ 300 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่) แล้ว ค่าลงทุนในการปรับระดับพื้นที่จะสูงมากเกินไป

8.1.4 **ความลาดเทของพื้นที่สูงมาก** การให้น้ำบนผิวดินที่มีความลาดเทชันมากอาจจะทำให้เกิดการกัดเซาะ (Erosion) อย่างรุนแรงขึ้นได้ นอกจากนั้นถ้าจะให้น้ำแก่พืชอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึงกันแล้วจะต้องสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลเลยพื้นที่ออกไป (Runoff) มาก การให้น้ำทางผิวดินด้วยวิธีต่าง ๆ จะได้ผลดีก็ต่อเมื่อความลาดเทของพื้นที่อยู่ในขีดจำกัดที่กำหนดให้ ดังนั้นถ้าความลาดเทของพื้นที่มากเกินกว่าที่จะให้น้ำทางผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ก็ควรจะเลือกการชลประทานแบบอื่นซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า หรือแบบที่ไม่ต้องการปรับระดับพื้นที่จะเหมาะกว่า

8.1.5 **พื้นที่ไม่มีทางระบายน้ำ** ปัญหาเรื่องการระบายน้ำนั้นเป็นปัญหาใหญ่ ถ้าหากไม่มีการป้องกันไว้ก่อนแล้วเมื่อเกิดปัญหาขึ้นมาจะต้องใช้ทั้งเงินทุนและเวลามากกว่าจะปรับปรุงพื้นที่นั้นให้ดีเหมือนเดิมได้ ถ้าหากพื้นที่เพาะปลูกอยู่ในทุ่งราบกว้างใหญ่ ดินโปร่งและมีระดับน้ำใต้ดินสูง การให้น้ำแก่พืชที่ปลูกในพื้นที่ลักษณะดังกล่าวจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง กล่าวคือ จะต้องให้น้ำครั้งละน้อย ๆ เพื่อป้องกัน

มิให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยการซึมลึกเลยเขตราก (Deep Percolation) ซึ่งจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ในบางครั้งการป้องกันการสูญเสียน้ำดังกล่าวทำได้ยากมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อให้น้ำทางผิวดิน ดังนั้น การปรับระดับพื้นที่ที่มีลักษณะดังกล่าวจึงอาจไม่คุ้มค่า เนื่องจากว่าอายุการใช้งานของพื้นที่อาจจะสั้นมาก เมื่อให้น้ำทางผิวดิน

8.1.6 **ผิวดินไม่มั่นคงแข็งแรง** ในดินบางชนิดเมื่อให้น้ำท่วมผิวดินแล้วจะเกิดเป็นโพรงขึ้นใต้ผิวดิน ซึ่งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำมาก และที่ร้ายแรงคือ ถ้าโพรงดังกล่าวเป็นทางพัดพาน้ำและดินไปสู่ที่อื่นแล้ว ก็จะทำให้เกิดการเสียน้ำและดินเป็นจำนวนมาก ในบางครั้งผิวดินจะทรุดเป็นหลุมใหญ่ หรืออาจเกิดดินถล่ม (Land Slide) ขึ้นได้ ดังนั้นถ้าดินมีลักษณะดังกล่าวจึงควรจะใช้การชลประทานแบบอื่น เช่นการชลประทานแบบฉีดฝอยซึ่งจะไม่เกิดปัญหาเรื่องความแข็งแรงของดิน และนอกจากนั้นยังไม่ต้องการการปรับระดับพื้นที่อีกด้วย

8.2 การเตรียมการปรับระดับพื้นที่

เมื่อได้พิจารณาดูแล้วว่าพื้นที่นั้นมีความเหมาะสมต่อการให้น้ำทางผิวดิน และค่าลงทุนในการปรับพื้นที่นั้นไม่สูงจนเกินไปนัก ก็มาถึงขั้นเตรียมการปรับระดับพื้นที่ ซึ่งจะต้องทำตามลำดับขั้นดังต่อไปนี้

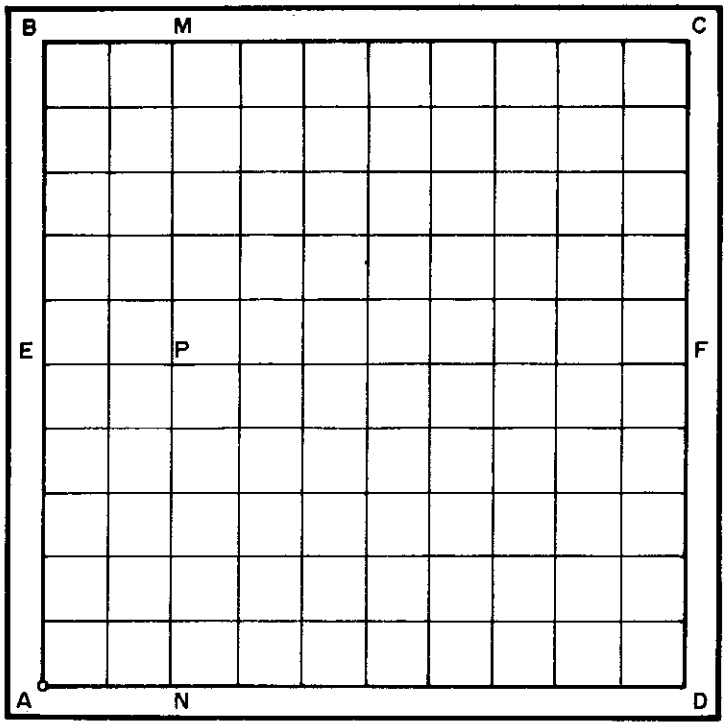
8.2.1 **เลือกเวลาทำงาน** การปรับระดับพื้นที่ควรจะทำในฤดูแล้งหรือในช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตก ทั้งนี้นอกจากเพื่อความสะดวกในการทำงานแล้วยังเป็นการป้องกันมิให้ดินแน่นเกินไปเนื่องจากการบดทับของเครื่องจักรกลในขณะที่ดินเปียกด้วย

8.2.2 **ถางพื้นที่** ถ้าหากว่าพื้นที่นั้นยังมิได้เป็นพื้นที่เพาะปลูกมาก่อน กล่าวคือยังมีต้นไม้ใหญ่และตอไม้อยู่ ก็จะต้องทำการถางพื้นที่เสียก่อน ถ้ามีต้นไม้ใหญ่และตอไม้อยู่มากก็อาจจะต้องใช้รถแทรกเตอร์มาดันออก แต่ถ้ามีแต่หญ้าและต้นไม้เล็ก ๆ ก็อาจใช้วิธีเผาก็ได้

8.2.3 **ปักหมุด** เมื่อได้ถอนต้นไม้หรือถางพื้นที่เรียบร้อยแล้วก็ทำการปักหมุด เพื่อที่จะได้ใช้หาระดับและทำแผนที่ต่อไป โดยปกติแล้วจะปักหมุดเป็นรูปตะแกรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสและมีระยะระหว่างหมุดยาว 20 ถึง 50 เมตร/ระยะระหว่างหมุดนี้ขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของพื้นที่ ถ้าพื้นที่เป็นเนินสูง ๆ ต่ำ ๆ ก็จะต้องปักหมุดให้ถี่เข้าเพื่อที่ว่าจะได้สามารถเก็บรายละเอียดของพื้นที่ได้ถูกต้องดีขึ้น หมุดที่ใช้เป็นไม้ขนาด 3/8" × 1 3/4" และยาวประมาณ 1 เมตร ถากปลายให้แหลมเพื่อที่จะได้ปักลงไปในดินได้สะดวก

การปักหมุดนั้นเริ่มจากด้านใดด้านหนึ่งซึ่งมีแนวตรงตลอดและควรจะเป็นด้านที่ยาวที่สุดด้วย เพื่อความสะดวกในการอธิบายขอให้ดูจากพื้นที่ตัวอย่างดังรูปที่ 8.1

สมมุติว่าเริ่มจากหมุด A ซึ่งปักห่างจากเขตของพื้นที่ครึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่างหมุด จากจุด A วางแนวไปหาหมุด B โดยมี AB ขนานกับแนวเขตของพื้นที่ จากนั้นก็วัดระยะและตอกหมุดในแนว AB จากจุด A และ B วางแนวตั้งฉากกับ AB มายังจุด C และ D ซึ่งอยู่อีกทางด้านหนึ่งของพื้นที่ การวางแนวตั้งฉากกับ AB นี้อาจจะใช้เครื่องมือสำรวจเช่น กล้องวัดมุม (Theodolite) หรือใช้คุณสมบัติของรูปสามเหลี่ยมมุมฉากซึ่งมีด้านยาวเป็นอัตราส่วน 3:4:5 ก็ได้ จากนั้นก็วัดระยะและปักหมุดในแนว AB และ BC การปักหมุดอื่น ๆ ก็ทำได้โดยการออกแนวที่ตั้งฉากกับ AB อีกแนวหนึ่งที่หมุดซึ่งอยู่ประมาณกึ่งกลางของระยะ AB สมมุติว่าเป็นแนว EF วัดระยะและปักหมุดในแนว EF เช่นเดียวกับแนวอื่น ๆ การหาตำแหน่งของหมุดอื่น ๆ ทำโดยการใช้เส้งด้วยหลักขาวแดง เช่นตำแหน่งของหมุดในแนว MN ก็หา



รูปที่ 8.1 การปักหมุดเพื่อทำแผนที่

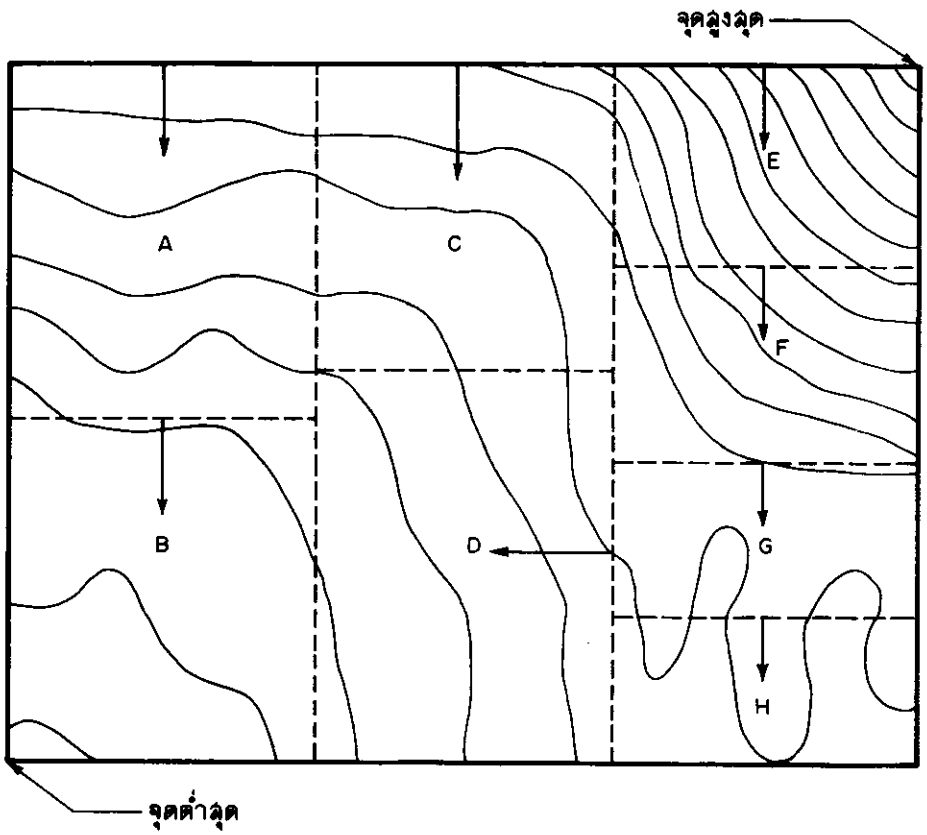
ได้โดยการปักหลักขาวแดงที่จุด M, P และ N เล็งแนว MN วัดระยะและปักหมุดให้อยู่ในแนวนี้ก็จะได้หมุดครบตามต้องการ สำหรับหมุดในแนวอื่น ๆ ก็ทำเช่นเดียวกัน

8.2.4 **ทำแผนที่** เมื่อมีหมุดครบทุกจุดแล้ว ก็สามารถทำแผนที่ได้โดยการใช้กล้องระดับอ่านค่าความสูงของผิวดินตรงจุดที่ทำการปักหมุด แล้วนำค่าที่อ่านได้นั้นมาคำนวณหาระดับซึ่งจะใช้ค่าระดับสมมุติก็ได้ แล้วนำมาเขียนเป็นแผนที่แสดงชั้นความสูงของผิวดิน (Contour Map) โดยมีชั้นความสูง (Contour Interval) ตามขนาดที่กำหนดให้ในตารางที่ 8.1

8.2.5 **แบ่งพื้นที่** เมื่อได้ทำแผนที่แสดงความสูงของผิวดินที่จุดต่าง ๆ แล้วอาจจะพบว่า ถ้าปรับระดับพื้นที่ให้มีความลาดเทสม่ำเสมอทั่วกันตลอดทั้งผืนแล้วจะเป็นการไม่ประหยัด เพราะที่บางส่วนมีความลาดเทมากเกินไป แต่บางส่วนค่อนข้างราบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแบ่งแยกพื้นที่นั้นออกเป็นแปลงย่อยๆ โดยให้แต่ละแปลงนั้นมีความลาดเทภายในแปลงใกล้เคียงกันเพื่อที่จะได้มีการขุดหรือถมภายในแปลงน้อยที่สุด ตัวอย่างการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ นี้อาจจะดูได้จากรูปที่ 8.2

ตารางที่ 8.1 ขนาดชั้นความสูง (Contour Interval) สำหรับการปรับระดับพื้นที่

ความลาดเทของพื้นที่ - % (ม/100ม.)	ขนาดชั้นความสูง - ซม.
0 - 1	10
1 - 2	20
2 - 5	30
5 - 10	50



รูปที่ 8.2 การแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ ตามลักษณะความลาดเทของพื้นที่

จากรูปที่ 8.2 นี้จะเห็นได้ว่า พื้นที่แปลงใหญ่อาจจะแบ่งออกเป็นแปลงย่อย ๆ โดยอาศัยการพิจารณาจากเส้นชั้นความสูง (Contour Lines) เป็นหลัก กล่าวคือ

(1) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างเส้นชั้นความสูง เช่นในกรณีของแปลง A และ B ในแปลง A เส้นชั้นความสูงจะอยู่ชิดกันกว่าในแปลง B หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าพื้นที่แปลง A มีความลาดชันมากกว่าในแปลง B การที่จะปรับปรุงพื้นที่ทั้งสองแปลงให้มีความลาดเทสม่ำเสมอเป็นแปลงเดียวจึงเป็นการไม่ประหยัด ดังนั้นจึงควรแบ่งออกเป็น 2 แปลงในแนวที่เริ่มจะมีการเปลี่ยนแปลงความลาดเท

(2) เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางของความลาดเทหลัก ทิศทางของความลาดเทหลักนี้จะอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวของเส้นชั้นความสูง เนื่องจากว่าน้ำไหลในทิศทางของความลาดเทหลัก ดังนั้นถ้าจะให้น้ำโดยวิธีท่วมเป็นผืน (Border) หรือร่องคูตรง (Straight Furrow) จึงจำเป็นต้องแบ่งพื้นที่ที่มีความลาดเทหลักอยู่ในแนวต่างกันมากออกเป็นแปลงย่อย ๆ เช่นในกรณีของพื้นที่แปลง C และ D เป็นต้น แต่ถ้าจะให้น้ำด้วยวิธีที่มีแนวขนานกับเส้นชั้นความสูง เช่น Contour Checks, Contour Furrows หรือ Contour Ditches ก็ไม่จำเป็นต้องแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ

(3) ในกรณีที่เส้นชั้นความสูงนั้นอยู่ชิดหรือห่างกันจนเกินไป ซึ่งแสดงว่าความลาดเทของพื้นที่นั้นมากหรือราบมากเกินไป แต่จะต้องปรับระดับพื้นที่ให้มีความลาดเทตามที่ต้องการแล้ว การแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงเล็ก ๆ จะช่วยให้มีการขุดหรือถมดินน้อยที่สุด และจะช่วยให้การให้น้ำมีประสิทธิภาพดีที่สุดด้วยตัวอย่างการแบ่งพื้นที่ด้วยเหตุผลดังกล่าวเช่นในพื้นที่ E, F, G และ H

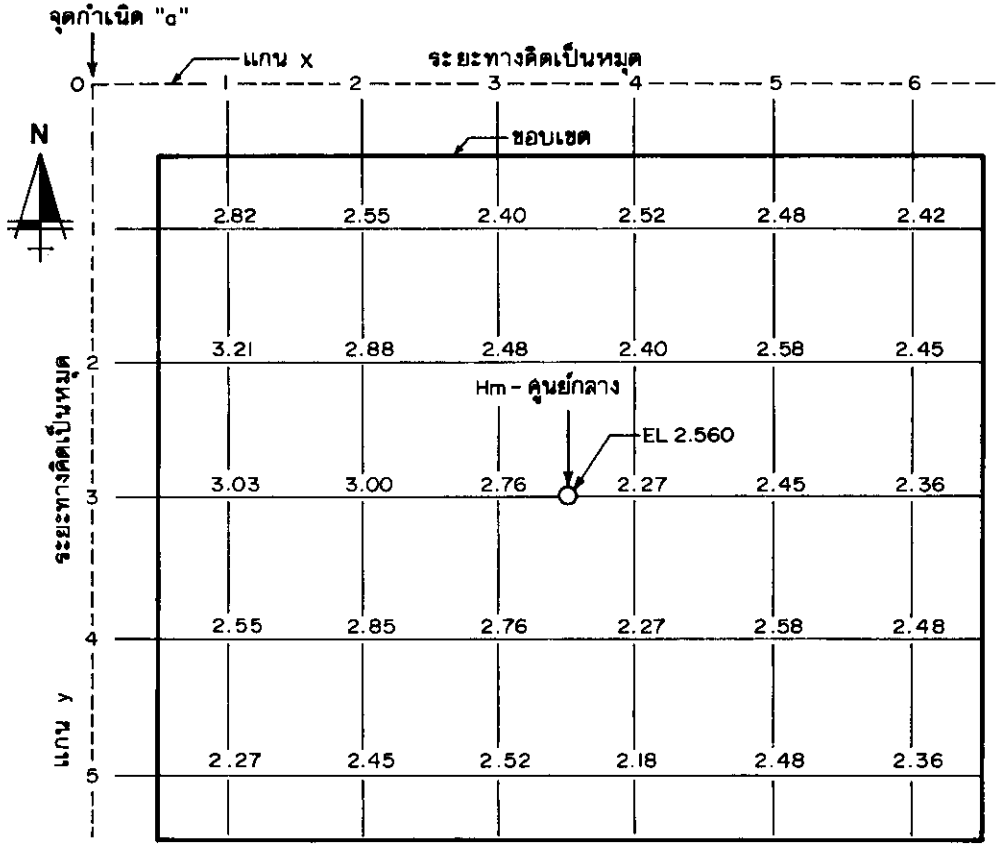
(4) ถ้าระยะระหว่างเส้นชั้นความสูงและทิศทางของเส้นไม่แน่นอนแล้ว แสดงว่าพื้นที่นั้นมีความลาดเทไม่สม่ำเสมอ และถ้าไม่สามารถจะจัดให้อยู่ในแปลงที่อยู่ใกล้เคียงได้แล้วก็ควรจะแยกไว้ต่างหาก

ในการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ นี้ควรจะได้พิจารณาด้วยว่ารูปร่างของพื้นที่แต่ละแปลงควรจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมมากที่สุด พื้นที่ที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจะทำให้การให้น้ำและการทำงานอย่างอื่น ๆ ยุ่งยากขึ้น นอกจากนั้นควรจะได้พิจารณาถึงแนวคลองหรือท่อส่งน้ำ ถนน ทางระบายน้ำ และอาคารอื่น ๆ ไว้ในขณะที่แบ่งพื้นที่เสียด้วย

8.3 การคำนวนค่าระดับเพื่อปรับระดับพื้นที่

เมื่อได้แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ แล้ว ก็นำเอาระดับที่หมุดในแต่ละแปลงมาคำนวณหาพื้นระดับ (Plan) และหาความลึกของดินที่จะต้องขุดหรือถมตรงจุดนั้น ๆ การคำนวณหาความลึกของดินดังกล่าวอาจทำได้หลายวิธี แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าลงทุนในการปรับพื้นที่และความเหมาะสมในการให้น้ำแล้ว ความลึกของดินที่ขุดหรือถมที่คำนวณได้จะดีที่สุดก็ต่อเมื่อทำให้พื้นที่นั้นมีความลาดเทสม่ำเสมอเท่ากันตลอด โดยมีการขุดหรือถมดินน้อยที่สุด ในกรณีที่มีความลึกที่คำนวณได้โดยมีการขุดหรือถมน้อยที่สุดนั้นไม่สามารถจะใช้ได้ เนื่องจากความลาดเทของพื้นที่ไม่เหมาะสมกับวิธีการให้น้ำ หรือเนื่องจากระดับตอนบนอยู่เหนือระดับส่งน้ำมาก ก็อาจจะต้องแก้ไข แต่จะต้องให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ครั้งแรกมากที่สุด

ดังได้กล่าวแล้วว่าการคำนวณหาความลึกของดินที่จะต้องขุดหรือถมอาจทำได้หลายวิธี แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เพียงวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือวิธี Least-Square and Average Profiles สำหรับรายละเอียดของการคำนวณนั้นจะได้อธิบายโดยใช้ตัวอย่างดังรูปที่ 8.3



	ผลรวมแนวนอน	ค่าเฉลี่ยแนวนอน(H)	S	SH
	15.19	2.532	1	2.532
	16.00	2.667	2	5.334
	15.87	2.645	3	7.935
	15.49	2.582	4	10.328
	14.26	2.377	5	11.885
			$(\Sigma SH)_{N-S}$ =	38.014

	1	2	3	4	5	6	
ผลรวมแนวตั้ง	13.88	13.73	12.92	11.64	12.57	12.07	76.81
ค่าเฉลี่ยแนวตั้ง(H)	2.776	2.746	2.584	2.328	2.514	2.414	
S	1	2	3	4	5	6	
SH	2.776	5.492	7.752	9.312	12.570	14.484	$(\Sigma SH)_{W-E}$ = 52.386

$$Hm = \frac{76.81}{30} = 2.560$$

รูปที่ 8.3 แผนที่แสดงระดับที่จุดปักหมุด ตำแหน่งและระดับของคูนย์กลางของพื้นที่

สมมุติว่ารูปที่ 8.3 นี้เป็นแผนที่แสดงระดับดินตรงจุดที่ปักหมุด ซึ่งจะต้องทำการปรับระดับพื้นที่ให้มีความลาดเทเท่ากันตลอด หมุดปักเป็นรูปตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีความยาวเท่ากับ 25 เมตร หมุดทางด้านนอกของพื้นที่อยู่ห่างจากแนวเขต 12.50 เมตร

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ สมมุติให้ "a" เป็นจุดกำเนิด (Origin) ซึ่งอยู่ห่างจากมุมของพื้นที่ออกไปทางด้านเหนือ 12.50 เมตร และออกไปทางตะวันตก 12.50 เมตร (ดูรูปที่ 8.3) ดังนั้นถ้าให้ระยะทางระหว่างหมุดสองหมุดเป็นหนึ่งหน่วยความยาว เราจะสามารถบอกตำแหน่งของจุดต่าง ๆ ได้เป็นจำนวนหมุดที่อยู่ห่างจากจุดกำเนิด หรือเป็นพิกัดเช่นจุดที่มีพิกัดทิศตะวันออก 2 ทิศใต้ 3 (2, 3) จะมีค่าระดับเท่ากับ 3.00 เมตร เป็นต้น

ขั้นแรกในการคำนวณทำได้โดยการรวมเลขค่าระดับที่อยู่ในแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) เดียวกันดังแสดงในรูป จากนั้นหาค่าเฉลี่ยของแต่ละค่าที่รวมได้ ค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวของ Line Average จะเป็นค่าระดับเฉลี่ยของพื้นที่ในแนวทิศเหนือ-ใต้ และค่าเฉลี่ยที่แสดงในแนวของ Column Average จะเป็นค่าระดับเฉลี่ยของพื้นที่ในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออกตามลำดับ

ขั้นที่สองเป็นการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่และระดับของจุดดังกล่าว การหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่นั้นใช้หลักการเดียวกับการหาจุดศูนย์ถ่วงของแผ่นวัตถุเรียบในวิชากลศาสตร์ สำหรับการหาระดับของจุดศูนย์กลางนั้น ถ้าจำนวนพื้นที่ที่ล้อมรอบหมุดมีค่าเท่ากันตลอด ระดับของจุดศูนย์กลางจะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของระดับทุกจุดในพื้นที่นั้น แต่ถ้าพื้นที่รอบหมุดไม่เท่ากันเช่นระยะทางระหว่างหมุดทางด้านนอกกับเขตของพื้นที่ไม่เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่างหมุด 2 หมุดที่อยู่ในแถวเดียวกันแล้ว การหาค่าระดับของจุดศูนย์กลางก็จะต้องใช้วิธีเฉลี่ยโดยให้น้ำหนัก (Weighted Average) โดยนำเอาจำนวนพื้นที่ที่หมุดนั้นปักอยู่มาคิดด้วย

สำหรับการหาตำแหน่งและระดับของจุดศูนย์กลางของพื้นที่สี่เหลี่ยมเช่นในตัวอย่างนั้นง่ายมาก กล่าวคือ ระดับของจุดศูนย์กลางของพื้นที่ (H_m) จะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของระดับของทุกจุดในพื้นที่ ซึ่งในกรณีนี้จะได้ว่า

$$H_m = 2.560 \text{ เมตร}$$

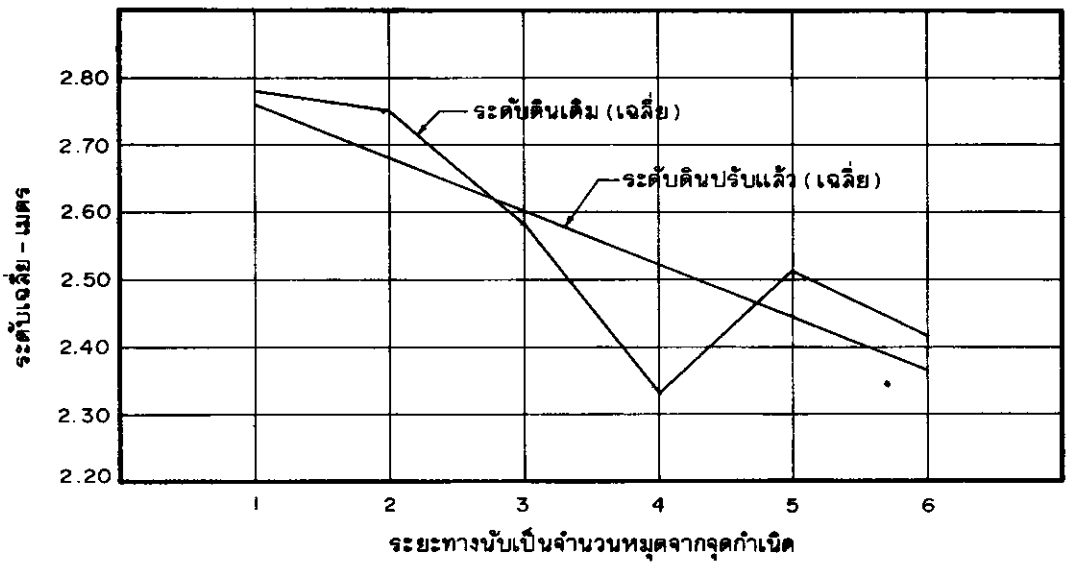
ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของพื้นที่นับจากจุดกำเนิด "a" บนแกน x และ y ในตัวอย่างคือ

$$X_m = \frac{1 + 2 + 4 + 5 + 6}{6} = 3\frac{1}{2}$$

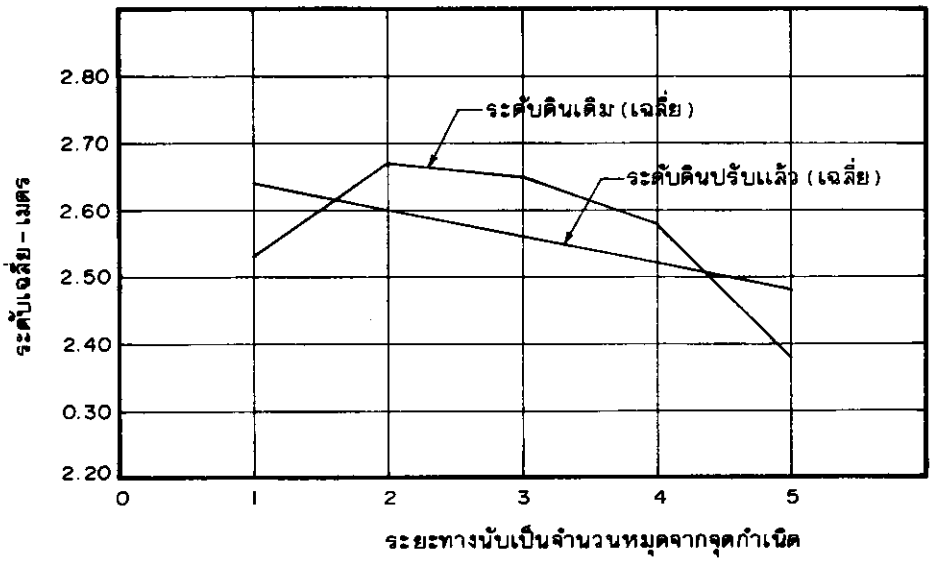
และ

$$Y_m = \frac{1 + 2 + 3 + 4 + 5}{5} = 3$$

ขั้นที่สามเป็นการหาความลาดเทของเส้นที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับเฉลี่ยของพื้นที่มากที่สุด เมื่อนำเอาค่าระดับเฉลี่ยในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก และในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ มาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 8.4 และ 8.5



รูปที่ 8.4 ระดับเฉลี่ยของพื้นที่ในแนวทิศตะวันตก – ตะวันออก



รูปที่ 8.5 ระดับเฉลี่ยของพื้นที่ในแนวทิศเหนือ – ทิศใต้

ตามวิธีการหาเส้นตรงที่มีค่าใกล้เคียงกับระดับเฉลี่ยของพื้นที่มากที่สุดโดย Least Square method เราจะได้ว่า Slope ของเส้นที่ต้องการนั้นหาได้จากสูตร

$$G_{NS} \text{ or } G_{WE} = \frac{\Sigma(SH) - \frac{(\Sigma S)(\Sigma H)}{n}}{\Sigma(S)^2 - \frac{(\Sigma S)^2}{n}} \quad \ldots\ldots\ldots 8.1$$

โดย G_{NS} = ความลาดเทของเส้นตรงซึ่งมีค่าระดับใกล้เคียงกับระดับเฉลี่ยของพื้นที่ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้มากที่สุด

G_{WE} = ความลาดเทของเส้นตรงซึ่งมีค่าระดับใกล้เคียงกับระดับเฉลี่ยของพื้นที่ในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออกมากที่สุด

S = ระยะทางนับเป็นจำนวนหมุด (Station Distance) จากจุดกำเนิดในแนวทิศที่ต้องการหาความลาดเท

H = ค่าระดับเฉลี่ยของพื้นที่ที่หมุดต่าง ๆ ในทิศทางที่ต้องการหาความลาดเท

n = จำนวนหมุดของระดับเฉลี่ยในทิศทางที่ต้องการ

เพื่อมิให้สับสน ขอให้จำไว้ว่า H ที่นำมาใช้คำนวณหาความลาดเท G_{NS} หรือ G_{WE} นั้น เป็นค่าเฉลี่ยของระดับของพื้นที่ในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ (Line Average) หรือทิศตะวันตก-ตะวันออก (Column Average) ซึ่งแล้วแต่ว่ากำลังหาความลาดเทของทิศใดอยู่

จากตัวอย่างที่กำหนดให้นี้จะสามารถคำนวณหาความลาดเทของเส้นตรงซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับระดับเฉลี่ยได้ ดังนี้

8.3.1 ความลาดเทตามแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก (G_{WE})

$\Sigma(SH)$ = $(1\times2.776) + (2\times2.746) + (3\times2.584) + (4\times2.328) + (5\times2.514) + (6\times2.414)$

= 52.386

ΣS = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6

= 21

ΣH = 2.776 + 2.746 + 2.584 + 2.328 + 2.514 + 2.414

= 15.362

$\Sigma(S)^2$ = 1 + 4 + 9 + 16 + 25 + 36

= 91

n = 6

$$\text{จากสูตร } G_{WE} = \frac{\Sigma(SH) - \frac{(\Sigma S)(\Sigma H)}{n}}{\Sigma(S)^2 - \frac{(\Sigma S)^2}{n}}$$

$$= \frac{52.386 - \frac{21 \times 15.362}{6}}{91 - \frac{(21)^2}{6}}$$

$$= -0.0789 \text{ เมตรต่อ } 25 \text{ เมตร}$$

ค่าที่คำนวณได้นี้จะเป็นความลาดเทต่อหนึ่งหน่วยระยะทางระหว่างหมุดซึ่งในที่นี้จะได้ว่า ความลาดเทของพื้นที่ทางด้านตะวันตกตะวันออกเมื่อปรับพื้นที่แล้วจะทำให้เกิดการขุดหรือถมน้อยที่สุดนั้นเท่ากับ 0.0789 เมตร ต่อระยะทางระหว่างหมุดซึ่งเท่ากับ 25 เมตร หรือ 0.3156 เมตร ต่อ 100 เมตร และลาดไปทางทิศตะวันออก (สังเกตจากเครื่องหมายลบ)

8.3.2 ความลาดเทตามแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ (G_{NS})

$$\Sigma(SH) = (1 \times 2.532) + (2 \times 2.667) + (3 \times 2.645) + (4 \times 2.582) + (5 \times 2.377)$$

$$= 38.014$$

$$\Sigma S = 1 + 2 + 3 + 4 + 5$$

$$= 15$$

$$\Sigma H = 2.532 + 2.667 + 2.645 + 2.582 + 2.377$$

$$= 12.803$$

$$(\Sigma S)^2 = 1 + 4 + 9 + 16 + 25$$

$$= 55$$

$$n = 5$$

$$G_{NS} = \frac{38.014 - \frac{15 \times 12.803}{5}}{55 - \frac{(15)^2}{5}}$$

$$= -0.0395 \text{ เมตรต่อ } 25 \text{ เมตร}$$

$$\text{หรือ} = -0.158 \text{ เมตรต่อ } 100 \text{ เมตร}$$

ดังนั้นถ้าปรับพื้นที่โดยให้มีระดับที่จุดศูนย์กลางเท่ากับ 2.560 เมตร มีความลาดเทในแนวทิศเหนือ-ทิศใต้ 0.158 เมตรต่อ 100 เมตร ลาดไปทางทิศใต้ และมีความลาดเทในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก 0.3156 เมตรต่อ 100 เมตร ลาดไปทางทิศตะวันออกแล้ว จะมีการขุดหรือถมดินน้อยที่สุด และจำนวนดินขุดจะเท่ากับจำนวนดินที่จะต้องถมโดยประมาณ

การคำนวณค่าของ G_{NS} หรือ G_{WE} นั้นอาจจะทำให้ง่ายและรวดเร็วขึ้นอีกถ้าใช้ตารางที่คำนวณค่า $\frac{\Sigma S}{n}$ และ $\Sigma(S)^2 - \frac{(\Sigma S)^2}{n}$ ไว้แล้ว ดังเช่นตารางที่ 8.2

ขั้นที่สี่เป็นการเอาค่าระดับเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลาง (H_m) และ ความลาดเท G_{NS} และ G_{WE} ที่คำนวณได้ มาคำนวณหาระดับเมื่อปรับพื้นที่แล้วของดินที่จุดต่าง ๆ ถ้าหากหาค่าของระดับที่จุดกำเหนิดก่อนการคำนวณหาระดับที่จุดอื่น ๆ ก็จะง่ายขึ้น สมการที่ใช้คำนวณหาระดับของจุดต่าง ๆ ก็คือ

$$H = a + (G_{WE})(x) + (G_{NS})(y) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8.2$$

โดย H = ค่าระดับหลังจากปรับพื้นที่แล้วที่จุดใดจุดหนึ่ง

a = ระดับหลังจากปรับพื้นที่แล้วที่จุดกำเหนิด

x, y = ระยะทางในแนวแกน x และ y จากจุดกำเหนิด นับเป็นจำนวนหมุด

จากตัวอย่างที่กำหนดให้ จะได้ว่า

H_m = 2.560 เมตร

X_m = 3.5

Y_m = 3

G_{WE} = -0.0789

G_{NS} = -0.0395

จาก $H_m = a + (G_{WE})(X_m) + (G_{NS})(Y_m)$

ดังนั้น $a = 2.560 - (-0.0789)(3.5) - (-0.0395)(3)$

$= 2.955$ เมตร

ดังนั้นที่จุดซึ่งมีพิกัด (Coordinate) (2, 3) ซึ่งมีระดับ 3.00 เมตร เมื่อปรับระดับพื้นที่แล้วจะมีระดับเท่ากับ

$H = a + (G_{WE})(x) + (G_{NS})(y)$

$= 2.955 + (-0.0789)(2) + (-0.0395)(3)$

$= 2.679$ เมตร

สำหรับระดับที่จุดอื่น ๆ จะคำนวณได้ โดยวิธีเดียวกัน เมื่อปรับพื้นที่ให้มีระดับตามที่คำนวณได้เหล่านี้แล้ว จะได้ปริมาณของดินที่ขุดและถมมีค่าเท่ากันโดยประมาณ และจะมีการขุดหรือถมน้อยที่สุดด้วย

ในบางครั้งอาจจะพบว่าความลาดเทของพื้นที่ที่คำนวณได้โดยวิธีนี้จะราบหรือชันเกินไปสำหรับวิธีให้น้ำที่ต้องการ ในกรณีดังกล่าวนี้อาจจะดัดแปลงได้โดยเปลี่ยนความลาดเทของพื้นที่ให้มีขนาดเท่าที่ต้องการ แต่ยังคงใช้ค่าระดับที่จุดศูนย์กลางเท่าเดิมก็จะได้ปริมาตรของดินที่ขุดเท่ากับปริมาตรของดินที่ถมเช่นเดียวกัน

ในการปรับระดับพื้นที่โดยใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่นรถแทรกเตอร์แบบขุดและขนไปยังอีกที่หนึ่งได้ (Motor Scrapper) และเครื่องจักรขนาดใหญ่อื่น ๆ พบว่าจะต้องเพิ่มปริมาตรของดินขุดอีก

ตารางที่ 8.2 ค่าของ $\frac{\Sigma S}{n}$ และ $\Sigma(S)^2 - \frac{(\Sigma S)^2}{n}$ (เมื่อ n มีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 26)

n	$\frac{\Sigma S}{n}$	$\Sigma(S)^2 - \frac{(\Sigma S)^2}{n}$	n	$\frac{\Sigma S}{n}$	$\Sigma(S)^2 - \frac{(\Sigma S)^2}{n}$
2	1.5	0.5	15	8.0	280.0
3	2.0	2.0	16	8.5	340.0
4	2.5	5.0	17	9.0	408.0
5	3.0	10.0	18	9.5	484.5
6	3.5	17.5	19	10.0	570.0
7	4.0	28.0	20	10.5	665.0
8	4.5	42.0	21	11.0	770.0
9	5.0	60.0	22	11.5	885.5
10	5.5	82.5	23	12.0	1012.0
11	6.0	110.0	24	12.5	1150.0
12	6.5	143.0	25	13.0	1300.0
13	7.0	182.0	26	13.5	1462.5
14	7.5	227.5.			

กล่าวคือ จะต้องลดระดับของทุกหมุดจากระดับที่คำนวณได้อีกเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าเครื่องจักรขนาดใหญ่เหล่านี้มีน้ำหนักมาก ขณะที่ทำงานมันจะบดทับดินให้แน่นเข้า นอกจากนั้นดินที่ถมด้วยเครื่องจักรขนาดใหญ่มักจะแน่นมาก ความลึกของดินที่จะต้องลดลงจากระดับที่คำนวณได้นี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของดินที่ต้องขุดและถม ความหนาแน่นของดินเดิม ตลอดจนความชื้นของดินในขณะที่ทำงาน โดยทั่ว ๆ ไปแล้วพบว่าปริมาตรของดินที่ต้องขุดทั้งหมดควรจะมากกว่าปริมาตรของดินที่ต้องถมทั้งหมดประมาณ 20 ถึง 45 เปอร์เซนต์

สมมุติว่าในตัวอย่างนี้จะต้องให้ปริมาตรของดินขุดมากกว่าปริมาตรของดินถม 30 เปอร์เซนต์ จะได้ว่า

$$\frac{\Sigma \text{Cut}}{\Sigma \text{Fill}} \times 100 = 130\%$$

โดย ΣCut = ผลรวมของความลึกของดินที่จะต้องขุดตรงจุดปักหมุดทั้งหมด

ΣFill = ผลรวมของความลึกของดินที่จะต้องถมตรงจุดปักหมุดทั้งหมด

ในการหาความลึกของดินที่จะต้องลดระดับลงจากระดับที่คำนวณได้นี้จะต้องใช้วิธีเดาเอาแล้วคำนวณตรวจสอบดูว่าอยู่ในขนาดที่ต้องการหรือไม่ ถ้ายังใช้ไม่ได้ก็เปลี่ยนค่าและคำนวณดูใหม่จนกว่าจะใช้ได้ โดยปกติแล้วความลึกของดินที่จะต้องลดระดับลงนั้นจะมีค่าไม่เกินประมาณ 3 เซนติเมตร

เพื่อความสะดวกในการอธิบายขอให้ดูรูปที่ 8.6 ซึ่งเป็นแผนที่แสดงระดับดินเดิม ระดับดินหลังปรับระดับพื้นที่แล้วที่คำนวณได้ครั้งแรกและความลึกของดินที่จะต้องขุดหรือถมที่หมุดต่าง ๆ สำหรับความลึกของดินที่จะต้องขุดหรือถมที่คำนวณได้ในบรรทัดแรก เป็นความแตกต่างระหว่างระดับเดิมกับระดับดินหลังจากปรับระดับพื้นที่ที่คำนวณได้ ถ้ารวมความลึกของดินที่ต้องขุดหรือถมที่ทุก ๆ หมุดในพื้นที่ในบรรทัดแรกนี้จะได้ว่า

$$\Sigma \text{Cut} = 2.418 \text{ เมตร}$$

$$\Sigma \text{Fill} = 2.418 \text{ เมตร}$$

และ $$\frac{\Sigma \text{Cut}}{\Sigma \text{Fill}} \times 100 = 100.0\%$$

แต่ถ้าต้องการให้ปริมาตรของดินขุดมากกว่าปริมาตรของดินถม 30 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจะต้องลดระดับดินที่คำนวณได้นี้อีก สมมุติว่าลดระดับของทุก ๆ หมุด 1.0 เซนติเมตร ความลึกของดินที่จะต้องขุดหรือถมเมื่อลดระดับลงแล้วอยู่ในบรรทัดที่สอง และจะได้ว่า

$$\Sigma \text{Cut} = 2.574 \text{ เมตร}$$

$$\Sigma \text{Fill} = 2.274 \text{ เมตร}$$

และ $$\frac{\Sigma \text{Cut}}{\Sigma \text{Fill}} \times 100 = 113\%$$

ซึ่งยังได้ไม่เท่ากับจำนวนที่ต้องการคือ 130 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจะต้องลดระดับลงอีก สมมุติว่าลดจากระดับเดิม 2 เซนติเมตร จากบรรทัดที่ 3 ในรูปที่ 8.6 จะได้ว่า

$$\Sigma \text{Cut} = 2.738 \text{ เมตร}$$

$$\Sigma \text{Fill} = 2.138 \text{ เมตร}$$

และ $$\frac{\Sigma \text{Cut}}{\Sigma \text{Fill}} \times 100 = 128\%$$

ครั้งนี้ปริมาตรของดินขุดมากกว่าดินถม 28 เปอร์เซนต์ ใกล้เคียงกับที่ต้องการซึ่งถือว่าใช้ได้ ถ้าปรากฏว่าเมื่อทำการปรับพื้นที่จริง ๆ ในสนามแล้ว ปริมาตรของดินที่ขุดออกทั้งหมดยังไม่พอถม ก็อาจจะเพิ่มปริมาตรของดินขุดได้โดยการทำให้พื้นที่ทางตอนบนประมาณ 10 ถึง 15 เมตรแรกราบกว่าที่คำนวณได้เล็กน้อย หรือทำให้พื้นที่ทางตอนล่างประมาณ 10 เมตรชันกว่าเดิม หรือจะทำทั้งสองอย่างก็ได้ การแก้ไขดังกล่าวนี้จะเป็นผลดีถ้าใช้กับการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน (Border Irrigation) เพราะจะทำให้น้ำได้มีโอกาสแผ่กระจายไปได้ทั่วตั้งแต่ตอนหัวแปลง และทำให้การระบายน้ำทางท้ายแปลงดีขึ้นด้วย

2.82		2.55		2.40		2.52		2.48		2.42	
2.837	.017F .007F .003C	2.758	.2085 .198F .188F	2.679	.279F .269F .257F	2.600	.080F .070F .060F	2.521	.041F .031F .021F	2.442	.022F .012F .002F
3.21		2.88		2.48		2.40		2.58		2.45	
2.797	.413C .423C .433C	2.718	.162C .172C .182C	2.639	.159F .149F .139F	2.560	.160F .150F .140F	2.482	.098C .108C .118C	2.403	.047C .057C .067C
3.03		3.00		2.76		2.27		2.45		2.36	
2.758	.272C .282C .292C	2.679	.321C .331C .341C	2.600	.160C .170C .180C	2.521	.251F .241F .231F	2.442	.008C .018C .028C	2.363	.003F .007C .017C
2.55		2.85		2.76		2.27		2.58		2.48	
2.718	.168F .158F .148F	2.639	.211C .221C .231C	2.560	.200C .210C .220C	2.481	.211F .201F .191F	2.403	.177C .187C .197C	2.324	.156C .166C .176C
2.27		2.45		2.52		2.18		2.48		2.36	
2.679	.409F .399F	2.600	1.50F .140F	2.521	.001F .009C	2.442	.262F .252F	2.363	.117C .127C	2.284	.076C .086C
	.389F		.130F		.019C		.242F		.137C		.096C

ระดับดินเดิม	
ระดับที่คำนวนได้	ความลึกที่ต้องขุด (C) หรือถม (F)

รูปที่ 8.6 แผนผังแสดงระดับของดินเดิม ระดับที่คำนวณได้ และความลึกของดินที่ต้องขุด (C) หรือถม (F) ที่หมุดต่าง ๆ ความลึกของดินที่ต้องขุดหรือถมบรรทัดแรกเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณครั้งแรก บรรทัดที่สองและสามเป็นความลึกเมื่อลดระดับของทุกจุดลงอีก 1 และ 2 เซนติเมตรตามลำดับ

8.4 การคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถม

ในการประมาณราคาค่าปรับระดับพื้นที่นั้น จะคิดจากปริมาตรของดินที่ต้องขุดหรือถมทั้งหมดเป็นหลัก นอกจากนั้นบางครั้งจำเป็นจะต้องทราบปริมาตรของดินเหล่านี้เพื่อที่จะได้เลือกใช้เครื่องจักรที่จะมาทำงานให้เหมาะสม

สูตรซึ่งใช้คำนวณหาปริมาตรของดินที่ดีที่สุดก็คือ Prismoidal Formula:

$$V = \frac{L}{6}[A_1 + 4A_m + A_2] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8.3$$

โดย V = ปริมาตรของดิน

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของแท่งดินทางด้านแรก

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของแท่งดินทางด้านที่สอง

A_m = พื้นที่หน้าตัดของแท่งดินที่อยู่ตรงกลางและขนานกับด้านทั้งสอง

L = ระยะทางระหว่างด้านแรกกับด้านที่สอง

โดยปกติถ้ามิใช่เป็นงานที่ต้องการความถูกต้องจริง ๆ แล้ว มักจะไม่นิยมใช้สูตรนี้ เพราะจะเสียเวลามาก ถ้าต้องการค่าโดยประมาณแล้ว เราอาจหาปริมาตรของดินได้โดยวิธีที่เรียกว่า Four-point Method ซึ่งมีสูตรว่า

$$V_c = \frac{L^2}{4} \cdot \frac{(H_c^2)}{(H_c + H_f)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8.4$$

$$V_f = \frac{L^2}{4} \cdot \frac{(H_f^2)}{(H_c + H_f)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots 8.5$$

โดย V_c = ปริมาตรของดินขุด

V_f = ปริมาตรของดินถม

H_c = ผลรวมของความลึกของดินที่ต้องขุดที่หมุดทั้งสี่

H_f = ผลรวมของความลึกของดินที่ต้องถมที่หมุดทั้งสี่

L = ระยะทางระหว่างหมุด

สูตรข้างบนนี้สามารถคำนวณปริมาตรของทั้งดินขุดและดินถมบนพื้นที่ระหว่างสี่หมุดได้ ตัวอย่างเช่นในรูปข้างล่างนี้จะได้ว่า

H_c = 0.4 เมตร

H_f = 0.3 เมตร

L = 25 เมตร

ดังนั้น $V_c = \frac{(25)^2}{4} \cdot \frac{(0.4)^2}{(0.4 + 0.3)}$

$= 35.71$ ลูกบาศก์เมตร

$V_f = \frac{(25)^2}{4} \cdot \frac{(0.3)^2}{(0.4 + 0.3)}$

$= 20.08$ ลูกบาศก์เมตร

เพื่อความสดวกในการนำไปใช้งาน ค่าปริมาตรดินขุดหรือดินถมซึ่งคำนวณโดยสูตรนี้ สำหรับระยะทางระหว่างหมุดเท่ากับ 25 และ 50 เมตรได้ให้ไว้ในตารางที่ 8.3 ท้ายบทนี้

วิธีคำนวณปริมาตรดินที่ง่ายที่สุด แต่ให้ค่าถูกต้องพอประมาณคือวิธีที่เรียกว่า Summation Method ซึ่งสมมุติว่าความลึกของดินขุดหรือถมที่หมุดใดหมุดหนึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของความสูงที่จะต้องขุดหรือถมบนพื้นที่ซึ่งหมุดนั้นปกอยู่ ดังนั้นปริมาตรของดินขุดหรือถมทั้งหมดจะหาได้จากสูตร

$$V_c = (\Sigma \text{ Cut}) \cdot A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8.6$$

$$V_f = (\Sigma \text{ Fill}) \cdot A \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 8.7$$

โดย V_c = ปริมาตรดินขุดของทั้งแปลง

V_f = ปริมาตรดินถมของทั้งแปลง

Σ Cut = ผลรวมของความลึกของดินขุดที่หมุดต่าง ๆ ตลอดแปลง

Σ Fill = ผลรวมของความลึกของดินถมที่หมุดต่าง ๆ ตลอดแปลง

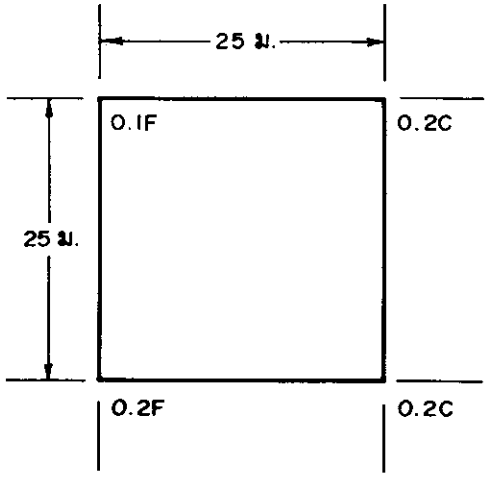
A = พื้นที่ระหว่างหมุดสี่หมุด

เมื่อเปรียบเทียบสูตรต่าง ๆ ทั้งสามแล้ว สูตรแรกคือ Prismoidal Formula จะให้ค่าละเอียดถูกต้องที่สุด แต่เนื่องจากการคำนวณยุ่งยากมากจึงไม่เป็นที่นิยมใช้กัน สูตรที่ให้ความถูกต้องรองลงมาก็คือ Four-point Method ส่วน Summation Method ให้ค่าถูกต้องน้อยที่สุดโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความลึกของดินจากขุดมาเป็นถม ดังนั้นวิธีหลังนี้จึงไม่แนะนำให้ใช้นอกจากว่าต้องการจะประมาณดูอย่างหยาบ ๆ เท่านั้น

8.5 การใช้ตารางที่ 8.3 สำหรับหาปริมาตรดินขุดดินถม

เพื่อความสดวกในการหาปริมาตรดินขุดดินถม ได้จัดทำตารางแสดงค่าต่าง ๆ ของดินขุดดินถมไว้ในตารางที่ 8.3 โดยค่าที่แสดงไว้นั้นเป็นค่าที่คำนวณมาจากสูตรของ Four-point method และใช้สำหรับระยะระหว่างหมุด 25 เมตร และ 50 เมตร

8.5.1 การหาปริมาตรในพื้นที่สี่เหลี่ยมจตุรัส ดังตัวอย่างเช่น



ผลรวมของดินขุดทั้งสี่มุม = 0.4 เมตร

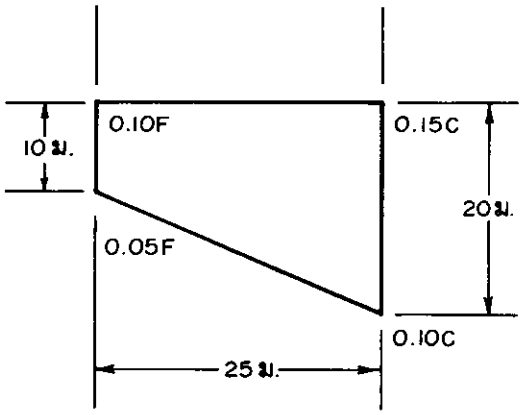
ผลรวมของดินถมทั้งสี่มุม = 0.3 เมตร

จากตารางที่ 8.3 สำหรับระยะระหว่างหมุด 25 เมตรจะได้

ปริมาตรดินขุด = 36 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรดินถม = 20 ลูกบาศก์เมตร

8.5.2 การหาปริมาตรในพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมู ดังตัวอย่างเช่น



พื้นที่ของสี่เหลี่ยมนี้ = ½ × 25 × (10+20) = 375 ตารางเมตร

พื้นที่ของสี่เหลี่ยมจัตุรัส = 25 × 25 = 625 ตารางเมตร

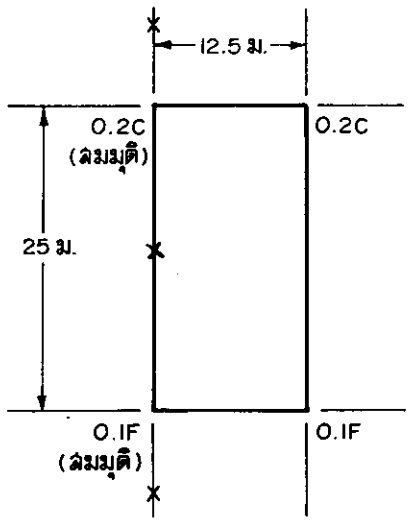
จากตารางที่ 8.3 สำหรับระยะระหว่างหมุด 25 เมตร เมื่อผลรวมของดินขุดดินถมเท่ากับ 0.25 เมตร และ 0.15 เมตร จะได้ปริมาตรดินขุดและดินถมเท่ากับ 24 ลูกบาศก์เมตรและ 9 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ในพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูนี้

ปริมาตรดินขุด = $(\frac{375}{625}) \times 24 = 14.4$ ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรดินถม = $(\frac{375}{625}) \times 9 = 5.4$ ลูกบาศก์เมตร

8.5.3 การหาปริมาตรในพื้นที่นอกหมุดสำรวจ

เนื่องจากการส่องระดับสำหรับงานปรับระดับพื้นที่นั้น ค่าระดับของพื้นที่ในบริเวณที่ชิดกับแนวขอบเขตจะไม่มีการหาไว้ อย่างไรก็ตามในการคำนวณปริมาตรดินขุดดินถมจึงให้ถือว่าจุดที่อยู่ชิดแนวขอบเขตนั้นมีการขุดหรือถมเท่ากับหมุดแรกที่อยู่ใกล้ ยกเว้นในกรณีที่ระดับพื้นที่แตกต่างกันมากก็ควรจะได้มีการปักหมุดและหาระดับไว้ การคำนวณทำดังนี้ คือ



พื้นที่ของรูปนี้ = 25 × 12.5 = 312.5 ตารางเมตร

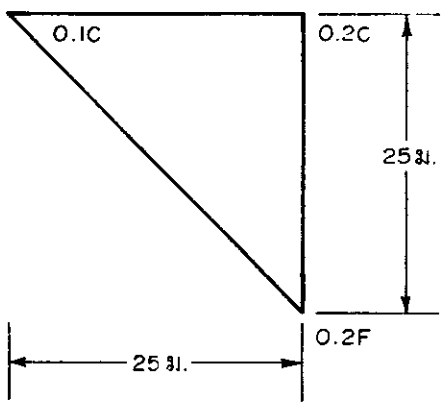
จากตารางที่ 8.3 สำหรับระยะระหว่างหมุด 25 เมตร เมื่อผลรวมของดินขุดและดินถมเท่ากับ 0.4 เมตร และ 0.2 เมตร แล้วปริมาตรดินขุดและดินถมจะมีค่าเท่ากับ 42 และ 10 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังนั้น ในพื้นที่ดังกล่าวนี้ จะได้

ปริมาตรดินขุด = $(\frac{312.5}{625}) \times 42$ = 21 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรดินถม = $(\frac{312.5}{625}) \times 10$ = 5 ลูกบาศก์เมตร

8.5.4 การหาปริมาตรในพื้นที่รูปสามเหลี่ยม

ในพื้นที่รูปสามเหลี่ยมนั้นการหาปริมาตรอาจทำได้โดยรวมความลึกของดินขุดดินถมทั้งสามมุมเข้าด้วยกัน แล้วใช้ค่า $\frac{2}{3}$ ของปริมาตรที่หาได้จากตารางที่ 8.3 ดังตัวอย่าง



ผลรวมของดินขุด = 0.3 เมตร

ผลรวมของดินถม = 0.2 เมตร

จากตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด = 28 ลูกบาศก์เมตร

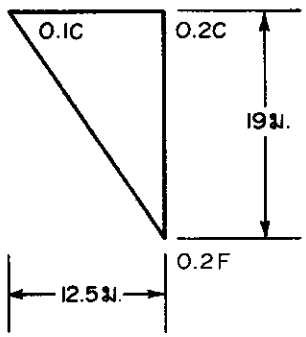
ปริมาตรดินถม = 12 ลูกบาศก์เมตร

ดังนั้น ในรูปสามเหลี่ยมนี้

ปริมาตรดินขุด = $(\frac{2}{3}) \times 28 = 18.7$ ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรดินถม = $(\frac{2}{3}) \times 12 = 8$ ลูกบาศก์เมตร

ในกรณีที่ด้านของสามเหลี่ยมไม่เท่ากับ 25 เมตร การคำนวณปริมาตรของดินขุดดินถมทำได้โดยลดค่าของปริมาตรลงไปอีกตามอัตราส่วนของพื้นที่ดังตัวอย่าง เช่น



ผลรวมของดินขุด = 0.3 เมตร

ผลรวมของดินถม = 0.2 เมตร

ดังนั้น

ปริมาตรดินขุด = $(\frac{12.5 \times 19}{25 \times 25}) \times (\frac{2}{3}) \times 28$

= 7.1 ลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรดินถม = $(\frac{12.5 \times 19}{25 \times 25}) \times (\frac{2}{3}) \times 12$

= 3.0 ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร) C

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร) F

		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
0.00	CUT	0	8	16	23	31	39	47	55	62	70	78	86	94	102	109	117	125	133	141	148	156
	FILL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	CUT	0	4	10	18	25	33	40	48	56	63	71	79	87	94	102	110	118	125	133	141	149
	FILL	8	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0.10	CUT	0	3	8	14	21	28	35	43	50	58	65	73	80	88	96	103	111	119	127	134	142
	FILL	16	10	8	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
0.15	CUT	0	2	6	12	18	24	31	38	45	53	60	68	75	83	90	98	105	113	121	128	136
	FILL	23	18	14	12	10	9	8	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3
0.20	CUT	0	2	5	10	16	22	28	35	42	49	56	63	70	78	85	93	100	108	115	123	130
	FILL	31	25	21	18	16	14	12	11	10	10	9	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5
0.25	CUT	0	1	4	9	14	20	26	32	38	45	52	59	66	73	81	88	95	103	110	118	125
	FILL	39	33	28	24	22	20	18	16	15	14	13	12	11	11	10	10	9	9	8	8	8
0.30	CUT	0	1	4	8	12	18	23	29	36	42	49	56	62	69	77	84	91	98	105	113	120
	FILL	47	40	35	31	28	26	23	22	20	19	18	17	16	15	14	13	13	12	12	11	11
0.35	CUT	0	1	3	7	11	16	22	27	33	40	46	53	59	66	73	80	87	94	101	108	116
	FILL	55	48	43	38	35	32	29	27	26	24	23	21	20	19	18	17	17	16	15	15	14
0.40	CUT	0	1	3	6	10	15	20	26	31	37	43	50	56	63	70	76	83	90	97	104	112
	FILL	62	56	50	45	42	38	36	33	31	29	28	26	25	24	23	22	21	20	19	19	18
0.45	CUT	0	1	3	6	10	14	19	24	29	35	41	47	54	60	67	73	80	87	94	101	108
	FILL	70	63	58	53	49	45	42	40	37	35	33	32	30	29	28	26	25	24	23	23	22
0.50	CUT	0	1	3	5	9	13	18	23	28	33	39	45	51	57	64	70	77	84	90	97	104
	FILL	78	71	65	60	56	52	49	46	43	41	39	37	36	34	33	31	30	29	28	27	26
0.55	CUT	0	1	2	5	8	12	17	21	26	32	37	43	49	55	61	68	74	81	87	94	101
	FILL	86	79	73	68	63	59	56	53	50	47	45	43	41	39	38	36	35	34	33	32	30
0.60	CUT	0	1	2	5	8	11	16	20	25	30	36	41	47	53	59	65	71	78	84	91	98
	FILL	94	87	80	75	70	66	62	59	56	54	51	49	47	45	43	42	40	39	37	36	35
0.65	CUT	0	1	2	4	7	11	15	19	24	29	34	39	45	51	57	63	69	75	82	88	95
	FILL	102	94	88	83	78	73	69	66	63	60	57	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40
0.70	CUT	0	1	2	4	7	10	14	18	23	28	33	38	43	49	55	61	67	73	79	85	92
	FILL	109	102	96	90	85	81	77	73	70	67	64	61	59	57	55	53	51	49	48	46	45
0.75	CUT	0	0	2	4	7	10	13	17	22	26	31	36	42	47	53	59	65	71	77	83	39
	FILL	117	110	103	98	93	88	84	80	76	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	52	50
0.80	CUT	0	0	2	4	6	9	13	17	21	25	30	35	40	46	51	57	62	68	74	81	87
	FILL	125	118	111	105	100	95	91	87	83	80	77	74	71	69	67	65	62	61	59	57	56
0.85	CUT	0	0	2	4	6	9	12	16	20	24	29	34	39	44	49	55	61	66	72	78	84
	FILL	133	125	119	113	108	103	98	94	90	87	84	81	78	75	73	71	68	66	65	63	61
0.90	CUT	0	0	2	3	6	8	12	15	19	23	28	33	37	43	48	53	59	65	70	76	82
	FILL	141	133	127	121	115	110	105	101	97	94	90	87	84	82	79	77	74	72	70	68	67
0.95	CUT	0	0	1	3	5	8	11	15	19	23	27	32	36	41	46	52	57	63	68	74	80
	FILL	148	141	134	128	123	118	113	108	104	101	97	94	91	88	85	83	81	78	76	74	72
1.00	CUT	0	0	1	3	5	8	11	14	18	22	26	30	35	40	45	50	56	61	67	72	78
	FILL	156	149	142	136	130	125	120	116	112	108	104	101	98	95	92	89	87	84	82	80	78

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

		1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00
0.00	CUT	156	164	172	180	187	195	203	211	219	227	234	242	250	258	266	273	281	289	297	305	312
	FILL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	CUT	149	157	164	172	180	188	196	203	211	219	227	235	242	250	258	266	274	281	289	297	305
	FILL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.10	CUT	142	150	158	165	173	181	189	196	204	212	220	228	235	243	251	259	266	274	282	290	298
	FILL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.15	CUT	136	144	151	159	167	174	182	190	198	205	213	221	229	236	244	252	260	267	275	283	291
	FILL	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0.20	CUT	130	138	145	153	161	168	176	184	191	199	207	215	222	230	238	245	253	261	269	276	284
	FILL	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
0.25	CUT	125	133	140	148	155	163	170	178	186	193	201	209	216	224	232	239	247	255	262	270	278
	FILL	8	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4
0.30	CUT	120	128	135	143	150	158	165	173	180	188	195	203	211	218	226	233	241	249	256	264	272
	FILL	11	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6
0.35	CUT	116	123	130	138	145	153	160	168	175	183	190	198	205	213	220	228	235	243	251	258	266
	FILL	14	14	13	13	12	12	12	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	9	9	8	8
0.40	CUT	112	119	126	133	141	148	155	163	170	178	185	193	200	208	215	223	230	238	245	253	260
	FILL	18	17	17	16	16	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11	11	11	11	10
0.45	CUT	108	115	122	129	136	144	151	158	166	173	180	188	195	203	210	218	225	233	240	248	255
	FILL	22	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	15	15	15	14	14	14	13	13	13
0.50	CUT	104	111	118	125	132	140	147	154	161	168	176	183	190	198	205	213	220	228	235	243	250
	FILL	26	25	24	24	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	17	17	17	16	16	16
0.55	CUT	101	108	115	122	129	136	143	150	157	164	171	179	186	193	201	208	215	223	230	238	245
	FILL	30	30	29	28	27	26	26	25	24	24	23	23	22	21	21	21	20	20	19	19	19
0.60	CUT	98	104	111	118	125	132	139	146	153	160	167	175	182	189	196	204	211	218	226	233	240
	FILL	35	34	33	32	31	30	30	29	28	27	27	26	26	25	24	24	23	23	23	22	22
0.65	CUT	95	101	108	115	122	128	135	142	149	156	164	171	178	185	192	199	207	214	221	229	236
	FILL	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	31	30	29	29	28	28	27	26	26	25	25
0.70	CUT	92	98	105	112	118	125	132	139	146	153	160	167	174	181	188	195	202	210	217	224	231
	FILL	45	44	43	41	40	39	38	37	36	36	35	34	33	33	32	31	31	30	29	29	28
0.75	CUT	89	96	102	109	115	122	129	136	142	149	156	163	170	177	184	191	199	206	213	220	227
	FILL	50	49	48	46	45	44	43	42	41	40	39	38	37	37	36	35	34	34	33	33	32
0.80	CUT	87	93	100	106	112	119	126	132	139	146	153	160	167	174	181	188	195	202	209	216	223
	FILL	56	54	53	51	50	49	48	47	45	44	43	43	42	41	40	39	38	38	37	36	36
0.85	CUT	84	91	97	103	110	116	123	129	136	143	150	156	163	170	177	184	191	198	205	212	219
	FILL	61	59	58	56	55	54	53	51	50	49	48	47	46	45	44	43	43	42	41	40	40
0.90	CUT	82	88	95	101	107	114	120	127	133	140	146	153	160	167	174	181	187	194	201	208	216
	FILL	67	65	63	62	60	59	58	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	44
0.95	CUT	80	86	92	98	105	111	117	124	130	137	143	150	157	164	170	177	184	191	198	205	212
	FILL	72	71	69	67	66	64	63	61	60	59	58	56	55	54	53	52	51	50	49	49	48
1.00	CUT	78	84	90	96	102	109	115	121	128	134	141	147	154	161	167	74	181	188	195	201	208
	FILL	78	76	74	73	71	69	68	66	65	64	63	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

Sum of Cut on Four Corners

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
1.00	CUT	0	0	1	3	5	8	11	14	18	22	26	30	35	40	45	50	56	61	67	72	78
	FILL	156	149	142	136	130	125	120	116	112	108	104	101	98	95	92	89	87	84	82	80	78
1.05	CUT	0	0	1	3	5	8	10	14	17	21	25	30	34	39	44	49	54	59	65	71	76
	FILL	164	157	150	144	138	133	128	123	119	115	111	108	104	101	98	96	93	91	88	86	84
1.10	CUT	0	0	1	3	5	7	10	13	17	20	24	29	33	38	43	48	53	58	63	69	74
	FILL	172	164	158	151	145	140	135	130	126	122	118	115	111	108	105	102	100	97	95	92	90
1.15	CUT	0	0	1	3	5	7	10	13	16	20	24	28	32	37	41	46	51	56	62	67	73
	FILL	180	172	165	159	153	148	143	138	133	129	125	122	118	115	112	109	106	103	101	98	96
1.20	CUT	0	0	1	3	4	7	9	12	16	19	23	27	31	36	40	45	50	55	60	66	71
	FILL	187	180	173	167	161	155	150	145	141	136	132	129	125	122	118	115	112	110	107	105	102
1.25	CUT	0	0	1	3	4	7	9	12	15	19	22	26	30	35	39	44	49	54	59	64	69
	FILL	195	188	181	174	168	163	158	153	148	144	140	136	132	128	125	122	119	116	114	111	109
1.30	CUT	0	0	1	2	4	6	9	12	15	18	22	26	30	34	38	43	48	53	58	63	68
	FILL	203	196	189	182	176	170	165	160	155	151	147	143	139	135	132	129	126	123	120	117	115
1.35	CUT	0	0	1	2	4	6	9	11	14	18	21	25	29	33	37	42	47	51	56	61	66
	FILL	211	203	196	190	184	178	173	168	163	158	154	150	146	142	139	136	132	129	127	124	121
1.40	CUT	0	0	1	2	4	6	8	11	14	17	21	24	28	32	36	41	45	50	55	60	65
	FILL	219	211	204	198	191	186	180	175	170	166	161	157	153	149	146	142	139	136	133	130	128
1.45	CUT	0	0	1	2	4	6	8	11	14	17	20	24	27	31	36	40	44	49	54	59	64
	FILL	227	219	212	205	199	193	188	183	178	173	168	164	160	156	153	149	146	143	140	137	134
1.50	CUT	0	0	1	2	4	6	8	10	13	16	20	23	27	31	35	39	43	48	53	58	63
	FILL	234	227	220	213	207	201	195	190	185	180	176	171	167	164	160	156	153	150	146	143	141
1.55	CUT	0	0	1	2	4	5	8	10	13	16	19	23	26	30	34	38	43	47	52	56	61
	FILL	242	235	228	221	215	209	203	198	193	188	183	179	175	171	167	163	160	156	153	150	147
1.60	CUT	0	0	1	2	3	5	7	10	13	15	19	22	26	29	33	37	42	46	51	55	60
	FILL	250	242	235	229	222	216	211	205	200	195	190	186	182	178	174	170	167	163	160	157	154
1.65	CUT	0	0	1	2	3	5	7	10	12	15	18	21	25	29	33	37	41	45	50	54	59
	FILL	258	250	243	236	230	224	218	213	208	203	198	193	189	185	181	177	174	170	167	164	161
1.70	CUT	0	0	1	2	3	5	7	9	12	15	18	21	24	28	32	36	40	44	49	53	58
	FILL	266	258	251	244	238	232	226	220	215	210	205	201	196	192	188	184	181	177	174	170	167
1.75	CUT	0	0	1	2	3	5	7	9	12	14	17	21	24	28	31	35	39	43	48	52	57
	FILL	273	266	259	252	245	239	233	228	223	218	213	208	204	199	195	191	188	184	181	177	174
1.80	CUT	0	0	1	2	3	5	7	9	11	14	17	20	23	27	31	34	38	43	47	51	56
	FILL	281	274	266	260	253	247	241	235	230	225	220	215	211	207	202	199	195	191	187	184	181
1.85	CUT	0	0	1	2	3	5	7	9	11	14	17	20	23	26	30	34	38	42	46	50	55
	FILL	289	281	274	267	261	255	249	243	238	233	228	223	218	214	210	206	202	198	194	191	188
1.90	CUT	0	0	1	2	3	5	6	9	11	13	16	19	23	26	29	33	37	41	45	49	54
	FILL	297	289	282	275	269	262	256	251	245	240	235	230	226	221	217	213	209	205	201	198	195
1.95	CUT	0	0	1	2	3	4	6	8	11	13	16	19	22	25	29	33	36	40	44	49	53
	FILL	305	297	290	283	276	270	264	258	253	248	243	238	233	229	224	220	216	212	208	205	201
2.00	CUT	0	0	1	2	3	4	6	8	10	13	16	19	22	25	28	32	36	40	44	48	52
	FILL	312	305	298	291	284	278	272	266	260	255	250	245	240	236	231	227	223	219	216	212	208

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)		1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00
1.00	CUT	78	84	90	96	102	109	115	121	128	134	141	147	154	161	167	174	181	188	195	201	208
	FILL	78	76	74	73	71	69	68	66	65	64	63	61	60	59	58	57	56	55	54	53	52
1.05	CUT	76	82	88	94	100	106	112	119	125	131	138	144	151	158	164	171	178	184	191	198	205
	FILL	84	82	80	78	77	75	73	72	70	69	68	66	65	64	63	62	60	59	58	57	56
1.10	CUT	74	80	86	92	98	104	110	116	122	129	135	142	148	155	161	168	175	181	188	195	202
	FILL	90	88	86	84	82	80	79	77	76	74	73	71	70	69	68	66	65	64	63	62	61
1.15	CUT	73	78	84	90	96	102	108	114	120	126	133	139	145	152	158	165	172	178	185	192	198
	FILL	96	94	92	90	88	86	84	83	81	79	78	77	75	74	73	71	70	69	68	67	66
1.20	CUT	71	77	82	88	94	100	106	112	118	124	130	137	143	149	156	162	169	175	182	189	195
	FILL	102	100	98	96	94	92	90	88	87	85	83	82	80	79	78	76	75	74	73	71	70
1.25	CUT	69	75	80	86	92	98	104	110	116	122	128	134	140	147	153	160	166	173	179	186	192
	FILL	109	106	104	102	100	98	96	94	92	90	89	87	86	84	83	81	80	79	78	76	75
1.30	CUT	68	73	79	84	90	96	102	107	113	119	126	132	138	144	151	157	163	170	176	183	189
	FILL	115	112	110	108	106	104	102	100	98	96	94	93	91	90	88	87	85	84	83	81	80
1.35	CUT	66	72	77	83	88	94	100	105	111	117	123	129	136	142	148	154	161	167	174	180	187
	FILL	121	119	116	114	112	110	107	105	104	102	100	98	97	95	93	92	90	89	88	86	85
1.40	CUT	65	70	76	81	87	92	98	104	109	115	121	127	133	139	146	152	158	165	171	177	184
	FILL	128	125	122	120	118	116	113	111	109	107	106	104	102	100	99	97	96	94	93	91	90
1.45	CUT	64	69	74	79	85	90	96	102	107	113	119	125	131	137	143	150	156	162	168	175	181
	FILL	134	131	129	126	124	122	119	117	115	113	111	110	108	106	104	103	101	100	98	97	95
1.50	CUT	63	68	73	78	83	89	94	100	106	111	117	123	129	135	141	147	153	160	166	172	179
	FILL	141	138	135	133	130	128	126	123	121	119	117	115	113	112	110	108	107	105	103	102	100
1.55	CUT	61	66	71	77	82	87	93	98	104	110	115	121	127	133	139	145	151	157	163	170	176
	FILL	147	144	142	139	137	134	132	129	127	125	123	121	119	117	116	114	112	110	109	107	106
1.60	CUT	60	65	70	75	80	86	91	97	102	108	113	119	125	131	137	143	149	155	161	167	174
	FILL	154	151	148	145	143	140	138	136	133	131	129	127	125	123	121	119	118	116	114	113	111
1.65	CUT	59	64	69	74	79	84	90	95	100	106	112	117	123	129	135	141	147	153	159	165	171
	FILL	161	158	155	152	149	147	144	142	139	137	135	133	131	129	127	125	123	122	120	118	117
1.70	CUT	58	63	68	73	78	83	88	93	99	104	110	116	121	127	133	139	145	151	157	163	169
	FILL	167	164	161	158	156	153	151	148	146	143	141	139	137	135	133	131	129	127	125	124	122
1.75	CUT	57	62	66	71	76	81	87	92	97	103	108	114	119	125	131	137	143	149	155	161	167
	FILL	174	171	168	165	162	160	157	154	152	150	147	145	143	141	139	137	135	133	131	129	128
1.80	CUT	56	60	65	70	75	80	85	90	96	101	107	112	118	123	129	135	141	147	152	158	164
	FILL	181	178	175	172	169	166	163	161	158	156	153	151	149	147	145	143	141	139	137	135	133
1.85	CUT	55	59	64	69	74	79	84	89	94	100	105	110	116	122	127	133	139	145	150	156	162
	FILL	188	184	181	178	175	173	170	167	165	162	160	157	155	153	151	149	147	145	143	141	139
1.90	CUT	54	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	109	114	120	125	131	137	143	148	154	160
	FILL	195	191	188	185	182	179	176	174	171	168	166	163	161	159	157	155	152	150	148	147	145
1.95	CUT	53	57	62	67	71	76	81	86	91	97	102	107	113	118	124	129	135	141	147	152	158
	FILL	201	198	195	192	189	186	183	180	177	175	172	170	167	165	163	161	158	156	154	152	150
2.00	CUT	52	56	61	66	70	75	80	85	90	95	100	106	111	117	122	128	133	139	145	150	156
	FILL	208	205	202	198	195	192	189	187	184	181	179	176	174	171	169	167	164	162	160	158	156

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
0.00	CUT	0	31	62	94	125	156	187	219	250	281	312	344	375	406	437	469	500	531	562	594	625
	FILL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	CUT	0	16	42	70	100	130	161	191	222	253	284	315	346	377	408	439	471	502	533	564	595
	FILL	31	16	10	8	6	5	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	1
0.10	CUT	0	10	31	56	83	112	141	170	200	230	260	291	321	352	383	414	444	475	506	537	568
	FILL	62	42	31	25	21	18	16	14	12	11	10	10	9	8	8	7	7	7	6	6	6
0.15	CUT	0	8	25	47	71	98	125	153	182	211	240	270	300	330	360	391	421	452	482	513	543
	FILL	94	70	56	47	40	35	31	28	26	23	22	20	19	18	17	16	15	14	13	13	12
0.20	CUT	0	6	21	40	62	87	112	139	167	195	223	252	281	311	340	370	400	430	460	490	521
	FILL	125	100	83	71	62	56	50	45	42	38	36	33	31	29	28	26	25	24	23	22	21
0.25	CUT	0	5	18	35	56	78	102	128	154	181	208	236	265	293	322	352	381	411	440	470	500
	FILL	156	130	112	98	87	78	71	65	60	56	52	49	46	43	41	39	37	36	34	33	31
0.30	CUT	0	4	16	31	50	71	94	118	143	169	195	222	250	278	306	335	364	393	422	451	481
	FILL	187	161	141	125	112	102	94	87	80	75	70	66	62	59	56	54	51	49	47	45	43
0.35	CUT	0	4	14	28	45	65	87	109	133	158	184	210	237	264	292	320	348	376	405	434	463
	FILL	219	191	170	153	139	128	118	109	102	96	90	85	81	77	73	70	67	64	61	59	57
0.40	CUT	0	3	12	26	42	60	80	102	125	149	174	199	225	251	278	306	333	361	389	418	446
	FILL	250	222	200	182	167	154	143	133	125	118	111	105	100	95	91	87	83	80	77	74	71
0.45	CUT	0	3	11	23	38	56	75	96	118	141	164	189	214	240	266	293	320	347	375	403	431
	FILL	281	253	230	211	195	181	169	158	149	141	133	127	121	115	110	105	101	97	94	90	87
0.50	CUT	0	3	10	22	36	52	70	90	111	133	156	180	205	230	255	281	308	334	362	389	417
	FILL	312	284	260	240	223	208	195	184	174	164	156	149	142	136	130	125	120	116	112	108	104
0.55	CUT	0	3	10	20	33	49	66	85	105	127	149	172	196	220	245	270	296	323	349	376	403
	FILL	344	315	291	270	252	236	222	210	199	189	180	172	164	158	151	145	140	135	130	126	122
0.60	CUT	0	2	9	19	31	46	62	81	100	121	142	164	187	211	236	260	286	311	337	364	391
	FILL	375	346	321	300	281	265	250	237	225	214	205	196	187	180	173	167	161	155	150	145	141
0.65	CUT	0	2	8	18	29	43	59	77	95	115	136	158	180	203	227	251	276	301	327	353	379
	FILL	406	377	352	330	311	293	278	264	251	240	230	220	211	203	196	189	182	176	170	165	160
0.70	CUT	0	2	8	17	28	41	56	73	91	110	130	151	173	196	219	242	267	291	316	342	368
	FILL	437	408	383	360	340	322	306	292	278	266	255	245	236	227	219	211	204	198	191	186	180
0.75	CUT	0	2	7	16	26	39	54	70	87	105	125	145	167	189	211	234	258	282	307	332	357
	FILL	469	439	414	391	370	352	335	320	306	293	281	270	260	251	242	234	227	220	213	207	201
0.80	CUT	0	2	7	15	25	37	51	67	83	101	120	140	161	182	204	227	250	274	298	322	347
	FILL	500	471	444	421	400	381	364	348	333	320	308	296	286	276	267	258	250	242	235	229	222
0.85	CUT	0	2	7	14	24	36	49	64	80	97	116	135	155	176	198	220	242	266	289	313	338
	FILL	531	502	475	452	430	411	393	376	361	347	334	323	311	301	291	282	274	266	258	251	244
0.90	CUT	0	2	6	13	23	34	47	61	77	94	112	130	150	170	191	213	235	258	281	305	329
	FILL	562	533	506	482	460	440	422	405	389	375	362	349	337	327	316	307	298	289	281	274	266
0.95	CUT	0	2	6	13	22	33	45	59	74	90	108	126	145	165	186	207	229	251	274	297	321
	FILL	594	564	537	513	490	470	451	434	418	403	389	376	364	353	342	332	322	313	305	297	289
1.00	CUT	0	1	6	12	21	31	43	57	71	87	104	122	141	160	180	201	222	244	266	289	312
	FILL	625	595	568	543	521	500	481	463	446	431	417	403	391	379	368	357	347	338	329	321	312

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)		1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00
0.00	CUT	625	656	687	719	750	781	812	844	875	906	937	969	1000	1031	1062	1094	1125	1156	1187	1219	1250
	FILL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	CUT	595	626	658	689	720	751	782	814	845	876	907	938	970	1001	1032	1063	1095	1126	1157	1188	1220
	FILL	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0.10	CUT	568	599	630	661	692	723	754	786	817	848	879	910	941	972	1003	1035	1066	1097	1128	1159	1190
	FILL	6	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
0.15	CUT	543	574	605	636	667	698	728	759	790	821	852	883	914	945	976	1007	1038	1070	1101	1132	1163
	FILL	12	12	11	11	10	10	10	9	9	9	9	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7
0.20	CUT	521	551	582	612	643	673	704	735	766	796	827	858	889	920	951	982	1012	1043	1074	1105	1136
	FILL	21	20	19	19	18	17	17	16	16	15	15	14	14	14	13	13	13	12	12	12	11
0.25	CUT	500	530	560	590	621	651	681	712	742	773	804	834	865	896	926	957	988	1019	1049	1080	1111
	FILL	31	30	29	28	27	26	25	24	24	23	22	22	21	21	20	20	19	19	18	18	17
0.30	CUT	481	510	540	570	600	630	660	690	721	751	781	812	842	873	903	934	964	995	1026	1056	1087
	FILL	43	42	40	39	38	36	35	34	33	32	31	30	30	29	28	27	27	26	26	25	24
0.35	CUT	463	492	522	551	581	610	640	670	700	730	760	790	821	851	881	911	942	972	1003	1033	1064
	FILL	57	55	53	51	49	48	46	45	44	43	41	40	39	38	37	36	36	35	34	33	33
0.40	CUT	446	475	504	533	562	592	621	651	681	710	740	770	800	830	860	890	920	951	981	1011	1042
	FILL	71	69	67	65	63	61	59	57	56	54	53	51	50	49	48	47	45	44	43	43	42
0.45	CUT	431	459	488	517	545	574	604	633	662	692	721	751	780	810	840	870	900	930	960	990	1020
	FILL	87	84	82	79	77	74	72	70	68	67	65	63	62	60	59	58	56	55	54	53	52
0.50	CUT	417	445	473	501	529	558	587	616	645	674	703	732	762	791	821	851	880	910	940	970	1000
	FILL	104	101	98	95	92	89	87	84	82	80	78	76	74	73	71	69	68	66	65	64	63
0.55	CUT	403	431	458	486	514	543	571	600	628	657	686	715	744	773	803	832	862	891	921	951	980
	FILL	122	118	115	111	108	105	102	100	97	95	92	90	88	86	84	82	80	79	77	76	74
0.60	CUT	391	418	445	472	500	528	556	584	612	641	670	698	727	756	785	814	844	873	902	932	962
	FILL	141	136	132	129	125	122	118	115	113	110	107	105	102	100	98	96	94	92	90	88	87
0.65	CUT	379	405	432	459	486	514	542	570	598	626	654	683	711	740	769	798	827	856	885	914	943
	FILL	160	155	151	147	143	139	135	132	129	126	123	120	117	115	112	110	108	106	104	102	100
0.70	CUT	368	394	420	447	474	501	528	556	583	611	639	667	696	724	753	781	810	839	868	897	926
	FILL	180	175	170	166	161	157	153	149	146	142	139	136	133	130	128	125	123	120	118	116	113
0.75	CUT	357	383	409	435	462	488	515	542	570	597	625	653	681	709	737	766	794	823	851	880	909
	FILL	201	195	190	185	180	176	171	167	164	160	156	153	150	146	143	141	138	135	133	130	128
0.80	CUT	347	372	398	424	450	476	503	530	557	584	611	639	667	695	722	751	779	807	836	864	893
	FILL	222	216	211	205	200	195	190	186	182	178	174	170	167	163	160	157	154	151	148	145	143
0.85	CUT	338	363	388	413	439	465	491	518	544	571	598	626	653	681	708	736	764	792	820	849	877
	FILL	244	238	232	226	220	215	210	205	201	196	192	188	184	181	177	174	170	167	164	161	158
0.90	CUT	329	353	378	403	429	454	480	506	533	559	586	613	640	667	695	722	750	778	806	834	862
	FILL	266	260	253	247	241	235	230	225	220	215	211	207	203	199	195	191	188	184	181	178	175
0.95	CUT	321	345	369	394	419	444	469	495	521	548	574	601	627	654	682	709	736	764	792	819	847
	FILL	289	282	275	269	262	256	251	245	240	235	230	226	221	217	213	209	205	201	198	195	191
1.00	CUT	313	336	360	384	409	434	459	485	510	536	562	589	615	642	669	696	723	751	778	806	833
	FILL	312	305	298	291	284	278	272	266	260	255	250	245	240	236	231	227	223	219	216	212	208

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
1.00	CUT	0	1	6	12	21	31	43	57	71	87	104	122	141	160	180	201	222	244	266	289	312
	FILL	625	595	568	543	521	500	481	463	446	431	417	403	391	379	368	357	347	338	329	321	313
1.05	CUT	0	1	5	12	20	30	42	55	69	84	101	118	136	155	175	195	216	238	260	282	305
	FILL	656	626	599	574	551	530	510	492	475	459	445	431	418	405	394	383	372	363	353	345	336
1.10	CUT	0	1	5	11	19	29	40	53	67	82	98	115	132	151	170	190	211	232	253	275	298
	FILL	687	658	630	605	582	560	540	522	504	488	473	458	445	432	420	409	398	388	378	369	360
1.15	CUT	0	1	5	11	19	28	39	51	65	79	95	111	129	147	166	185	205	226	247	269	291
	FILL	719	689	661	636	612	590	570	551	533	517	501	486	472	459	447	435	424	413	403	394	384
1.20	CUT	0	1	5	10	18	27	38	49	63	77	92	108	125	143	161	180	200	220	241	262	284
	FILL	750	720	692	667	643	621	600	581	562	545	529	514	500	486	474	462	450	439	429	419	409
1.25	CUT	0	1	5	10	17	26	36	48	61	74	89	105	122	139	157	176	195	215	235	256	278
	FILL	781	751	723	698	673	651	630	610	592	574	558	543	528	514	501	488	476	465	454	444	434
1.30	CUT	0	1	4	10	17	25	35	46	59	72	87	102	118	135	153	171	190	210	230	251	272
	FILL	812	782	754	728	704	681	660	640	621	604	587	571	556	542	528	515	503	491	480	469	459
1.35	CUT	0	1	4	9	16	24	34	45	57	70	84	100	115	132	149	167	186	205	225	245	266
	FILL	844	814	786	759	735	712	690	670	651	633	616	600	584	570	556	542	530	518	506	495	485
1.40	CUT	0	1	4	9	16	24	33	44	56	68	82	97	113	129	146	164	182	201	220	240	260
	FILL	875	845	817	790	766	742	721	700	681	662	645	628	612	598	583	570	557	544	533	521	510
1.45	CUT	0	1	4	9	15	23	32	43	54	67	80	95	110	126	142	160	178	196	215	235	255
	FILL	906	876	848	821	796	773	751	730	710	692	674	657	641	626	611	597	584	571	559	548	536
1.50	CUT	0	1	4	9	15	22	31	41	53	65	78	92	107	123	139	156	174	192	211	230	250
	FILL	937	907	879	852	827	804	781	760	740	721	703	686	670	654	639	625	611	598	586	574	562
1.55	CUT	0	1	4	8	14	22	30	40	51	63	76	90	105	120	136	153	170	188	207	226	245
	FILL	969	938	910	883	858	834	812	790	770	751	732	715	698	683	667	653	639	626	613	601	589
1.60	CUT	0	1	4	8	14	21	30	39	50	62	74	88	102	117	133	150	167	184	203	221	240
	FILL	1000	970	941	914	889	865	842	821	800	780	762	744	727	711	696	681	667	653	640	627	615
1.65	CUT	0	1	4	8	14	21	29	38	49	60	73	86	100	115	130	146	163	181	199	217	236
	FILL	1031	1001	972	945	920	896	873	851	830	810	791	773	756	740	724	709	695	681	667	654	642
1.70	CUT	0	1	3	8	13	20	28	37	48	59	71	84	98	112	128	143	160	177	195	213	231
	FILL	1062	1032	1003	976	951	926	903	881	860	840	821	803	785	769	753	737	722	708	695	682	669
1.75	CUT	0	1	3	7	13	20	27	36	47	58	69	82	96	110	125	141	157	174	191	209	227
	FILL	1094	1063	1035	1007	982	957	934	911	890	870	851	832	814	798	781	766	751	736	722	709	696
1.80	CUT	0	1	3	7	13	19	27	36	45	56	68	80	94	108	123	138	154	170	188	205	223
	FILL	1125	1095	1066	1038	1012	988	964	942	920	900	880	862	844	827	810	794	779	764	750	736	723
1.85	CUT	0	1	3	7	12	19	26	35	44	55	66	79	92	106	120	135	151	167	184	201	219
	FILL	1156	1126	1097	1070	1043	1019	995	972	951	930	910	891	873	856	839	823	807	792	778	764	751
1.90	CUT	0	1	3	7	12	18	26	34	43	54	65	77	90	104	118	133	148	164	181	198	216
	FILL	1187	1157	1128	1101	1074	1049	1026	1003	981	960	940	921	902	885	868	851	836	820	806	792	778
1.95	CUT	0	1	3	7	12	18	25	33	43	53	64	76	88	102	116	130	145	161	178	195	212
	FILL	1219	1188	1159	1132	1105	1080	1056	1033	1011	990	970	951	932	914	897	880	864	849	834	819	806
2.00	CUT	0	1	3	7	11	17	24	33	42	52	63	74	87	100	113	128	143	158	175	191	208
	FILL	1250	1220	1190	1163	1136	1111	1087	1064	1042	1020	1000	980	962	943	926	909	893	877	862	847	833

ตารางที่ 8.3 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

		1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80	1.85	1.90	1.95	2.00
1.00	CUT	313	336	360	384	409	434	459	485	510	536	562	589	615	642	669	696	723	751	778	806	833
	FILL	313	305	298	291	284	278	272	266	260	255	250	245	240	236	231	227	223	219	216	212	208
1.05	CUT	305	328	352	376	400	425	449	475	500	526	551	578	604	630	657	684	711	738	765	792	820
	FILL	336	328	320	313	306	300	293	287	281	276	270	265	260	255	251	246	242	238	234	230	226
1.10	CUT	298	320	344	367	391	416	440	465	490	515	541	567	593	619	645	672	698	725	752	779	806
	FILL	360	352	344	336	329	322	315	309	303	297	291	285	280	275	270	265	261	256	252	248	244
1.15	CUT	291	313	336	359	383	407	431	456	480	505	531	556	582	608	634	660	686	713	740	767	794
	FILL	384	376	367	359	352	344	337	331	324	318	312	306	301	295	290	285	280	276	271	267	262
1.20	CUT	284	306	329	352	375	399	422	447	471	496	521	546	571	597	623	649	675	701	728	754	781
	FILL	409	400	391	383	375	367	360	353	346	340	333	327	321	316	310	305	300	295	290	286	281
1.25	CUT	278	300	322	344	367	391	414	438	462	487	511	536	561	587	612	638	664	690	716	743	769
	FILL	434	425	416	407	399	391	383	376	369	362	355	349	343	337	331	326	320	315	310	305	300
1.30	CUT	272	293	315	337	360	383	406	430	454	478	502	527	552	577	602	628	653	679	705	731	758
	FILL	459	449	440	431	422	414	406	399	391	384	377	371	364	358	352	346	341	335	330	325	320
1.35	CUT	266	287	309	331	353	376	399	422	445	469	493	518	542	567	592	617	643	668	694	720	746
	FILL	485	475	465	456	447	438	430	422	414	407	400	393	386	380	373	367	362	356	350	345	340
1.40	CUT	260	281	303	324	346	369	391	414	437	461	485	509	533	558	583	608	633	658	684	709	735
	FILL	510	500	490	480	471	462	454	445	437	430	422	415	408	402	395	389	383	377	371	366	360
1.45	CUT	255	276	297	318	340	362	384	407	430	453	477	501	525	549	573	598	623	648	674	699	725
	FILL	536	526	515	505	496	487	478	469	461	453	445	438	431	424	417	411	404	398	392	386	381
1.50	CUT	250	270	291	312	333	355	377	400	422	445	469	492	516	540	564	589	614	639	664	689	714
	FILL	562	551	541	531	521	511	502	493	485	477	469	461	454	446	439	433	426	420	414	408	402
1.55	CUT	245	265	285	306	327	349	371	393	415	438	461	484	508	532	556	580	604	629	654	679	704
	FILL	589	578	567	556	546	536	527	518	509	501	492	484	477	469	462	455	448	442	435	429	423
1.60	CUT	240	260	280	301	321	343	364	386	408	431	454	477	500	524	547	571	596	620	645	669	694
	FILL	615	604	593	582	571	561	552	542	533	525	516	508	500	492	485	478	471	464	457	451	444
1.65	CUT	236	255	275	295	316	337	358	380	402	424	446	469	492	516	539	563	587	611	636	660	685
	FILL	642	630	619	608	597	587	577	567	558	549	540	532	524	516	508	500	493	486	479	473	466
1.70	CUT	231	251	270	290	310	331	352	373	395	417	439	462	485	508	531	555	579	603	627	651	676
	FILL	669	657	645	634	623	612	602	592	583	573	564	556	547	539	531	524	516	509	502	495	488
1.75	CUT	227	246	265	285	305	326	346	367	389	411	433	455	478	500	524	547	570	594	618	642	667
	FILL	696	684	672	660	649	638	628	617	608	598	589	580	571	563	555	547	539	532	524	517	510
1.80	CUT	223	242	261	280	300	320	341	362	383	404	426	448	471	493	516	539	562	586	610	634	658
	FILL	723	711	698	686	675	664	653	643	633	623	614	604	596	587	579	570	562	555	547	540	533
1.85	CUT	219	238	256	276	295	315	335	356	377	398	420	442	464	486	509	532	555	578	602	625	649
	FILL	751	738	725	713	701	690	679	668	658	648	639	629	620	611	603	594	586	578	570	563	556
1.90	CUT	216	234	252	271	290	310	330	350	371	392	414	435	457	479	502	524	547	570	594	617	641
	FILL	778	765	752	740	728	716	705	694	684	674	664	654	645	636	627	618	610	602	594	586	579
1.95	CUT	212	230	248	267	286	305	325	345	366	386	408	429	451	473	495	517	540	563	586	609	633
	FILL	806	792	779	767	754	743	731	720	709	699	689	679	669	660	651	642	634	625	617	609	602
2.00	CUT	208	226	244	262	281	300	320	340	360	381	402	423	444	466	488	510	533	556	579	602	625
	FILL	833	820	806	794	781	769	758	746	735	725	714	704	694	685	676	667	658	649	641	633	625

บทที่ 9
การให้น้ำทางผิวดิน
(Surface Irrigation)

ในการให้น้ำทางผิวดิน เราให้น้ำแก่พืชโดยให้มันขังหรือไหลไปบนผิวดินและซึมเข้าไปในดินตรงจุดที่น้ำนั้นขังหรือไหลผ่าน ดังนั้นอาจจะถือว่าผิวดินเป็นทางน้ำ และทางน้ำที่ว่านี้จะมีรูปร่าง ขนาด และคุณสมบัติทางชลศาสตร์แตกต่างกันออกไป กล่าวคือจะมีขนาดตั้งแต่เป็นร่องน้ำเล็ก ๆ เช่นในการให้น้ำทางร่องคูเล็ก(Corrugation Irrigation)หรือ ร่องคูปกติ (Furrow Irrigation) จนกระทั่งขนาดใหญ่ขึ้นเช่นในแบบท่วมเป็นผืน (Border Irrigation) ซึ่งผิวดินปกคลุมด้วยน้ำทั้งหมดเป็นต้น เมื่อพิจารณาจากลักษณะของทางน้ำดังกล่าวแล้ว เราอาจแบ่งการชลประทานแบบผิวดินออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ แบบให้น้ำท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่ (Flood) และแบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่อง (Furrow) จากทั้งสองแบบนี้เรายังสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีกดังรูป

การให้น้ำทางผิวดิน
(Surface Irrigation)

- แบบท่วมเป็นผืน (Flood)
  - ท่วมเป็นผืนยาวตรง (Border)
  - ท่วมเป็นผืนยาวตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Check)
  - ท่วมเป็นอ่าง (Square Basin)
  - ท่วมตามยถากรรม (Wild Flooding)
- แบบให้ท่วมในร่อง (Furrow)
  - ร่องคูแบบปกติ (Convention)
  - ร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour)
  - ร่องคูเล็ก (Corrugation)
  - ร่องคูรูปร่างต่าง ๆ (Miscellaneous Shape)
  - ร่องคูที่มีแนวแบบต่าง ๆ (Miscellaneous Allignment)

การให้น้ำทางผิวดินนี้รู้จักใช้กันมาเป็นเวลานานหลายศตวรรษแล้วและในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมกันอยู่โดยทั่วไป ทั้งนี้เพราะการให้น้ำแบบนี้มีข้อดีหลายอย่างซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้ คือ

1. สามารถที่จะใช้ได้กับดินและพืชเกือบทุกชนิด นอกจากนั้นระบบการให้น้ำยังสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับขนาดและวิธีการส่งน้ำทุกประเภท

2. มีความคล่องตัวสูง การให้น้ำทางผิวดินนี้สามารถให้น้ำแก่พืชได้ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่มิได้ให้น้ำ เช่น ให้น้ำแก่พืช 10 ถึง 14 วันต่อครั้ง แต่ใช้เวลาให้น้ำเพียง 1 ถึง 3 วัน ความคล่องตัวนี้มีความสำคัญมากในกรณีที่อากาศร้อนจัดและพืชต้องการน้ำมากเป็นพิเศษเป็นเวลาหลายวันติดต่อกัน

3. ค่าลงทุนถูกเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบอื่น ๆ เนื่องจากว่าการชลประทานแบบนี้ให้น้ำไหลไปบนผิวดินด้วยแรงดึงดูดของโลก ในกรณีที่ต้องการเครื่องสูบน้ำจึงมักจะไม่ต้องการแรงม้าสูง นอกจากนั้นยังไม่ค่อยมีอาคารชลประทานหรือเครื่องมือที่ต้องการการบำรุงรักษาอยู่เสมอด้วย

4. ไว้วางใจได้ กล่าวคือถ้ามีน้ำอยู่แล้วจะให้น้ำแก่พืชเมื่อไรก็ได้โดยไม่ต้องพึ่งพาอาศัยเครื่องมืออื่น ๆ ดังนั้นความเสียหายของพืชเนื่องจากจัดหาน้ำให้ไม่ทันเวลาจึงเกิดขึ้นได้ยาก

5. เมื่อมีการออกแบบที่เหมาะสม การให้น้ำแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงเท่า ๆ กับหรือมากกว่าแบบอื่น ๆ

สำหรับข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดินก็มี

1. ต้องการการปรับพื้นที่ให้มีความลาดเทสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ไม่เหมาะสมกับพื้นที่ที่ไม่ราบอยู่แล้ว เนื่องจากค่าปรับพื้นที่อาจจะสูงมาก หรือเนื่องจากชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนั้นตื้นเกินไป

2. อาจเกิดการกัดเซาะ (Erosion) ขึ้นได้ในกรณีที่ความลาดเทของพื้นที่ชันมาก

3. คันดินและคูส่งน้ำมักจะเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องมือเตรียมดินและเก็บเกี่ยว

4. อาจก่อให้เกิดปัญหาการระบายน้ำขึ้นได้ง่ายถ้าหากใช้น้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพหรือเลือกวิธีการให้น้ำไม่ถูกต้อง

5. ใช้แรงงานมาก

9.1 การออกแบบการให้น้ำทางผิวดิน

9.1.1 การรวบรวมข้อมูลสำหรับออกแบบ

ในการออกแบบการให้น้ำทางผิวดินนั้น จำเป็นต้องมีข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับลักษณะของภูมิประเทศ ดิน พืชที่ปลูก ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้ต้องจัดหามาก่อนเพื่อที่จะได้เป็นแนวทางเลือกวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมและเป็นแนวทางในการออกแบบต่อไป ข้อมูลเหล่านี้อาจจะแบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่มด้วยกัน คือ

ก. ข้อมูลที่เกี่ยวกับน้ำ ซึ่งได้แก่ปริมาณน้ำที่จะได้รับทั้งหมดตลอดปีหรือตลอดฤดูกาลเพาะปลูก วิธีการส่งน้ำ ว่าเป็นแบบส่งน้ำตลอดเวลา ส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotation) ฯลฯ อัตราการส่งน้ำตามปกติ และในช่วงเวลาที่ต้องการน้ำมาก คุณภาพของน้ำ ปริมาณน้ำฝนที่คาดว่าจะตกและสามารถนำมาใช้ได้ในระหว่างการเพาะปลูก ความต้องการน้ำของพืชที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดจนปริมาณน้ำที่จะต้องเผื่อไว้สำหรับชะล้างเกลือในดินด้วย

ข. ข้อมูลที่เกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศ ซึ่งได้แก่ขนาด รูปร่าง และความลาดเทของพื้นที่ จุดที่จะส่งน้ำเข้าพื้นที่ และทางระบายน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นต้น

ค. ข้อมูลที่เกี่ยวกับดิน ซึ่งได้แก่ความมั่นคงแข็งแรงของดิน ความเหมาะสมในการสร้างคลองส่งน้ำ ความลึกของชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ความสามารถในการเก็บความชื้นของดิน คุณสมบัติของดินที่อาจเปลี่ยนไปหลังจากให้น้ำขังบนผิวดินในขนาดเดียวกันกับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในขณะที่ให้น้ำแก่พืช ปริมาณของเกลือที่อยู่ในดิน ความง่ายต่อการถูกกัดเซาะ และความสามารถในการระบายน้ำของดิน

ง. ข้อมูลที่เกี่ยวกับพืช ซึ่งได้แก่ชนิดของพืชและขนาดของพื้นที่ที่จะปลูก ความลึกของราก ความต้องการน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุพืช วิธีการปลูกและเก็บเกี่ยว การปลูกพืชหมุนเวียน เป็นต้น

จ. ข้อมูลอื่น ๆ เช่น เครื่องมือเตรียมดินและเก็บเกี่ยวที่มีอยู่แล้ว เครื่องมือก่อสร้างหรือเครื่องมืออื่น ๆ ที่จะหามาหรือว่าจ้างมาทำงานได้ จำนวนเงินที่จะนำมาใช้ลงทุน ฯลฯ

9.1.2 การเลือกวิธีการให้น้ำ

การเลือกวิธีการให้น้ำแก่พืชให้เหมาะสมกับดิน พืชที่ปลูก และสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การเลือกวิธีการให้น้ำที่ไม่เหมาะสมนอกจากจะทำให้ค่าลงทุนสูงและได้ประโยชน์ไม่คุ้มค่าแล้ว ยังอาจทำให้พื้นที่เพาะปลูกเสียหายได้ เช่น ทำให้เกิดการชะล้างผิวดินและพาเอาปุ๋ยหรือแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไป ทำให้มีการสูญเสียน้ำมากขึ้น ทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นจนพื้นที่นั้นไม่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก และทำให้เกิดดินเค็ม เป็นต้น การเลือกวิธีการให้น้ำแบบหนึ่งแบบใดนั้นอาจพิจารณาเปรียบเทียบได้จากตารางที่ 9.1

9.1.3 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบ

เพื่อที่จะให้การใช้น้ำและดินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบชลประทานควรจะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ ดิน น้ำ และพืช และองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งอาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. จะต้องสามารถให้น้ำตามความต้องการของพืชได้ ความต้องการน้ำของพืชขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิด อายุ และฤดูกาลเพาะปลูก การให้น้ำแก่พืชอย่างพอเพียงนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่ยากถ้าไม่คำนึงถึงค่าลงทุน การออกแบบที่ดีจะต้องให้ระบบชลประทานนั้นสามารถให้น้ำแก่พืชได้ตามความต้องการโดยเสียค่าลงทุนน้อยที่สุด

2. จะต้องสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอและทั่วถึงกัน เนื่องจากลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำพืชที่แต่ละจุดอาจจะได้รับน้ำไม่เท่ากัน บางแห่งอาจจะได้รับมากเกินไป บางแห่งอาจจะได้รับน้ำไม่พอกับความต้องการ ผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้ระบบชลประทานนั้นสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอและทั่วถึงกันโดยให้มีความแตกต่างดังกล่าวน้อยที่สุด

3. จะต้องให้มีการกัดเซาะ (Erosion) น้อยที่สุด การกัดเซาะในวิธีการให้น้ำนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำและความลาดเทของพื้นที่ การออกแบบที่ดีจะต้องใช้อัตราการให้น้ำที่พอเหมาะ กล่าวคือน้ำจะต้องไปถึงปลายของพื้นที่ในเวลาพอสมควรโดยเกิดการกัดเซาะน้อยที่สุดหรืออยู่ในขนาดที่จะไม่เกิดความเสียหายแก่พื้นที่

4. จะต้องมีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด ในการให้น้ำแก่พืช น้ำบางส่วนอาจจะไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกหรือไหลซึมเลยเขตรากไป เพราะฉะนั้นจะต้องมีการออกแบบให้มีการสูญเสียน้ำดังกล่าวน้อยที่สุด น้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกออกไปหรือที่เราเรียกว่า "Runoff" นี้ อาจจะควบคุมหรือลดปริมาณได้โดยการลดอัตราการให้น้ำลงเมื่อน้ำที่ให้นั้นไหลไปเกือบถึงท้ายแปลงเพาะปลูกแล้ว

5. ควรจะนำเอาน้ำเหลือท้ายแปลงเพาะปลูก มาใช้ให้เป็นประโยชน์ถ้าหากว่าไม่ต้องลงทุนเพิ่มอีกมาก หรือมิฉะนั้นจะต้องจัดการระบายออกจากพื้นที่ไปเพื่อป้องกันมิให้เกิดน้ำขัง ซึ่งจะทำให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้เครื่องจักรกลเกษตร หรือเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง

ตารางที่ 9.1 ตารางเปรียบเทียบเพื่อการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำ

วิธีการให้น้ำ	พืชที่เหมาะสม	ลักษณะของพื้นที่ที่ใช้ได้ดี	อัตราการให้น้ำที่ต้องการ	ดินที่เหมาะสม	หมายเหตุ
ท่วมเป็นอ่างขนาดเล็ก (Small Basins)	ข้าว พืชหว่านเมล็ด หญ้าเลี้ยงสัตว์ พืชสวน	พื้นที่ราบหรือค่อนข้างราบ ระดับดินในอ่างจะต้องไม่ต่างกันมาก	สามารถดัดแปลงขนาดของอ่างให้เข้ากับอัตราการให้น้ำขนาดต่าง ๆ ได้	ใช้ได้ทั้งในดินที่มีอัตราการซึมสูงหรือต่ำ ไม่ควรใช้กับดินที่เป็นโคลนได้ง่าย นอกจากในนาข้าว	ค่าลงทุนค่อนข้างสูง (ส่วนใหญ่มาจากการทำคันดินและปรับพื้นที่) ต้องการแรงงานในการให้น้ำครั้งหนึ่ง ๆ มาก เมื่อใช้กับพืชที่ปลูกชิดกันจะต้องเสียพื้นที่สำหรับทำคันมาก คันดินจะเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องมือเตรียมดินและเก็บเกี่ยว ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง
ท่วมเป็นอ่างขนาดใหญ่ (Large Basins)	ข้าว พืชหว่านเมล็ด พืชไร่	พื้นที่ราบ ความแตกต่างระหว่างจุดสูงสุดและต่ำสุดในอ่างไม่ควรเกิน 10 ซม.	ต้องการอัตราการให้น้ำสูง	ดินที่มีอัตราการซึมต่ำ ดินเหนียว	ค่าลงทุนถูกกว่าแบบแรก ต้องการแรงงานในการให้น้ำน้อยกว่าแบบท่วมเป็นอ่างขนาดเล็ก คันดินต้องมั่นคงแข็งแรง

ตารางที่ 9.1 ตารางเปรียบเทียบเพื่อการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำ (ต่อ)

วิธีการให้น้ำ	พืชที่เหมาะสม	ลักษณะของพื้นที่ที่ใช้ได้ดี	อัตราการให้น้ำที่ต้องการ	ดินที่เหมาะสม	หมายเหตุ
ท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Checks)	ข้าว พืชหว่าน เมล็ด หญ้าเลี้ยงสัตว์	พื้นดินเป็นคลื่น ความลาดเทน้อยกว่า 2%	ต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่า 30 ลิตรต่อนาที	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว ดินที่เมื่อแห้งแล้วไม่แตกระแหงได้ง่าย	ต้องการการปรับพื้นที่บ้าง อาจจะให้น้ำท่วมตลอดเวลา เช่น ในนาข้าว หรือท่วมเป็นครั้งคราว เช่น บนพื้นที่ที่ปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น
ให้ท่วมเป็นผืนกว้างไม่เกิน 5 ม. (Narrow Borders)	หญ้าเลี้ยงสัตว์ พืชหว่านเมล็ด องุ่น และพืชสวน	ต้องปรับดินให้เรียบสม่ำเสมอ และมีความลาดเทไม่เกิน 7%	ต้องการอัตราการให้น้ำค่อนข้างสูง	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว	คันดินจะต้องอยู่ในทิศทางของแนวที่มีความลาดเทมากที่สุด ผิวหน้าตัดระหว่างคันดินจะต้องเป็นพื้นราบสม่ำเสมอ
ให้ท่วมเป็นผืนกว้าง (Wide Border) ไม่เกิน 30 เมตร	พืชหว่านเมล็ด และพืชสวน	ต้องปรับพื้นที่ให้เรียบสม่ำเสมอ และมีความลาดเทไม่เกิน 0.5%	ต้องการอัตราการให้น้ำสูงมาก อาจสูงถึง 600 ลิตรต่อวินาที	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว และลึก	ต้องการการปรับพื้นที่ให้ได้ระดับเป็นพิเศษ ต้องการแรงงานในการให้น้ำน้อย ไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร

ตารางที่ 9.1 ตารางเปรียบเทียบเพื่อการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำ (ต่อ)

วิธีการให้น้ำ	พืชที่เหมาะสม	ลักษณะของพื้นที่ที่ใช้ได้ดี	อัตราการให้น้ำที่ต้องการ	ดินที่เหมาะสม	หมายเหตุ
ปล่อยให้ท่วมตามยถากรรม (Wild Flooding)	หญ้าเลี้ยงสัตว์ พืชหว่านเมล็ด	พื้นที่ไม่สม่ำเสมอ และมีความลาดไม่เกิน 20%	ต้องการอัตราการให้น้ำขนาดเล็กถ้าพื้นที่ชันมาก และเพิ่มอัตราการให้น้ำมากขึ้นบนพื้นที่ราบกว่า	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว และดินที่ไม่แตกระแหงง่ายเมื่อแห้ง	ไม่ต้องการการปรับพื้นที่มากนัก ค่าลงทุนต่ำ ใช้ได้ดีกับดินที่ทึบน้ำหรือดินที่ไม่ลึกมาก เพราะถ้าดินโปร่งจะมีการสูญเสียน้ำมาก
ให้ท่วมเป็นอ่างแบบขั้นบันได (Benched Terraces)	พืชหว่านเมล็ด พืชไร่ หญ้าเลี้ยงสัตว์ พืชสวน	ความลาดเทของพื้นที่อาจจะชันได้ถึง 20%	ต้องการอัตราการให้น้ำไม่เกิน 350 ลิตรต่อวินาที	ดินจะต้องลึกพอเพื่อที่ว่าเมื่อปรับพื้นที่แล้วจะยังสามารถปลูกพืชได้ดี	จะต้องสร้างขั้นหรือขั้นบันได (Terrace) ด้วยความระมัดระวัง และจะต้องมีทางระบายน้ำที่มากเกินพอไว้ด้วย การให้น้ำจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง มิฉะนั้นอาจจะเกิดน้ำล้นและกัดเซาะดินอย่างรุนแรงได้

ตารางที่ 9.1 ตารางเปรียบเทียบเพื่อการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำ (ต่อ)

วิธีการให้น้ำ	พืชที่เหมาะสม	ลักษณะของพื้นที่ที่ใช้ได้ดี	อัตราการให้น้ำที่ต้องการ	ดินที่เหมาะสม	หมายเหตุ
ให้น้ำในร่องคูตรง (Straight Furrows)	ผัก พืชที่ปลูกเป็นแถว สวนองุ่น และพืชสวนอื่น ๆ	พื้นที่มีความลาดเทสม่ำเสมอและไม่เกิน 2%	ต้องการอัตราการให้น้ำไม่เกิน 350 ลิตรต่อวินาที	ดินค่อนข้างเหนียวหรือดินเหนียวและดินที่ไม่แตกระแหงได้ง่ายเมื่อแห้ง	เหมาะกับพืชที่ไม่ชอบให้น้ำท่วมโคนต้น ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง เข้ากับเครื่องมือเตรียมดิน และเก็บเกี่ยวได้ดีมาก
ให้น้ำในร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Graded Contour Furrows)	ผัก พืชไร่ สวนองุ่น และพืชสวนอื่น ๆ	พื้นดินเป็นคลื่นแต่มีความลาดเทไม่เกิน 8%	ต้องการอัตราการให้น้ำไม่เกิน 100 ลิตรต่อวินาที	สามารถดัดแปลงความยาวของร่องคูให้เหมาะกับชนิดของดินได้	ต้องมีการควบคุมหนูนาและสัตว์ที่จะทำทำลายคันดิน อาจจะเกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงได้ถ้ามีฝนตกหนัก ต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก

ตารางที่ 9.1 ตารางเปรียบเทียบเพื่อการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำ (ต่อ)

วิธีการให้น้ำ	พืชที่เหมาะสม	ลักษณะของพื้นที่ที่ใช้ได้ดี	อัตราการให้น้ำที่ต้องการ	ดินที่เหมาะสม	หมายเหตุ
ให้น้ำในร่องคูเล็ก (Corruga-tions)	พืชที่ปลูกต้นชิดกัน เช่น ธัญญพืช อัลฟัลฟ่า หรือ หญ้าเลี้ยงสัตว์	พื้นที่มีความลาดเทสม่ำเสมอและไม่เกิน 10%	ต้องการอัตราการให้น้ำไม่เกิน 10 ลิตรต่อวินาที	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว	อาจจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากซึมเลยเขตรากหรือไหลออกนอกพื้นที่เพาะปลูกไป ต้องให้น้ำด้วยความระมัดระวัง เพื่อมิให้เกิดการกัดเซาะมากเกินไป อาจต้องการการปรับพื้นที่บ้างเล็กน้อย
ร่องคูแบบซิก-แซก (Zig-Zag Furrows)	สวนองุ่น bush berries และพืชสวน	พื้นที่มีความลาดเทสม่ำเสมอและไม่เกิน 1%	ต้องการอัตราการให้น้ำน้อยกว่าอัตราการให้น้ำในร่องคูตรง	ใช้ได้ดีกับดินที่มีอัตราการซึมต่ำ	วิธีนี้ใช้ลดความเร็วของน้ำในร่องคูลง เพื่อให้น้ำซึมลงไปในดินได้มากขึ้น

6. จะต้องออกแบบให้ใช้แรงงานในการให้น้ำน้อยที่สุด การออกแบบและวางแผนที่ดีจะทำให้ลดแรงงานในการให้น้ำลงได้มาก

7. ควรจะใช้พื้นที่สำหรับคลอง คูส่งน้ำและอาคารอื่น ๆ ให้น้อยที่สุด ตามปกติแล้วอาคารดังกล่าวจะใช้พื้นที่ราว 5 เปอร์เซนต์ของพื้นที่ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม พื้นที่ดังกล่าวอาจจะลดลงได้อีกถ้าได้มีการออกแบบที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วจะต้องระมัดระวังในเรื่องนี้มาก ในบางครั้งอาจจะต้องยอมลดประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency) ลงโดยการเพิ่มความยาวของร่องคู หรือแปลงให้น้ำท่วมเป็นผืน เพื่อลดพื้นที่ที่จะต้องเสียไปและเพื่อให้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานได้สะดวกขึ้น

8. จะต้องออกแบบระบบชลประทานให้เหมาะกับรูปร่างของพื้นที่ ในบางครั้งพื้นที่เพาะปลูกมิได้มีรูปสี่เหลี่ยม การออกแบบจึงควรจัดให้ใช้พื้นที่ได้มากที่สุด

9. จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับดินและลักษณะของภูมิประเทศ เนื่องจากความแตกต่างของเนื้อดิน ความลาดเทของพื้นที่ ความลึกของดิน ตลอดจนความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน จำนวนครั้งในการให้น้ำจึงแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจะต้องออกแบบให้แต่ละส่วนที่จะได้รับน้ำในเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

10. จะต้องคำนึงถึงความสะดวกในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรด้วย ในขณะที่กสิกรกำลังนิยมใช้เครื่องจักรกลเกษตรกันมากขึ้น การออกแบบจึงควรคำนึงถึงความต้องการข้อนี้ด้วย

9.2 ชลศาสตร์ของการไหลของน้ำบนผิวดิน

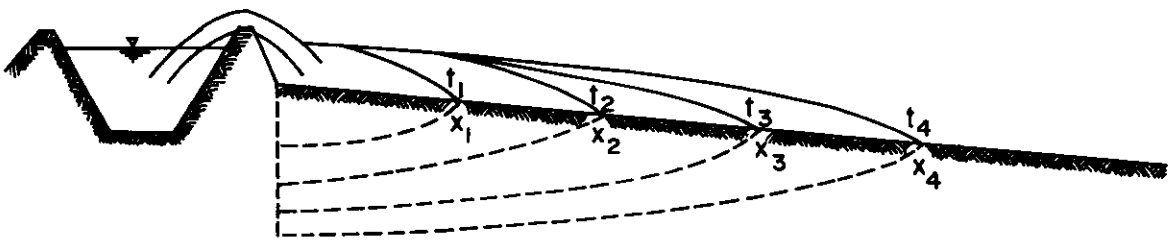
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ในการให้น้ำทางผิวดินนั้นเราให้น้ำแก่พืชโดยการปล่อยให้น้ำไหลไปบนผิวดินแล้วให้มันซึมลงไปเก็บไว้ให้พืชใช้ โดยหลักการแล้วเราอาจถือว่าผิวดินนั้นทำหน้าที่เป็นทางน้ำ แต่ทางน้ำดังกล่าวนี้แตกต่างจากทางน้ำอื่นที่เข้าใจกันโดยทั่ว ๆ ไปตรงที่ว่าโดยปกติแล้วมันจะแห้งและพื้นท้องน้ำมีการรั่วซึมได้มาก เมื่อเริ่มต้นให้น้ำโดยเปิดให้น้ำไหลเข้าทางหัวแปลง น้ำจะเคลื่อนตัวเป็นแผ่นบาง ๆ ไปตามความลาดเทของพื้นที่ บางส่วนจะซึมเข้าไปในดิน ที่เหลือก็จะเคลื่อนตัวไปข้างหน้า ถ้าหากอัตราการให้น้ำสูงกว่าผลรวมของอัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินน้ำก็จะเคลื่อนตัวไปข้างหน้าต่อไปเรื่อย ๆ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้น้ำจนกระทั่งน้ำเคลื่อนตัวไปถึงท้ายแปลงเรียกว่า **ช่วงน้ำหลาก** (Advance Phase) กราฟซึ่งพล็อตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำ (แกน y) กับระยะทางที่น้ำไหลไปถึงจุดต่าง ๆ นับจากหัวแปลง (แกน x) เรียกว่า **กราฟน้ำหลาก** (Advance Curve)

หลังจากที่น้ำไหลไปถึงท้ายแปลงแล้วถ้ายังไม่หยุดให้น้ำ ตลอดความยาวของแปลงก็จะมีน้ำขังอยู่ น้ำดังกล่าวก็จะไหลซึมลงไปเก็บกักไว้ในดิน บางส่วนก็จะไหลเลยท้ายแปลงออกไปเป็นน้ำผิวดิน (Runoff) ช่วงระยะเวลาหลังจากน้ำไหลไปถึงท้ายแปลงแล้วจนถึงเวลาที่หยุดให้น้ำเรียกว่า **ช่วงเก็บกัก** (Storage Phase)

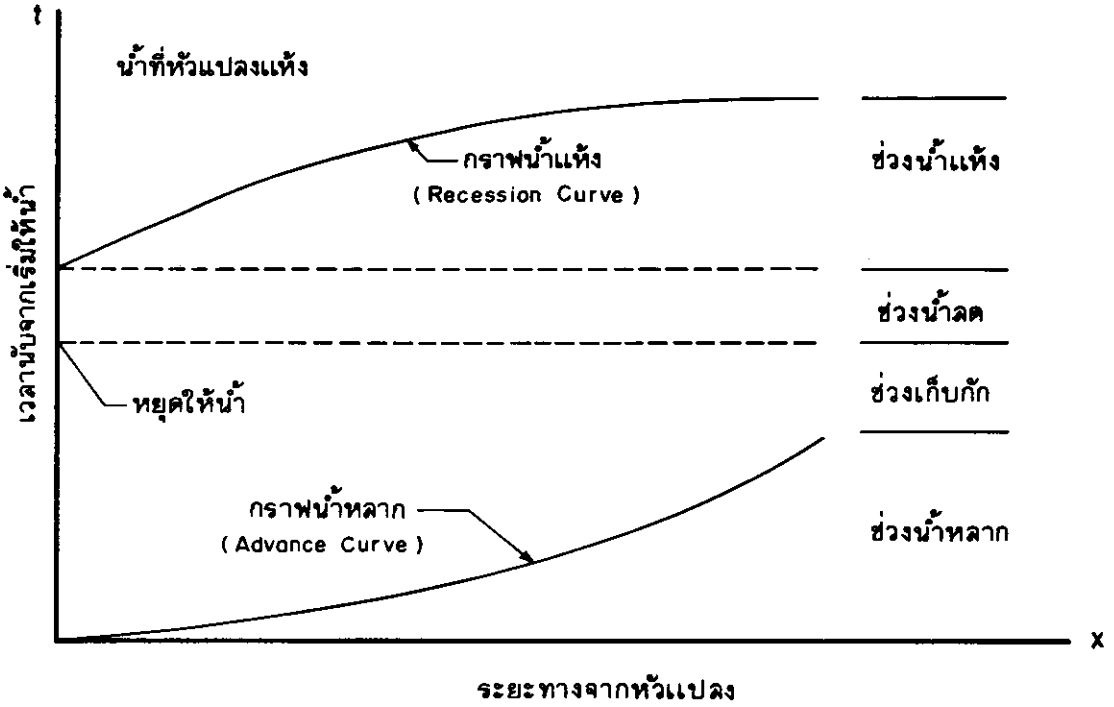
หลังจากหยุดให้น้ำที่หัวแปลงแล้วในแปลงอาจจะยังมีน้ำขังอยู่ แต่เนื่องจากว่ามีบางส่วนไหลซึมลงไปในดิน และบางส่วนไหลไปทางท้ายแปลงตามความลาดเทของพื้นที่ ระดับน้ำที่หัวแปลงก็จะค่อย ๆ ลดหายไป ส่วนอื่น ๆ ถัดมาก็จะแห้งตาม ช่วงระยะเวลานับจากหยุดให้น้ำจนกระทั่งน้ำที่หัวแปลงแห้งเรียกว่า **ช่วงน้ำลด** (Lag time)

หลังจากที่น้ำที่หัวแปลงแห้งแล้วส่วนอื่น ๆ ที่อยู่ต่ำกว่าก็จะแห้งตามมา ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นในการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวที่มีความลาดเทอย่างเห็นได้ชัดกว่าในการให้น้ำทางร่องดู (Furrow) ช่วงระยะเวลานับจากน้ำที่หัวแปลงแห้งถัดต่อ ๆ มาจนแห้งถึงท้ายแปลงเรียกว่า **ช่วงน้ำแห้ง** (Recession Phase) กราฟซึ่งเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจาก**เริ่มต้นให้น้ำ** กับระยะทางจากหัวแปลงถึงจุดต่าง ๆ ที่น้ำเริ่มแห้งเรียกว่า **กราฟน้ำแห้ง** (Recession Curve)

ลักษณะการไหลหลากของน้ำในช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) กราฟน้ำหลาก (Advance Curve) และกราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) แสดงไว้ในรูปที่ 9.1 และ 9.2



รูปที่ 9.1 แสดงลักษณะของการซึมประทานแบบผิวดินในช่วงน้ำหลาก



รูปที่ 9.2 ช่วงระยะเวลาต่างๆ ในการซึมประทานแบบผิวดิน

บทที่ 10

การให้น้ำทางร่องคูและการทดลองประเมินผล

10.1 การให้น้ำทางร่องคู (Furrow Irrigation)

การชลประทานแบบนี้ให้น้ำโดยปล่อยให้น้ำไหลไปในคูขนาดเล็กและให้น้ำซึมเข้าไปในดินทางข้าง ๆ และบนท้องคู การให้น้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกเป็นแถวและพืชที่ไม่ชอบให้น้ำท่วมโคน เช่น พวกผักต่าง ๆ ฝ้าย ข้าวโพด โดยปกติแล้วพืชเหล่านี้จะปลูกบนหลังคันซึ่งอยู่ระหว่างคูน้ำเล็ก ๆ สองคู คูดังกล่าวนี้ส่วนมากจะเป็นรูปตัววี (V) ในกรณีที่ดินมีอัตราการซึมต่ำมากก็อาจจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่สำหรับให้น้ำซึมเข้ามากขึ้น ซึ่งทำได้โดยการขยายท้องคูให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจนเป็นรูปตัวยู (U) พื้นคูรูปตัวยูดังกล่าวนี้อาจจะมีขนาดตั้งแต่ 15 ถึง 25 เซนติเมตร

รูปร่างของคู อาจจะเปลี่ยนไปได้หลังจากให้น้ำ เช่น คูมักจะตื้นขึ้นถ้าความลาดเทของพื้นที่ชันมากและคูที่อยู่บนพื้นที่ที่มีความลาดเทน้อยมักจะกว้างออก

ระยะระหว่างร่องคูจะขึ้นอยู่กับพืชที่ปลูก ชนิดของเครื่องมือเตรียมดินที่ใช้ และการไหลของน้ำทางด้านข้างซึ่งขึ้นอยู่กับเนื้อดินและระยะเวลาที่ให้น้ำ ดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีการไหลซึมทางด้านข้างได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ การเลือกระยะระหว่างร่องคูที่เหมาะสมจะทำให้การให้น้ำมีประสิทธิภาพดีขึ้น ดังนั้นหลังจากหยุดให้น้ำแล้วควรตรวจดูลักษณะการเปียกน้ำ (Wetting Pattern) ของดินตลอดหน้าตัดของร่องว่าการให้น้ำนั้นทั่วถึงหรือไม่ ถ้าไม่ทั่วถึงก็จะต้องลดระยะระหว่างร่องคูลงอีกเมื่อปลูกพืชครั้งใหม่ต่อไป

ความลาดเทของคูเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการให้น้ำแบบนี้ ถ้าความลาดเทของคูสม่ำเสมอตลอดความยาวการให้น้ำก็มักจะสม่ำเสมอ ในทางตรงกันข้ามถ้าความลาดเทไม่สม่ำเสมอ คูตอนที่ราบกว่าก็จะได้รับน้ำมาก ตอนที่มีความลาดเทมากก็จะได้รับน้ำน้อยกว่า โดยปกติแล้วความลาดเทของร่องคูไม่ควรจะชันมากกว่า 2 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าพื้นที่นั้นอยู่ในบริเวณที่มีฝนตกหนักเป็นประจำ ความลาดเทไม่ควรจะชันกว่า 0.3 เปอร์เซนต์ ถ้าชันกว่านี้แล้วอาจก่อให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงขึ้นได้

เพื่อให้การให้น้ำมีประสิทธิภาพ ความยาวของร่องคูจะต้องมีขนาดพอเหมาะ กล่าวคือไม่ยาวหรือสั้นเกินไป ถ้าร่องคูสั้นมากก็จะต้องมีคูส่งน้ำมากขึ้นซึ่งจะทำให้เปลืองพื้นที่และทำให้การทำงานของเครื่องจักรกลเกษตรไม่สะดวก นอกจากนั้นยังต้องใช้แรงงานในการให้น้ำมากกว่าอีกด้วย ถ้าหากร่องคูนั้นมีขนาดยาวเกินไป การให้น้ำก็จะต้องใช้เวลานานมาก ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินทางด้านต้นน้ำก็จะมากเกินความต้องการและเกิดการสูญเสียน้ำโดยการซึมเลยเขตราก หรือมิฉะนั้นก็จะต้องให้น้ำด้วยอัตราที่สูงซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกัดเซาะขึ้นได้

ความยาวของร่องคูอาจถูกจำกัดโดยขนาดของพื้นที่เพาะปลูก หรือจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดิน เช่น การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึม ในพื้นที่เดียวกัน ถ้าอัตราการซึมแตกต่างกันมากก็จำเป็นจะต้องจำกัดความยาวของร่องโดยให้คุณสมบัติของดินในร่องเดียวกันต่างกันน้อยที่สุด

องค์ประกอบที่จะต้องนำมาพิจารณาในการเลือกความยาวของร่องคูก็คือความลาดเทของพื้นที่ ชนิดของดิน พืชที่ปลูก และอัตราการให้น้ำในแต่ละร่อง

ในพื้นที่ที่ค่อนข้างราบ เช่น พื้นที่ที่มีความลาดเทน้อยกว่า 0.5 เปอร์เซนต์ ความยาวของร่องคู ในพื้นที่ดังกล่าวจะสามารถเพิ่มขึ้นได้อีกถ้าความลาดเทชันขึ้น แต่ถ้าความลาดเทของพื้นที่ชันกว่า 0.5 เปอร์เซนต์แล้วจะต้องลดความยาวของร่องคูลงเมื่อความลาดเทมีค่ามากขึ้น มิฉะนั้นจะเกิดการกัดเซาะขึ้นได้

เนื่องจากว่าน้ำซึม ลงไปในดินทรายได้เร็วกว่าดินเหนียว ดังนั้นความยาวของร่องคูในดินทราย จึงต้องสั้นกว่าเพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยการซึมเลยเขตรากที่หัวแปลงมาก ความยาวของร่องคูอาจจะเพิ่มขึ้นได้อีกถ้าความลึกของน้ำที่ต้องการจะให้มีค่าเพิ่มขึ้น และเนื่องจากว่าความลึกของน้ำที่ให้แต่ละครั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity) และความลึกของรากพืช ดังนั้นถ้าปลูกพืชที่มีรากลึกในดินเหนียวก็จะสามารถใช้ร่องคูยาวกว่าที่ปลูกพืชรากตื้นในดินทราย

อัตราการให้น้ำในร่องคูเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้น้ำ การที่จะให้พืชที่แต่ละจุดตลอดความยาวของร่องได้รับน้ำสม่ำเสมอกันนั้น น้ำที่ให้จะต้องไหลไปถึงจุดเหล่านั้นในเวลาที่สั้นที่สุดเพื่อที่ระยะเวลาที่มีน้ำขังอยู่ที่จุดต่าง ๆ นั้นแตกต่างกันน้อยที่สุด ดังนั้นการให้น้ำในร่องจึงต้องให้ด้วยอัตราที่มากที่สุดเท่าที่ร่องนั้นจะสามารถรับได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะต้องไม่เกิดผลเสียอย่างอื่น เช่น เกิดการกัดเซาะในร่องด้วย จากการทดลองพบว่าพืชจะได้รับน้ำสม่ำเสมอกันดีถ้าน้ำที่ให้นั้นไหลไปสุดร่องโดยใช้เวลาเพียงเศษหนึ่งส่วนสี่ของเวลาที่จะต้องให้น้ำ เช่น สมมุติว่าถ้าต้องการให้น้ำแก่พืช 80 มม. ต้องใช้เวลาให้น้ำ 4 ชั่วโมง ดังนั้นน้ำควรจะไหลไปถึงปลายร่องโดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เป็นต้น

การกัดเซาะในร่องคูเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถให้น้ำด้วยอัตราที่ต้องการ การกัดเซาะนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของน้ำที่ไหลในร่องหรืออัตราการให้น้ำและความลาดเทของพื้นที่ จากการทดลองพบว่าอัตราการให้น้ำที่มากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะ อาจจะประมาณอย่างหยาบ ๆ ได้จากสูตร

$$Q = \frac{C}{S} \qquad \text{..... 10.1}$$

โดย Q = อัตราการให้น้ำสูงสุดที่จะไม่เกิดการกัดเซาะ

S = ความลาดเทของร่องเป็นเปอร์เซนต์

C = ค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 0.6 เมื่ออัตราการให้น้ำมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และมีค่าเท่ากับ 10 เมื่ออัตราการให้น้ำมีหน่วยเป็นแกลลอน (U.S.) ต่อนาที

เมื่อน้ำไหลไปสุดร่องแล้วควรจะได้ลดอัตราการให้น้ำลงเพื่อมิให้เกิดการไหลออกนอกพื้นที่เพาะปลูกมากเกินไป และถ้าหากไม่ต้องลงทุนเพิ่มอีกมากควรจะรวบรวมน้ำเหล่านี้ไว้แล้วนำมาใช้อีก

โดยปกติแล้วเราจะพิจารณาเลือกความยาวของร่องคูจากความลาดเทของพื้นที่ ชนิดของดินและพืชที่ปลูก แล้วจึงทำการทดลองหาอัตราการให้น้ำที่เหมาะสมในสนาม การทดลองก็ทำโดยการให้น้ำในร่องคูที่เตรียมไว้ด้วยอัตราขนาดต่าง ๆ กัน แล้วเลือกใช้อัตราการให้น้ำและความยาวของร่องคูที่จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการทดลอง ความยาวของร่องคูบนพื้นที่ที่มีความลาดเทและดินชนิดต่าง ๆ อาจจะประมาณได้จากตารางที่ 10.1

ตารางที่ 10.1 ความยาวของร่องดูสูงสุด (เมตร) สำหรับดิน ความลาดเทของพื้นที่ และความลึกของน้ำที่จะให้ขนาดต่าง ๆ

ความลาดเทของร่องดู %	ดินเหนียว (Clays)				ดินร่วน (Loams)				ดินทราย (Sands)				อัตราการให้น้ำเฉลี่ย ลิตร/วินาที
	ความลึกของน้ำที่จะให้ - มม.												
	75	150	225	300	50	100	150	200	50	75	100	125	
.05	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190	12
.1	340	440	470	500	180	340	440	470	90	120	190	220	6
.2	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300	3
.3	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400	2
.5	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300	1.2
1.0	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250	0.6
1.5	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	250	0.4
2.0	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190	0.3

10.2 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู

10.2.1 ข้อมูลที่ต้องการทราบ

ในการทดลองจะต้องรวบรวมและจดบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้ไว้ คือ

1. อัตราการให้น้ำในร่องต่าง ๆ ที่เลือกไว้ ขนาดตั้งแต่มากเกินไปจนกระทั่งถึงขนาดน้อยเกินไป ทั้งนี้เพื่อที่จะหาอัตราที่เหมาะสมได้

2. ระยะเวลาที่น้ำในร่องไหลไปถึงจุดต่าง ๆ

3. อัตราการให้น้ำสูงสุดในร่องที่จะใช้ได้ อัตราดังกล่าวนี้อาจจะถูกจำกัดโดยขนาดของร่อง หรือเป็นอัตราที่มีการกัดพาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้ อย่างใดอย่างหนึ่ง

4. อัตราที่น้ำไหลซึมเข้าไปในร่อง ซึ่งต่างจากแบบให้น้ำท่วมผิวดิน กล่าวคือมีพื้นที่ให้น้ำไหลซึมเข้าไปในดินได้น้อยกว่า

5. ลักษณะของร่องคู ว่าทำขึ้นมาใหม่ ใช้แล้ว ดินแน่น หรือยังร่วนอยู่ เป็นต้น

6. ปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชื้นถึงความชื้นชลประทาน (Field Capacity) หรือที่เรียกว่า ความชื้นที่ขาดไป (Soil Moisture Deficiency, SMD)

7. เวลาและอัตราที่น้ำไหลเลยท้ายร่อง (Runoff) ออกไป

เมื่อได้ข้อมูลครบตามต้องการแล้ว ก็จะสามารถทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพได้ ค่าต่าง ๆ ที่ต้องการทราบก็มี

1. ประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสม่ำเสมอในการให้น้ำ

2. ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

3. ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency)

4. ผลของการเปลี่ยนอัตราการให้น้ำ

5. ผลของการเปลี่ยนความยาวของร่อง

6. ผลของการเปลี่ยนขนาดความชื้นของดินเมื่อจะต้องให้น้ำ เช่นปกติให้น้ำเมื่อดินมีความชื้น 40 เปอร์เซนต์ก่อนถึงจุดเฉา (Wilting Point) ถ้าเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้แล้วจะมีผลอย่างไรบ้าง

10.2.2 เครื่องมือที่จะต้องใช้ในสนาม

เครื่องมือที่จะต้องใช้สำหรับการทดลองในสนามก็มี

1. เทปวัดระยะแบบที่ใช้ในงานสำรวจ

2. หมุดไม้หรือเหล็กและฆ้อนสำหรับตอก

3. นาฬิกาจับเวลาและนาฬิกาข้อมือ

4. เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำขนาดเล็ก เช่นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) ขนาด 1 หรือ 2 นิ้ว หรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอื่น ๆ

5. พลั่วขุดดินและสว่านเก็บตัวอย่างดิน

6. แบบฟอร์มสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ

7. กล้องระดับและไม้สต๊าฟ

10.2.3 วิธีทดลอง

การทดลองเพื่อหาข้อมูลสำหรับประเมินผลการให้น้ำนั้นทำโดยให้น้ำในร่องที่เลือกไว้ด้วยอัตราขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดมากเกินไปจนถึงน้อยเกินไป แล้วหาอัตราที่น้ำไหลไปถึงจุดต่าง ๆ ในร่อง วัดปริมาณน้ำที่ให้ที่หัวร่องและจุดต่าง ๆ ภายในร่องเพื่อหาปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในดิน ลำดับขั้นของการทดลองมีดังนี้คือ

1. เลือกร่องคูที่มีความลาดเทสม่ำเสมอและอยู่ในที่ที่สามารถให้น้ำได้สะดวก นอกจากนั้นคุณสมบัติของดินในร่องคูควรจะสม่ำเสมอและคล้ายคลึงกับร่องอื่น ๆ ในพื้นที่ด้วย

2. ปักหมุดบนหลังคันทุก 20 ถึง 30 เมตร หมุดแรกควรจะอยู่ห่างจากจุดที่ให้น้ำเล็กน้อย เพื่อที่จะได้วัดอัตราการให้น้ำถูกต้องดีขึ้น หลังจากนั้นก็ทำระดับที่หมุดต่าง ๆ ในคูเพื่อหาความลาดเท การหาความลาดเทของร่องนี้ไม่ค่อยจำเป็นนักถ้าพื้นที่นั้นเพิ่งได้รับการปรับปรุงให้ราบสม่ำเสมอ

3. ติดตั้งรางวัดน้ำที่หมุดแรกของทุกร่อง

4. ติดตั้งรางวัดน้ำอีกเครื่องหนึ่งให้อยู่ห่างจากรางแรกหนึ่งถึงสองหมุด รางวัดน้ำนี้ควรจะติดตั้งในร่องที่มีอัตราให้น้ำขนาดปานกลาง ถ้าทำได้ควรจะวัดอย่างน้อย 2 ร่อง นอกจากนั้นควรจะติดตั้งที่ท้ายร่องอีกเครื่องหนึ่งถ้าคิดว่าจะมีการไหลเลยท้ายร่องออกไป

5. หาปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อเพิ่มความชื้นให้ถึงความชื้นชลประทาน (Field Capacity) โดยปกติแล้วการทดลองนี้ควรจะทำในขณะที่ดินกำลังแห้งหรือขณะที่พืชที่ปลูก (ถ้ามี) กำลังต้องการการให้น้ำ

6. เมื่อได้เตรียมทุกอย่างพร้อมแล้วก็ทำการให้น้ำ อัตราที่ให้แต่ละร่องควรแตกต่างกันคือมีขนาดตั้งแต่มากเกินไปจนถึงน้อยเกินไป แต่อัตราที่ให้ในร่องใดร่องหนึ่งควรจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ทำการทดลอง ถ้าทำได้ควรจะทำการทดลองพร้อมกันทีเดียว 4 ร่อง ร่องหนึ่งให้น้ำด้วยอัตราสูงสุดที่จะไม่เกิดการกัดเซาะคือ $Q = 0.6/S$ เมื่อ Q มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ S เป็นความลาดเทของร่องเป็นเปอร์เซ็นต์ อีกสองร่องมีอัตราการให้น้ำขนาดปานกลาง ส่วนอีกร่องหนึ่งมีอัตราการให้น้ำค่อนข้างน้อย ในกรณีที่ร่องต่าง ๆ ที่ทำการทดลองนั้นไม่ได้อยู่ติดกันก็อาจจำเป็นต้องให้น้ำในร่องข้างเคียงทั้งสองด้านด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมทางด้านข้างมากเกินไป

7. จดเวลาที่เริ่มต้นให้น้ำและอัตราการให้ของทุกร่องไว้ และควรจะตรวจสอบอัตราการให้น้ำของทุกร่องเป็นระยะ ๆ

8. จดเวลาที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่าง ๆ ตลอดความยาวของร่อง

9. จดอัตราการซึมของน้ำในร่องลงในแบบฟอร์มการวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องคู ตามคำแนะนำที่ให้ไว้ในแบบฟอร์ม

10. สังเกตการไหลของน้ำในร่องว่าเกิดการกัดเซาะหรือไหลล้นร่องหรือไม่ เปรียบเทียบการไหลในร่องต่าง ๆ แล้วประมาณหาอัตราการให้น้ำสูงสุดที่จะใช้ได้ ร่องที่ทำขึ้นใหม่อาจมีการกัดเซาะในตอนแรกเล็กน้อย แต่เมื่อให้น้ำต่อไปแล้วจะไม่มี กรณีดังกล่าวนี้ถือว่าอัตราการให้น้ำนั้นใช้ได้

11. จดเวลาและอัตราที่น้ำไหลเลยท้ายร่องออกไป อัตราดังกล่าวนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไป ดังนั้นจึงควรตรวจสอบบ่อย ๆ โดยปกติเมื่อน้ำไหลมาถึงท้ายร่องแล้วก็จะต้องลดอัตรา

การให้น้ำลง สำหรับในการทดลองซึ่งใช้ร่องที่มีความยาวมากกว่าปกติอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องมีการลดอัตราการให้น้ำ การปล่อยให้น้ำไหลในร่องไกลขึ้นจะทำให้มีโอกาสประเมินผลและเลือกความยาวของร่องได้เหมาะสมดีขึ้น

12. ศึกษาว่าน้ำซึมไปทั่วถึงตลอดหน้าตัดของร่องหรือไม่ หลังจากให้น้ำแล้ว 1 ถึง 2 วัน ใช้สว่านเจาะดินมาตรวจดูความชื้นว่าพอกับความต้องการหรือไม่

13. ตรวจสอบดูว่าจะแก้ไขหรือปรับปรุงวิธีการให้น้ำเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างไรบ้าง

10.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่หาได้

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นควรจะนำมาเขียนกราฟเพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณและเข้าใจได้ง่ายขึ้น กราฟที่ต้องการก็มี

1. กราฟน้ำหลาก (Advance curve) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจากเริ่มให้น้ำกับระยะทางที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่าง ๆ โดยปกติแล้วกราฟนี้จะเขียนบนกระดาษกราฟแบบธรรมดา แต่ถ้าต้องการหาค่าที่นอกเหนือจากที่วัดได้ ก็จะต้องเขียนบนกระดาษ log-log ซึ่งจะได้เป็นเส้นตรงหรือมีความโค้งเพียงเล็กน้อย

2. กราฟน้ำแห้ง (Recession curves) ถ้าร่องมีขนาดใหญ่ เมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะยังมีน้ำขังอยู่อีกและทำให้ดินได้รับน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่ามีน้ำขังอยู่ในร่องที่หมุดต่าง ๆ นานเท่าใดหรือมีน้ำซึมเข้าไปในดินที่จุดนั้น ๆ มากน้อยเท่าใดแล้ว ก็จะต้องหาว่าน้ำที่หมุดต่าง ๆ แห้งหลังจากหยุดให้น้ำนานเท่าไร กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางในร่องที่น้ำซึมหรือไหลเลยไปหมดจนแห้งเรียกว่า กราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) ถ้าเขียนกราฟน้ำแห้งบนแกนเดียวกับกราฟน้ำหลากโดยใช้เวลานับจากเริ่มให้น้ำ ผลต่างระหว่างเวลาที่หมุดเดียวกันบนกราฟทั้งสองก็จะเป็นเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนจุดนั้น ซึ่งทำให้สามารถคำนวณหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินตรงจุดนั้นได้อย่างถูกต้อง สำหรับในร่องขนาดเล็กเมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะมีน้ำขังอยู่ไม่มากนัก ในทางปฏิบัติให้ถือว่ากราฟน้ำแห้งในกรณีนี้เป็นเส้นตรงอยู่ในแนวราบ หรือถือว่าเมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะไม่มีน้ำขังอยู่ในร่องอีก

3. กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของร่องดู (Furrow Intake) และกราฟน้ำซึมสะสม (Cumulative Intake Curve) กราฟทั้งสองนี้จะเขียนบนกระดาษ log-log ขนาด 3 × 3 cycles เนื่องจากว่าการซึมของน้ำในร่องนั้นต่างจากการซึมแบบให้น้ำท่วมผิวดิน กล่าวคือมีพื้นที่ที่น้ำซึมเข้าไปน้อยกว่า ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ค่าที่วัดได้จากถังวัดอัตราการซึมผ่านผิวดิน แต่จะหาจากความแตกต่างระหว่างอัตราที่น้ำไหลเข้าและไหลออกระหว่างจุดสองจุดในร่องแทน ดังนั้นหน่วยที่ใช้จึงเป็นอัตราที่น้ำหายไปต่อความยาวระหว่างจุดทั้งสองนั้น เช่น ลิตร/วินาที/25 เมตร เป็นต้น ถ้าต้องการให้มีหน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลาก็ทำได้เช่นเดียวกัน เมื่อได้สมการของอัตราการดูดซึมในร่องดูแล้ว สมการของกราฟน้ำซึมสะสมก็หาได้โดยการ Integration เช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้ในตอนแรกแล้ว

ตัวอย่างที่ 10.1 สมมุติว่าทำการทดลองประเมินผลการให้น้ำในร่องดูซึ่งยาว 350 เมตร บนดินร่วนปนทราย พื้นที่มีความลาดเท 0.2 เปอร์เซนต์ ข้อมูลอื่น ๆ มีดังต่อไปนี้

ระยะเวลาให้น้ำ	10	ชั่วโมง
ระยะระหว่างร่อง	0.90	เมตร
ความยาวของร่องที่ต้องการประเมินผล	200	เมตร
ความลึกของเขตราก	1.00	เมตร
ความชื้นที่ขาดไป (SMD)	90	มม.
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	18	% โดยปริมาตร
จำนวนร่องที่ทำการทดลอง	3	ร่อง

อัตราการให้น้ำ 0.25, 0.58 และ 1.12 ลิตร/วินาที

เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำคือ รางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 2 นิ้ว ติดตั้งไว้ที่หมุด 0 และ 50 เมตร ข้อมูลที่ได้จากการวัดอัตราที่น้ำซึมหายไประหว่างสองหมุดนี้อยู่ในตารางที่ 10.2 และ 10.3 เมื่อนำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 10.1

อัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินระหว่างหมุดสองหมุดนี้อาจจะแปลงให้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/นาที ได้โดย

$$I \text{ mm/min} = \frac{60K}{L.S}$$

ในเมื่อ K เป็นอัตราที่น้ำซึมลงไปในดินระหว่างอาคารวัดน้ำ 2 ชุดซึ่งอยู่ห่างกัน L เมตร มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที S เป็นระยะระหว่างร่องเป็นเมตร

ข้อมูลที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่าง ๆ อยู่ในตารางที่ 10.4 และนำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 10.2 กราฟสำหรับอัตราให้น้ำเท่ากับ 0.58 และ 1.12 ลิตรต่อวินาทีนั้นถูกต่อเลยออกมาจนถึงหมุดที่ 13 และ 14 (325 และ 350 เมตร ตามลำดับ) การต่อกราฟนี้อาจจะทำได้สองวิธีคือ (1) ใช้ไม้บรรทัดโค้ง (French curve) ถ้าเส้นไม่โค้งมากนักเช่นในกรณีของเส้น 1.12 ลิตร/วินาที หรือเป็นการต่อสั้น ๆ เช่นกรณีของเส้น 0.25 ลิตร/วินาที (2) เขียนกราฟในกระดาษ log-log แล้วต่อกราฟด้วยไม้บรรทัดโค้ง แล้วจึงนำค่าเหล่านั้นมาเขียนในกระดาษกราฟธรรมดาอีกทีหนึ่ง

ในการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลที่ทำการทดลองได้นี้จะต้องทำทั้งสามร่อง เพื่อที่จะได้เลือกเอาอัตราการให้น้ำที่ดีที่สุดไว้ใช้งาน แต่ในตัวอย่างนี้จะแสดงการคำนวณให้ดูเพียงร่องเดียวคือร่องที่มีอัตราการให้น้ำเท่ากับ 1.12 ลิตร/วินาที ในการวิเคราะห์นี้จะต้องคำนวณว่า

1. การให้น้ำที่ทำการทดลองนั้นสม่ำเสมอดีเพียงไร ซึ่งจะวัดด้วยประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency, E_d)

2. ระบบให้น้ำที่ทำการทดลองนั้นดีเพียงไร โดยวัดด้วยประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency, E_i)

3. ผู้ให้น้ำใช้ระบบได้ดีเพียงไร กล่าวคือให้น้ำด้วยอัตราที่พอเหมาะกับขนาดและความยาวของร่องหรือไม่ ให้น้ำตรงตามปริมาณที่ต้องการหรือไม่ สำหรับข้อนี้จะวัดด้วยประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency, E_a)

ตารางที่ 10.2

แบบฟอร์มข้อมูลการวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องดู

สถานที่ทำการวัด.....ผู้ทำการวัด.....วิบูลย์.....วันที่.....

ร่องดูที่.....2.....อัตราการให้น้ำ.....0.58 ลิตร/วินาที.....รูปร่าง.....U.....☑ เคยให้น้ำแล้ว ☐ ใหม่

ความลาดเทของร่อง.....0.002.....สภาพทั่ว ๆ ไป.....ดี.....เนื้อดิน.....SL.....พืชที่ปลูก.....

หมายเหตุ 1. อาคารวัดน้ำที่ A และ B เป็นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 2"

2. A และ B อยู่ห่างกัน 2 หมุด หรือ 50 เมตร

เวลา			อาคารวัดน้ำ A (ไหลเข้า)		อาคารวัดน้ำ B (ไหลออก)			อัตราการดูดซึม	
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	Head	อัตราการไหล	Head	อัตราการไหล		ลิตร/วินาที	
(1)	(2)	(3)	(4)	ล/วินาที (5)	(6)	ล/วินาที (7)		ต่อ 50 ม.	(8) ต่อ 25 ม.
08:27	6	0	5.1 ซม	0.59					
33	5	6	4.9	0.57	3.5 ซม	0.33		0.25	0.125
38	11	11	5.1	0.59	3.8	0.38		0.20	0.100
49	14	22			4.0	0.40		0.18	0.090
09:03	17	36	4.9	0.57	4.1	0.43		0.15	0.075
20	27	53			4.3	0.45		0.13	0.065
47	37	80			4.3	0.45		0.13	0.065
10:24		117	5.1	0.59	4.4	0.48		0.10	0.050
			เฉลี่ย	0.58					

1. บรรทัดแรกเป็นเวลาที่น้ำไหลถึงจุดกึ่งกลางระหว่างหมุด A และหมุด B บรรทัดที่สองเป็นเวลาที่น้ำไหลผ่านหมุด B ไปแล้วเล็กน้อย บรรทัดต่อ ๆ ไปเพิ่มระยะเวลาที่วัดขึ้นอีก จนกระทั่งได้อีกอย่างน้อย 6 บรรทัด
2. ความแตกต่างระหว่างเวลาที่ทำการวัด 2 ครั้งติดต่อกัน
3. ผลรวมของช่องที่ 2 ซึ่งเป็นเวลาตั้งแต่จับเวลาครั้งแรก ช่องที่ 3 นี้จะต้องนำมาใช้เขียนกราฟกับช่องที่ 8
4,6 ระดับน้ำเหนือสันฝายวัดน้ำ orifice หรือเครื่องมืออื่น ๆ บอกชนิดของเครื่องมือและหน่วยที่ใช้ ถ้าวัดด้วยการตวง บอกขนาดของภาชนะและระยะเวลาที่น้ำไหลเต็มภาชนะนั้น
5,7 แปลงให้เป็นหน่วยที่ต้องการ ถ้าหน่วยที่ใช้วัดไม่ตรงกับที่ต้องการ
8. ผลต่างระหว่างช่องที่ 5 และ 7 ซึ่งจะได้เป็นอัตราที่น้ำซึมหายไปในร่องต่อความยาวของระยะ AB เช่น ลิตร/วินาที/50 เมตร แล้วแปลงให้เป็นหน่วยที่ต้องการ ค่าในช่องนี้จะต้องมาใช้เขียนกราฟกับช่องที่ 3

ตารางที่ 10.3

แบบฟอร์มข้อมูลการวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องดู

สถานที่ทำการวัด.....ผู้ทำการวัด.....วิบูลย์.....วันที่.....

ร่องดูที่.....3.....อัตราการให้น้ำ.....1.12 ลิตร/วินาที.....รูปร่าง.....U.....☑ เคยให้น้ำแล้ว ☐ ใหม่

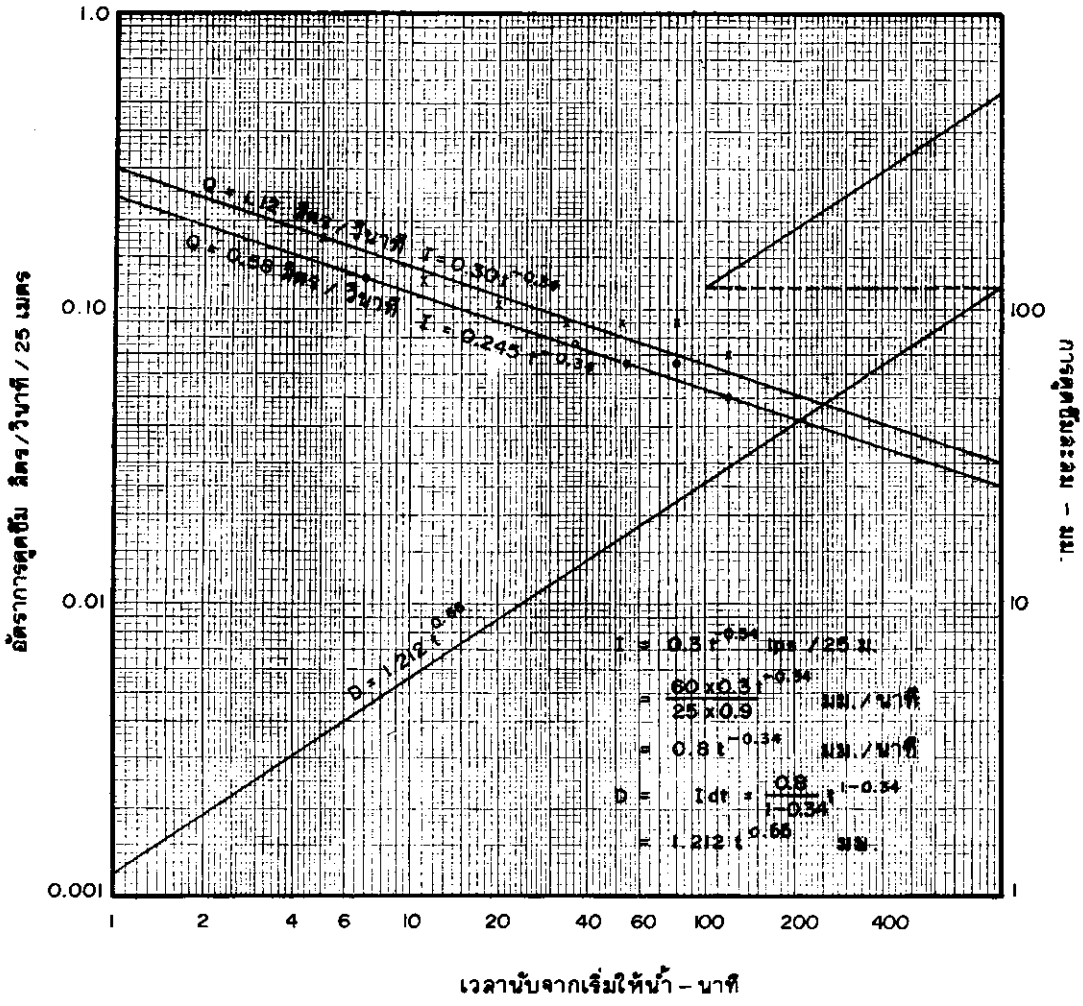
ความลาดเทของร่อง.....0.002.....สภาพทั่ว ๆ ไป.....ดี.....เนื้อดิน.....SL.....พืชที่ปลูก.....

หมายเหตุ 1. อาคารวัดน้ำที่ A และ B เป็นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 2" และ 1" ตามลำดับ

2. A และ B อยู่ห่างกัน 2 หมุด หรือ 50 เมตร

เวลา			อาคารวัดน้ำ A (ไหลเข้า)		อาคารวัดน้ำ B (ไหลออก)			อัตราการดูดซึม	
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	Head	อัตราการไหล	Head	อัตราการไหล		ลิตร/วินาที	
(1)	(2)	(3)	(4)	ล/วินาที (5)	(6)	ล/วินาที (7)		ต่อ 50 ม. (8)	ต่อ 25 ม.
08:29	5	0	4.9 ซม.	1.14					
34	6	5	4.8	1.08	6.0 ซม.	0.77		0.35	0.175
40	9	11	4.8	1.08	6.5	0.87		0.25	0.125
49	9	20			6.7	0.91		0.21	0.105
09:03	17	34	4.9	1.14	6.8	0.94		0.18	0.090
20	27	51			6.8	0.94		0.18	0.090
47	37	78			6.8	0.94		0.18	0.090
10:24		115	4.9	1.14	7.0	0.98		0.14	0.070
			เฉลี่ย	1.12					

1. บรรทัดแรกเป็นเวลาที่น้ำไหลถึงจุดกึ่งกลางระหว่างหมุด A และหมุด B บรรทัดที่สองเป็นเวลาที่น้ำไหลผ่านหมุด B ไปแล้วเล็กน้อย บรรทัดต่อ ๆ ไปเพิ่มระยะเวลาที่วัดขึ้นอีก จนกระทั่งได้อีกอย่างน้อย 6 บรรทัด
2. ความแตกต่างระหว่างเวลาที่ทำการวัด 2 ครั้งติดต่อกัน
3. ผลรวมของช่องที่ 2 ซึ่งเป็นเวลาตั้งแต่จับเวลาครั้งแรก ช่องที่ 3 นี้จะต้องนำมาใช้เขียนกราฟกับช่องที่ 8
4,6 ระดับน้ำเหนือสันฝายวัดน้ำ orifice หรือเครื่องมืออื่น ๆ บอกชนิดของเครื่องมือและหน่วยที่ใช้ ถ้าวัดด้วยการตวง บอกขนาดของภาชนะและระยะเวลาที่น้ำไหลเต็มภาชนะนั้น
5,7 แปลงให้เป็นหน่วยที่ต้องการ ถ้าหน่วยที่ใช้วัดไม่ตรงกับที่ต้องการ
8. ผลต่างระหว่างช่องที่ 5 และ 7 ซึ่งจะได้เป็นอัตราที่น้ำซึมหายไปในร่องต่อความยาวของระยะ AB เช่น ลิตร/วินาที/ 50 เมตร แล้วแปลงให้เป็นหน่วยที่ต้องการ ค่าในช่องนี้จะต้องมาใช้เขียนกราฟกับช่องที่ 3



รูปที่ 10.1 กราฟอัตราการดูดซึม และการดูดซึมสะสมของร่องคู

ตารางที่ 10.4 ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำทางผิวดิน

สถานที่ทดสอบ..... ผู้ทำการทดสอบ.....

วิธีการให้น้ำ ร่องดู เนื้อดิน ดินร่วนปนทราย พืชที่ปลูก..... ความลึกของน้ำที่ต้องการให้..... มม

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของแปลงที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำ Slope = 0.002

น้ำหลาก หรือ น้ำแห้ง น้ำหลาก น้ำหลาก น้ำหลาก

แปลงหรือร่องที่ I II III

อัตราการให้น้ำ 0.25 0.58 1.12

หมายเหตุ ระยะระหว่างหมุด 25 เมตร

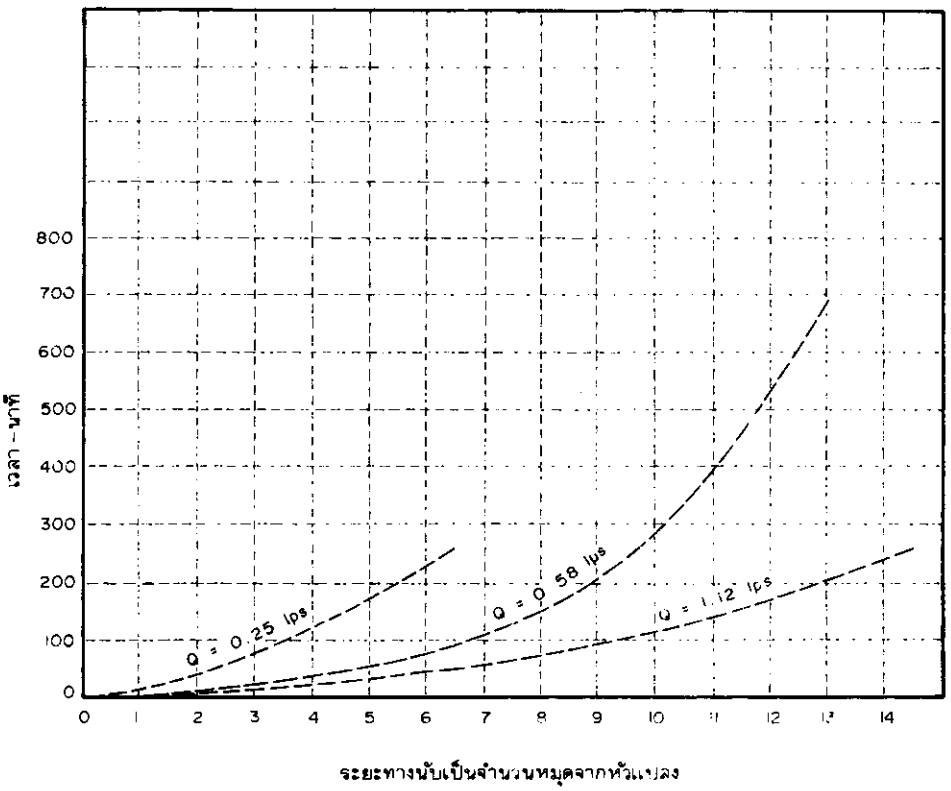
เวลา			หมุดที่*
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
08.22	17	0	0
39	26	17	1
09:05	34	43	2
39	43	77	3
10:22		120	4

เวลา			หมุดที่*
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
08:24	7	0	0
31	8	7	1
39	11	15	2
50	13	26	3
09:03	19	39	4
22	24	58	5
46	17	82	6
10:03		99	6.5

เวลา			หมุดที่*
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
08:27	5	0	0
32	5	5	1
37	7	10	2
44	9	17	3
53	10	26	4
09:03	12	36	5
15	7	48	6
09:22		55	6.5

ในกรณีที่เป็นข้อมูลช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ของการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว บรรทัดแรกของช่องควรเป็นเวลาที่เริ่มให้น้ำ บรรทัดที่สองเป็นเวลาที่หยุดให้น้ำ บรรทัดที่สามเป็นเวลาที่น้ำเริ่มแห้ง ทั้งสามบรรทัดนี้เป็นเวลาที่หมุดแรก

* หมุดแรกที่หัวแปลงนับเป็นศูนย์



รูปที่ 10.2 กราฟน้ำหลากของการให้น้ำทางร่องคู ซึ่งต่อจากค่าที่วัดได้จริงแล้ว

1. ประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ E_d

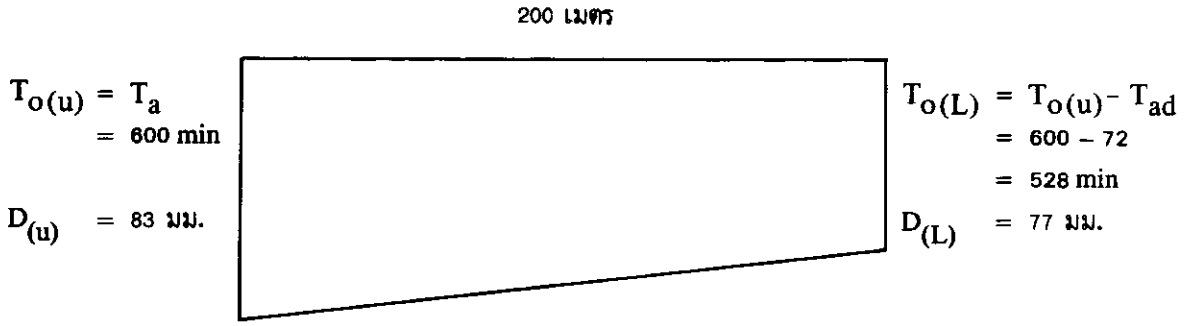
$$E_d = \frac{\text{ความลึกของน้ำซึมที่มีค่าน้อยที่สุด}}{\text{ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึม}} \times 100 \quad \text{..... 10.2}$$

ในตัวอย่างนี้ระยะเวลาให้น้ำนาน 10 ชั่วโมง หรือ 600 นาที ดังนั้นดินที่หัวแปลงจึงมีระยะเวลาดูดซึม (Intake Opportunity Time, T_o) เท่ากับเวลาที่ให้น้ำ (Time of Application , T_a) คือ เท่ากับ 600 นาที จากกราฟรูปที่ 10.1 เราได้ว่าความลึกของน้ำที่ซึมเข้าไปในดินที่หัวร่องจะเท่ากับ 83 มม. ความยาวของร่องที่ต้องการประเมินผลการให้น้ำ เท่ากับ 200 เมตร ดังนั้นระยะเวลาดูดซึมที่ท้ายร่องจึงเท่ากับระยะเวลาที่ให้น้ำ T_a ลบด้วยระยะเวลาที่น้ำไหลจากหัวร่องถึงท้ายร่อง T_{ad} หรือ

$$T_{o(L)} = T_{o(u)} - T_{ad}$$

$$= 600 - 72 = 528 \text{ นาที}$$

จากกราฟน้ำซึมสะสมจะได้ว่าความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่ท้ายร่องเท่ากับ 77 มม.



ดังนั้น $E_d = \frac{77}{0.5\ (77 + 83)} \times 100$

$= 96\%$

2. ประสิทธิภาพการชลประทาน (E_i)

$$E_i = \frac{d_r}{d} \times 100 \quad \text{..... 10.3}$$

d_r = ความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดิน เพื่อให้ดินในรากนั้นมีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

d = ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลง

ในตัวอย่างนี้เราต้องการน้ำ 90 มม. ดังนั้นเราจะต้องให้น้ำซึมลงไปในดินที่ท้ายร่องเท่ากับ 90 มม. จากกราฟน้ำซึมสะสมจะได้ว่าจะต้องให้น้ำขังอยู่ที่จุดนี้เป็นเวลา 660 นาที หรือ $T_{o(L)}$ = 660 นาที แต่ทางหัวร่องจะต้องให้น้ำขังอยู่นานกว่า กล่าวคือจะต้องเท่ากับ $T_{o(L)}$ บวกด้วยเวลาที่น้ำไหลจากหัวร่องมาถึงท้ายร่อง (T_{ad}) ดังนั้น $T_{o(u)}$ = 660 + 72 = 732 นาที

ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่จะต้องให้ด้วยอัตรา 1.12 ลิตร ต่อวินาทีเป็นเวลา 732 นาที บนพื้นที่ยาว 200 เมตร และกว้าง 0.90 เมตร (Furrow Spacing) จะหาได้โดยใช้สูตร

$$D = \frac{Q.t_s}{A} \quad \text{..... 10.4}$$

โดย D เป็นความลึกของน้ำที่ให้เป็นมิลลิเมตร, Q เป็นอัตราการให้น้ำเป็นลิตรต่อวินาที t_s เป็นเวลาที่ให้น้ำเป็นวินาที, A เป็นพื้นที่รับน้ำเป็นตารางเมตร

$$\text{ดังนั้น } D = \frac{1.12 \times 732 \times 60}{200 \times 0.9} = 273 \text{ มม.}$$

$$E_i = \frac{90}{273} \times 100$$

$$= 33\%$$

3. ประสิทธิภาพการให้น้ำ E_a

$$E_a = \frac{\text{ความลึกของน้ำที่ซึมไปเก็บไว้ในเขตรากที่น้อยที่สุด}}{\text{ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลง}} \times 100 \quad \text{....10.5}$$

ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปเก็บไว้ในเขตรากนี้จะมีค่าไม่เกินความชื้นที่ขาดไป (SMD) ถ้าให้น้ำมากกว่านี้ ส่วนที่เกินก็จะไหลซึมเลยเขตรากพืช และจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช ในกรณีที่ให้น้ำน้อยกว่าที่ต้องการมาก E_a มักจะมีค่าค่อนข้างสูง และจะมีค่าใกล้เคียงกับ E_d

ในตัวอย่างนี้ให้น้ำด้วยอัตรา 1.12 ลิตรต่อวินาทีเป็นเวลานาน 10 ชั่วโมง และได้ค่าความลึกของน้ำที่ซึมเข้าไปในดินที่ท้ายร่องมีค่าน้อยที่สุด คือ 77 มม. ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้จะหาได้จาก

$$D = \frac{Q.t_s}{A}$$

$$= \frac{1.12 \times 10 \times 60 \times 60}{200 \times 0.9}$$

$$= 224 \text{ มม.}$$

$$\text{ดังนั้น } E_a = \frac{77}{224} \times 100$$

$$= 34\%$$

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ แสดงว่าการให้น้ำสม่ำเสมอดีมาก (E_d = 96 %) กล่าวคือความลึกของน้ำที่ได้รับที่หัวร่องและท้ายร่องต่างกันน้อยมาก สำหรับ E_i และ E_a ต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากว่าน้ำไหลไปถึงท้ายร่องเร็วเกินไป คือประมาณ 72/660 = 1/19 ของเวลาที่จะต้องให้น้ำขังอยู่ในร่อง ในเมื่อระยะเวลาดังกล่าวควรจะอยู่ประมาณ 1/5 ถึง 1/4 ซึ่งถือว่าดีที่สุด และ 1/3 ถือว่าพอใช้ได้

ในเมื่อน้ำไปถึงท้ายร่องเร็วและไม่มีการซึมเลยเขตรากพืช น้ำที่ให้ก็จะต้องไหลเลยแปลงเพาะปลูกออกไป จากตัวอย่างที่ทดลองนี้ปริมาณน้ำที่ไหลเลยออกไปประมาณ 100-34 = 66 เปอร์เซนต์ ซึ่งสูงมาก และถ้าหากให้น้ำนานกว่านี้การสูญเสียดังกล่าวก็จะเพิ่มขึ้นอีก

จากผลการวิเคราะห์นี้อาจสรุปได้ว่า ควรจะต้องลดอัตราการให้น้ำลงเพื่อให้น้ำไหลไปถึงท้ายร่อง โดยใช้เวลาประมาณ 1/4 ของเวลาที่ต้องการให้น้ำขังอยู่ในร่อง จากกราฟน้ำซึมสะสมจะได้ว่าถ้าต้องการให้น้ำ 90 มม. ต้องใช้เวลา 660 นาที ดังนั้นจึงควรใช้อัตราการให้น้ำในขนาดที่จะไปถึงปลายร่องโดยใช้เวลา 660/4 คือประมาณ 165 นาที โดยประมาณจากกราฟน้ำหลาก (Advance Curves) ในรูป 10.2 จะได้ว่าอัตราการให้น้ำที่ต้องการนั้นจะมีค่าประมาณ 0.60 ลิตรต่อวินาที ด้วยอัตราการให้น้ำนี้เราจะต้องให้น้ำที่หัวร่องนาน 660 + 165 = 825 นาที หรือประมาณ 13.75 ชม.

นอกจากจะแก้ปัญหาโดยการลดอัตราการให้น้ำดังกล่าวแล้ว ก็อาจใช้วิธีเพิ่มความยาวของร่องขึ้นอีกโดยใช้อัตราการให้น้ำเท่าเดิม หรือขนาดใหญ่กว่าก็ได้ ทั้งนี้เพราะยังไม่เกินขนาดที่จะทำให้เกิดการกัดพาคือ 0.6/S = 0.6/0.2 หรือ 3 ลิตรต่อวินาที

จากข้อมูลที่หามาได้และแสดงการวิเคราะห์ให้ดูแล้วนั้น เราอาจจะหารายละเอียดอื่น ๆ เพิ่มเติมได้อีกจนกว่าจะได้ผลเป็นที่พอใจ

ความชื้นในดินเมื่อต้องการการให้น้ำเป็นค่าหนึ่งที่สามารถเลือกได้ โดยปกติจะยอมให้ความชื้นในดินที่พืชนำมาใช้ได้ลดลงไปประมาณ 60 เปอร์เซนต์ก่อนถึงจุดเฉา (Wilting point) ดังนั้นถ้าดินมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ 18 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร หรือ 1.8 มม./ซม. ความลึกของราก 1.00 เมตร และถ้าเรายอมให้ความชื้นลดลง 60 เปอร์เซนต์จะได้ว่าปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่พืช = 0.6 x 1.8 x 100 = 108 ม.ม.

ดังนั้น ระยะเวลาที่ต้องให้น้ำขังอยู่ในร่อง (Duration of Irrigation, T_i) เมื่อต้องการน้ำ 108 มม. จะเท่ากับ 870 นาที (จากรูปที่ 10.1)

ระยะเวลาที่น้ำควรจะไหลไปถึงท้ายร่อง (Time of Advance, T_{ad}) จะเท่ากับ 1/4 ของ T_i หรือเท่ากับ 870/4 = 218 นาที

ความยาวของร่องเมื่อ T_{ad} เท่ากับ 218 นาที และอัตราการให้น้ำเท่ากับ 1.12 ลิตรต่อวินาที จะได้เท่ากับ 13.2 หมุดหรือประมาณ 330 เมตร ซึ่งไม่ต่างจากความยาวของร่องที่ใช้ทำการทดลอง คือ 350 เมตรมากนัก (แต่ถ้าจะใช้อัตราให้น้ำ 0.58 ลิตรต่อวินาทีจะได้ความยาวของร่องประมาณ 9.2 หมุดหรือ 230 เมตร และ 145 เมตร ถ้าใช้อัตราการให้น้ำเท่ากับ 0.25 ลิตรต่อวินาที)

เวลาที่จะต้องให้น้ำทั้งหมดที่หัวร่อง (Time of application, T_a) จะเท่ากับ $T_i + T_{ad}$ = 870 + 218 = 1088 นาที

ดังนั้น

$T_{o(u)}$ = 1088 นาที $D_{(u)}$ = 123 มม.

$T_{o(L)}$ = T_i = 870 นาที $D_{(L)}$ = 108 มม.

$$E_d = \frac{108}{0.5\ (108 + 123)} \times 100$$

$$= 93\%$$

จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความยาวของร่องจาก 200 เมตร เป็น 330 เมตร จะลด E_d จาก 96 เป็น 93 เปอร์เซนต์เท่านั้น

ความลึกของน้ำที่ให้เฉลี่ย (D) $= \frac{Q.t_s}{A}$

$= \frac{1.12 \times 1088 \times 60}{330 \times 0.9}$

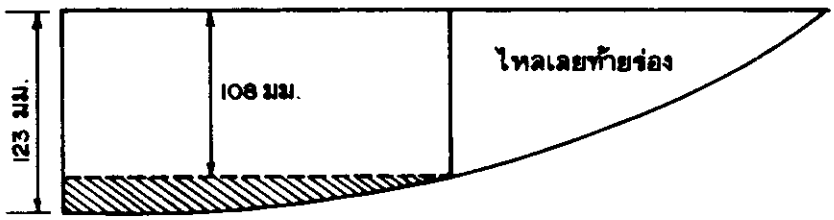
$= 246$ มม.

ดังนั้น $E_i = \frac{108}{246} \times 100$

$= 44\%$

ในกรณีนี้ $E_a = E_i = 44\%$

ปริมาณน้ำที่ไหลเลยออกจากท้ายร่องไปอาจจะหาได้โดยหักลบปริมาณน้ำที่ให้ทั้งหมดด้วยปริมาณน้ำที่ต้องการและปริมาณที่ซึมเลยรากออกไปดังรูป



ซึมเลยเขตราก $\frac{1}{2} \times 15 = 7.5$ มม.

ไหลเลยท้องร่อง = 246 - 108 - 7.5 = 130.5 มม.

หรือ $= \frac{130.5}{246} \times 100 = 53\%$ ของปริมาณน้ำที่ให้ทั้งหมด ปริมาณน้ำที่สูญเสียดังกล่าวนี้ค่อนข้างมาก แต่อาจจะลดลงได้มากถ้ามีการลดอัตราการให้น้ำลงหลังจากน้ำไหลไปถึงท้ายร่องแล้ว(Cut-back Stream) หรืออาจทำให้ไม่มีการสูญเสียเลยด้วยการนำไปรวมไว้แล้วนำมาใช้อีกภายหลัง ถ้าเลือกใช้กรณีหลังนี้ก็จะได้ว่า $E_i = E_d = 93\%$ ซึ่งสูงมาก

การลดอัตราการให้น้ำเป็นสิ่งที่จะช่วยให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพดีขึ้นถ้าหากไม่มีการรวบรวมน้ำไหลเลยท้ายร่องเอาไปใช้อีกในภายหลัง นอกจากนั้นยังเป็นการป้องกันมิให้น้ำขังทางด้านท้ายแปลงซึ่งจะเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุงหรือทำให้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานไม่สะดวก และเป็นการป้องกันมิให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นอย่างรวดเร็วอีกด้วย

อัตราการดูดซึมของดินในร่องระยะเวลาใดเวลาหนึ่งอาจจะหาได้โดยการรวมอัตราการดูดซึมระหว่างหมุดสองหมุดตลอดความยาวของร่อง ผลรวมที่หาได้นี้จะเป็นอัตราการให้น้ำที่ควรจะใช้ หรือเป็นอัตราที่ควรจะลดลงให้ได้เท่านี้เพื่อว่าจะได้มีการไหลเลยท้ายร่องน้อยที่สุด

ตารางข้างล่างนี้เป็นการคำนวณอัตราการให้น้ำที่ควรจะใช้หลังจากให้น้ำด้วยอัตรา 1.12 ลิตรต่อวินาทีแล้วเป็นเวลา 5 ชั่วโมง คือประมาณ 1 ชั่วโมง หลังจากน้ำไหลถึงท้ายร่องแล้ว

อัตราการดูดซึมน้ำของร่องหลังให้น้ำแล้ว 5 ชั่วโมง

หมุด	T_{ad}	T_o	I lps/ 25 m	I_{avg}	I_{avg}/ 50 m	I_{avg} สะสม
0	0	300	0.044			0
2	10	290	0.045	0.0445	0.089	0.089
4	22	278	0.046	0.0455	0.091	0.180
6	43	257	0.047	0.0465	0.093	0.273
8	72	228	0.050	0.0485	0.097	0.370
10	114	186	0.052	0.0510	0.102	0.472
12	170	130	0.059	0.0555	0.111	0.583
14	240	60	0.077	0.068	0.082/30 m	0.665

จากตารางนี้แสดงว่าหลังจากให้น้ำด้วยอัตรา 1.12 ลิตรต่อวินาทีเป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้ว ควรจะลดอัตราการให้น้ำ (Cut back) เหลือ 0.665 ลิตรต่อวินาที และถ้าไม่ลดอัตราการให้น้ำแล้ว จะต้องสูญเสียน้ำโดยไหลเลยท้ายแปลงประมาณ 1.12 - 0.665 = 0.455 ลิตรต่อวินาที

ความลึกเฉลี่ยเมื่อมีการลดอัตราให้น้ำ (Cut back) เพียงครั้งเดียวคือให้ด้วยอัตรา 1.12 ลิตรต่อวินาทีเป็นเวลา 5 ชั่วโมง (300 นาที) และลดเหลือ 0.665 ลิตรต่อวินาทีเป็นเวลา 1088 - 300 = 788 นาที จะหาได้โดย

$$D = \frac{(1.2 \times 300 \times 60) + (0.665 \times 788 \times 60)}{330 \times 0.9}$$

$$= 173 \text{ มม}$$

$$E_i = (108/173) \times 100$$

$$= 62.4\%$$

ถ้าหากว่ามีการลดอัตราให้น้ำสองครั้งจะได้ E_i มากกว่า 80 เปอร์เซนต์ ซึ่งมากกว่าเมื่อไม่มีการลดอัตราให้น้ำ (44%) มาก

นอกจากจะใช้อัตราให้น้ำขนาด 1.12 ลิตรต่อวินาที ดังที่แสดงการคำนวณให้ดูแล้ว เราอาจจะใช้อัตราให้น้ำขนาด 0.58 ลิตรต่อวินาที หรือค่าอื่นก็ได้ ส่วนการคำนวณก็เหมือนกับในตัวอย่าง

บทที่ 11
การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนและการทดลองประเมินผล

11.1 การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน (Border Irrigation)

การให้น้ำแบบนี้กระทำโดยเปิดน้ำเข้าทางหัวแปลง แล้วปล่อยน้ำให้ไหลท่วมเป็นผืนระหว่างคันดินสองคัน โดยมีทิศทางการไหลตามความลาดเทของพื้นที่ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับคันดินทั้งสองนั้น

ความลาดเทของพื้นที่ควรจะสม่ำเสมอตลอดความยาวของแปลง ยกเว้นในบริเวณ 10 ถึง 15 เมตร แรกนับจากหัวแปลงซึ่งควรจะราบกว่า เพื่อช่วยให้น้ำแผ่กระจายออกเต็มความกว้างก่อนที่จะไหลต่อไปยังท้ายแปลงซึ่งจะเป็นผลให้การให้น้ำสม่ำเสมอดีขึ้น ความลาดเทของพื้นที่ในการให้น้ำแบบนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ดัชนีการถูกกัดเซาะ (Erodibility) และชนิดของพืชที่ปลูก ความลาดเทที่ใช้กันมีขนาดตั้งแต่ 0.15 เปอร์เซนต์ จนกระทั่งถึง 7 เปอร์เซนต์ ในพื้นที่ที่ปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์

โดยปกติแล้วไม่ควรมีความลาดเททางด้านกว้างของแปลง เพราะจะทำให้การแผ่กระจายของน้ำไม่สม่ำเสมอกัน แต่ในทางปฏิบัติแล้วเราอาจจะยอมให้มีความลาดเทในทิศทางดังกล่าวได้บ้าง ถ้าความแตกต่างระหว่างจุดสูงสุดและจุดต่ำสุดในแนวนี้ไม่เกิน 5 เซนติเมตร

สำหรับความกว้างของแปลงหรือระยะห่างระหว่างคันดินนั้น ขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่กล่าวคือ ถ้าพื้นที่ค่อนข้างเรียบก็อาจจะให้มีความกว้าง 15 ถึง 20 เมตร หรือมากกว่านี้ก็ได้ ถ้าความลาดเทของพื้นที่อยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.4 เปอร์เซนต์ ความกว้างดังกล่าวไม่ควรเกิน 12 เมตร ถ้าความลาดเทของพื้นที่มากกว่า 0.5 เปอร์เซนต์ ความกว้างของแปลงไม่ควรเกิน 8 เมตร ความกว้างของแปลงดังกล่าวนี้จะต้องขึ้นอยู่กับอัตราการส่งน้ำด้วย กล่าวคือ อัตราการส่งน้ำจะต้องมากพอที่จะท่วมทั่วแปลงในระยะเวลาสั้นพอสมควร ถ้าอัตราการส่งน้ำนั้นไม่มากพอก็จำเป็นจะต้องลดความกว้างของแปลงลง มิฉะนั้นจะต้องสูญเสียน้ำเนื่องจากซึมเลยเขตรากพืช (Deep Percolation) มาก

สำหรับความยาวของแปลงที่จะใช้นั้น ถ้าพื้นที่เพาะปลูกมีขนาดเล็กก็มักจะใช้ความยาวของแปลงเท่ากับความกว้างหรือความยาวของพื้นที่ ถ้าพื้นที่มีขนาดใหญ่มากก็จำเป็นจะต้องได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ องค์ประกอบอีกอย่างที่จะต้องนำมาพิจารณาก็คืออัตราการซึมน้ำผ่านผิว ถ้าดินมีอัตราการซึมต่ำมากแปลงก็จะยาวได้มาก ในกรณีที่ดินในพื้นที่เพาะปลูกนั้นมีอัตราการซึมที่แตกต่างกัน ก็จำเป็นจะต้องปรับความยาวของแปลงให้ในแต่ละแปลงนั้นมีอัตราการซึมใกล้เคียงกันมากที่สุด มิฉะนั้นแล้วน้ำที่ได้รับแต่ละจุดจะแตกต่างกันมาก

ถ้าอัตราการส่งน้ำมีค่าสูง การให้น้ำโดยวิธีนี้มักจะไม่มีปัญหา เพราะโดยปกติต้องการอัตราการให้น้ำค่อนข้างสูงอยู่แล้ว แต่ถ้าอัตราการส่งน้ำมีค่าต่ำแล้ว เราจะไม่สามารถให้น้ำครั้งละน้อย ๆ ได้ ทั้งนี้เพราะต้องใช้เวลามากกว่าน้ำจะไหลไปถึงท้ายแปลงซึ่งจะทำให้น้ำขังบนผิวดินนานและความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวจะมากกว่าที่ต้องการ เพื่อความสะดวกเรามักจะวัดอัตราการให้น้ำเป็นอัตราไหลของน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้างของแปลง เช่น ลิตรต่อวินาที ต่อเมตร อัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้างนี้เรียกว่า "Unit flow" เมื่อเราคูณค่านี้ด้วยความกว้างของแปลงก็จะได้อัตราการให้น้ำต่อหนึ่งแปลง

จากที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น จะเห็นได้ว่าการที่จะเลือกขนาดของแปลงและอัตราการให้น้ำให้เหมาะสมนั้นทำได้ยากมาก เพราะจะต้องนำเอาคุณสมบัติของดิน ความลาดเท ความกว้าง และความยาวของแปลงตลอดจนอัตราการให้น้ำมาพิจารณาและเลือกอย่างถูกต้อง จึงจะได้การให้น้ำที่มีประสิทธิภาพสูงในทางปฏิบัติแล้วเรามักจะทำการทดลองหาเอาในสนามโดยใช้พื้นที่และวิธีการให้น้ำ เช่นเดียวกันกับที่จะใช้จริง ๆ การทดลองนี้จะทำได้โดยการใช้ความกว้างและความยาวของแปลงขนาดต่าง ๆ กัน แล้วตรวจสอบหาประสิทธิภาพของการให้น้ำ เมื่อให้น้ำด้วยอัตราต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการทดลอง ขนาดของแปลง และอัตราการให้น้ำสำหรับดินชนิดต่าง ๆ อาจจะเลือกใช้ได้จากตารางที่ 11.1 และ 11.2

ตารางที่ 11.1 ขนาดมาตรฐานสำหรับออกแบบการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน (Border Irrigation) สำหรับพืชที่รากลึก

ชนิดดิน	อัตราการซึม	ความลาดเท	อัตราการให้น้ำต่อความกว้าง 1 ม.	ความลึกของน้ำที่จะให้	ขนาดของแปลง	
					กว้าง	ยาว
	มม./ชม.	%	ลิตร/วินาที	มม.	เมตร	เมตร
ดินทราย (Sand)	25	.2-.4 .4-.6 .6-1.0	10-15 8-10 5-8	100 100 100	12-30 9-12 6-9	60-90 60-90 75
ดินทรายปนดินร่วน (Loamy sand)	18-25	.2-.4 .4-.6 .6-1.0	7-10 5-8 3-6	125 125 125	12-30 9-12 6-9	75-150 75-150 75
ดินร่วนปนทราย (Sandy loam)	12-18	.2-.4 .4-.6 .6-1.0	5-7 4-6 2-4	150 160 160	12-30 6-12 6	90-250 90-180 90
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay loam)	6-8	.2-.4 .4-.6 .6-1.0	3-4 2-3 1-2	175 175 175	12-30 6-12 6	180-300 90-180 90
ดินเหนียว (Clay)	2.5-6	.2-.3	2-4	200	12-30	350

ตารางที่ 11.2 ขนาดมาตรฐานสำหรับออกแบบการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน (Border Irrigation) สำหรับพืชที่มีรากตื้น

ชนิดดิน	ความลึกของดิน	ความลาดเท	อัตราการให้น้ำต่อความกว้าง 1 ม.	ความลึกของน้ำที่จะให้	ขนาดของแปลง	
					กว้าง	ยาว
	เมตร	%	ลิตร/วินาที	มม.	เมตร	เมตร
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay loam)	0.6 บนชั้นดินที่โปร่งมาก	0.15-0.6 0.6-1 5 1.5-4.0	6-8 4-6 2-4	50-100 50-100 50-100	5-18 5-6 5-6	90-180 90-180 90
ดินเหนียว (Clay)	0.6 บนชั้นดินที่โปร่งมาก	.15-0.6 0.6-1.5 1.5-4.0	3-4 2-3 1-2	100-150 100-150 100-150	5-18 5-6 5-6	180-300 180-300 180
ดินร่วน (Loam)	0.15-0.45 บนชั้นดินดาน	1.0-4.0	1-4	25-75	5-6	90-130

ค่าต่าง ๆ ที่ให้ไว้ในตารางนั้นเป็นค่าที่รวบรวมจากการทดลองและจากที่ใช้ได้ผลมาแล้ว อย่างไรก็ตามเนื่องจากสภาพแวดล้อม และความชำนาญในการให้น้ำในแต่ละแห่งไม่เหมือนกัน จึงไม่ควรจะยึดถือเอาตัวเลขเหล่านี้เป็นกฎตายตัว ถ้าทำได้ควรจะทำการทดลองที่หาได้ในสนามจะถูกต้องดีกว่า

11.2 การทดลองและประเมินผล

วิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนนี้อาจกล่าวได้ว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุดวิธีหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามการให้น้ำวิธีนี้จะต้องอาศัยผู้ปฏิบัติที่มีความชำนาญมากกว่าวิธีอื่นทั้งนี้ เพราะว่ามีปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและต้องนำมาพิจารณาร่วมกันมาก ดังนั้นการศึกษาวิธีการจึงเป็นสิ่งจำเป็นในอันที่จะทำให้เกิดความพอเหมาะพอดีในการใช้ และเข้าใจความเกี่ยวพันของปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ เช่น ความจริงที่ว่า ความยาวของแปลงควรมีเฉพาะสำหรับแต่ละการให้น้ำ แปลงที่สั้นอาจไม่เหมาะในการปฏิบัติ การปิดน้ำปกติจะกระทำก่อนน้ำไหลถึงท้ายแปลง หรือ ช่วงหัวแปลงอาจได้รับน้ำไม่พอเพียงเมื่อเทียบกับช่วงกลางหรือท้ายของแปลง ซึ่งตรงกันข้ามกับการให้น้ำแบบร่องคูซึ่งหัวแปลงมักจะได้รับมากเกินพอ เช่นนี้เป็นต้น ในการทดลองและประเมินผลของการให้น้ำจะช่วยเป็นแนวทางให้เกิดความเข้าใจและความคิดในการปรับปรุงแก้ไขวิธีการให้น้ำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

11.2.1 ข้อมูลที่ต้องการทราบ

ในการทดลองการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน (Border Irrigation) นี้ จะต้องรวบรวมและจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ไว้ คือ

(1) อัตราและระยะเวลาการให้น้ำในแปลงต่าง ๆ ถ้าเป็นการทดลองเพื่อหาขนาดของแปลงที่เหมาะสม ขนาดของแปลงที่ใช้ควรจะเลือกจากตารางที่ให้ไว้ แต่ควรจะมีขนาดยาวกว่าเล็กน้อย การทดลองควรจะทำอย่างน้อย 3 แปลง แต่ละแปลงมีขนาดความลาดเทและคุณสมบัติอื่นคล้ายคลึงกัน แต่ให้น้ำด้วยอัตราที่ต่างกัน กล่าวคือให้น้ำด้วยอัตราที่มากกว่า เท่ากับ และน้อยกว่า ที่แนะนำไว้ในตาราง

(2) ระยะเวลาที่น้ำไหลไปถึงจุดต่าง ๆ ในแปลง (Rate of advance)

(3) ระยะเวลาที่น้ำที่จุดต่าง ๆ แห้งหลังจากหยุดให้น้ำแล้ว (The time of recession)

(4) ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน

(5) ความกว้างของพื้นที่ได้รับน้ำ ถ้าน้ำไหลไม่เต็มแปลง

(6) ปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดิน เพื่อให้ดินนั้นมีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field capacity)

(7) เวลาและอัตราการไหลของน้ำไหลเลยท้ายแปลง (Runoff) ออกไป

(8) ชนิดของดินและหน้าตัดของดิน (Soil profile)

(9) ระยะการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกและผลที่จะมีต่อการต้านทานการไหลของน้ำ

เมื่อได้รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ แล้วนำมาเขียนกราฟและศึกษาพิจารณาจะได้ผลของการทดลองซึ่งแสดงให้ทราบค่าต่าง ๆ ดังนี้ คือ

(1) ประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงความสม่ำเสมอในการให้น้ำ

(2) ประสิทธิภาพของระบบการชลประทาน (Irrigation System Efficiency) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงว่า ตามสภาพของแปลงและอัตราการให้น้ำที่กำลังทดลองอยู่นั้นสามารถให้น้ำได้ดีขนาดไหน

(3) ประสิทธิภาพของการให้น้ำ (Application Efficiency) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงว่าการให้น้ำตามขนาดและวิธีที่ทดลองอยู่นั้น พืชจะนำไปใช้ได้มากน้อยเท่าใด

(4) ระยะเวลาการให้น้ำที่ถูกต้องหรือที่ควรจะใช้

(5) ขนาดของอัตราการให้น้ำว่าดีแล้ว หรือจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง

(6) ค่าอื่น ๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงอัตราการให้น้ำ ความยาวของแปลง เวลา และขนาดของอัตราการให้น้ำที่จะต้องลดลง (Cut back Stream) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้น้ำอย่างไรบ้าง

11.2.2 เครื่องมือที่จะต้องใช้ในสนาม

เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดลองประเมินผลในสนามมี

(1) เทปวัดระยะแบบที่ใช้ในงานสำรวจ

(2) หมุดไม้หรือเหล็กและฆ้อนสำหรับตอก

(3) นาฬิกาจับเวลาและนาฬิกาข้อมือ

(4) เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ เช่น ฝายแบบต่าง ๆ หรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอื่น เพื่อใช้วัดอัตราการให้น้ำและอัตราที่น้ำไหลออกทางท้ายแปลง

(5) พลั่วขุดดิน และสว่านเก็บตัวอย่างดิน

(6) เครื่องมือวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltrometer) ถังตักน้ำ และตะขอวัดระดับน้ำ (Hook gage) ประมาณ 3-5 ชุด

(7) แบบฟอร์มสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ

11.2.3 วิธีทดลอง

การทดลองนี้ควรจะทำในระยะเวลาที่ดินนั้นมีความชื้นในขนาดเดียวกันกับที่ต้องการให้น้ำเมื่อมีพืชปลูกอยู่ และก่อนจะเปิดน้ำเข้าแปลงจะต้องเตรียมการดังต่อไปนี้ คือ

(1) เลือกทำการทดลองในแปลงที่มีขนาดและคุณสมบัติอย่างเดียวกับแปลงอื่น ๆ และมีคูส่งน้ำหรือมีความสะดวกในการให้น้ำ และวัดปริมาณน้ำทั้งทางด้านหัวแปลงและท้ายแปลง

(2) วัดความกว้างของแปลง แล้วตอกหมุดทางด้านยาวจากหัวแปลงทุก ๆ 20-30 เมตร หรืออย่างน้อย 10 หมุด

(3) ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำที่หัวแปลงและท้ายแปลง

(4) วัดหรือหาปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดิน เพื่อให้ดินในเขตราก (Root Zone) มีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity) และกำหนดอัตราการให้น้ำที่จะใช้

(5) ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltrometer) ที่จุดต่าง ๆ ในแปลงอย่างน้อย 3 จุด แล้วทำการวัดหาอัตราการซึมผ่านผิวดินดังกล่าว

เมื่อเตรียมทุกอย่างเรียบร้อยแล้วก็เปิดให้น้ำไหลเข้าทางหัวแปลง พยายามรักษาอัตราการให้น้ำให้คงที่ตลอดเวลา สิ่งที่จะต้องปฏิบัติในขณะให้น้ำ คือ

(1) จดเวลาที่เริ่มให้น้ำ อัตราการให้น้ำ และคอยตรวจสอบอัตราการให้น้ำในระหว่างการทดลองเสมอ

(2) จดเวลาที่น้ำแผ่ไปถึงหมุดต่าง ๆ ถ้าหากการแผ่กระจายของน้ำไม่สม่ำเสมอก็ให้ใช้ค่าเฉลี่ย

จนกว่าจะไม่มีน้ำไหลเลยพื้นที่ออกไป

(3) จดเวลาและอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเลยพื้นที่ออกไป จดเวลาและวัดอัตราดังกล่าวเป็นระยะ ๆ จนกว่าจะไม่มีน้ำไหลเลยพื้นที่ออกไป

(4) จดเวลาที่หยุดให้น้ำ และเวลาที่น้ำที่จุดต่าง ๆ แห้ง โดยปกติที่หัวแปลงซึ่งเป็นจุดสูงสุดจะแห้งก่อนท้ายแปลงจะแห้งหลังสุด วัตถุประสงค์ข้อนี้ก็เพื่อจะหาระยะเวลาที่น้ำนั้นขังอยู่บนผิวดิน เพื่อที่จะได้เปรียบเทียบหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่จุดต่าง ๆ ได้

(5) ตรวจสอบว่าปริมาณน้ำที่ให้นั้นพอเพียงกับความต้องการหรือไม่โดยการใช้สว่านเจาะดินที่จุดต่าง ๆ มาหาปริมาณความชื้น การตรวจสอบนี้จะต้องทำหลังจากหยุดให้น้ำแล้ว 1-2 วัน

11.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่หาได้

เมื่อได้รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เช่น ในตารางที่ 11.3 และ 11.4 แล้ว ก็นำมาเขียนกราฟเพื่อให้สะดวกต่อการนำมาวิเคราะห์ กราฟที่ต้องการก็มี

1. กราฟดูดซึมสะสม (Cumulative Intake Curve) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินกับระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้น้ำ โดยปกติเราจะเขียนกราฟนี้บนกระดาษ log-log ขนาด 3 cycles

ตารางที่ 11.3 ข้อมูลการซึมผ่านผิวดินในถังวัด

สถานที่ทำการวัด G Ranch ผู้ทำการวัด J L M วันที่ 16 ส.ค. 2510

เนื้อดิน S L ความชื้น 70 มม./150 ม. พืชที่ปลูก Alfalfa

หมายเหตุ ดินสังเกตว่ายังมีความชื้นเหลืออีกมาก

กระบอกวัดที่ 1					
เวลา-นาที			การซึมน้ำของดิน มม.		
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	ความลึก	ห่างกัน	สะสม
11:03			31	0	0
04	1	1	35	4	4
08	4	5	42	7	11
18	10	15	54	12	23
28	10	25	63	9	32
48	20	45	78	15	47
12.13	25	70	95	17	64
48	35	105	117	22	86
13.28	40	145	133	16	102
14.08	40	185	148	15	117
38	30	215	158	10	127

ตารางที่ 11.4 ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำทางผิวดิน

สถานที่ทดสอบ G Ranch วันที่ 16 ส.ค. 2510 ผู้ทำการทดสอบ JLM

วิธีการให้น้ำ Border เนื้อดิน S L พืชที่ปลูก Alfalfa ความลึกของน้ำที่ต้องการให้ 70 มม.

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของแปลงที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำ หญ้าที่ปลูกเพิ่งตัดใหม่ ๆ Parshall flume 6"

น้ำหลาก หรือน้ำแห้ง น้ำหลาก และ น้ำแห้ง

แปลงหรือร่องที่

อัตราการให้น้ำ 34 ลิตร/วินาที

หมายเหตุ

(ช่วงน้ำหลาก)

เวลา			หมุดที่ *
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
10.51		0	0
	8		
59		8	1
	12		
11.11		20	2
	15		
26		35	3
	15		
41		50	4
	17		
58		67	5
	18		
12.16		85	6
	20		
36		105	7
	25		
13.01		130	8
	31		
32		161	8.5

(ช่วงน้ำแห้ง)

เวลา			หมุดที่ *
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
10.51		0	0
	88		
12.19		88	0
	8		
27		96	0
	32		
59		128	1
	19		
13.18		147	2
	11		
29		158	3
	6		
35		164	4
	3		
38		167	5
	4		
42		171	6
	2		
44		173	7
	0		
44		173	8
	-3		
13.41		170	8.5

เวลา			หมุดที่ *
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	

ในกรณีที่เป็นข้อมูลช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ของการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว บรรทัดแรกของช่องควรเป็นเวลาที่เริ่มให้น้ำ บรรทัดที่สองเป็นเวลาที่หยุดให้น้ำ บรรทัดที่สามเป็นเวลาที่น้ำเริ่มแห้ง ทั้งสามบรรทัดนี้เป็นเวลาที่หมุดแรก

* หมุดแรกที่หัวแปลงนับเป็นศูนย์

2. กร๊าฟน้ำหลาก (Advance Curve) เป็นกร๊าฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางที่น้ำไหลไปถึงจุดต่าง ๆ บนแปลงกับเวลาที่นับจากเริ่มต้นให้น้ำ กร๊าฟนี้จะเขียนบนกระดาษแบบธรรมดา โดยมีแกนราบเป็นระยะทางนับจากหัวแปลงและแกนตั้งเป็นเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำ

3. กร๊าฟน้ำแห้ง (Recession Curve) เป็นกร๊าฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาหลังจากหยุดให้น้ำแล้วกับระยะทางที่น้ำในแปลงที่หมุดต่าง ๆ เริ่มแห้ง กร๊าฟนี้มักจะเขียนบนรูปเดียวกับกร๊าฟน้ำหลาก (Advance Curve) และเวลาที่ใช้นับจากเริ่มต้นให้น้ำ ความแตกต่างระหว่างเวลาบนกร๊าฟน้ำแห้งและกร๊าฟน้ำหลากที่หมุดเดียวกันจะเป็นเวลาที่น้ำขังอยู่บนแปลงตรงหมุดนั้น ระยะเวลานี้ทำให้เราสามารถนำไปหาความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินจากกร๊าฟดูดซึมสะสม (Cumulative Intake Curve) ตรงหมุดนั้นได้

11.2.5 ตัวอย่าง

ในตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงการวิเคราะห์หาความสม่ำเสมอของการให้น้ำ ประสิทธิภาพของระบบการชลประทานและการปรับปรุงวิธีใช้ จากการทดลองประเมินผลการให้น้ำจากพื้นที่เพาะปลูกจริงแห่งหนึ่ง ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการปล่อยน้ำเพียงแปลง (strip) เดียวเนื่องจากแหล่งน้ำที่ใช้อยู่นั้นมาจากบ่อบาดาลตื้นซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำน้อย สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ของแปลงมีดังนี้คือ

ศูนย์กลางระหว่างคันดินต่อคันดินของแปลงเท่ากับ 8 เมตร โดยมีความกว้างเฉพาะตัวแปลง (strip) เท่ากับ 7 เมตร

แปลงยาวทั้งสิ้น 420 เมตร แต่ทำการทดลองเพียง 210 เมตร (เนื่องจากการให้น้ำโดยปกติของพื้นที่ผืนนี้จะให้เพียงครั้งละครึ่งของความยาว เมื่อให้ช่วงต้นเสร็จแล้วจึงจะให้ช่วงท้ายโดยจะมีท่อต่อมาถึงที่ระยะ 210 เมตร)

อัตราการให้น้ำ	34	ลิตรต่อวินาที
ความลึกของรากพืช	1.50	เมตร

ชนิดของดินเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy loam)

เครื่องมือวัดน้ำที่ใช้เป็นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) ขนาด 6 นิ้ว

ข้อมูลที่ได้จากการหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินอยู่ในตารางที่ 11.3 และนำมาเขียนกร๊าฟดูดซึมสะสมดังรูปที่ 11.1 กร๊าฟที่ได้นี้สมมุติว่าเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งแปลง (ในกรณีที่ได้ทดลองหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินหลายแห่งให้เขียนกร๊าฟดูดซึมสะสมของทุกแห่งลงบนแผ่นเดียวกันแล้วจึงลากเส้นเฉลี่ยเพื่อใช้ค่าต่าง ๆ จากเส้นเฉลี่ยนี้)

สำหรับข้อมูลการไหลของน้ำในช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) อยู่ในตารางที่ 11.4 และนำมาเขียนกร๊าฟดังรูปที่ 11.2

จากกร๊าฟนี้สามารถหาระยะเวลาที่น้ำขังอยู่บนผิวดิน (To) ที่หมุดต่าง ๆ ได้ ระยะเวลาที่หาได้นี้เมื่อได้นำไปเทียบกับกร๊าฟดูดซึมสะสม (Comulative Intake Curve) ก็จะได้ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่าง ๆ เหล่านั้น เมื่อหาค่าเฉลี่ยของความลึกต่อระยะทางหนึ่งหมุดหรือสั้นกว่าแล้วนำมารวมกันเข้าจะสามารถหาค่าเฉลี่ยของความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินตลอดแปลงได้

ตารางที่ 11.5 ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน

หมุดที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8.5
To	96	120	127	123	114	100	86	68	43	9
D	78	90	94	92	88	80	74	64	46	17
$\overline{D}$/30ม.	84	92	93	90	84	77	69	55	32/2	

$$\frac{\Sigma \overline{D}}{n} = \frac{660}{8.5} = 78 \text{ มม.}$$

ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินเฉลี่ย = 78 มม.

เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ควรจะหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ได้จริง ๆ เนื่องจากให้น้ำด้วยอัตรา 34 ลิตร/วินาทีเป็นเวลานาน 88 นาที บนพื้นที่กว้าง 7 เมตร ยาว 255 เมตร ดังนั้นความลึกเฉลี่ยของน้ำที่แท้จริงจะหาได้โดยใช้สูตร

$$Qt = DA$$

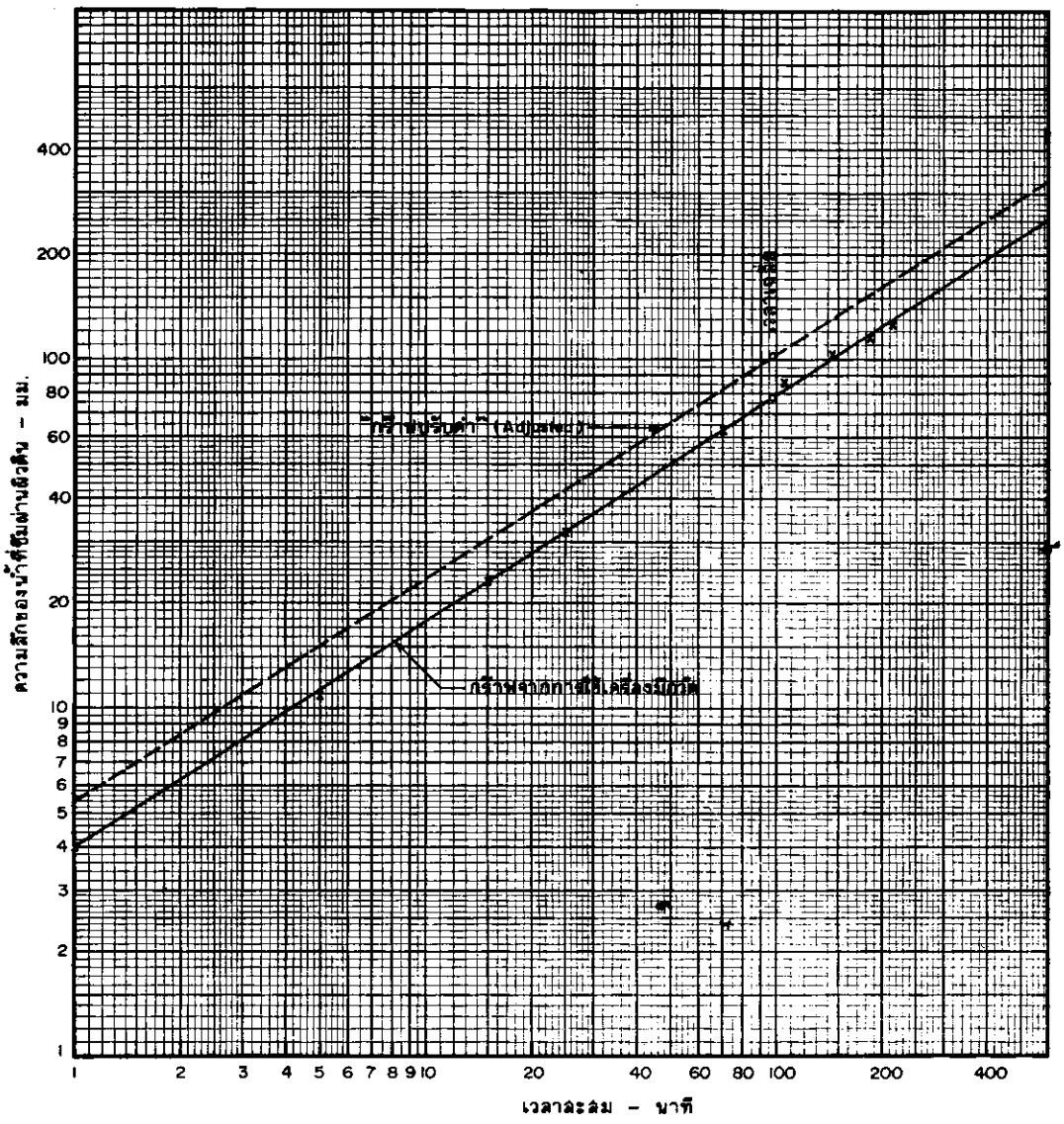
ดังนั้น

$$D = \frac{34 \times 88 \times 60}{7 \times 255}$$

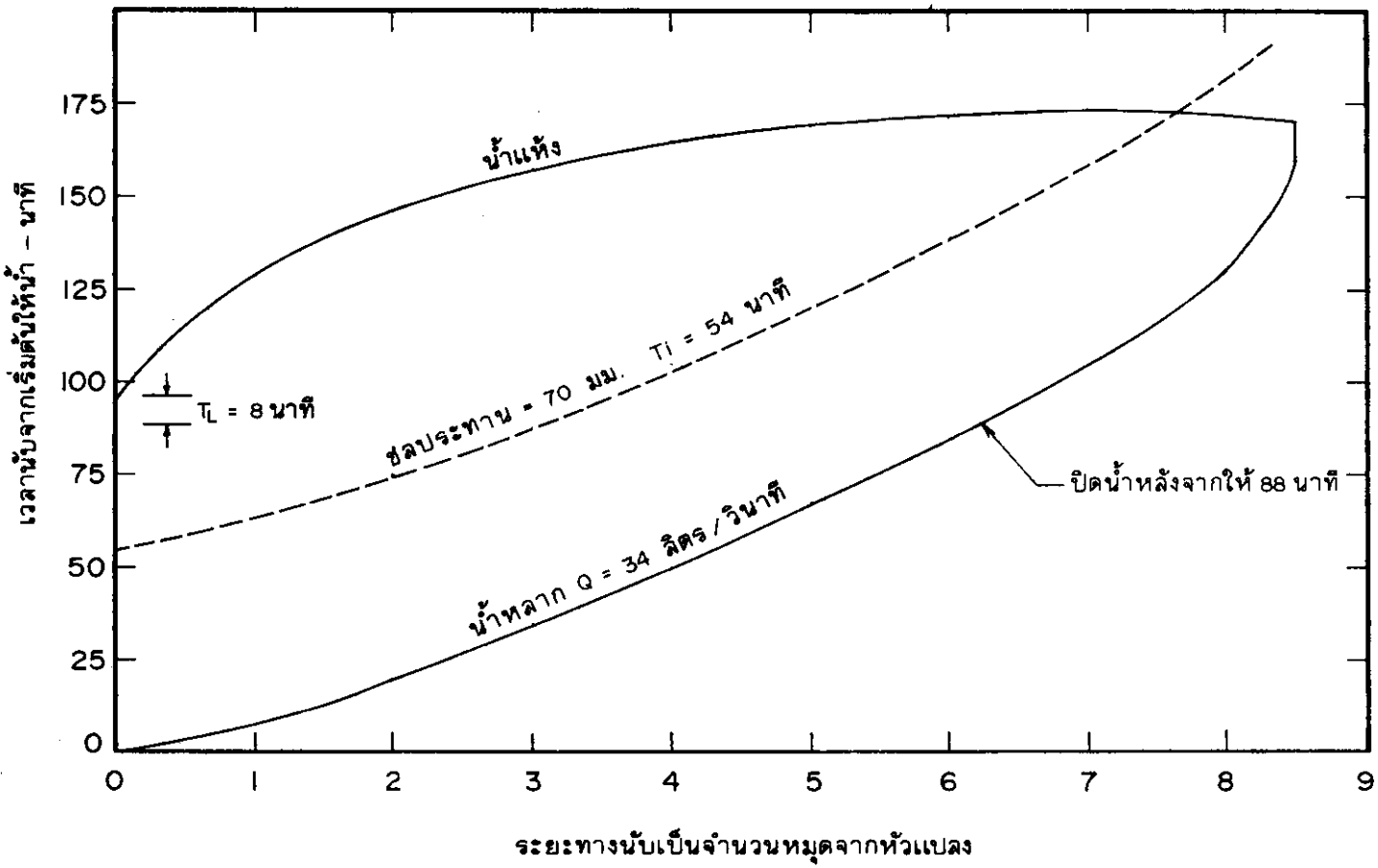
$$= 100.6 \text{ มม.}$$

ซึ่งไม่เท่ากับ 78 มม. ที่หาได้โดยใช้กราฟดูดซึมสะสม เนื่องจากการวัดอัตราการซึมของน้ำมีโอกาสผิดได้ง่ายกว่าการวัดอัตราการไหล ดังนั้นจึงควรแก้ไขกราฟดูดซึมสะสม ให้ถูกต้องโดยการลากเส้นใหม่ให้ผ่านค่า 100.6 มม. ที่เวลาซึ่งบนกราฟเดิมมีค่าเท่ากับ 78 มม. และให้กราฟเส้นนี้ขนานกับกราฟเดิมและเรียกกราฟที่ได้ใหม่นี่ว่า "กราฟปรับค่า" (Adjusted Curve) ซึ่งจะใช้ทำการวิเคราะห์ต่อไป

เพื่อเป็นการตรวจสอบ จะต้องคำนวณความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่าง ๆ ใหม่อีกครั้งโดยวิธีการเช่นเดียวกับในตารางที่ 11.5 ในครั้งแรก แต่ใช้กราฟปรับค่า (Adjusted Curve) ดังแสดงในตารางที่ 11.6 ซึ่งในครั้งนี้ได้ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินเท่ากับ 100.8 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ให้จริง ๆ คือ 100.6 มม. มาก ซึ่งแสดงว่า "กราฟปรับค่า" ที่ได้นี้ถูกต้อง



รูปที่ II.1 กราฟดูดซึมสะสม (Cumulative intake curves)



รูปที่ 11.2 กราฟน้ำหลาก – น้ำแห้งของการทดลอง

ตารางที่ 11.6 ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่าง ๆ จากกราฟ "ปรับค่า"

หมุดที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	8.5
To	96	120	127	123	114	100	86	68	43	9
D	102	118	122	120	113	104	96	82	60	22
$\bar{D}$/30 ม.	110	120	121	117	108	100	89	71	41/2	

$$\frac{\Sigma \bar{D}}{n} = \frac{856.5}{8.5} = 100.8 \text{ มม.}$$

ความลึกเฉลี่ยตลอดความยาว 210 เมตร (หมุด 0-7) = 765/7 = 109 มม.

11.2.6 ประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency, Ed)

คือ อัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่มีค่าน้อยที่สุดกับค่าเฉลี่ยที่ซึมผ่านผิวดินตลอดความยาวของแปลงที่ทำการทดลอง ค่า Ed ที่ได้จะชี้ถึงว่าการให้น้ำในแปลงนั้นสม่ำเสมอเพียงใดโดยไม่คำนึงว่าการให้น้ำนั้นพอเพียงหรือมากกว่าความต้องการหรือไม่

ในตัวอย่างนี้แปลงที่ทำการทดลองยาว 210 เมตร ดังนั้นค่าเฉลี่ยของความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินตลอดความยาวของแปลง (ถึงหมุด 7) จะได้เท่ากับ 765/7 = 109 มม.

สำหรับความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่มีค่าน้อยที่สุดนั้นอาจจะใช้ 82 มม. ซึ่งเป็นค่าที่หมุด 7 หรืออาจจะใช้เท่ากับค่าเฉลี่ยต่ำสุดของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินในช่วงความยาวหนึ่งในสี่ของแปลง ตามข้อแนะนำของ US. Soil Conservation Service (SCS) ดังนั้นในการทดลองตามตัวอย่างนี้ ค่าดังกล่าวจะเท่ากับ 93 มม. (ช่วงที่ได้ค่าเฉลี่ยต่ำสุดนี้จะอยู่ในระยะ 210/4 = 52.5 ม. จากท้ายสุดของแปลงที่ทดลอง หรืออยู่ระหว่างหมุดที่ 5.25 ถึงหมุดที่ 7 ดังแสดงในรูปที่ 11.3) ดังนั้น

Ed (Absolute) = (82/109) × 100
= 75%

Ed (SCS) = (93/109) x 100
= 85%

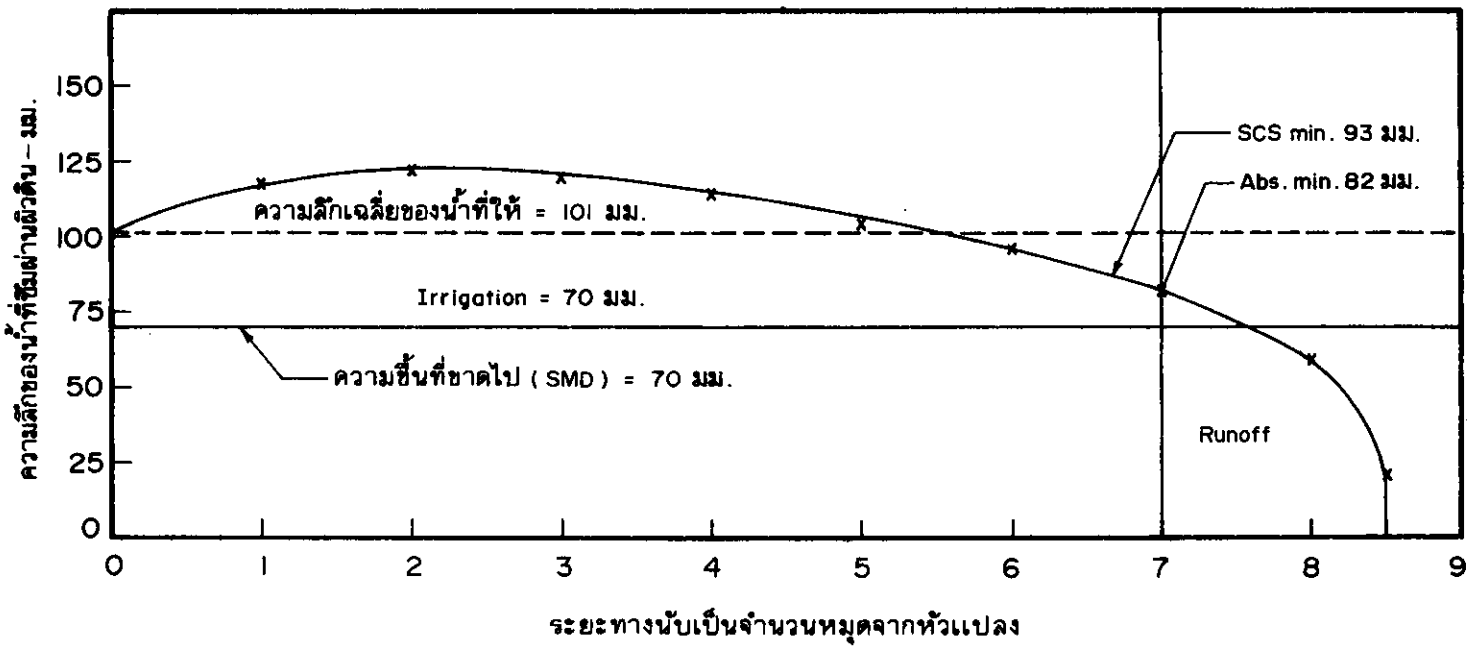
11.2.7 ประสิทธิภาพระบบการให้น้ำ (Irrigation System Efficiency, Ei)

คืออัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างความลึกของน้ำที่ให้ที่น้อยที่สุดเมื่อเท่ากับ SMD ต่อความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ส่งเข้าแปลงทั้งหมด ค่า Ei ที่ได้จะชี้ว่าภายใต้สภาวะที่ทำการทดลองนี้ระบบการให้น้ำที่ใช้อยู่จะสามารถให้ผลดีเพียงใด

จากรูปที่ 11.2 ค่าความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่แปลงเฉพาะส่วนที่ทำการทดลอง 210 เมตร (7 หมุด) จะต้องเอาน้ำส่วนที่ไหลเลยหมุดที่ 7 มาคิดเป็นความลึกทั้งหมดด้วย นั่นคือ ความลึกเฉลี่ยจะเท่ากับ 856.5/7 = 122 มม. ดังนั้น

Ei (Absolute) = (82/122) × 100
= 67%

Ei (SCS) = (93/122) × 100
= 76%



รูปที่ 11.3 ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่างๆ

11.2.8 ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Field Application Efficiency, Ea)

คืออัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างความลึกของน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากของจุดที่น้อยที่สุดแต่ไม่เกินความชื้นที่ขาดไป (SMD) ต่อความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ส่งเข้าแปลงทั้งหมด ค่า Ea นี้จะชี้ให้เห็นว่าระบบถูกใช้ได้ดีเพียงใด

เพื่อให้เห็นชัดเจนยิ่งขึ้นขอให้ดูจากรูปที่ 11.2 ซึ่งเขียนกราฟชลประทาน (Irrigation Curve) ไว้ในกราฟน้ำหลากและน้ำแห้ง และเช่นเดียวกันความลึกของความชื้นที่ขาดไป (ซึ่งประมาณว่าเท่ากับความลึกเก็บกัก) อาจจะเขียนในรูปเดียวกับความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินดังรูปที่ 11.3 สำหรับในรูปที่ 11.2 นั้น กราฟชลประทาน ได้เขียนไว้เหนือเส้นกราฟน้ำหลากโดยมีระยะห่างเท่ากับเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมผ่านผิวดินเป็นความลึกเท่ากับ SMD เวลาดังกล่าวนี้คือ Ti ซึ่งในการทดลองนี้เท่ากับ 54 นาที สำหรับกราฟชลประทานนี้ถ้าอยู่ใต้เส้นกราฟน้ำแห้งที่จุดใดแสดงว่าเวลาที่น้ำจะซึมผ่านผิวดินที่จุดนั้นมีมากกว่า Ti นั่นคือการให้น้ำมากกว่าต้องการ ในทางตรงกันข้ามถ้ากราฟชลประทานอยู่เหนือเส้นกราฟน้ำแห้งที่จุดใดย่อมแสดงว่าการให้น้ำที่จุดนั้นน้อยกว่าต้องการ ส่วนในรูปที่ 11.3 นั้นปริมาณน้ำที่เกินความต้องการจะแสดงเป็นความลึก ซึ่งจากหมุด 0 ถึงหมุด 7 นั้นน้ำที่เกินความต้องการจะซึมลึกเลยเขตรากและสูญเสียไปในรูปการซึมเลยเขตราก (Deep Percolation) สำหรับน้ำส่วนที่ไหลเลยหมุดที่ 7 ไปนั้นเรียกว่าสูญเสียไปในรูปของน้ำไหลเลยท้ายแปลง (Runoff)

เนื่องจากในขณะทำการทดลองนี้ ดินยังมีความชื้นอยู่พอสมควร และจากการทดสอบหาความชื้นในดินพบว่าในความลึกของเขตราก 1.50 เมตร นั้นมีความชื้นที่ขาดไป (SMD) ทั้งหมด 70 มม. ดังนั้นจึงถือว่าความลึกของน้ำที่เก็บกักในเขตรากในการทดลองนี้เท่ากับ 70 มม. ดังที่เขียนในรูปที่ 11.3 และจากรูปที่ 11.1 เวลาที่น้ำซึมผ่านผิวดินให้ได้ความลึกดังกล่าวนี้ เท่ากับ 54 นาที ดังที่เขียนในรูป 11.2 ดังนั้น

$$Ea = \left(\frac{70}{122}\right) \times 100$$

$$= 57\%$$

จะสังเกตได้ว่าค่า Ea นี้น้อยไปประมาณ 10% ของที่ควรจะเป็นทั้งนี้เพราะว่าการให้น้ำทำเร็วเกินไป ถ้าเพียงแต่รออีก 2-3 วัน ให้ดินมีความชื้นที่ขาดไปเท่ากับ 82 มม. แล้ว Ea จะมีค่าเท่ากับ Ei คือ 67%

11.2.9 ระยะเวลาให้น้ำที่ถูกต้อง (Ti)

Ti จะได้จากการอ่านกราฟในรูปที่ 11.1 ซึ่งแสดงว่าในการให้น้ำลึก 70 มม. นั้น ระยะเวลาที่น้ำควรขังอยู่เหนือผิวดินนั้นจะประมาณ 54 นาที อย่างไรก็ตามระยะเวลาดังกล่าวนี้ เป็นเพียงค่าโดยประมาณเท่านั้นเพราะในสภาพแท้จริงจะมีการแปรผันได้

11.2.10 ขนาดของอัตราการให้น้ำ (Q)

Q ที่ใช้ในการทดลองนี้น้อยไป ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าถ้าเพิ่มขนาดของอัตราการให้น้ำให้มากขึ้นจะทำให้น้ำไหลได้เร็วขึ้น นั่นคือ กราฟน้ำหลากและน้ำแห้งจะชนานกันมากขึ้น ซึ่งแสดงถึงการให้น้ำสม่ำเสมอขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้ปิดน้ำได้เร็วกว่า และลดปริมาณน้ำที่ซึมลึกเลยเขตรากในช่วงระยะต้นของแปลงให้น้อยลง ในกรณีที่ไม่อาจเพิ่มขนาดของอัตราการให้น้ำได้ การเพิ่มประสิทธิภาพจะกระทำได้โดยการลดขนาดความกว้างของแปลง เพื่อเพิ่มอัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (Unit flow) ให้มากขึ้น

11.2.11 สรุป

จากผลของการวิเคราะห์อาจสรุปได้ว่า การให้น้ำในครั้งนี้กระทำเร็วเกินไปเนื่องจากขณะให้น้ำดินยังมีความชื้นอยู่มาก สำหรับค่า Ed ซึ่งได้ 75% และค่า Ei ซึ่งได้ 67% นั้น สามารถที่จะเพิ่มขึ้นได้ถ้าปรับปรุงอัตราการให้น้ำและโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่า Ea ที่ได้ 57% นั้น จะเพิ่มขึ้นอีก 10% ได้โดยง่ายถ้าชลอการให้น้ำให้ช้าไปอีก 2-3 วัน อย่างไรก็ตามอย่าถือค่าตัวเลขเหล่านี้เป็นค่าที่ถูกต้องทีเดียวนัก ควรจะถือว่าเป็นค่าโดยประมาณเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง การออกแบบหรือการให้น้ำว่าควรจะทำอย่างไรเท่านั้น

11.2.12 การวิเคราะห์เพิ่มเติม

เพื่อเป็นแนวทางเลือกอื่นประกอบการพิจารณาปรับปรุงระบบและวิธีการให้น้ำให้เหมาะสมทั้งในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายและสะดวกต่อการปฏิบัติ ควรจะได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มขึ้น

ปัจจัยหลัก 3 ประการที่ควรยึดถือและพิจารณาเพื่อการจัดการและปรับปรุงการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน คือ

(1) ขนาดของอัตราการให้น้ำ ซึ่งมีผลต่อกราฟน้ำหลากและระยะเวลาให้น้ำ

(2) ความชื้นของดินที่ขาดหายไปก่อนการให้น้ำ ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาให้น้ำและความถี่ของการให้น้ำ

(3) ความยาวของแปลง ซึ่งบางครั้งอาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้าใช้ท่อส่งน้ำที่เคลื่อนย้ายได้

ปัจจัยอื่น ๆ เช่นความสม่ำเสมอของชนิดดินตลอดแปลง และความลาดเทของแปลงก็มีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน แต่ปัจจัยเหล่านี้ยากต่อการเปลี่ยนแปลง นอกจากสำหรับการพิจารณาในพื้นที่แห่งใหม่ที่จะออกแบบการให้น้ำแบบนี้

สำหรับการให้น้ำอย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพนั้น ควรจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้ คือ

(1) เวลาที่น้ำขังที่หัวแปลง (To) จะต้องเท่ากับเวลาที่ต้องการให้น้ำ (Ti) ซึ่งจะต้องเท่ากับระยะเวลาที่เปิดน้ำเข้าแปลง (Ta) รวมกับระยะเวลาที่น้ำที่หัวแปลงนั้นซึมลงดินจนหมดนับจากปิดน้ำ (Tl) นั่นคือ

$$To = Ti = Ta + Tl$$

(2) ทุก ๆ จุดบนกราฟชลประทาน (Irrigation Curve) ควรจะอยู่ต่ำกว่ากราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) และ

(3) เมื่อปิดน้ำแล้วยังจะมีน้ำไหลไปจนถึงท้ายแปลงโดยมีปริมาณมากพอ ที่จะเพิ่มความชื้นของดินให้ได้ตามที่ต้องการตลอดแปลง ซึ่งโดยปกติแล้ว จะปิดน้ำที่ให้เมื่อน้ำที่ปล่อยเข้าแปลงไหลไประยะหนึ่งประมาณ 70-90 เปอร์เซนต์ของความยาวของแปลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำชนิดของดินและความลาดเทของแปลง

11.2.13 การประมาณขนาดอัตราการให้น้ำที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับปรากฏว่าขนาดของอัตราการให้น้ำ Q ที่ใช้อยู่นั้นน้อยเกินไป ดังนั้นเพื่อประมาณขนาดอัตราการให้น้ำที่พอเหมาะว่าควรเป็นเท่าใด อาจหาได้ตามวิธีการดังรูปที่ 11.4

ในรูปที่ 11.4 นี้ กราฟต่าง ๆ ที่เขียนนั้นเป็นการประมาณหรือคาดว่าจะเกิดขึ้นภายหลังจากการเพิ่มขนาดอัตราการให้น้ำแล้ว ทั้งนี้โดยให้ได้เงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ต้องการกล่าวคือ

(1) กราฟน้ำแห้งจะเริ่มต้นที่เวลา 54 นาที หลังจากเริ่มให้น้ำและลากเส้นให้เส้นโค้งไปตามรูปร่างที่ได้จากการทดลองจริง (รูปที่ 11.2)

(2) ที่หมุดที่ 7 จะกำหนดจุดขึ้นสำหรับกราฟน้ำหลากโดยให้อยู่ต่ำกว่ากราฟน้ำแห้ง 54 นาที ทั้งนี้เพื่อให้แน่นอนว่าที่จุดท้ายสุดของแปลงนั้นได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ

(3) กราฟน้ำหลากจะเขียนตามรูปร่างคล้ายคลึงกับที่ได้จากการทดลอง (รูปที่ 11.2) แต่จะราบกว่าเนื่องจากขนาดของอัตราการให้น้ำมากกว่า

(4) เวลาที่น้ำขังหัวแปลง (Tl) ประมาณว่าเท่ากับ 10 นาที ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อเทียบกับเมื่ออัตราการให้น้ำเท่ากับ 34 ลิตรต่อวินาทีนั้น Tl เท่ากับ 8 นาที ถ้าเพิ่มอัตราการให้น้ำแล้ว Tl ควรจะมากกว่า ดังนั้นระยะเวลาที่ต้องส่งน้ำเข้าแปลง (Ta) จะเท่ากับ 54-10 หรือ 44 นาที และจากกราฟน้ำหลากในรูปที่ 11.4 จะเห็นว่าขณะที่ปิดน้ำ น้ำในแปลงจะไหลไปได้ประมาณ 4.93 หมุด หรือประมาณ 148 เมตร ซึ่งคิดเป็น 70 เปอร์เซนต์ของความยาวของแปลงซึ่งอาจจะน้อยไป แต่อย่างไรก็ตามถ้าการปฏิบัติจริงพบว่าปิดน้ำเร็วเกินไปก็อาจยืดเวลาออกไปได้อีก

จากกราฟน้ำหลากและน้ำแห้งในรูปที่ 11.4 นี้ เมื่อนำมาคำนวณหาความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 11.7 แล้วหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ส่งเข้าแปลงทั้งหมดจะได้เท่ากับ 85 มม. และเนื่องจากแปลงทดลองกว้าง 7 เมตร ความยาวตลอดที่ได้รับน้ำเท่ากับ 240 เมตร (8 หมุด) เวลาที่ส่งน้ำเข้าแปลงเท่ากับ 44 นาที ดังนั้นอัตราการให้น้ำโดยประมาณอาจหาได้จากสูตร

$$Qt = DA$$

$$Q = \frac{85 \times 240 \times 7}{44 \times 60}$$

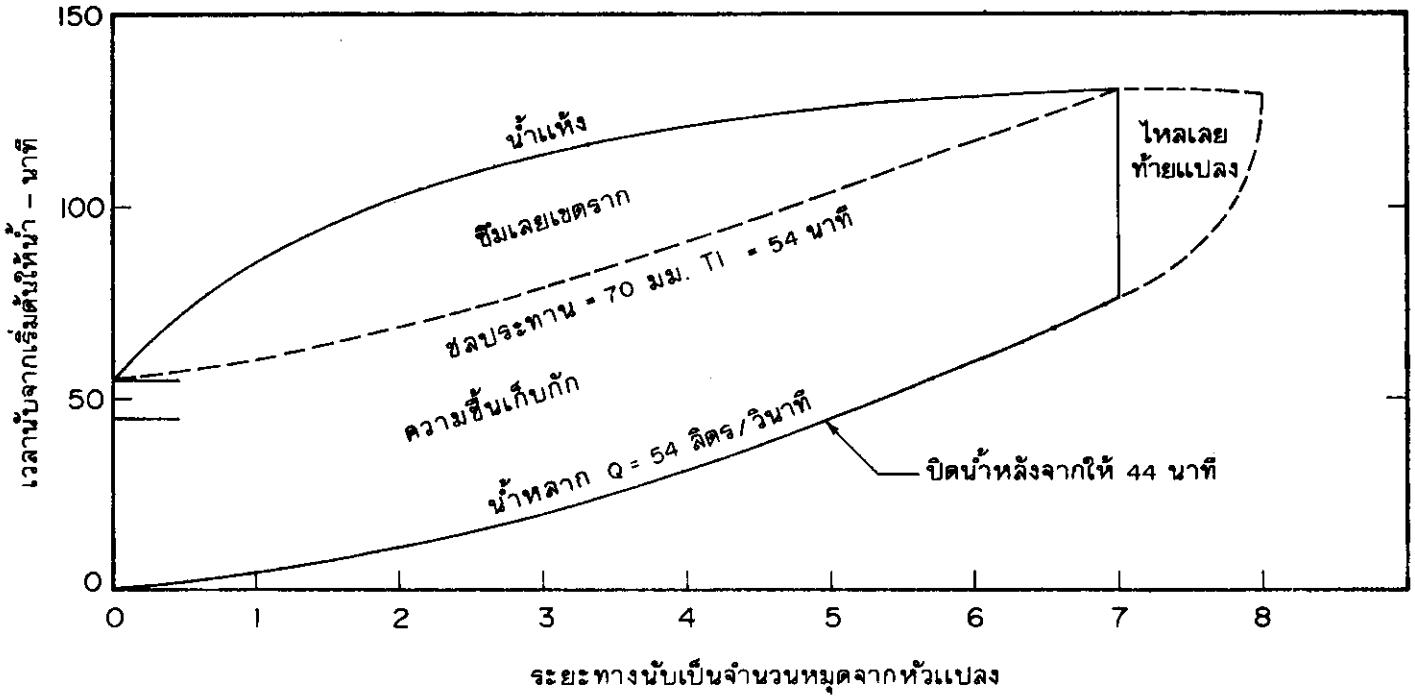
$$= 54 \text{ ลิตร/วินาที}$$

และอัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง (Unit flow) ของแปลงทดลองนี้จะเท่ากับ 54/7 = 7.7 ลิตรต่อวินาทีต่อความกว้าง 1 เมตร ดังนั้นถ้าใช้อัตราการให้น้ำเดิมคือ 34 ลิตรต่อวินาทีแล้วก็ควรจะลดความกว้างของแปลงให้เหลือเพียง 34/7.7 หรือเท่ากับ 4.4 เมตร

ตารางที่ 11.7 ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่าง ๆ จากรูปที่ 11.4

หมุดที่	0	1	2	3	4	5	6	7	7.5	7.9
To	54	80	91	94	88	80	68	54	42	20
D	70	90	99	101	97	90	81	70	60	37
$\overline{D}$		80	95	100	99					

สำหรับ 7 หมุด ΣD = 628 มม.



รูปที่ 11.4 กราฟน้ำหลาก – น้ำแห้งจากการคาดหมาย ในกรณีที่เพิ่มอัตราการให้น้ำ

ดังนั้น

ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลง $= \frac{680}{8} = 85$ มม.

ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมอยู่ในแปลง $= \frac{628}{7} = 90$ มม.

ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้ $= \frac{680}{7} = 97$ มม.

$Ed = \frac{70}{90} = 78\%$

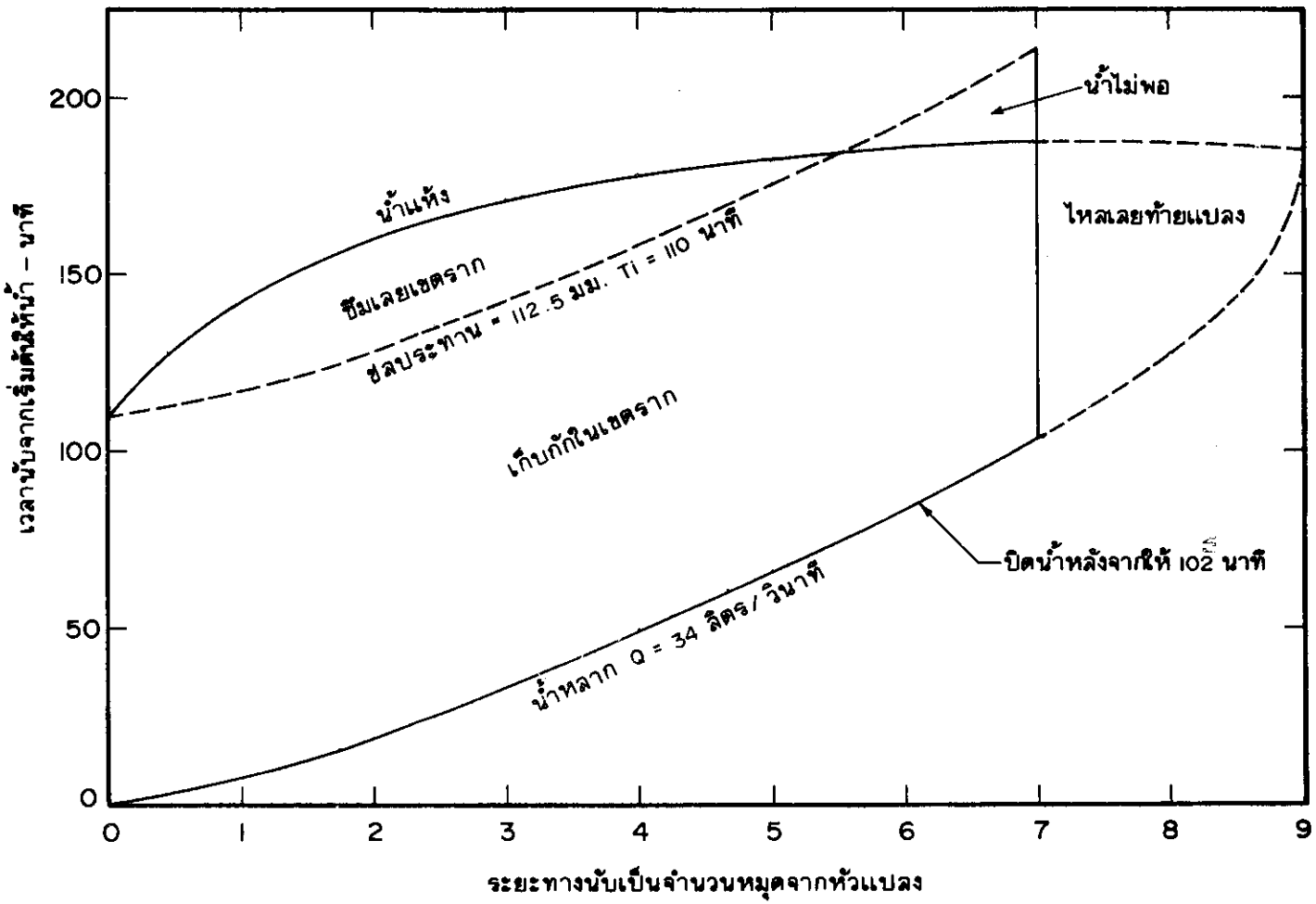
$Ei = Ea$

$= \frac{70}{97} = 72\%$

11.2.14 การปรับปรุงกำหนดการให้น้ำ

ในการกำหนดการให้น้ำแต่ละครั้งนั้น ความชื้นที่ยอมให้ลดลงเชิงปฏิบัติ (MAD) ควรจะผันแปรไปตามความลึกของเขตรากของพืช ทั้งนี้เพราะความลึกของเขตรากจะเปลี่ยนไปตามระยะการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นความชื้นที่ยอมให้ลดลงเชิงปฏิบัตินี้อาจผันแปรภายในขอบเขตที่ยอมได้ให้เหมาะสมกับความสะดวกในด้านแรงงาน ความเจริญเติบโตของพืช และประสิทธิภาพของการชลประทาน สำหรับในการทดลองนี้การให้น้ำกระทำเมื่อความชื้นที่ขาดไปเท่ากับ 70 มม. ซึ่งในดินร่วนปนทรายนี้มีความชื้นที่นำไปใช้ได้ (available moisture) ประมาณ 1.25 มม. ต่อความลึกของดิน 1 ซม. ดังนั้นในความลึกของเขตราก 1.50 ม. ถ้าให้น้ำครั้งละ 70 มม. แล้วความชื้นที่ยอมให้ลดลงเชิงปฏิบัติ (MAD) จะเท่ากับ 37% เท่านั้นซึ่งต่ำมาก และสำหรับดินและพืชที่ปลูกรวมทั้งสภาพภูมิอากาศในแปลงที่ทดลองนี้สามารถที่จะกำหนดการให้น้ำเมื่อความชื้นที่นำไปใช้ได้ลดลง 60% ดังนั้นปริมาณความชื้นที่ขาดไป (SMD) เท่ากับ 60% (1.25 มม./ซม. × 150 ซม.) = 112.5 มม. อาจจะนำมาพิจารณาปฏิบัติได้ในการกำหนดการให้น้ำ

ในรูปที่ 11.5 แสดงกราฟต่าง ๆ ที่คาดหมายว่าจะเกิดขึ้นจากการเพิ่มปริมาณน้ำที่จะต้องให้เป็น 112.5 มม. ซึ่งจากรูปที่ 11.1 จะได้ค่าเวลาที่จะต้องให้น้ำ (Ti) เท่ากับ 110 นาที สำหรับอัตราการให้น้ำคงใช้อัตราเดิมคือ 34 ลิตรต่อวินาที การเขียนกราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้งนั้นคงใช้รูปร่างของกราฟเหมือนกับที่ได้จากการทดลองโดยไม่ดัดแปลง แต่มีข้อสังเกตเพิ่มเติมเล็กน้อยในกรณีที่อาจจะผิดกันบ้างระหว่างกราฟที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่คาดว่าจะเกิดขึ้น คือ เนื่องจากการให้น้ำในกรณีนี้ความชื้นในดินน้อยกว่าความชื้นในขณะทำการทดลองมากดังนั้นอัตราการดูดซึมน้ำของดินในช่วงแรกจะมีมากกว่าและทำให้อัตราน้ำหลากช้ากว่านั่นคือทำให้กราฟน้ำหลากชันกว่าเล็กน้อย และเนื่องจากต้องเปิดน้ำนานกว่าจึงอาจทำให้ระยะเวลาน้ำขังหัวแปลง (Lag time) มีมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม สิ่งที่จะชดเชยค่าที่อาจผิดกันนี้ คือ กราฟน้ำแห้งที่จะเกิดขึ้นแท้จริงแล้วจะชันกว่าเช่นกัน เพราะว่าการเปิดน้ำเข้าแปลงจะต้องทำนานกว่ามาก ทำให้อัตราการดูดซึมน้ำน้อย อันเป็นผลให้มีช่วงเวลาน้ำแห้งนานกว่า อย่างไรก็ตามการใช้กราฟที่ได้จากทดลองนั้นถึงแม้จะไม่ถูกต้องนัก แต่ก็ให้ค่าที่เหมาะสม สำหรับการศึกษาเพื่อการปรับปรุง



รูปที่ 11.5 กราฟน้ำหลาก – น้ำแห้ง จากการคาดหมาย เมื่อเพิ่มความชื้นที่ยอมให้ลดลงในเชิงปฏิบัติ (MAD)

จากรูปที่ 11.5 นี้ แสดงให้เห็นว่ามีการให้น้ำพอดีในหัวแปลง แต่มากเกินไปในช่วงต้นของสองในสามของแปลง และในส่วนท้ายของแปลงนั้นการให้น้ำไม่พอเพียงกับความต้องการ มีน้ำไหลเลยท้ายแปลงปริมาณมากเพราะการปิดน้ำกระทำเมื่อน้ำไหลจนถึงท้ายแปลงแล้ว อย่างไรก็ตามในแปลงที่ทดลองนี้เป็นส่วนครึ่งแรกของแปลงซึ่งยาว 420 เมตร ดังนั้นจึงคาดว่าถ้าเปิดน้ำจากท่อที่ระยะ 210 เมตร เมื่อปิดน้ำที่หัวแปลงแล้วจะทำให้ได้รับประสิทธิภาพการให้น้ำสูงขึ้น เนื่องจากน้ำที่ไหลท้ายแปลงในครึ่งแรกจะเป็นประโยชน์ในครึ่งหลัง และน้ำที่เปิดให้ในส่วนของครึ่งหลังของแปลงนี้จะดันน้ำให้เข้าไปทดแทนส่วนท้ายของครึ่งแรกที่น้ำไม่พอนั้นให้พอเพียงได้

บทที่ 12
การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างและการทดลองประเมินผล

12.1 การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

การให้น้ำแบบนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่ง หลักการให้น้ำแบบนี้ก็คือ แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลง ๆ โดยให้ผิวดินในแต่ละแปลงนั้นอยู่ในระดับเดียวกันแล้วทำคันดินล้อมรอบพื้นที่นั้นไว้ เมื่อให้น้ำในแปลงน้ำก็จะแผ่กระจายท่วมผิวดินและซึมเข้าไปในดินสม่ำเสมอกัน ในบางครั้งอาจจะให้น้ำท่วมผิวดินอยู่ตลอดเวลา เช่นในนาข้าว หรือในแปลงที่ขังน้ำไว้เพื่อการชะล้างเกลือออกจากดิน เป็นต้น

การให้น้ำแบบนี้ เป็นวิธีง่ายที่จะใช้กับพืชที่ยอมให้น้ำท่วมโคนต้นได้ เหมาะสำหรับให้น้ำก่อนเตรียมแปลงหรือใช้สำหรับการชะล้างเกลือออกจากดิน แต่ไม่เหมาะสำหรับให้น้ำในช่วงแรกของการปลูกพืชไร่ คือในช่วงที่เมล็ดกำลังงอกหรือต้นพืชยังเล็กอยู่ เพราะดินอาจจะเกิดการแตกระแหงหลังให้น้ำ ทำให้เป็นอันตรายต่อรากหรือต้นอ่อน นอกจากนั้น เนื่องจากว่าการให้น้ำแบบนี้ต้องใช้อัตราการให้น้ำสูง กระแสน้ำอาจทำลายต้นอ่อนซึ่งรากยังไม่ลึกพอที่จะยึดเหนี่ยวลำต้นไว้ได้

การเลือกขนาดของแปลงควรจะได้พิจารณาจากลักษณะของภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน พืชที่ปลูก และอัตราการส่งน้ำที่ได้รับ หรืออัตราการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำที่มีอยู่ เป็นต้น

ในดินที่มีอัตราการซึมสูง เช่น ดินทราย ขนาดของแปลงจะต้องเล็กถึงแม้ว่าอัตราการส่งน้ำเข้าแปลงจะมากก็ตาม ทั้งนี้เพราะถ้าใช้แปลงขนาดใหญ่แล้วจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยการซึมเลยเขตรากมาก สำหรับดินเหนียวซึ่งมีอัตราการซึมต่ำ ถ้าอัตราการส่งมากก็อาจจะใช้แปลงขนาดใหญ่ได้ หลักสำคัญก็คือจะต้องให้พื้นที่มีขนาดพอเหมาะกับอัตราการส่งน้ำ กล่าวคือ น้ำจะต้องไหลท่วมทั่วแปลงในระยะเวลาสั้นพอสมควร เพื่อที่ว่าความลึกของน้ำที่ซึมเข้าไปในดินที่จุดต่าง ๆ ในแปลงนั้นไม่ต่างกันมากนัก

ก่อนที่จะกำหนดขนาดของแปลงควรจะได้ศึกษาจากของเดิมที่มีอยู่ก่อนแล้วในบริเวณใกล้เคียง หรือทำการทดลองหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินเสียก่อน ขนาดของแปลงสำหรับดินและอัตราการให้น้ำขนาดต่าง ๆ อาจจะประมาณได้จากตารางที่ 12.1

12.2 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง (Basin)

การประเมินผลการให้น้ำแบบนี้จะเป็นการสังเกตและบันทึกการแผ่กระจายน้ำ วัดอัตราการให้น้ำและอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ตลอดจนสังเกตและบันทึกจุดที่น้ำแห้งหลังจากเสร็จสิ้นการให้น้ำแล้ว

ในการประเมินผลการให้น้ำโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency, E_a) นั้น ผู้ประเมินจะต้องทราบความสม่ำเสมอในการให้น้ำ อัตราการให้น้ำ ระยะเวลาที่ให้และขนาดของแปลงที่ทำการประเมิน อย่างไรก็ตาม ค่า E_a ที่หาได้นี้เป็นเพียงเครื่องชี้ให้เห็นถึงผลการให้น้ำโดยประมาณเท่านั้น เพราะโดยข้อเท็จจริงแล้ว ค่าที่วัดมาได้นั้นแปรปรวนไปตามคุณสมบัติของดินภายในแปลง ความไม่สม่ำเสมอในอัตราการไหลของน้ำ ตลอดจนความไม่แน่นอนของการหาจำนวนความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินเป็นต้น

ตารางที่ 12.1 ขนาดของแปลงที่ควรใช้ (ไร่) สำหรับดินและอัตราการให้น้ำขนาดต่าง ๆ กัน

อัตราการให้น้ำ		ชนิดของดิน			
ลิตร/วินาที	ลบ.ม./ชม.	ดินทราย	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนดินเหนียว	ดินเหนียว
30	108	.125	.375	.75	1.25
60	216	.250	.750	1.50	2.50
90	324	.375	1.125	2.25	3.75
120	432	.500	1.500	3.00	5.00
150	540	.625	1.875	3.75	6.25
180	648	.750	2.250	4.50	7.50
210	756	.875	2.625	5.25	8.75
240	864	1.000	3.000	6.00	10.00
270	972	1.125	3.375	6.75	11.25
300	1080	1.250	3.750	7.50	12.50

12.2.1 การเตรียมการ

ก่อนทำการประเมินผลการให้น้ำโดยเปิดน้ำเข้าแปลง จะต้องเตรียมการไว้ก่อนดังนี้ คือ

1. ทำการวัดขนาดของแปลง แล้วเขียนแผนผังให้ถูกต้องตามมาตราส่วนลงในกระดาษไว้อย่างน้อย 2 ชุด สำหรับบันทึกการแผ่กระจายของน้ำ และเมื่อน้ำแห้ง

2. วัดจำนวนความชื้นของดินก่อนการให้น้ำ เพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้องให้ และจะได้ทราบว่าความชื้นที่เหลืออยู่ถึงระดับที่จะต้องให้น้ำหรือยัง

3. เตรียมติดตั้งอุปกรณ์วัดน้ำ ประมาณอัตราและระยะเวลาที่ต้องการให้

4. ตอกหมุดไม้ในแปลงให้เป็นรูปตะแกรงสี่เหลี่ยม ระยะระหว่างหมุดขึ้นอยู่กับขนาดของแปลงที่ทำการประเมิน ซึ่งอาจมีค่าได้ตั้งแต่ 2 ถึง 10 เมตร หรือมากกว่า แสดงตำแหน่งของหมุดไม้เหล่านี้ลงในแผนผังที่จัดทำไว้ในข้อ 1

5. เตรียมการวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินภายในแปลง สังเกตคุณสมบัติของดินภายในแปลงที่จะมีผลต่ออัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินแล้วบันทึกไว้

6. เตรียมตรวจสอบว่าพืชได้รับน้ำครบตามที่ต้องการให้หรือเปล่าโดยการใช้สว่านเจาะดินตรวจสอบดูที่จุดต่าง ๆ

12.2.2 อุปกรณ์ที่ต้องการ

อุปกรณ์ที่ต้องการมีดังต่อไปนี้ คือ

1. สว่านสำหรับเก็บตัวอย่างดิน พร้อมกระป๋องเก็บตัวอย่าง

2. อุปกรณ์วัดน้ำ เช่น รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut-throat Flume) ฝายวัดน้ำ ฯลฯ ควร

จะมีตารางสำหรับบอกอัตราการไหลผ่านสำหรับศักย์ (Head) ขนาดต่าง ๆ กันด้วย

3. นาฬิกาข้อมือแบบมีเข็มนาที

4. เทปวัดระยะสำหรับวัดขนาดของแปลง และสำหรับกำหนดตำแหน่งของหมุดไม้ในแปลง

5. หมุดไม้ หรือห่วงคะแนนที่จะตอกให้เป็นรูปตะแกรงสี่เหลี่ยมเพื่อให้สะดวกในการสังเกตการแผ่กระจายน้ำและน้ำแห้งเมื่อหยุดการให้น้ำ

6. กระดาษสำหรับเขียนแผนผังแปลงทดลองการให้น้ำ และสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ

12.2.3 การทดสอบเพื่อประเมินผล

การทดสอบเพื่อประเมินผลนี้เป็นการทดสอบว่าขนาดของแปลงและอัตราการให้น้ำที่เกษตรกรใช้อยู่นั้นมีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร เพื่อหาแนวทางปรับปรุงให้การให้น้ำนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยดำเนินการดังต่อไปนี้ คือ

1. เลือกแปลงที่จะทำการทดสอบ 1 หรือ 2 แปลงที่มีลักษณะเป็นตัวแทนของแปลงและการให้น้ำทั้งหมดในเขตนั้น ทำการวัดระยะเพื่อหาขนาด ตอกหมุดเป็นรูปตะแกรง พร้อมทั้งเขียนแผนผังที่ถูกมาตราส่วน 2 แผ่น ในแผนผังแสดงตำแหน่งของหมุดไม้ไว้อย่างถูกต้อง

2. ตรวจสอบความชื้นของดินหลาย ๆ จุด สังเกตความแตกต่างของคุณสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกที่จุดต่าง ๆ ภายในแปลง เปรียบเทียบความชื้นของดินที่วัดได้กับความชื้นต่ำสุดที่ยอมให้ว่าดินนั้นแห้งพอที่ควรจะให้น้ำแล้วหรือยัง

3. ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินในแปลง เตรียมน้ำและอุปกรณ์ให้พร้อมที่จะทำการวัดได้ทันทีเมื่อน้ำที่เปิดเข้าแปลงแผ่กระจายมาถึงถังวัด

4. เปิดให้น้ำด้วยอัตรา เวลา และวิธีการที่เกษตรกรใช้ บันทึกเวลาที่เปิดและปิด วัดอัตราการให้ สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการให้น้ำ

5. สังเกตและบันทึกการแผ่กระจายของน้ำจากจุดที่น้ำไหลเข้าไปถึงหมุดไม้ต่าง ๆ ในแปลงจนกระทั่งน้ำท่วมทั่วหมดทั้งแปลง สเก็ตช์แนวการแผ่กระจายของน้ำที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ แนวการแผ่กระจายน้ำนี้ควรจะมี 5 ถึง 8 แนว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแปลง

6. เมื่อน้ำแผ่มาถึงถังวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินก็ให้ดำเนินการวัดโดยการเติมน้ำลงในถังแล้ววัดอัตราที่น้ำซึมหายเข้าไปในดิน

7. สังเกตและสเก็ตช์ตำแหน่งที่น้ำที่จุดต่าง ๆ แห้งที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากหยุดให้น้ำ การบันทึกควรจะทำหลายครั้งเช่นเดียวกันกับเมื่อสังเกตการแผ่กระจายน้ำเมื่อเริ่มต้นให้น้ำ ให้สังเกตบริเวณที่เป็นที่สูงหรือเนินและบริเวณที่เป็นท้องกระทะเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ปรับปรุงระดับในภายหลัง

8. สังเกตและบันทึกตำแหน่งที่อัตราการดูดซึมของดินในบางบริเวณสูงผิดปรกติซึ่งอาจจะสังเกตเห็นได้โดยมีการไหลของน้ำไปหาจุดดังกล่าว ลักษณะดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่อัตราการซึมแตกต่างกันมากเท่านั้น

9. หลังจากให้น้ำแล้ว 2-3 วัน ใช้สว่านเจาะดินตรวจสอบดูว่าความชื้นในดินเพิ่มขึ้นตามต้องการหรือเปล่า ในกรณีที่เป็นดินเนื้อหยาบ เช่นดินทราย การทดสอบนี้อาจทำได้ทันทีหลังจากน้ำบนผิวดินแห้ง ในกรณีนี้จะทราบถึงความลึกที่น้ำซึมลงไปถึง และความสม่ำเสมอในการให้น้ำดี แต่น้ำจากดินส่วนบนจะยังคงซึมต่อไปอีก

12.2.4 การประเมินผลโดยใช้ตัวเลขที่วัดได้

วัตถุประสงค์ในการประเมินผลก็เพื่อที่จะหาว่าวิธีการให้น้ำตามขนาดแปลงและคุณสมบัติของดินตามที่ใช้อยู่นั้นมีประสิทธิภาพดีพอหรือยัง เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นอีก สำหรับค่าต่าง ๆ ที่ทำการวัดไว้ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาก็มี

ก. **ความชื้นของดิน** วัตถุประสงค์ของการวัดก็เพื่อที่จะตรวจสอบดูว่าความชื้นในดินก่อนการให้น้ำนั้นแห้งพอสมควรที่จะให้น้ำแล้วหรือยัง นอกจากนั้นยังใช้เป็นค่าที่จะคำนวณจำนวนความชื้นที่ต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินในเขตรากมีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ซึ่งถ้าให้มากเกินกว่านี้ก็จะกลายเป็นการสูญเสียโดยการซึมเลยเขตรากพืชไป

ข. **ความลึกของน้ำที่ให้** D ซึ่งคำนวณได้โดยการคูณอัตราการไหลผ่านอุปกรณ์วัดน้ำด้วยระยะเวลาแล้วหารด้วยพื้นที่ทั้งหมดของแปลง

$$\text{หรือ} \quad D = \frac{Q.t}{A}$$

ในเมื่อ D เป็นความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่แปลงมีหน่วยเป็น มม. Q เป็นอัตราการให้น้ำเป็นลิตร/วินาที t เป็นเวลาที่ให้น้ำแก่แปลง เป็นวินาที และ A เป็นพื้นที่ของแปลงเป็นตารางเมตร

ในกรณีที่อัตราการให้น้ำมีการแปรปรวน อาจจำเป็นต้องหาค่าปริมาตรของน้ำที่ให้ในแต่ละช่วง (Q.t) แล้วจึงนำมารวมกันแล้วหารด้วยพื้นที่ของแปลงเป็นความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่แปลง

ค. **ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ** ความสม่ำเสมอในการให้น้ำเป็นการประเมินผลการให้น้ำที่จะบอกว่าแต่ละจุดในแปลงได้รับน้ำแตกต่างกันมากน้อยเท่าใด องค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อความสม่ำเสมอในการให้น้ำก็คือ ระยะเวลาที่น้ำขังอยู่บนผิวดินและอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน

ถ้าหากอัตราการให้น้ำที่ใช้สามารถทำให้น้ำแผ่คลุมท่วมหมดทั้งแปลงโดยใช้เวลา 1/4 หรือ 25 เปอร์เซนต์ของเวลาที่ต้องใช้ในการให้น้ำซึมเข้าไปในดินเท่ากับความลึกที่ต้องการ ปัญหาเรื่องความไม่สม่ำเสมอในการให้น้ำก็จะน้อย และถ้าหากระดับดินในแปลงราบและสม่ำเสมอกันดี ดินเป็นดินเนื้อละเอียดด้วยแล้วสัมประสิทธิ์ของความสม่ำเสมอในการให้น้ำก็จะมีค่าสูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้อาจคำนวณได้จากสูตร

$$C_u = 100 \left[1.0 - \frac{\Sigma x}{M.n}\right] \qquad \text{..... 12.1}$$

ในเมื่อ C_u เป็นสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ Σx เป็นผลรวมของผลต่างของความลึกของน้ำที่วัดได้แต่ละจุดจากค่าเฉลี่ย M โดยไม่คิดเครื่องหมาย และ n เป็นจำนวนจุดที่ทำการวัด ซึ่งในที่นี้ก็จะเท่ากับจำนวนหมุดไม้ที่ตอกไว้สำหรับจับเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนผิวดินจุดต่าง ๆ นั่นเอง

ค่าความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินในบริเวณที่ตอกหมุดไม้ไว้จะหาได้จากกราฟน้ำซึมสะสม (Accumulated Depth) และระยะเวลาที่มีน้ำขังบนผิวดินเหนือจุดนั้น

ง. **ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency, Ei)** เป็นอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างความลึกของน้ำที่มีค่าน้อยที่สุดที่เท่ากับที่ต้องการเพื่อเพิ่มความชื้นของดินในเขตรากให้ถึงความชื้นชลประทาน (Field Capacity) กับความลึกที่ต้องเปิดเข้าแปลง หรือ

$$E_i = \frac{d_r}{D} \times 100 \qquad \text{..... 12.2}$$

ในเมื่อ E_i คือประสิทธิภาพของการชลประทาน d_r คือความลึกของน้ำที่ต้องการเพื่อเพิ่มความชื้นของดินในเขตรากให้ถึงความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ถ้าความลึกในแปลงที่มีค่าต่ำสุดมีค่ามากกว่าก็ให้ใช้เท่าที่ต้องการนี้ แต่ถ้ามีน้อยกว่าก็ไม่อาจคำนวณได้เพราะว่ายังได้น้ำไม่ครบตามที่ต้องการ และ D คือความลึกของน้ำที่เปิดเข้าแปลง

จ. ประสิทธิภาพในการให้น้ำ เป็นอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างความลึกของน้ำที่น้อยที่สุดที่ซึมเข้าไปเก็บไว้ในเขตรากต่อความลึกเฉลี่ยที่ส่งเข้าแปลงทั้งหมด

$$E_a = \frac{d_s}{D} \times 100 \qquad \text{..... 12.3}$$

ในเมื่อ E_a คือประสิทธิภาพในการให้น้ำ d_s คือความลึกของน้ำที่น้อยที่สุดที่ซึมเข้าไปเก็บไว้ในเขตราก ในกรณีที่ความลึกดังกล่าวมากกว่า d_r ก็จะมีค่าได้เท่ากับ d_r และ E_a จะเท่ากับ E_i

สำหรับความลึกที่น้อยที่สุดที่ใช้ในการประเมินผลการให้น้ำจะใช้ค่าต่ำสุดที่เกิดขึ้นจริง หรือจะใช้ค่าเฉลี่ยของค่าต่ำสุดจำนวน 1/4 ของข้อมูลที่วัดทั้งหมด (SCS Minimum) เช่นที่ใช้ในการประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border) ก็ได้เช่นกัน

สรุปแล้วการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างจะให้ประสิทธิภาพสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีดังต่อไปนี้ คือ

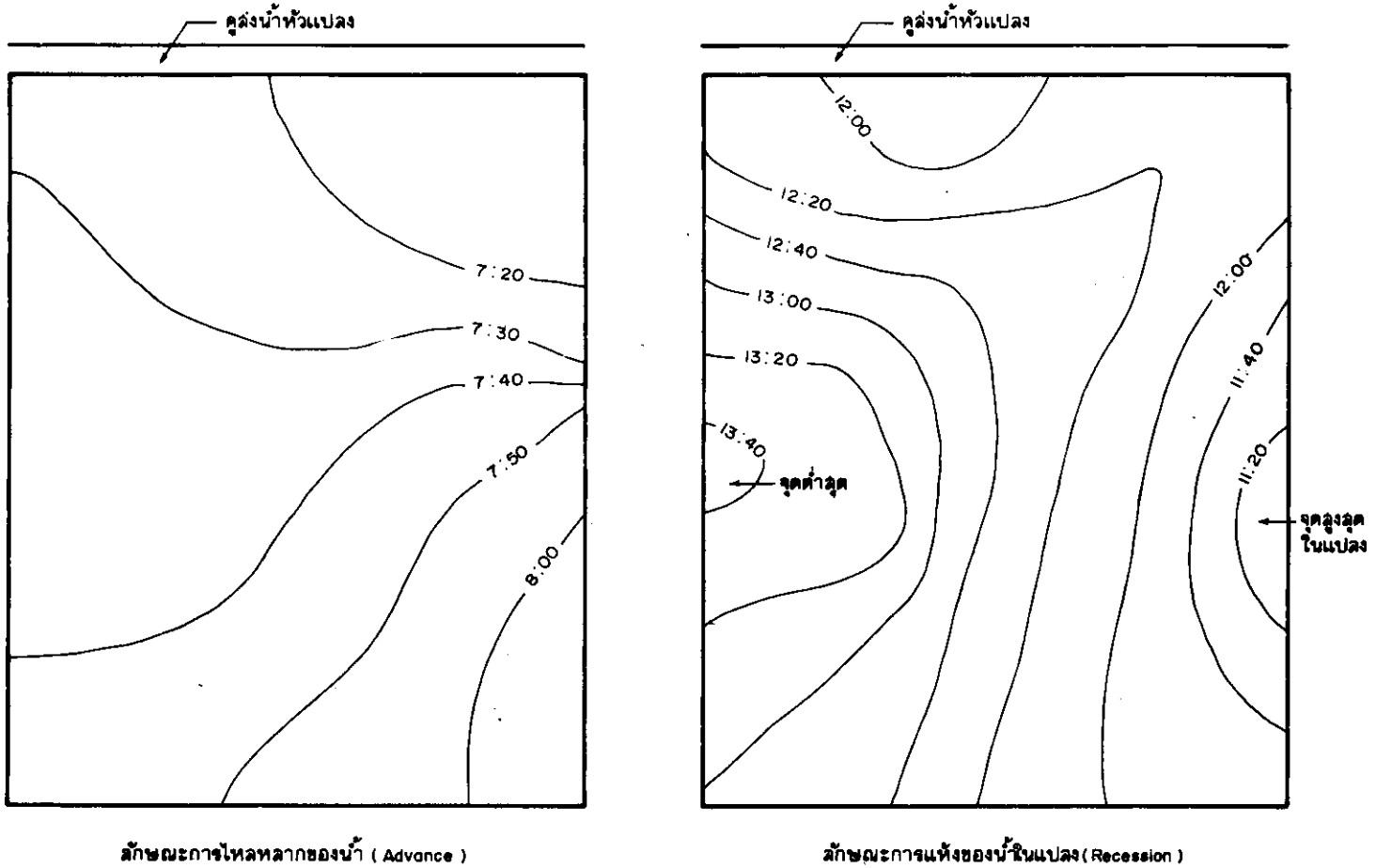
1. พื้นแปลงได้รับการปรับให้เรียบสม่ำเสมอและอยู่ในระดับราบ
2. อัตราการดูดซึมน้ำของดินสม่ำเสมอตลอดทั่วทั้งแปลง
3. ให้น้ำแก่แปลงด้วยความลึกที่ถูกต้อง และมีอัตราพอเหมาะที่น้ำจะแผ่กระจายคลุมทั่วทั้งแปลงโดยใช้เวลาไม่เกิน 1/4 ของเวลาที่ต้องการให้น้ำขังบนผิวดิน

ตัวอย่างที่ 12.1

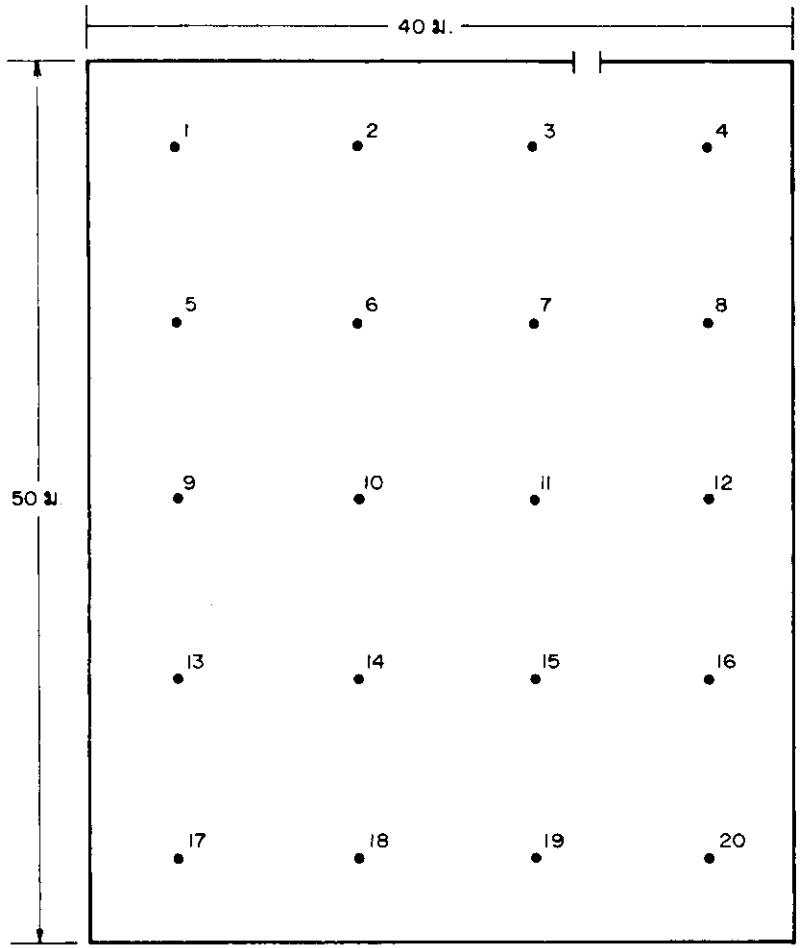
ในการทดลองประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง (Basin) ซึ่งมีขนาด 40 × 50 เมตร บนดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt Loam) มีรายละเอียดดังนี้

1. ให้น้ำด้วยอัตรา 44 ลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 10 นาที
2. การสำรวจความชื้นในดินพบว่าดินต้องการน้ำ (SMD) ประมาณ 84 มม.
3. ผังแสดงการไหลหลากของน้ำ (Advance) และขอบเขตของพื้นที่ที่น้ำแห้ง (Recession) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 12.1
4. ตำแหน่งของหมุดไม้ภายในแปลง เวลาที่เริ่มมีน้ำขัง และเวลาที่น้ำที่หมุดเหล่านี้แห้ง แสดงไว้ในรูปที่ 12.2
5. กราฟแสดงความลึกสะสมของน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน แสดงไว้ในรูปที่ 12.3

จงประเมินผลการให้น้ำครั้งนี้



รูปที่ 12.1 ลักษณะการไหลหลากของน้ำ (Advance) และการแห้งของน้ำในแปลง (Recession) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ



เวลาเปิดน้ำ : 7.10

เวลาปิดน้ำ : 8.20

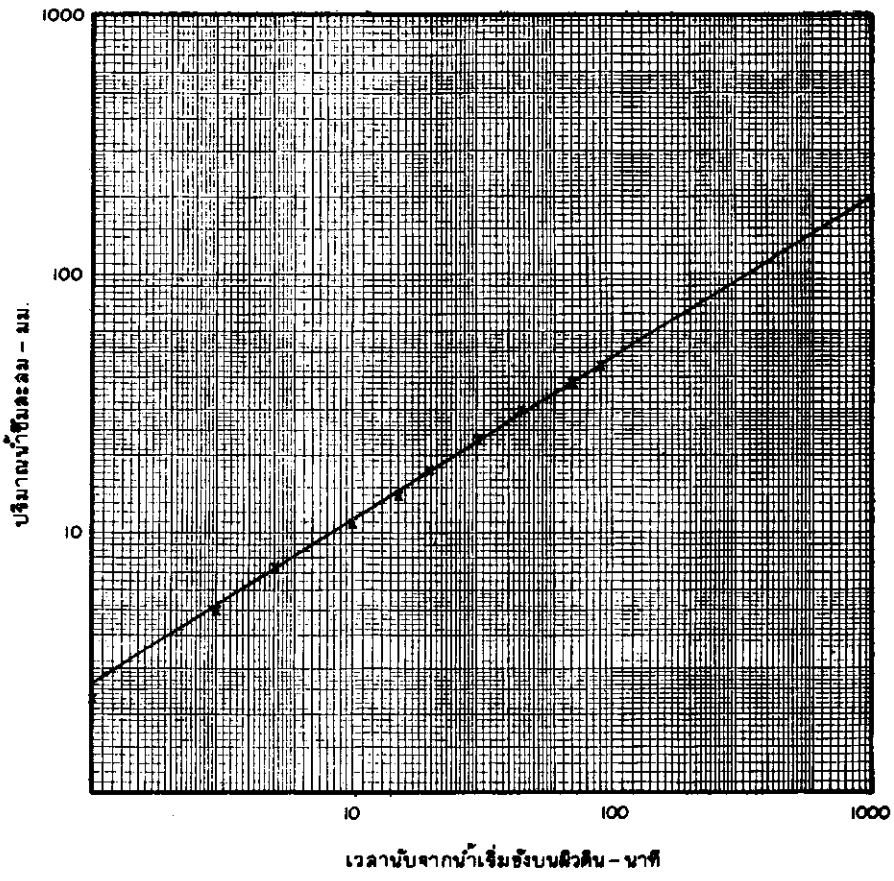
หมุดที่	เวลาที่น้ำเริ่มท่วม น.	เวลาที่น้ำแห้ง น.	ระยะเวลาที่มีน้ำขัง นาที	น้ำซึมผ่านผิวดิน มม.
0				
1	7.28	12.15	287	90
2	7.22	12.00	278	89
3	7.13	12.12	299	93
4	7.14	12.10	296	93
5	7.32	13.05	333	100
6	7.27	12.50	323	98
7	7.24	12.28	304	94
8	7.20	11.53	273	88
9	7.35	13.42	367	101
10	7.34	13.10	336	100
11	7.39	12.20	281	89
12	7.46	11.35	229	79
13	7.37	13.18	341	100
14	7.40	12.50	310	94
15	7.47	12.10	263	86
16	7.58	11.30	212	76
17	7.44	12.56	312	97
18	7.49	12.35	286	90
19	7.55	12.05	250	84
20	8.05	11.50	225	78

Soil Type : Silt Loam

รวม = 1819 มม.

เฉลี่ย = 91 มม.

รูปที่ 12.2 เวลาที่น้ำเริ่มท่วม และเวลาที่น้ำแห้งที่หมุดต่างๆ ภายในแปลง



รูปที่ 12.3 กราฟน้ำซึมละลมในแปลงให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง (Basin)

การวิเคราะห์ประเมินผล

ให้น้ำแก่แปลงด้วยอัตรา 44 ลิตรต่อวินาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 10 นาที แปลงมีขนาด 40 × 50 เมตร ดังนั้น ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่แปลงคำนวณได้โดย

$$D = \frac{Q.t}{A}$$

$$= \frac{44 \times 70 \times 60}{40 \times 50}$$

$$= 92.4 \text{ มม.}$$

จากรูปที่ 12.2 หาเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนผิวดินที่หมุดต่าง ๆ ทั่วทั้งแปลง 20 หมุด นำเวลาเหล่านี้ไปหาความลึกของน้ำที่ดินดูดซับเอาไว้ดังแสดงไว้ในคอลัมน์สุดท้ายของตารางในรูป เสร็จแล้วหาค่าเฉลี่ยได้เท่ากับ 91 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลงก็ถือว่าใช้ได้ ในกรณีที่ค่าทั้งสองนี้ไม่ตรงกันก็จะต้องมีการปรับกราฟน้ำซึมสะสม (Cumulative Depth) เพื่อให้ค่าทั้งสองตรงกันเช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อเรื่องการให้น้ำท่วมเป็นผืน

ก. การหาสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ C_u

$$C_u = 100 \left[1.0 - \frac{\Sigma x}{M.n}\right]$$

Σx = ผลรวมของความแตกต่างของความลึกของน้ำที่วัดได้แต่ละจุด จากค่าเฉลี่ย M คือ 91 มม. โดยไม่คิดเครื่องหมาย n คือจำนวนหมุดที่ทำการวัด = 20

$$\Sigma x = |90-91| + |89-91| + |93-91| + \ldots + |84-91| + |78-91|$$

$$= 121$$

$$C_u = 100 \left[1.0 - \frac{121}{91 \times 20}\right]$$

$$= 93.3\%$$

ความสม่ำเสมอในการให้น้ำนี้อาจจะประเมินออกมาในทำนองเดียวกันกับแบบให้น้ำท่วมเป็นผืนก็ได้ คือ

$$E_d = \frac{\text{ความลึกต่ำสุดที่ดินดูดซับน้ำไว้ในแปลง}}{\text{ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ดินดูดซับไว้}} \times 100$$

ในเมื่อ E_d เป็นประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ เนื่องจากว่าจุดที่เราทำการวัดความลึกของน้ำที่ดินดูดซับไว้มีหลายจุด การที่จะหาค่าต่ำสุดเพียงจุดเดียวมาประเมินอาจไม่ได้ข้อเท็จจริงที่ควรจะเป็น ดังนั้นจึงควรใช้ค่าเฉลี่ยต่ำสุดจำนวน 1/4 ของจุดที่ทำการวัด คือ 5 จุดมาพิจารณา

ความลึกของน้ำที่ดินดูดซึมไว้น้อยที่สุด 5 จุดคือ 76, 78, 79, 84 และ 86 มม. ค่าเฉลี่ยของ 5 ค่านี้คือ 80.6 มม.

ดังนั้น $E_d = \frac{80.6}{91.0} \times 100 = 86.6\%$

ข. ประสิทธิภาพของการชลประทาน E_i

$$E_i = \frac{d_r}{D} \times 100$$

ในเมื่อ d_r เป็นความลึกของน้ำที่ต้องการให้เพื่อให้ดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นถึง Field Capacity ในตัวอย่างนี้ความลึกต่ำสุดที่ให้คิดเฉลี่ย 5 จุด คือ 80.6 มม. แต่ต้องการให้ 84 มม. ดังนั้นขาดอยู่ 3.4 มม.

ปริมาตรที่ขาดอยู่ $= \frac{3.4 \times 40 \times 50}{1000} = 6.8$ ลบ.ม.

และควรให้น้ำนานขึ้นอีก $= \frac{6.8 \times 1000}{44 \times 60} = 2.6$ นาที

ความลึกเฉลี่ยเมื่อให้น้ำโดยความลึกต่ำสุดคิดเฉลี่ย 5 จุดเท่ากับ 84 มม.

$= 92.4 + 3.4 = 95.8$ มม.

และประสิทธิภาพของการชลประทาน จะหาได้โดย

$$E_i = \frac{84}{95.8} \times 100 = 87.7\%$$

ค. ประสิทธิภาพในการให้น้ำ E_a

$$E_a = \frac{\text{ความลึกต่ำสุดที่ซึมเก็บไว้ในเขตราก}}{\text{ความลึกเฉลี่ยที่ให้}} \times 100$$

$$= \frac{80.6}{92.4} \times 100 = 87.2\%$$

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการให้น้ำตามตัวอย่างนี้สูงมาก ทั้งนี้เพราะอัตราการให้น้ำสูง น้ำสามารถแผ่กระจายคลุมทั่วทั้งแปลงโดยใช้เวลาเพียงประมาณ 55 นาที (จาก 7.10 น. ถึง 8.05 น.) ไม่เกิน 1/4 ของเวลาที่ต้องการให้น้ำขังเพื่อให้ดินดูดซับน้ำไว้เท่ากับ SMD คือ 62.5 นาที (ถ้าจะให้ดินดูดซับน้ำ 84 มม. ต้องให้มีน้ำขังบนผิวดินประมาณ 250 นาที) นอกจากนั้นพื้นที่ภายในแปลงราบเรียบพอสมควร แต่องค์ประกอบที่สำคัญก็คือน้ำทั้งหมดที่ให้ขังอยู่ภายในแปลงไม่มีการสูญเสียโดยไหลเลยท้ายแปลงเหมือนกับการให้น้ำแก่แปลงที่มีความลาดเท

บทที่ 13
ปัญหาดินเค็ม

ดินเค็มนั้นสามารถให้คำจำกัดความง่าย ๆ ว่า เป็นดินที่มีสารละลายของเกลือปะปนอยู่ซึ่งเป็นเหตุให้กระทบกระเทือนต่อการเจริญของพืช

ดินเค็มนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1. Saline Soil เป็นดินที่มีสารละลายของเกลือปะปนอยู่มากพอที่จะกระทบกระเทือนต่อการเจริญของพืชเกือบทุกชนิด

2. Sodic Soil เป็นดินที่มีอนุมูลของโซเดียมปะปนอยู่มากพอที่จะกระทบกระเทือนต่อการเจริญของพืชเกือบทุกชนิด

3. Saline-Sodic Soil เป็นดินที่มีทั้งสารละลายของเกลือและอนุมูลของโซเดียมปะปนอยู่มากพอจะกระทบกระเทือนต่อการเจริญของพืชเกือบทุกชนิด

ดินเค็มทั้งสามชนิดที่กล่าวข้างต้นนั้น ชนิดที่หนึ่งพอจะสามารถปรับปรุงได้โดยการชะล้างเกลือออกด้วยการให้น้ำมาก ๆ แต่สำหรับชนิดที่ 2 และ 3 นั้น ชะล้างด้วยน้ำลำบากมากเพราะอนุภูลของโซเดียมทำให้อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินชนิดนี้น้อยมาก อย่างไรก็ตามการจะปรับปรุงดินเค็มให้มีสภาพพอจะปลูกพืชได้นั้นต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูงมาก

13.1 แหล่งเกลือในดิน

แหล่งเกลือในดินนั้นมีกำเนิดจากแร่ธาตุที่อยู่บนผิวโลก เมื่อแร่ธาตุเหล่านี้ถูกเปลี่ยนแปลงโดยขบวนการของธรรมชาติและเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้ว แร่ธาตุเหล่านี้ก็จะทิ้งอนุมูลต่าง ๆ อยู่ในดิน แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้ว แม้การเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ แร่ธาตุต่าง ๆ บนผิวโลกก็จะไม่ทิ้งเกลืออยู่ในดินมากพอจะเป็นภัยต่อการเจริญของพืช ดินเค็มส่วนมากได้รับเกลือเพิ่มขึ้นจากแหล่งอื่นโดยการนำพาของน้ำ

13.2 แหล่งของดินเค็ม

ดินเค็มส่วนมากจะพบในเขตแห้งแล้ง ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนต่อปีต่ำและอุณหภูมิสูง ทั้งนี้เพราะปริมาณน้ำฝนไม่พอเพียงที่จะชะล้างเกลือออกได้หมด ทั้งยังมีอุณหภูมิสูงซึ่งนำพาเกลือขึ้นบนผิวดินในรูปของการระเหย ในเขตฝนตกชุกแล้ว สารละลายของเกลือจะถูกชะล้างลงสู่ดินชั้นล่าง และไหลตามน้ำใต้ดินลงสู่ทะเลในที่สุด แต่ในเขตฝนตกชุกอาจจะพบดินเค็มในบริเวณที่น้ำทะเลเข้าไปถึง

13.3 สาเหตุการเกิดของดินเค็ม

ดังได้กล่าวแล้วว่าโดยธรรมชาติแล้วเกลือแร่ในดินจะไม่มากพอทำให้เป็นภัยต่อการเจริญของพืช นอกเสียจากเกิดการนำพาเกลือจากแหล่งอื่นโดยน้ำเป็นพาหะ ดินเค็มที่มิได้เกิดโดยธรรมชาตินั้นส่วนใหญ่จะเกิดจากสาเหตุที่ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นและมีสารละลายเกลือแร่ปะปนอยู่ ประกอบกับอุณหภูมิสูงจึงทำให้เกลือถูกนำขึ้นบนผิวดินโดยการระเหย ดินเค็มจึงมักเกิดจากการกระทำของคนโดยการนำการชลประทานเข้าสู่พื้นที่ทำการเกษตรแต่ไม่คำนึงถึงปัญหาและวิธีการแก้ไขปัญหา

น้ำชลประทานอาจจะมีเกลือแร่ผสมอยู่ตั้งแต่ 37 ถึง 1840 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฉะนั้นถ้าให้น้ำประมาณ 1000 มม.ต่อไร่ ก็อาจจะมีเกลือแร่สะสมอยู่บนผิวดินได้ตั้งแต่ 52 ถึง 2944 กก.ต่อไร่ หากไม่มีการระมัดระวังเรื่องการระบายน้ำ ในทำนองเดียวกันถ้าน้ำชลประทานมีเกลือแร่ผสมอยู่ 500 ppm (หนึ่งหน่วยต่อล้าน) ก็จะมีเกลือผสมอยู่ประมาณ 500 กรัมต่อน้ำหนึ่งลูกบาศก์เมตร

13.4 การจำแนกชนิดของดินเค็ม

วิธีจะพิจารณาว่าดินนั้นเค็มหรือไม่ หรือว่าเป็นดินเค็มชนิดใดนั้นต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางเคมีของดิน คุณสมบัติทางเคมีของดินที่ใช้ในการพิจารณานั้นมี 3 อย่างด้วยกันคือ

1. Electrical conductivity (EC) ซึ่งเป็นการวัดความเป็นสื่อกระแสไฟฟ้าของน้ำละลายที่จุดอิ่มตัว (Saturation extract) ค่าความเป็นสื่อไฟฟ้าจะบอกถึงความเข้มข้นของเกลือในดิน

2. ค่า pH ของ Saturated paste ของดิน ค่า pH ที่วัดได้จะบอกความเป็นกรดหรือด่างของดิน ทั้งนี้เพื่อรู้ถึงปริมาณของประจุไฟฟ้าบวกอิสระในรูปของ H^+

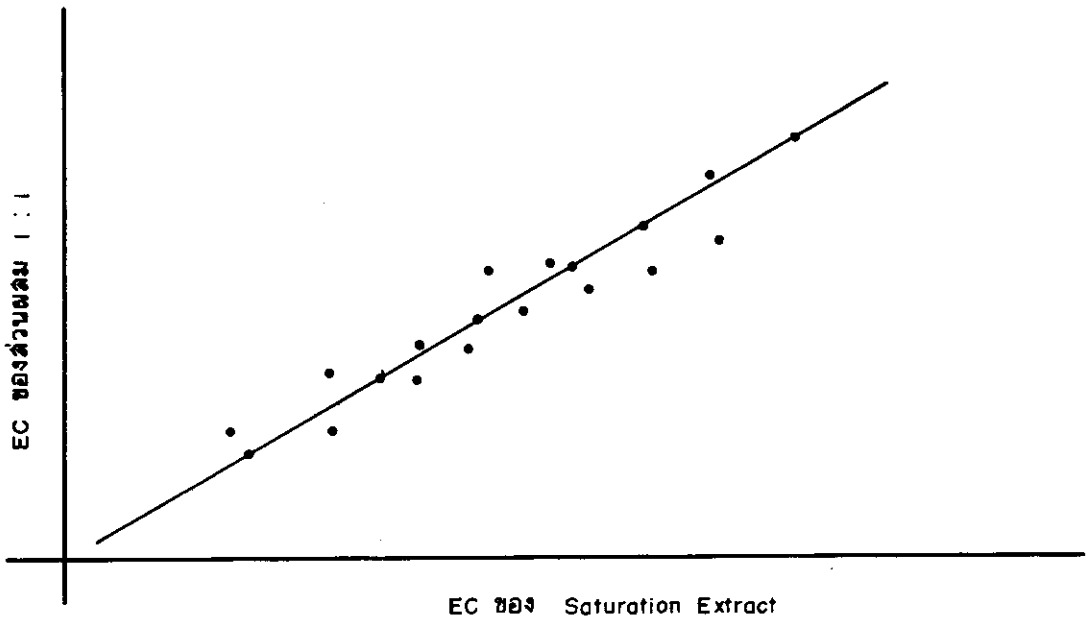
3. ค่า SAR ratio ซึ่งเป็นการคำนวณความเข้มข้นของอนุมูลโซเดียม คัลเซียมและแม็กนีเซียม ที่อยู่ในดิน

จากคุณสมบัติทางเคมีทั้ง 3 ของดิน เราสามารถจำแนกชนิดของดินเค็มได้ดังนี้

	ดินปกติ	Saline	Sodic	Saline-Sodic
EC mmho/cm	< 4	> 4	< 4	> 4
SAR	< 13	< 13	> 13	> 13
pH	≤ 8.4	≤ 8.4	> 8.4	≤ 8.4

13.5 การวัดความเค็มของดินด้วยค่าความเป็นสื่อกระแสไฟฟ้า

เมื่อเกลือแร่ละลายในน้ำจะเกิดการแยกตัวออกเป็นประจุบวกและประจุลบ การแยกตัวออกของเกลือแร่ทำให้มีคุณสมบัติเป็นสื่อกระแสไฟฟ้าได้ อาศัยคุณสมบัตินี้เราจึงวัดปริมาณของเกลือที่มีอยู่ในดินได้โดยการวัดความเป็นสื่อกระแสไฟฟ้า (EC) หากวัดค่า EC ได้มากก็แสดงว่ามีเกลืออยู่ในดินมาก เครื่องมือวัด EC นี้ประกอบด้วยแผ่น Electrodes ทำด้วยแพลตตินั่ม 2 แผ่น ซึ่งอยู่ห่างกันประมาณ 1 ซม. และต่อขั้วเข้ากับเซลล์ไฟฟ้า สำหรับการเตรียมสารละลายเพื่อวัด EC นั้น วิธีที่ถูกแล้วต้องเตรียมน้ำละลายที่จุดอิ่มตัว (saturation extract) ซึ่งจะได้สาธิตในห้องทดลอง แต่โดยที่การเตรียม saturation extract ดังกล่าวนั้นยุ่งยากและต้องใช้เครื่องมือซึ่งหายากในสนาม ฉะนั้นสำหรับการวัดในสนามแล้ว ส่วนมากจะใช้น้ำละลายของดินในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 หรือ 1 ต่อ 5 หรือ 1 ต่อ 10 หมายความว่าผสมดิน 1 ส่วน กับน้ำ 1 ส่วน หรือ 5 ส่วน หรือ 10 ส่วนโดยน้ำหนัก แต่พึงจำไว้ว่าการผสมน้ำมากขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของเกลือในน้ำละลายน้อยลง และเป็นเหตุให้ความถูกต้องของการหาค่า EC น้อยลงด้วย ฉะนั้นจึงนิยมใช้ส่วนผสม 1 ต่อ 1 สำหรับการวัด EC อย่างไรก็ตามค่า EC จาก saturation extract มีค่าถูกต้องที่สุดและเป็นมาตรฐานของการวิเคราะห์ดิน ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้ว เราสามารถนำตัวอย่างดินในเขตโครงการมาวิเคราะห์หา EC ได้โดยหาทั้งจาก saturation extract และอัตราส่วนผสม 1 ต่อ 1 เมื่อได้ค่าของ EC จากทั้ง 2 วิธีแล้วก็สามารถทำเป็น calibration curve เพื่อใช้ในสนามโดยการเขียนกราฟค่า EC จาก saturation extract ในแกนนอนและค่า EC ของส่วนผสม 1 ต่อ 1 ในแกนตั้งดังแสดงในรูปที่ 13.1



รูปที่ 13.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง EC ของส่วนผสม 1 ต่อ 1 และของน้ำละลายที่จุดอิ่มตัว

หน่วยของ EC นั้นวัดเป็น mhos ต่อ ซม. ซึ่งโดยที่เครื่องวัดส่วนใหญ่ตั้ง electrodes ทั้งสองห่าง 1 ซม. จึงมักใช้หน่วยวัดเป็นโมห์ต่อหนึ่งซม. หรือโมห์ต่อซม.เฉย ๆ แต่หน่วย mhos/cm นี้เป็นหน่วยใหญ่ไปสำหรับค่า EC ของดิน ฉะนั้นจึงใช้หน่วยเล็กลงมาดังนี้คือ

มิลลิโมห์ต่อซม. (mmhos/cm) = EC $\times$ 10^3

ไมโครโมห์ต่อซม. (micromhos/cm) = EC $\times$ 10^6

น้ำสำหรับการชลประทานโดยทั่วไปแล้วมีค่า EC $\times$ 16^6 = 694 micromhos/cm

น้ำกลั่นมีค่า EC $\times$ 10^6 = 0.8 micromhos/cm

น้ำทะเลมีค่า EC $\times$ 10^6 = 50,000 micromhos/cm

ยังมีหน่วยวัดความเค็มหรือความเข้มข้นของเกลือที่นิยมใช้กันมากคือ หน่วย ppm หรือหน่วยต่อล้านโดยน้ำหนัก แต่โดยที่ได้กล่าวแล้วว่าความเข้มข้นของเกลือในน้ำละลายนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ผสมเข้าไป โดยหลักทั่ว ๆ ไปแล้วหน่วยวัดทั้งสองหน่วยสามารถแปลงกันได้ด้วยสมการ

ppm ของ extract = 640 $\times$ (EC $\times$ 10^3) . . . . . (1)

13.6 การเจริญของพืชกับความเค็มของดิน

ความเค็มของดินนั้นมีผลกระทบกระเทือนต่อการเจริญของพืช 3 ประการคือ

1. เมื่อมีเกลือแร่ในดินมากทำให้เกิด Osmotic pressure สูงในน้ำที่อยู่ในดิน ทำให้รากของพืชไม่สามารถดูดน้ำได้สะดวก

2. เกลือแร่ที่อยู่ในดินกีดขวางการเจริญตามธรรมชาติของพืช (metabolism)

3. เกลือแร่บางอย่างเป็นพิษต่อพืช

จากผลของการทดลอง เราสามารถจะแบ่งพืชออกเป็นหลายประเภทตามความทนทานต่อความเข้มข้นของเกลือในดินดังต่อไปนี้

Crop Response to Salinity

$EC_e \times 10^3$ ที่ 25° C	Class	OP Atmos	Crop Response
0-2	A	0-.72	พืชทุกชนิดขึ้นได้
2-4	B	.72-1.44	พืชที่ไวต่อเกลือปลูกไม่ได้
4-8	C	1.44-2.88	พืชทั่ว ๆ ไปจะให้ผลผลิตลดลง
8-16	D	2.88-5.76	ปลูกได้เฉพาะพืชที่ทนทานต่อเกลือเท่านั้น
> 16	E	> 5.76	พืชเกือบทุกชนิดปลูกไม่ขึ้น

ในรูปที่ 13.2 เป็นการแสดงถึงความสัมพันธ์ของปริมาณเกลือแร่ในดินหรือค่า EC ของ saturation extract และการสนองตอบของพืชแต่ละประเภท

ส่วนตารางที่ 13.1 นั้น แสดงถึงความทนทานของพืชต่อความเค็มในดินระดับต่าง ๆ

13.7 คุณสมบัติของน้ำเพื่อการชลประทาน

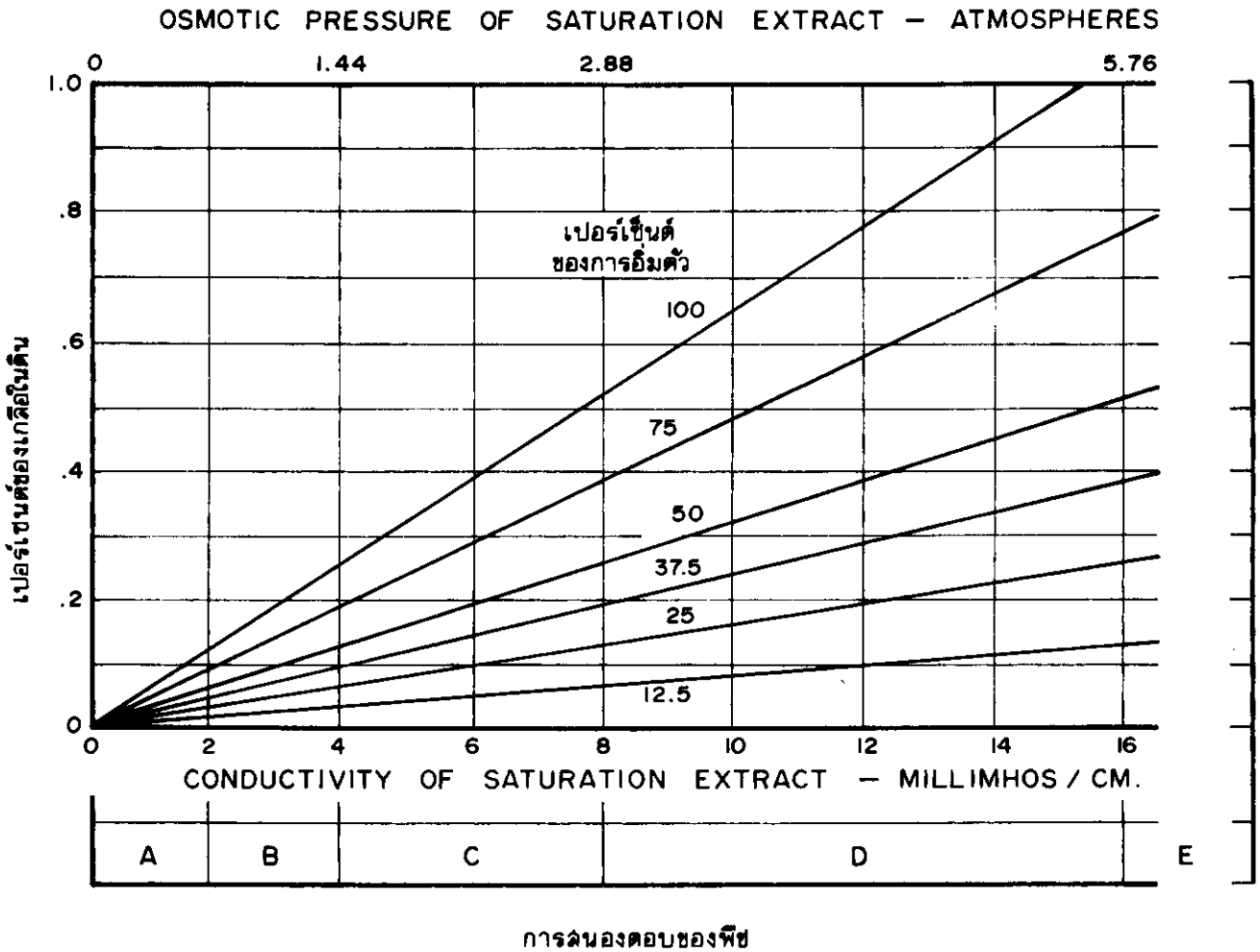
น้ำในลำธารธรรมชาติทุกแห่งมีเกลือแร่เจือปนอยู่ด้วยเสมอ จะผิดกันก็แต่ปริมาณและชนิดของเกลือแร่ที่เจือปนอยู่เท่านั้น การที่จะพิจารณาว่าน้ำเหมาะสมแก่การชลประทานหรือไม่นั้น ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของดิน ประเภทของพืชที่จะปลูก สภาพภูมิอากาศ และการจัดการชลประทานมิใช่เฉพาะคุณสมบัติของน้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาว่าน้ำชนิดใดจึงเหมาะสมกับการชลประทาน เรายึดหลัก 3 ประการในการวิเคราะห์คือ

1. Salinity ปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยคิดปริมาณเกลือแร่ทั้งหมดที่มีอยู่โดยไม่จำกัดชนิด

2. Sodicity ปริมาณของอนุมูลโซเดียม ซึ่งเป็นตัวการทำลายโครงสร้างของดินโดยทำให้อัตราการซึมของน้ำช้าลง

3. Toxicity สารที่จะเป็นพิษต่อพืช ซึ่งส่วนใหญ่ได้แก่พวกโบรอน (Boron) คลอไรด์ (Chloride) และ ลิเธียม (Lithium) เป็นต้น



รูปที่ 13.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของเกลือในดินกับ Osmotic pressure Electrical conductivity ของ Saturation extract และผลกระทบต่อการเจริญของพืช

ตารางที่ 13.1 ความทนทานของพืชต่อความเข้มข้นของเกลือในดิน

ประเภทของพืช	ทนทานได้ดี	ทนทานพอสมควร	ไม่มีความทนทาน
พืชไร่	12-8 mmhos/cm ฝ้าย	8-4 mmhos/cm ข้าวฟ่าง ข้าวโพด ถั่วเหลือง ข้าว ถั่ว ต้นทานตะวัน ละหุ่ง	3-2 mmhos/cm ถั่วเฉา
ผัก	8-5 mmhos/cm หัวไช้ท้าว หน่อไม้ฝรั่ง ผักขม	5-3 mmhos/cm บรอคคอลี่ ข้าวโพดหวาน กะหล่ำปลี มันฝรั่ง กะหล่ำดอก มันเทศ ผักกาดหอม เผือก พริกยักษ์ เครอท หัวหอมใหญ่ ถั่ว เคนตาลูป บวบ แตงกวา	3-2 mmhos/cm คื่นไฉ่ ถั่วฝักยาว หัวผักกาดแดง
ผลไม้	8 mmhos/cm อินทผลัม	6-3 mmhos/cm องุ่น มะเดื่อ มะกอก	3-1.5 mmhos/cm ส้ม อะโวกาโด มะนาว สตรอเบอรี่ แอปเปิล

พึงจำไว้ว่าการเจริญของพืชนั้นได้รับการกระทบกระเทือนจากเกลือแร่ในส่วนที่อยู่ในรูปของสารละลายเท่านั้น และต้องอยู่ในสภาพของสารละลายของดิน (soil solution) มิใช่จากน้ำชลประทาน อย่างไรก็ดีเราไม่สามารถจะหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มหรือปริมาณสารละลายของเกลือในน้ำชลประทานกับความเค็มของสารละลายของดินได้ แต่โดยทั่วไปแล้วปริมาณเกลือแร่ในสารละลายของดินจะสูงกว่าปริมาณเกลือแร่ในน้ำชลประทานเสมอ

13.8 น้ำส่วนเกินเพื่อการชะล้างเกลือในดิน

ความเค็มที่จะเกิดขึ้นในดินนั้นมิได้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเกลือแร่ที่มีอยู่เดิมในดินเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำชลประทานที่มากกว่าความต้องการน้ำของพืชและไหลผ่านเขตราก (root zone) ลงไปข้างล่าง ถ้ามีการระบายน้ำที่ดี ปริมาณน้ำที่เกินกว่าความต้องการน้ำของพืชก็จะนำพาเอาเกลือในรูปของสารละลายลงสู่ชั้นดินข้างล่าง ปริมาณน้ำที่มากกว่าความต้องการน้ำของพืชเพื่อจุดประสงค์นี้เรียกว่า Leaching fraction (LF) ซึ่งเราสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$LF = \frac{D_d}{D_i} \qquad (2)$$

D_d คือปริมาณน้ำที่ระบายออกคิดหน่วยเป็นความลึก

D_i คือปริมาณน้ำชลประทานคิดหน่วยเป็นความลึก

แต่ปริมาณหรือความลึกของน้ำที่ซึมผ่านเขตรากนั้นเท่ากับ

$D_d = D_i - D_e$ ซึ่ง D_e คือความต้องการน้ำของพืชอยู่ในหน่วยความลึก

ปริมาณหรือความลึกของน้ำที่ให้นั้นหาได้โดย

$$D_i = It_i$$

ซึ่ง I คืออัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินหน่วยเป็น มม/วัน และ t_i คือเวลาการให้น้ำมีหน่วยเป็นวัน

ในทำนองเดียวกัน ปริมาณน้ำที่พืชต้องการหาได้โดย

$$D_e = ET\ t_c$$

ซึ่ง ET คืออัตราการใช้น้ำของพืชมีหน่วยเป็น มม/วัน และ t_c คือความถี่ของการให้น้ำมีหน่วยเป็นวัน

เมื่อแทนค่า D_d, D_i และ D_e ลงในสมการที่ (2) แล้วจะได้

$$LF = \frac{D_i - D_e}{D_i} = 1 - \frac{D_e}{D_i} \qquad (3)$$

หรือ

$$LF = 1 - \frac{ET\ t_c}{It_i} \qquad (4)$$

สมการที่ (4) นี้ใช้ได้ในกรณีที่การระบายน้ำไม่เป็นปัญหา หากว่าการระบายน้ำเป็นปัญหาหรือเป็นตัวจำกัดแล้ว กล่าวคือเราไม่สามารถจะให้น้ำมากกว่าอัตราการซึมของน้ำในดินบวกกับอัตราการใช้น้ำของพืชเพราะจะทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น ดังนั้น

$$Ot_c \geq (It_i - ET\ t_c)$$

หรือ

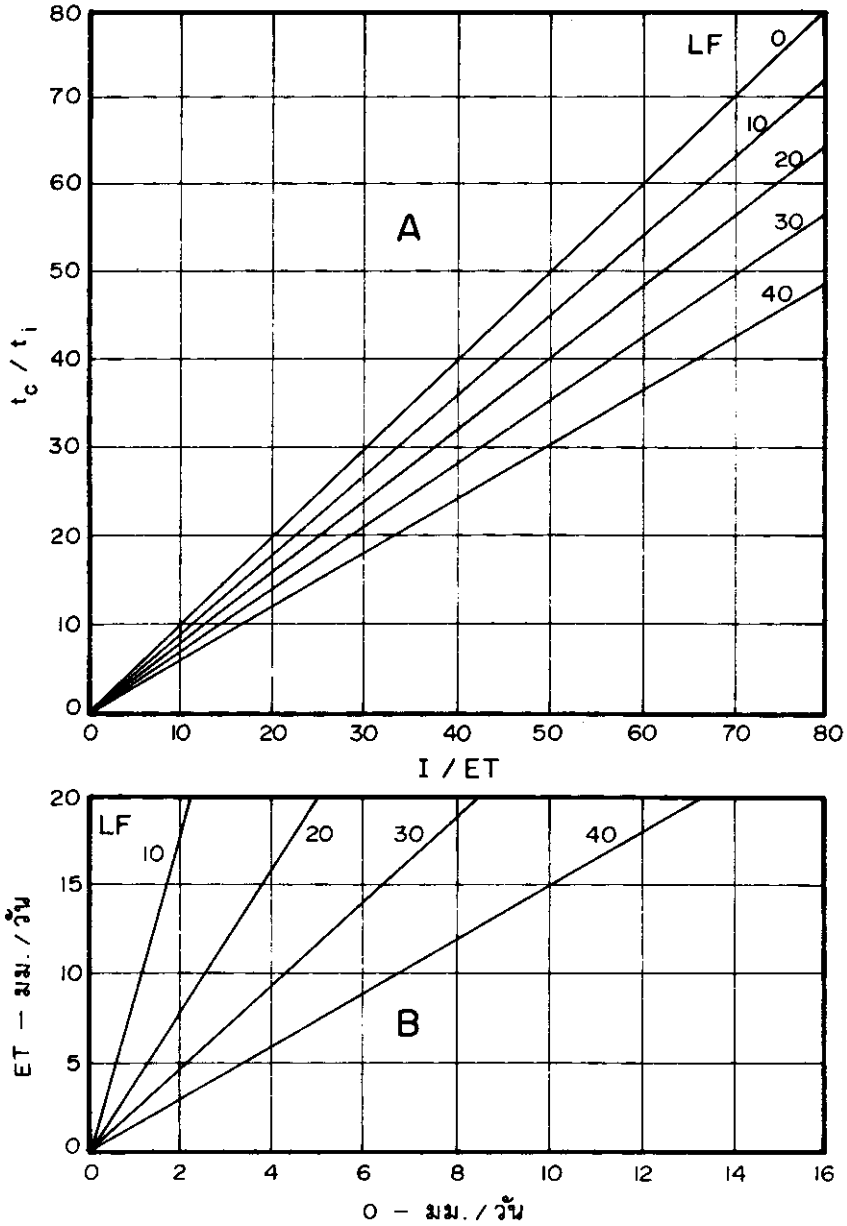
$$D_d \geq D_i - D_e$$

ซึ่ง O คืออัตราการซึมของน้ำผ่านชั้นดินเฉลี่ยมีหน่วยเป็น มม/วัน และ t_c คือความถี่ของการให้น้ำมีหน่วยเป็นวัน

ฉะนั้นในกรณีที่การระบายน้ำเป็นปัญหาเราคำนวณหา LF ได้ดังนี้

$$LF = \frac{Ot_c}{ET\ t_c - Ot_c} = \frac{O}{ET + O} \qquad (5)$$

รูปที่ 13.3 แสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ (4) และที่ (5)



รูปที่ 13.3 (A) – ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ t_c / t_i และ I/ET ที่ค่า LF ต่างๆ (B) – ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้น้ำของพืช ET และ อัตราการระบายน้ำ O ที่ค่า LF ต่าง ๆ

เมื่อเราคำนวณหา LF ได้แล้วจากวิธีการข้างต้น เราจะสามารถคำนวณหาปริมาณของเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำชลประทานที่จะไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืชได้โดยใช้ค่าของ EC เพื่อไม่ให้มีการสะสมเกลือแร่ในดิน ปริมาณเกลือแร่ที่นำเข้ามาในรูปของน้ำชลประทานต้องเท่ากับปริมาณเกลือแร่ที่ออกจากดินในรูปของน้ำที่ระบายออก

$$D_d\, EC_d = D_i\, EC_i$$

$$\frac{D_d}{D_i} = \frac{EC_i}{EC_d}$$

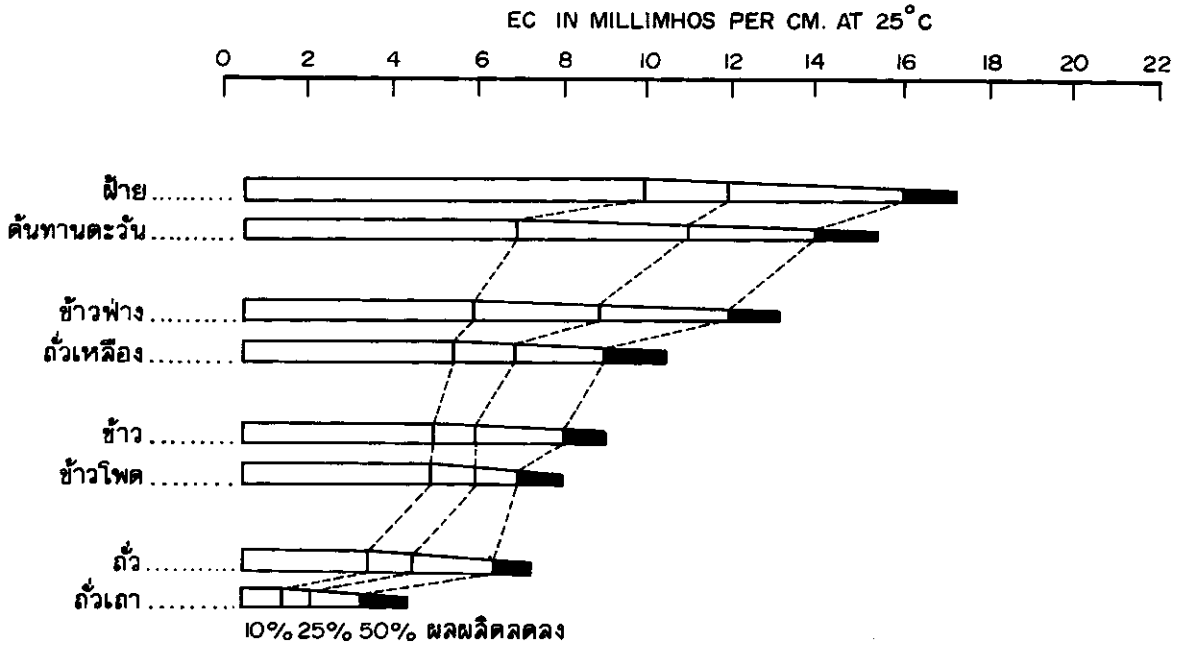
$$\therefore \quad LF = \frac{EC_i}{EC_d} \qquad (6)$$

หรือ $EC_i = LF \times EC_d$

โดย EC_i คือค่า EC ของน้ำสำหรับชลประทานที่จะไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิต

EC_d คือค่า EC ของน้ำที่ระบายออก (drainage water)

อย่างไรก็ตาม ค่าของ EC_d ควรจะได้กำหนดขึ้นโดยยึดหลักการว่าค่า EC นี้เป็นค่าที่วัดจากน้ำในดินที่ใต้เขตราก ฉะนั้นเพื่อไม่ให้พืชได้รับผลกระทบกระเทือน ค่า EC_d นี้จะต้องกำหนดจากค่า EC_e ที่จะทำให้ผลผลิตลดลง 50 เปอร์เซนต์สำหรับพืชไร่ (ผัก ถั่ว ข้าวโพด ทุ่งหญ้า ฯลฯ) และเท่ากับค่า EC_e ที่จะทำให้ผลผลิตลดลง 10 เปอร์เซนต์สำหรับพืชสวน รูปที่ 13.4 แสดงค่า EC_e ที่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืชบางชนิด



รูปที่ 13.4 ผลกระทบของเกลือในดินต่อผลผลิตของพืชไร่

13.9 การจำแนกประเภทของน้ำเพื่อการชลประทาน

น้ำเพื่อการชลประทานสามารถจะแยกออกเป็นประเภทตามค่าของ EC ได้ตาม USDA Handbook # 60 ดังนี้

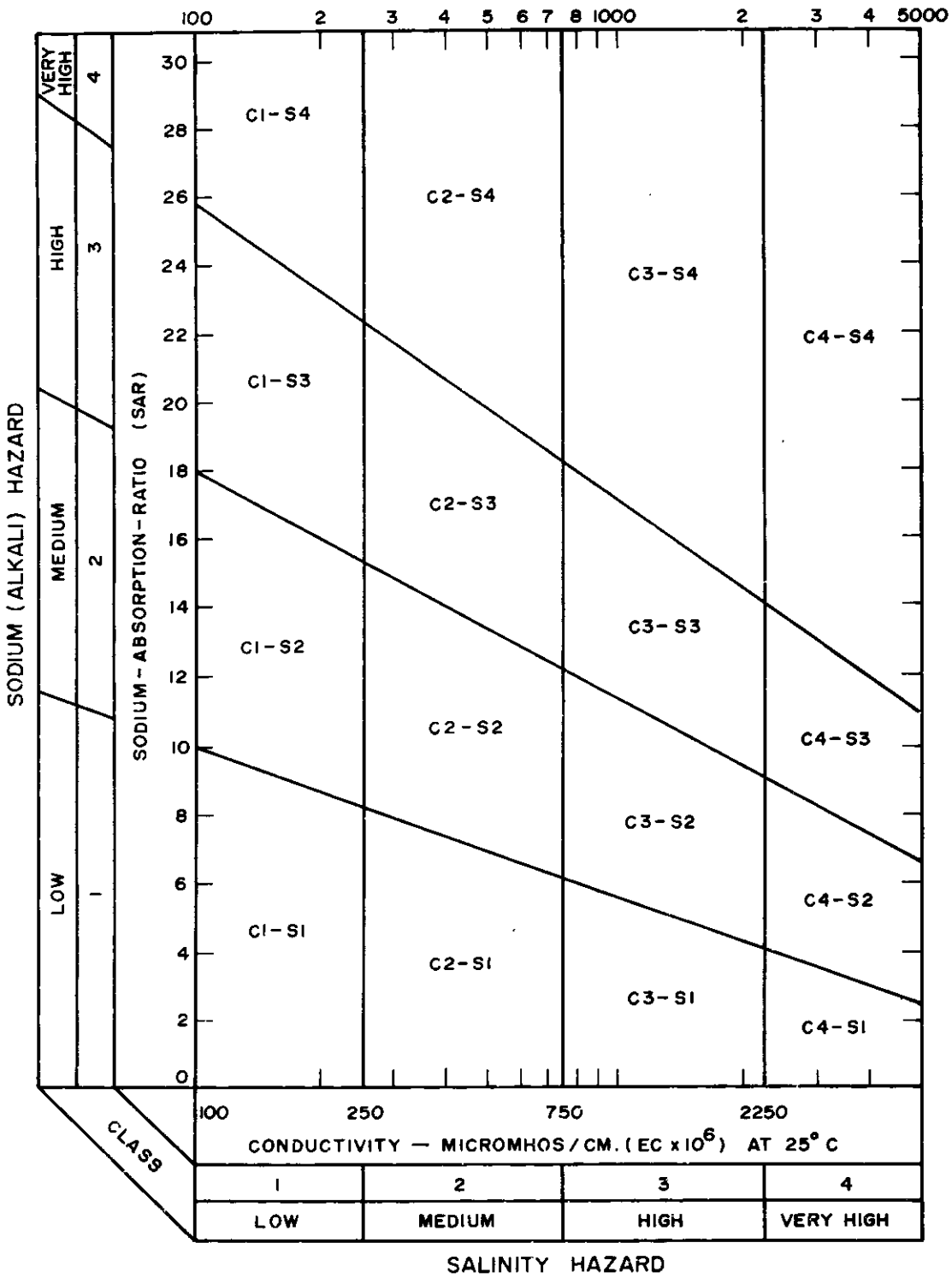
ประเภทที่ 1 (Class 1) ค่า EC $\times 10^6$	=	0-75	ใช้ได้กับพืชทุกชนิด
ประเภทที่ 2 (Class 2) ค่า EC $\times 10^6$	=	75 – 1750	จะเกิดปัญหาดินเค็มหากการระบายน้ำไม่ดีและไม่มี
ประเภทที่ 3 (Class 3) ค่า EC $\times 10^6$	=	1750-3000	ปลูกได้เฉพาะพืชที่ทนทานต่อเกลือแร่และดินที่ใช้ต้องเป็นดินที่ระบายน้ำได้ดีพอสมควร
ประเภทที่ 4 (Class 4) ค่า EC $\times 10^6$	=	3000-5000	ปลูกได้เฉพาะพืชที่ทนทานต่อเกลือแร่สูงและดินที่ใช้ต้องระบายน้ำได้ดีและมีการจัดการที่ดีด้วย
ประเภทที่ 5 (Class 5) ค่า EC $\times 10^6$		มากกว่า 5000	ใช้ได้เฉพาะกรณีพิเศษเท่านั้น

การแบ่งประเภทของน้ำข้างต้นนั้นพิจารณาเฉพาะปริมาณเกลือแร่ที่ละลายอยู่ในน้ำเท่านั้น แต่ยังมีดัชนีที่สำคัญอีกตัวหนึ่งซึ่งเกี่ยวกับอนุมูลโซเดียมในน้ำ และดัชนีนี้เรียกว่า SAR การวัด SAR นั้นค่อนข้างจะยุ่งยากจึงไม่อธิบายในที่นี้ แต่สามารถจะส่งตัวอย่างน้ำไปวิเคราะห์ตามห้องแลปเคมีได้ เพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติจึงจะจำแนกน้ำตามค่า SAR ตามหลักการของ Handbook #60 ดังนี้

S 1 - โซเดียมต่ำ	ใช้ได้กับดินทุกชนิดโดยไม่เป็นอันตราย
S 2 - โซเดียมปานกลาง	น้ำชนิดนี้จะทำให้ดินเสียสำหรับพวกดินเหนียว นอกจากว่าในดินนั้นมียิบซั่ม ($CaSo_4$) อยู่ด้วย
S 3 - โซเดียมสูง	ถ้าใช้ในการชลประทานจะเพิ่มปริมาณโซเดียมในดิน และเป็นอันตรายต่อพืชและดิน ถ้าจะใช้ดินต้องมีการระบายน้ำที่ดีและต้องมี LF ด้วย สำหรับดินที่มียิบซั่มก็จะไม่เป็นปัญหา
S 4 - โซเดียมสูงมาก	ใช้ไม่ได้กับดินเกือบทุกชนิด ยกเว้นดินที่มีปริมาณเกลือแร่ต่ำ EC $\times .10^6$ น้อยกว่า 750 และมีการเติมยิบซั่มเพื่อช่วยในการระบายน้ำ

รูปที่ 13.5 แสดงการแบ่งประเภทของน้ำโดยคำนึงถึงค่า EC และ SAR ด้วย

อย่างไรก็ดี ค่า LF หรือบางครั้งเรียกว่า Leaching Requirement ซึ่งก็คือปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับการชะล้างเกลือแร่ให้ออกจากเขตรากนั้น จะมีความจำเป็นมากสำหรับระบบการชลประทานแบบผิวดินที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ถ้าประสิทธิภาพของระบบชลประทานต่ำแล้ว น้ำส่วนใหญ่จะสูญเสียไปในรูปของการซึมลงใต้ดินซึ่งก็จะถือว่าเป็น LF ได้ และหากไม่ได้รับการปรับปรุงก็จะเกิดปัญหาระดับน้ำใต้ดินสูง และปัญหาการระบายน้ำด้วย สำหรับการชลประทานแบบฉีดฝอยนั้น LF จะน้อยกว่าแบบผิวดินเล็กน้อยเพราะมีประสิทธิภาพในการชะล้างเกลือแร่ได้ดีกว่า ส่วนแบบหยดนั้นไม่จำเป็นต้องมี LF หากคุณสมบัติของน้ำชลประทานดีพอ



รูปที่ 13.5 การจำแนกประเภทของน้ำเพื่อการชลประทาน

ตัวอย่าง จากข้อมูลต่อไปนี้

1. ปริมาณการใช้น้ำของข้าวโพดตลอดฤดูการปลูก 120 วัน เท่ากับ 28 นิ้ว

2. ดินเป็นดินเหนียวปนทราย มี B.D. = 1.45 กรัม/ซม.^{3} ความชื้นที่ 1/3 bar = 27.2% ที่ 15 bar = 15.1% และอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินเฉลี่ย 0.4 นิ้วต่อชั่วโมง

3. ความถี่การชลประทาน 9 วัน และเวลาให้น้ำเท่ากับ 6 ชั่วโมง

จงคำนวณ

ก. Leaching Factor

ข. สมมุติยอมให้ผลผลิตลดลงได้ 50% ค่า EC_i เท่ากับเท่าไร

ค. ถ้าน้ำสำหรับการชลประทานได้จากบ่อบาดาลซึ่งมีค่า EC_i = 3.2 mmhos/cm จะต้องใช้ความถี่การให้น้ำเท่าไร จึงจะได้ผลผลิตเท่ากับข้อ ข.

ง. ถ้าเขตรากของพืชเท่ากับ 2 ฟุต ความถี่การให้น้ำยาวที่สุดเท่ากับกี่วัน โดยไม่คำนึงถึงปัญหาความเค็ม

จ. อัตราการระบายน้ำเท่าไร จึงจะเหมาะสมตามข้อมูลในข้อ ง. เพื่อที่จะไม่ให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้น

วิธีทำ

ก) อัตราการใช้น้ำเฉลี่ย $= \frac{28}{120} \times 2.54 = 0.593$ ซม./วัน

อัตราการซึมผ่านผิวดิน $= 0.4 \times (2.54) \times (24) = 24.38$ ซม./วัน

$t_c = 9$ วัน

$t_i = 6/24 = 0.25$ วัน

$$LF = 1 - \frac{ET \times t_c}{I \times t_i}$$

$$= 1 - \frac{(0.593) \times (9)}{(24.38) \times (0.25)}$$

$= 0.12$ หรือ 12%

ข) $EC_i = LF \times EC_d$

จากรูปที่ 13.4 $EC_d = 7$ mmhos/cm

$EC_i = 0.12 \times 7 = 0.84$ mmhos/cm

ค) ถ้า $EC_i = 3.2$ mmhos/cm และ $EC_d = 7$ mmhos/cm

$$\therefore LF = \frac{EC_i}{EC_d} = \frac{3.2}{7}$$

$= 0.46$ หรือ 46%

แต่ $$LF = 1 - \frac{ET \times t_c}{I \times t_i}$$

$$0.46 = 1 - \frac{(0.593) \times (t_c)}{(24.38) \times (0.25)}$$

$= 5.55$ วัน

ง) ปริมาณน้ำที่ดินเก็บได้ $= \left(\frac{27.2 - 15.1}{100}\right) \times (1.45) \times (24 \times 2.54)$

$= 10.53$ ซม.

ความถี่การให้น้ำ $= \frac{10.53}{0.593}$

$= 18$ วัน

จ) $LF = \frac{O}{ET + O}$

$0.46 = \frac{O}{0.593 + O}$

อัตราการระบายน้ำ $= 2.0$ ซม./วัน

บทที่ 14
การระบายน้ำ

การระบายน้ำ (Drainage) หมายถึงการกำจัดน้ำที่มากเกินความต้องการออกจากพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งเพื่อให้พื้นที่นั้นมีสภาพที่เหมาะสมต่อการใช้งานตามวัตถุประสงค์ เราอาจแบ่งการระบายน้ำออกตามลักษณะของพื้นที่เป็นการระบายน้ำจากบริเวณตัวเมือง (Municipal Drainage) การระบายน้ำจากพื้นที่เพาะปลูก (Agricultural Drainage) และการระบายน้ำจากทางหลวง (Highway Drainage)

ในหัวข้อต่อไปนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะแต่การระบายน้ำจากพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งหมายถึงการกำจัดน้ำที่มากเกินพอทั้งที่อยู่บนผิวดินหรือใต้ผิวดิน เพื่อให้พื้นที่นั้นมีสภาพเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืช และการปฏิบัติงานด้านเกษตรกรรม รวมทั้งการบูรณะดินในที่ลุ่มซึ่งมีน้ำขังให้สามารถใช้เพาะปลูกได้ด้วย

14.1 การระบายน้ำจากพื้นที่ชลประทาน

ในการระบายน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกซึ่งมีการชลประทาน จะต้องพิจารณาถึงน้ำที่ต้องการระบายจากแหล่งต่าง ๆ คือ น้ำฝน น้ำชลประทาน และน้ำใต้ดิน สำหรับน้ำฝนถ้าพื้นที่เพาะปลูกค่อนข้างเรียบและมีความลาดเทบ้างมักจะไม่ค่อยมีปัญหา ข้อสำคัญก็คืออย่าให้มีสิ่งใดมากีดขวางทางระบายน้ำซึ่งมีอยู่แล้วตามธรรมชาตินั้นเสีย ส่วนน้ำชลประทานที่ก่อให้เกิดปัญหานั้น อาจอยู่ในรูปของน้ำที่เหลือจากให้แก่พืชไหลเลยท้ายแปลงออกมา หรือในรูปของน้ำใต้ดินซึ่งรั่วซึมจากคลองส่งน้ำ จากที่ไหลซึมเลยเขตรากและที่ไหลซึมมาจากพื้นที่เพาะปลูกซึ่งอยู่ในระดับที่สูงกว่า สำหรับน้ำใต้ดินที่มาจากน้ำชลประทานนั้นจะมีปริมาณไม่มากนักในปีแรก ๆ ที่มีการชลประทาน แต่จะสะสมกันมากขึ้นเมื่อมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกและมีการใช้น้ำกันมากขึ้น การรั่วซึมจากคลองส่งน้ำนับเป็นแหล่งสำคัญที่จะเพิ่มระดับน้ำใต้ดินให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว การรั่วซึมขนาด 20 ถึง 30 เปอร์เซนต์อาจจะพบได้ในคลองดินทั่ว ๆ ไป บางแห่งอาจจะมากถึง 50 เปอร์เซนต์ถ้าดินโปร่งมาก นอกนั้นก็มีการรั่วซึมเลยเขตรากซึ่งมีขนาด 40 ถึง 60 เปอร์เซนต์ สำหรับการให้น้ำทางผิวดิน และจากน้ำฝนที่ซึมมาเพิ่มเติมให้ในฤดูฝนอีกด้วย

ถึงแม้ว่าการมีน้ำไหลซึมเลยเขตรากจะช่วยรักษาระดับความเข้มข้นของเกลือในเขตรากมิให้สูงเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินหรือน้ำชลประทานนั้นมีเกลืออยู่ด้วยเป็นปริมาณมาก หรือถึงแม้มีเกลืออยู่น้อยก็ตามแต่ถ้าน้ำไหลซึมเลยเขตรากมานั้นไม่ไหลไปสู่ทางระบายน้ำธรรมชาติแล้ว น้ำดังกล่าวก็จะมาสะสมกันและทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นจนก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้นได้ในภายหลัง

14.2 ผลของการมีน้ำมากเกินไป

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการมีน้ำในดินมากเกินไปว่า จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตอย่างไรบ้าง พบว่าพืชทั่ว ๆ ไปจะถูกกระทบกระเทือนจากการขาดอากาศในดิน โดยมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ ชนิดและอายุของพืช ดิน ปริมาณเกลือในน้ำหรือในดิน สภาพภูมิอากาศ และองค์ประกอบอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม พอจะสรุปได้ว่าการที่ดินมีน้ำมากเกินไปจะมีผลเสียต่อพืชและสิ่งแวดล้อมปลายประการด้วยกัน คือ

1. การมีน้ำแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากเกินไปจะทำให้ขาดการถ่ายเทอากาศในดิน

กล่าวคือ นอกจากจะทำให้รากพืชต้องขาดอ๊อกซิเจนแล้ว ยังป้องกันมิให้รากระบายคาร์บอนไดอ๊อกไซด์ได้โดยสะดวกอีกด้วย ยิ่งกว่านั้น การขาดอ๊อกซิเจนจะทำให้การเน่าของสารอินทรีย์ช้าลง ทำให้พืชได้รับแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ เช่น ไนโตรเจนช้าลง และได้รับสารที่เป็นพิษซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่ขาดอ๊อกซิเจนแทน

2. การมีระดับน้ำใต้ดินสูงเกินไปจะทำให้รากพืชถูกจำกัดอยู่ในบริเวณแคบ ๆ ทำให้หาอาหารได้น้อย และอาจทำให้พืชขาดน้ำเมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลง

3. ถ้าหากน้ำหรือดินมีเกลืออยู่เป็นปริมาณมาก จะเป็นเหตุให้มีเกลือขึ้นมาสะสมกันอยู่ในเขตรากหรือบนผิวดินเป็นปริมาณมากด้วย

4. ทำให้โรคพืชและวัชพืชบางชนิดขยายตัวอย่างรวดเร็ว

5. โครงสร้างของดินอาจเสียไป

6. ดินที่เปียกมากทำให้การเก็บเกี่ยว หรือการใช้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานไม่สะดวก

7. ในเขตที่มีอากาศหนาวจัด น้ำในดินหรือที่ผิวดินจะระเหยและดึงดูดเอาความร้อนไปจากดินทำให้ดินมีอุณหภูมิต่ำ และเนื่องจากดินที่เปียกมากทำให้อบอุ่นได้ช้ากว่าดินแห้ง ดังนั้น การมีน้ำในดินมากเกินไปจะทำให้มีระยะเวลาทำการเพาะปลูกได้สั้นลง

8. ทำให้เป็นแหล่งเพาะและแพร่ขยายพันธุ์ยุง ซึ่งทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของเกษตรกรและสัตว์เลี้ยง

14.3 ชนิดของทางระบายน้ำ

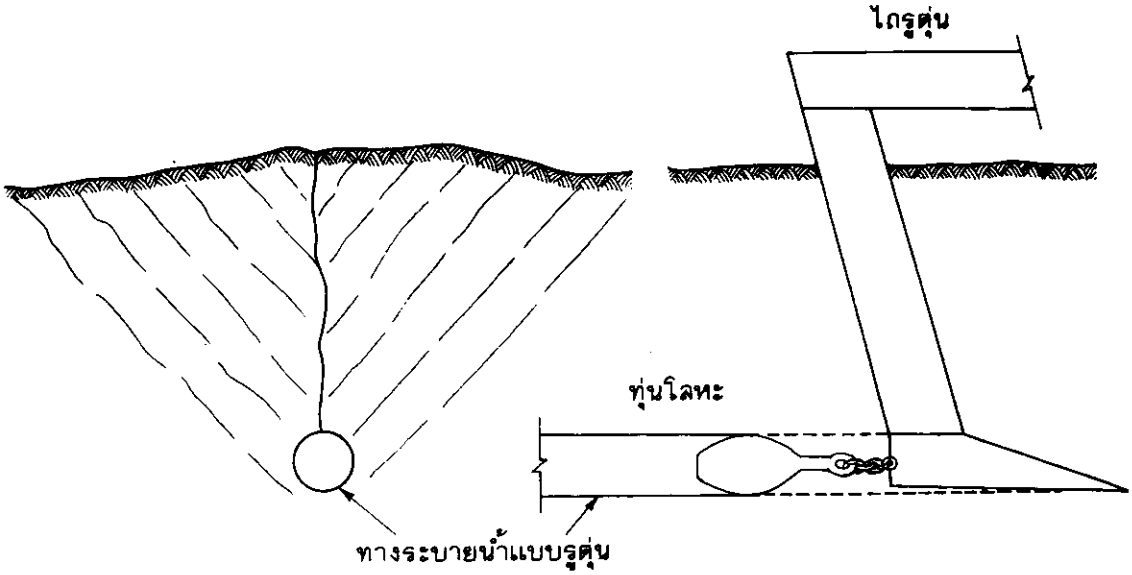
ทางระบายน้ำจากผิวดินและใต้ดินที่จัดสร้างขึ้นมีอยู่หลายแบบ แบบที่เคยใช้กันเมื่อแบ่งตามลักษณะแล้วมีอยู่ 4 ชนิด คือ แบบคูระบายน้ำ (Open Ditch Drain) แบบรูตุ่น (Mole Drain) แบบท่อระบายน้ำ (Tile Drain) และแบบบ่อระบายน้ำ (Well Drain)

14.3.1 ทางระบายน้ำแบบคูระบายน้ำ (Open Ditch Drain) ทางระบายน้ำแบบนี้มีลักษณะเป็นคูเปิดเช่นเดียวกับคลองส่งน้ำแต่ทำหน้าที่กลับกัน โดยปกติแล้วจะใช้ระบายน้ำผิวดิน หรือเป็นที่รวบรวมน้ำจากท่อระบายน้ำไปสู่ที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ทั้งนี้เพราะถ้าใช้ท่อแล้วจะต้องการท่อขนาดใหญ่ซึ่งมีราคาแพงกว่ามาก คูระบายน้ำนี้สามารถใช้ระบายทั้งน้ำที่ผิวดินและใต้ผิวดินในขณะเดียวกัน ข้อดีของคูระบายน้ำคือค่าลงทุนต่ำ ไม่มีปัญหาเรื่องรากพืชมาอุดตันเหมือนท่อระบายน้ำ ระบายน้ำได้เร็วเพราะมีขนาดใหญ่ และสามารถใช้ระบายน้ำได้ทั้งจากผิวดินและใต้ผิวดิน

ข้อเสียของคูระบายน้ำก็คือต้องเสียพื้นที่เป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่เหมาะกับที่ซึ่งที่ดินมีราคาสูง ต้องมีการดูแลรักษาโดยการขุดลอก กำจัดวัชพืช และซ่อมแซมตลิ่งเป็นประจำ นอกจากนั้นยังเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตรด้วย

14.3.2 ทางระบายน้ำแบบรูตุ่น (Mole Drain) เป็นทางระบายน้ำที่ทำขึ้นโดยการลากทุ่นโลหะที่มีลักษณะคล้ายลูกปืนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.5 ถึง 15 เซนติเมตรไปในดิน ท่อหรือโพรงที่เกิดขึ้นโดยวิธีนี้อยู่ลึกจากดิน 0.5 ถึง 1.20 เมตร และอยู่ห่างกัน 1 ถึง 10 เมตร

การระบายน้ำโดยใช้ทางระบายน้ำแบบนี้เป็นแบบชั่วคราว เพราะส่วนใหญ่ใช้ได้ผลดีเฉพาะในระยะสองสามปีแรกเท่านั้น อายุการใช้งานของมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น โครงสร้างและความมั่นคงแข็งแรงของดิน ความชื้นของดินขณะที่ทำทางระบายน้ำ ปริมาณและความถี่ของฝน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความลึกของมัน เป็นต้น



รูปที่ 14.1 รูปตัดของทางระบายน้ำแบบรูตุ่น และเครื่องมือซึ่งใช้ทำทางระบายน้ำแบบนี้

14.3.3 **ทางระบายน้ำแบบท่อระบายน้ำ** (Tile Drain) เป็นทางระบายน้ำที่ทำขึ้นโดยการฝังท่อดินเผาหรือท่อคอนกรีตซึ่งยาวท่อนละ 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ถึง 15 เซนติเมตร เป็นแนวไว้ใต้ดิน ปัจจุบันมีการใช้ท่อ PVC เจาะรูตามแนวยาวแทนท่อดินเผาหรือคอนกรีต เพราะสามารถทำเป็นท่อยาวๆ สะดวกแก่การวางท่อในสนาม น้ำใต้ดินที่ต้องการระบายจะไหลเข้าไปในท่อโดยผ่านทางรอยต่อของท่อแต่ละท่อน หรือรูที่เจาะไว้เป็นระยะที่ผนังของท่อ ความลึกและระยะระหว่างแนวท่อขึ้นอยู่กับความนำชลศาสตร์หรือความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน (Permeability) และความลึกของระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการจะควบคุม

การระบายน้ำทางท่อระบายน้ำนี้เป็นแบบที่นิยมใช้กันมาก เพราะว่าไม่ต้องเสียพื้นที่ที่ทำการเพาะปลูก ไม่กีดขวางการทำงานในไร่นา และไม่ต้องการการดูแลรักษาเป็นประจำเหมือนคูระบายน้ำ ส่วนข้อเสียก็คือค่าลงทุนครั้งแรกสูงมาก อาจมีการอุดตันเนื่องจากมีรากพืชบางชนิดเข้าไป หรือมีการตกตะกอนหรือตกผลึกของสารละลายที่ถูกชะล้างออกจากดินในท่อที่อยู่ต่ำกว่าแนวระดับที่ได้ออกแบบไว้ ถ้าหากมีการอุดตันหรือชำรุดการตรวจหาจุดดังกล่าวและการซ่อมแซมทำได้ยาก นอกจากนั้นในดินที่เหนียวมากการระบายน้ำใต้ดินโดยใช้ท่อระบายให้ผลสู้คูระบายน้ำไม่ได้

14.3.4 ทางระบายน้ำแบบบ่อระบายน้ำ (Well Drain) เป็นทางระบายน้ำที่ทำขึ้นโดยการขุดหรือเจาะบ่อให้น้ำที่ต้องการระบายไหลเข้ามาแล้วสูบทิ้งไป บ่อที่ใช้ระบายน้ำมีอยู่สองแบบคือ บ่อตื้น (Water Table or Gravity Well) ซึ่งเป็นบ่อที่ระดับน้ำในบ่อเท่ากับระดับน้ำใต้ดิน ส่วนใหญ่เป็นบ่อที่ขุดลงไปลึกกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่มากนัก การระบายน้ำจากบ่อตื้นนี้จะเป็นการลดระดับน้ำใต้ดินโดยตรง บ่ออีกแบบหนึ่งก็คือบ่อบาดาล (Artesian Well) ซึ่งน้ำที่ไหลเข้ามาในบ่อจะมาจากชั้นกรวดหรือทรายที่อยู่ระหว่างชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก (Impervious Layer) สองชั้น โดยปกติแล้วชั้นที่มีน้ำดังกล่าวจะอยู่ลึกและมีความกดดันสูง ถ้าหากเจาะบ่อลงไปถึงชั้นน้ำแล้วระดับน้ำในบ่อจะอยู่สูงหรือต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินก็ได้

ในพื้นที่ที่ต้องการการระบายน้ำโดยใช้บ่อระบายน้ำ มักจะมีสาเหตุมาจากมีการรั่วซึมจากชั้นบาดาลขึ้นมาซึ่งทำให้การระบายน้ำแบบอื่นใช้ไม่ได้ผล การระบายน้ำโดยการเจาะบ่อถึงชั้นน้ำบาดาลแล้วสูบออกมาใช้หรือทิ้งไปนี้จะไม่เป็นการลดระดับน้ำใต้ดินโดยตรง แต่จะเป็นการสกัดกั้นมิให้น้ำบาดาลไหลขึ้นมาเพิ่มระดับน้ำใต้ดินมากกว่า

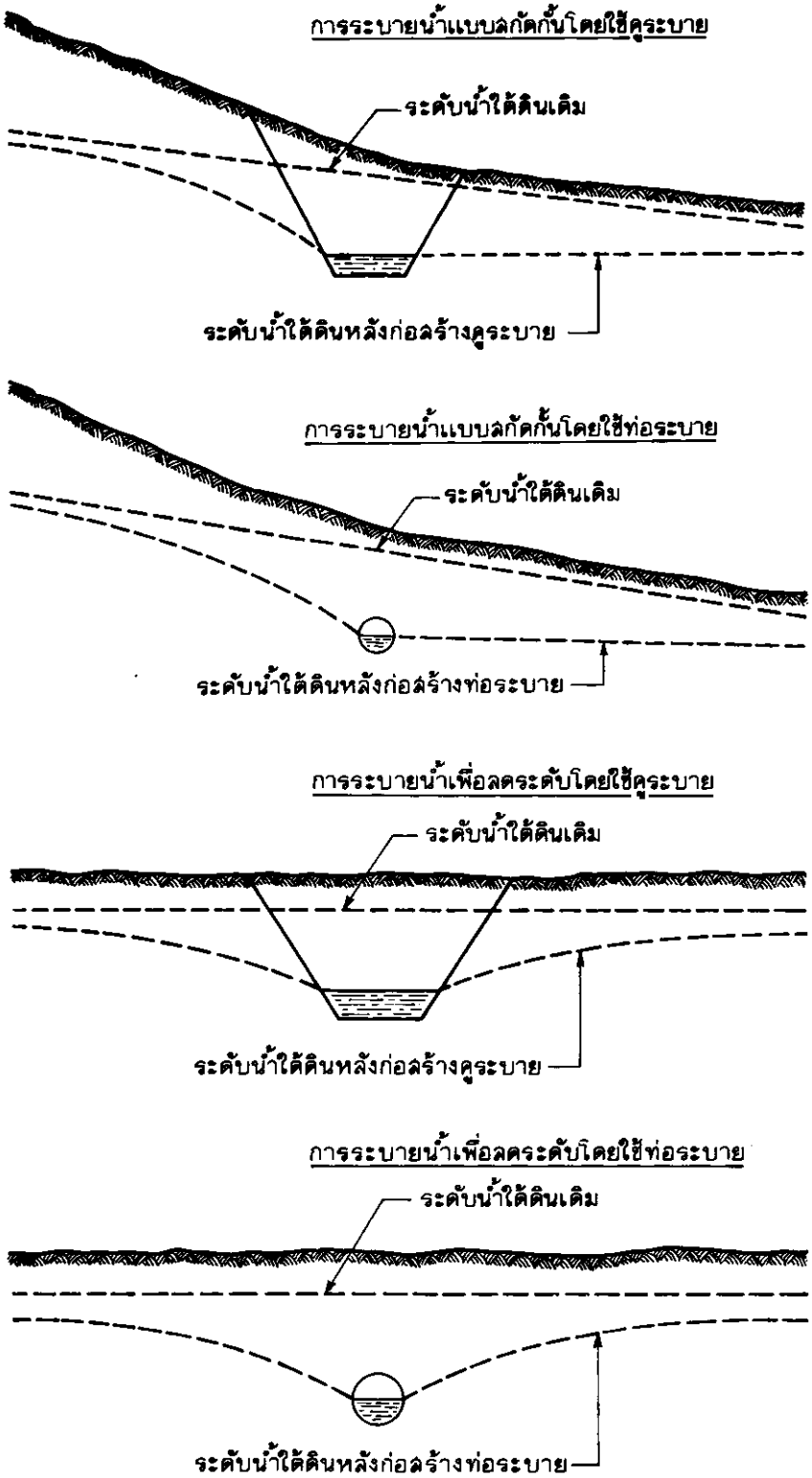
14.4 วิธีระบายน้ำ

การระบายน้ำอาจแบ่งออกอย่างกว้าง ๆ ได้เป็นสองวิธีด้วยกันคือ การระบายน้ำโดยการสกัดกั้นไม่ให้น้ำจากที่อื่นไหลเข้ามาในพื้นที่ซึ่งเรียกว่า Interception Drain และการระบายน้ำโดยการทำให้น้ำที่มีอยู่แล้วในพื้นที่ลดน้อยลง การระบายน้ำแบบหลังนี้เรียกว่า Relief Drain การที่จะเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งหรือทั้งสองแบบร่วมกันย่อมขึ้นอยู่กับว่า น้ำที่ต้องการระบายนั้นมาจากไหน มีทิศทางการไหลไปทางใด ทั้งนี้จะต้องนำเอาลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ตลอดจนข้อมูลทางธรณีวิทยาเข้ามาพิจารณาด้วย

14.4.1 การระบายน้ำโดยการสกัดกั้น (Interception Drain) การระบายน้ำโดยการสกัดกั้นมิให้น้ำจากแหล่งอื่นไหลเข้ามาในพื้นที่นี้ใช้ได้ทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เช่น น้ำฝนที่ไหลมาจากพื้นที่ที่สูงกว่า น้ำที่รั่วซึมมาจากคลองส่งน้ำ หรือน้ำที่รั่วซึมขึ้นมาจากชั้นน้ำบาดาล เป็นต้น ทางระบายน้ำอาจจะใช้ได้ทั้งคูระบายน้ำหรือท่อระบายน้ำ ยกเว้นกรณีที่น้ำที่ต้องการระบายนั้นรั่วซึมขึ้นมาจากชั้นน้ำบาดาล ซึ่งควรจะใช้บ่อระบายน้ำที่เจาะถึงชั้นน้ำดังกล่าวแทน

สำหรับกรณีที่น้ำนั้นไหลมาจากที่สูง หรือเป็นน้ำใต้ดินที่ไหลมาในแนวราบ การวางทางระบายน้ำสกัดกั้นขวางทิศทางการไหลตามแนวขอบของพื้นที่จะได้ผลดีและประหยัด เพราะจะต้องการคูหรือท่อระบายน้ำสั้นแต่คลุมพื้นที่ได้กว้างขวาง อย่างไรก็ตาม ถ้าหากความลาดเทของผิวน้ำใต้ดินชันมาก อาจมีน้ำบางส่วนซึมลอดใต้ทางระบายน้ำไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นท่อระบายน้ำซึ่งไม่ได้วางอยู่บนชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ดังนั้นถ้าชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ลึกมาก การใช้คูระบายน้ำจะให้ผลดีกว่าท่อระบายน้ำ

14.4.2 การระบายน้ำเพื่อลดระดับ (Relief Drain) ในพื้นที่เพาะปลูกที่เป็นทุ่งราบหรือค่อนข้างราบ น้ำที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำมักจะมาจากน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่ และน้ำใต้ดินซึ่งมีระดับค่อนข้างสูง เพราะว่าพื้นที่ราบ การไหลของน้ำใต้ดินไปสู่ทางระบายน้ำธรรมชาติจึงช้ามาก และเมื่อมีการชลประทาน น้ำที่รั่วซึมจากคลองส่งน้ำและที่ซึมเลยเขตรากก็จะช่วยเพิ่มระดับน้ำใต้ดินให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว การระบายน้ำในพื้นที่ดังกล่าวจึงอยู่ในลักษณะเป็นการระบายน้ำใต้ดิน ซึ่งมีระดับสูงอยู่แล้วให้ลดลงหรือควบคุมให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะกับความต้องการของพืช ถ้าหากน้ำที่ต้องการระบายส่วนใหญ่เป็นน้ำใต้ดินก็มักจะใช้ท่อระบายน้ำ แต่ถ้าต้องการระบายทั้งน้ำฝนและน้ำใต้ดิน คูระบายน้ำจะให้ผลดีกว่า



รูปที่ 14.2 การระบายน้ำแบบสกัดกั้น (Interception Drain) และการระบายน้ำเพื่อลดระดับ (Relief Drain)

14.5 การระบายน้ำผิวดิน

การระบายน้ำผิวดิน (Surface Drainage) เป็นการกำจัดน้ำที่ขังอยู่บนผิวดิน โดยการปรับปรุงผิวดินหรือทางระบายน้ำที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ เพื่อให้น้ำที่ขังอยู่นั้นไหลไปสู่ที่ทิ้งน้ำโดยเร็วที่สุด โดยไม่เกิดการกัดพาผิวดินหรือทางระบายน้ำนั้นด้วย

ในบางครั้งที่ระบบระบายน้ำใต้ดินระบายน้ำได้ช้า เราอาจจะใช้ระบบระบายน้ำผิวดินช่วยระบายน้ำผิวดินเสียก่อน เพื่อให้ระบบระบายน้ำใต้ดินทำการลดระดับน้ำใต้ดินได้รวดเร็วขึ้น

14.5.1 ลักษณะของปัญหาการระบายน้ำผิวดิน

สาเหตุที่ทำให้ต้องมีการระบายน้ำผิวดินนั้น ส่วนใหญ่เนื่องมาจากพื้นที่นั้นราบหรือค่อนข้างราบ จึงทำให้การระบายน้ำตามธรรมชาติไม่ได้ผล ลักษณะที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำผิวดินที่พบโดยทั่ว ๆ ไปมีดังนี้คือ

1. พื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ ทำให้น้ำไหลลงสู่ทางระบายน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติไม่สะดวก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินนั้นน้ำซึมผ่านได้ยากด้วยแล้วก็จะยิ่งทำให้เกิดปัญหามากขึ้น

2. ทางระบายน้ำมีขนาดเล็ก เมื่อมีฝนตกหนักก็ระบายออกไม่ทัน จึงทำให้มีน้ำขังบนผิวดินนานเกินไปจนเกิดผลเสียหาย

3. สภาพของที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ไม่เหมาะสม ทำให้ระบายน้ำทิ้งได้ช้า เช่น น้ำในทางระบายน้ำมีระดับเดียวกันหรือต่ำกว่าน้ำในแม่น้ำ บึง ฯลฯ ซึ่งเป็นที่ทิ้งน้ำ

น้ำที่เป็นสาเหตุให้ต้องมีการระบายน้ำผิวดินนั้น ส่วนใหญ่เป็นฝนที่ตกลงบนพื้นที่ รองลงมาก็เป็นน้ำชลประทานที่ให้แก่พืชมากเกินไป และน้ำที่ไหลซึมมาจากที่สูงกว่าหรือจากคลองส่งน้ำ

14.5.2 ระบบระบายน้ำผิวดิน

โดยหลักการแล้ว ระบบระบายน้ำผิวดินที่ดีที่สุดทำได้โดยการปรับพื้นที่ให้เรียบและมีความลาดเทไปหาทางระบายน้ำที่ได้จัดทำไว้ แต่เนื่องจากว่าส่วนใหญ่ค่าลงทุนในการปรับพื้นที่สูงมาจนกระทั่งไม่สามารถใช้วิธีนี้กับพื้นที่ทุกแปลงได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกวิธีที่ง่ายและลงทุนน้อยกว่า ระบบระบายน้ำผิวดินที่ใช้กันมีอยู่ 4 แบบ คือ

1. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า (Bedding หรือ Crowning System)
2. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบไร้รูปแบบ (Random Ditch System)
3. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบขวางความลาดเท (Cross-Slope System)
4. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบคูขนาน (Parallel Ditch System)

การที่จะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้นจะต้องพิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ คุณสมบัติของดิน พืชที่ปลูก ที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ตลอดจนความเหมาะสมต่อการใช้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานในพื้นที่ดังกล่าวด้วย

1. **ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า** (รูปที่ 14.3) ระบบระบายน้ำแบบนี้ทำโดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแปลงย่อย ๆ ขนาดกว้าง 8 ถึง 30 เมตร ยาว 100 ถึง 300 เมตร หน้าตัดตามความกว้างของแต่ละแปลงจะพูนเป็นรูปหลังเต่าเทไปหาร่องระบายน้ำเล็ก ๆ สองข้างและมีคูระบายน้ำที่หัวและท้ายแปลงรวบรวมน้ำจากร่องระบายน้ำเหล่านี้ไปสู่คูทิ้งน้ำอีกทีหนึ่ง การไถพรวนดินทำในแนวขนานกับด้านยาวของแปลง

ระบบระบายน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เรียบและมีความลาดเทไม่เกิน 1.5 เปอร์เซนต์ ความนำชลศาสตร์ของดินต่ำ พืชที่ปลูกให้ผลตอบแทนไม่คุ้มกับการระบายน้ำโดยใช้ท่อ และไม่มีที่ทิ้งน้ำที่เหมาะสม

2. **ระบบระบายน้ำผิวดินแบบไร้รูปแบบ** (รูปที่ 14.4) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้ระบายน้ำจากแอ่งน้ำหรือที่ลุ่มซึ่งกระจัดกระจายอยู่ในพื้นที่ โดยการขุดคูเชื่อมต่อระหว่างแอ่งน้ำจากแอ่งหนึ่งไปหาอีกแอ่งหนึ่งในแนวที่จะมีปริมาตรดินขุดและมีการกีดขวางการทำงานน้อยที่สุด แล้วขุดคูจากแอ่งที่อยู่ต่ำสุดไปสู่คูระบายน้ำออกจากพื้นที่

เพื่อให้ระบบระบายน้ำแบบนี้ได้ผลเต็มที่ ดินที่ขุดขึ้นมาควรจะนำไปใช้ถมที่ลุ่มหรือแอ่งน้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก แล้วปรับพื้นที่ให้เรียบและมีความลาดเทไปหาแอ่งน้ำหรือคูระบายที่ขุดขึ้นนั้น ในดินที่มีน้ำซึมผ่านได้ยากอาจจะต้องใช้ระบบระบายน้ำแบบนี้ร่วมกับแบบหลังเต่า

ถ้าหากคูที่ขุดขึ้นกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร จะต้องออกแบบให้มีลาดด้านข้าง (Slide Slope) เท่ากับ 1 : 8 หรือราบกว่าถ้าคูลึกไม่เกิน 30 ซม. และควรจะใช้ลาดด้านข้าง 1 : 10 หรือราบกว่าสำหรับคูที่ลึกไม่เกิน 50 ซม. แต่ถ้าหากแนวการไถพรวนของดินขนานกับคู ก็อาจจะใช้ลาดด้านข้างได้มากถึง 1 : 4 ความเร็วของน้ำในคูไม่ควรจะมากจนเกิดการกัดเซาะขึ้นได้

3. **ระบบระบายน้ำผิวดินแบบขวางความลาดเท** (รูปที่ 14.5) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้สำหรับระบายน้ำจากพื้นที่ที่มีความลาดเทค่อนข้างชันแต่ไม่เกิน 4 เปอร์เซนต์ โดยการขุดคูตื้น ๆ ในแนวเกือบจะขนานกับแนวเส้นขอบเนิน (Contour) ของพื้นที่เป็นระยะ ๆ คูเหล่านี้จะทำหน้าที่รวบรวมน้ำจากพื้นที่ระหว่างคูทางด้านที่สูงกว่าให้ไหลไปสู่คูทิ้งน้ำ ดินที่ขุดขึ้นควรจะนำไปถมแอ่งหรือที่ลุ่มระหว่างคูให้เรียบ

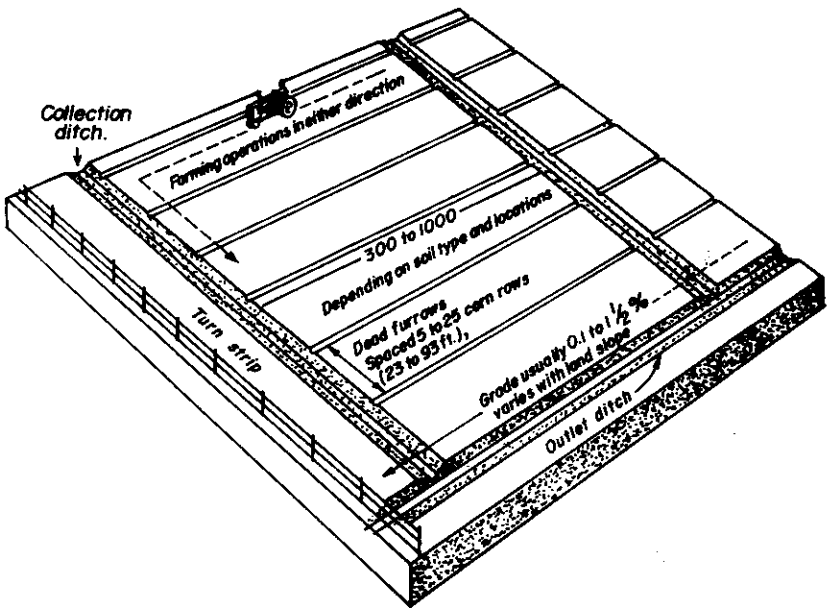
ความลาดเทของคูไม่ควรจะชันกว่า 1 เปอร์เซนต์ หรือขนาดที่จะทำให้เกิดการกัดเซาะในคูขึ้น ระยะระหว่างคูอาจจะเลือกใช้จาก 30 เมตร เมื่อพื้นที่มีความลาดเท 4 เปอร์เซนต์จนถึง 50 เมตร เมื่อความลาดเทลดลงเหลือ 0.5 เปอร์เซนต์ แนวของคูควรจะตรงและขนานกันให้มากที่สุด เพราะจะช่วยให้การไถเตรียมดินซึ่งทำในแนวขนานกับคูทำได้สะดวกขึ้น

4. **ระบบระบายน้ำผิวดินแบบคูขนาน** (รูปที่ 14.6) ระบบระบายน้ำนี้ใช้สำหรับที่ราบและดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ ซึ่งทำให้เกิดที่ลุ่มน้ำขังกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป

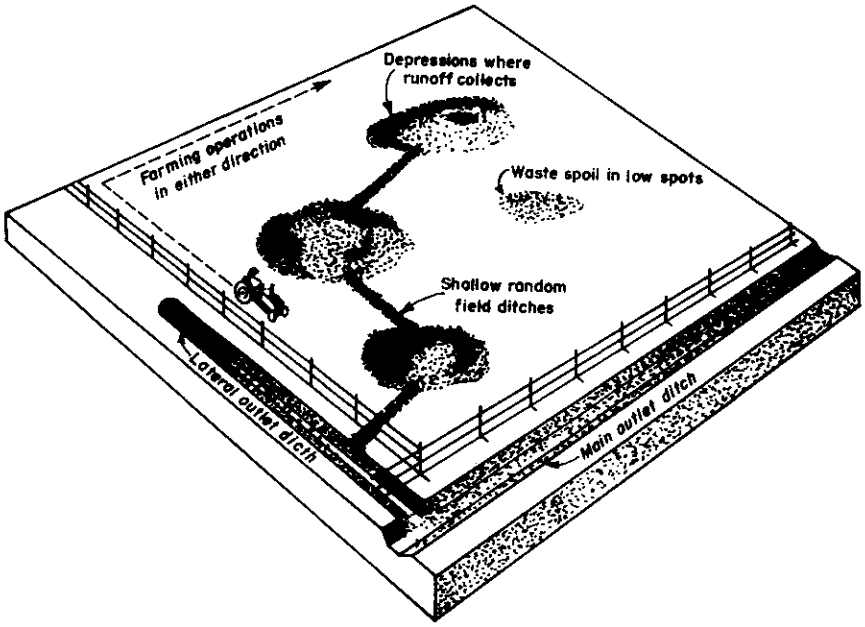
การจัดระบบระบายน้ำแบบนี้ก็คล้ายกับแบบหลังเต่า คือแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงสี่เหลี่ยมผืนผ้าย่อย ๆ แต่ไม่จำเป็นว่าระยะระหว่างคู่ระบายน้ำหรือความกว้างของแปลงต้องเท่ากัน ทั้งนี้เพราะน้ำจากแต่ละจุดในแปลงย่อยอาจจะไหลไปสู่คูระบายน้ำด้านใดก็ได้ ซึ่งแล้วแต่ว่าจุดนั้นมีความลาดเทไปทางใด ข้อสำคัญก็คือคูระบายน้ำจะต้องโตพอที่จะระบายน้ำออกได้โดยไม่ล้นขึ้นมา หรือมีการกัดเซาะมากเกินไป

ขนาดของคูระบายน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ที่จะมีน้ำไหลไปสู่คูระบายน้ำนั้น อัตราการตกของฝนหรือน้ำที่ต้องการระบายออกไป ความลาดเทของพื้นที่ คุณสมบัติของดิน ฯลฯ คูระบายน้ำไม่ควรจะตื้นกว่า 20 เซนติเมตร และมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 0.5 ตารางเมตร ลาดด้านข้างควรจะราบกว่า 1 : 8 ในแปลงที่มีความลาดเทไปหาคูระบายน้ำทางด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว ระยะระหว่างคูไม่ควรเกิน 200 เมตร หรือถ้ามีความลาดเทสองด้านระยะดังกล่าวไม่ควรเกิน 400 เมตร ในดินที่ถูกกัดเซาะได้ง่ายและมีความนำชลศาสตร์ต่ำ ระยะระหว่างคูไม่ควรเกิน 100 เมตร

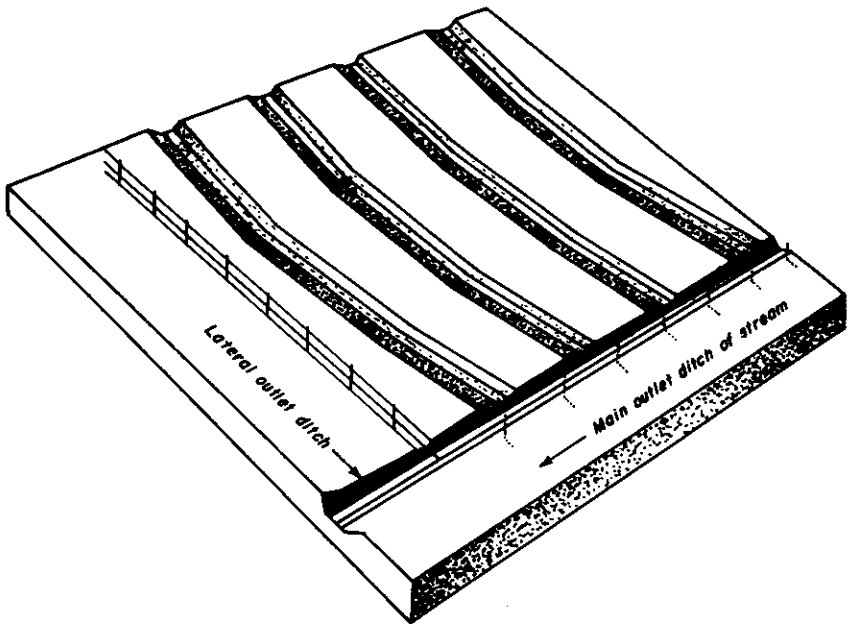
บางแห่งระบบคูขนานใช้ระบายทั้งน้ำผิวดินและใต้ดิน ในกรณีนี้คูจะต้องลึกและมีลาดด้านข้างชันขึ้น นอกจากนั้นระยะระหว่างคูก็จะต้องลดลงเหลือ 30 ถึง 100 เมตร



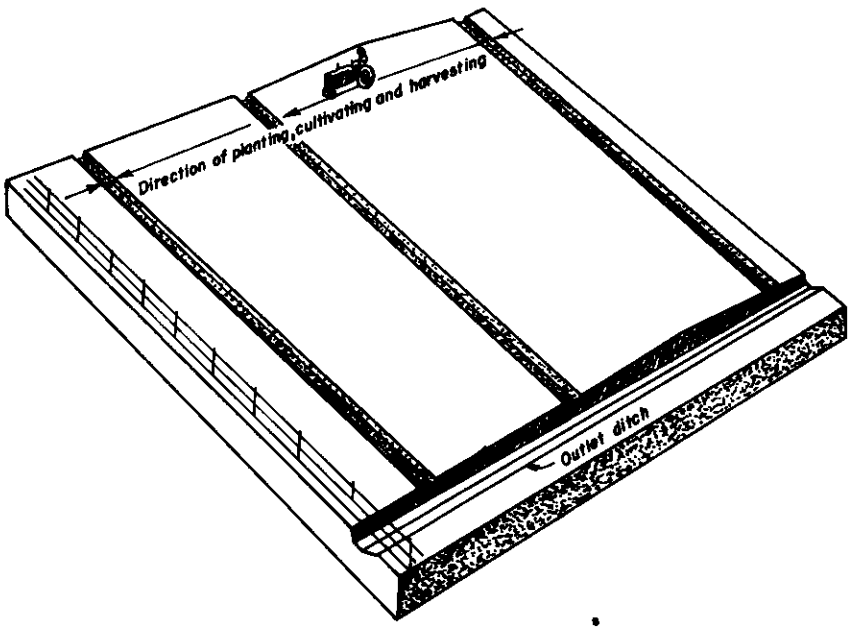
รูปที่ 14.3 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า
(Bedding or Crowning System)



รูปที่ 14.4 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบไร้รูปแบบ
(Random Ditch System)



รูปที่ 14.5 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบขวางความลาดเท
(Cross – Slope System)



รูปที่ 14.6 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบคูขนาน
(Parallel Ditch System)

14.6 การระบายน้ำใต้ดิน

การระบายน้ำใต้ดิน (Subsurface Drainage) เป็นการกำจัดน้ำเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำอิสระ (Free Water) ออกจากดินโดยการสร้างความต่างศักย์ระดับน้ำ (Hydraulic Head) ในดินขึ้น เพื่อให้น้ำดังกล่าวไหลไปสู่ท่อหรือคูระบายน้ำ จนกระทั่งผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำอยู่ต่ำจากผิวดินมากพอกับความต้องการของพืช

โดยแท้จริงแล้วผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำกับระดับน้ำใต้ดินไม่จำเป็นต้องอยู่ที่ระดับเดียวกัน สมมุติว่าเราใช้สว่านเจาะดินไปให้ลึกจากผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำมากพอ ระดับน้ำในบ่อที่ใช้สว่านเจาะเมื่อถึงจุดสมดุลย์หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับแล้วถือว่าเป็นระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) แต่ผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำรอบ ๆ บ่อจะอยู่สูงกว่าระดับน้ำในบ่อ ทั้งนี้เพราะช่องว่างระหว่างเมล็ดดินเหนือระดับน้ำใต้ดินจะทำหน้าที่คล้าย ๆ ท่อเล็ก ๆ (Capillary Tube) และด้วยแรงดึงผิว (Surface Tension) ระหว่างน้ำกับผนังของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน น้ำจะถูกดึงขึ้นไปให้สูงกว่าระดับน้ำใต้ดิน และทำให้เกิดชั้นดินที่อิ่มน้ำเหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้น ชั้นดินที่อิ่มน้ำในลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า เขตน้ำซึม (Capillary Fringe) ความสูงของเขตน้ำซึมเป็นสัดส่วนผกผันกับรัศมีของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน ดังนั้นในดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวจึงมีชั้นดินที่อิ่มน้ำเหนือระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างสูง การระบายน้ำในดินที่มีเนื้อละเอียดจึงต้องคำนึงถึงชั้นดินที่อิ่มน้ำดังกล่าวนี้ด้วย

14.6.1 ลักษณะของปัญหาการระบายน้ำใต้ดิน

การที่ต้องมีการระบายน้ำใต้ดินนั้นเนื่องมาจากสาเหตุหลายอย่างด้วยกัน เช่น พื้นที่ราบมักจะมีการระบายน้ำไม่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินชั้นล่างน้ำซึมผ่านได้ยาก อย่างไรก็ตามในพื้นที่บางแห่งที่ต้องการการระบายน้ำ ไม่มีสาเหตุที่เห็นได้ชัดว่าตรงจุดที่มีการไหลซึมของน้ำมาจากที่อื่นหรือมีระดับน้ำใต้ดินสูงเกินไปนั้นเนื่องมาจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เลย การที่พื้นที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงอาจเป็นได้ทั้งเพราะว่าดินยอมให้น้ำไหลผ่านได้ยากหรือง่าย ไม่ว่าพื้นที่นั้นจะราบหรือมีความลาดเท และไม่ว่าจะอยู่ในเขตชุ่มชื้นหรือแห้งแล้ง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้ว จึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะแบ่งลักษณะของปัญหาการระบายน้ำใต้ดินออกตามแหล่งที่มาของน้ำ ลักษณะการไหลเข้ามาและผ่านพื้นที่ออกไป การจำแนกปัญหาตามวิธีดังกล่าวนี้จะช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ง่ายขึ้นว่าควรจะใช้ระบบระบายน้ำแบบใด ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของปัญหาการระบายน้ำใต้ดินที่สำคัญ ๆ คือ

1. **น้ำใต้ดินของที่ราบในหุบเขา** (Basin-type free-water table) พื้นที่ในหุบเขาหรือบนที่ราบที่กว้างมาก ๆ จะมีน้ำใต้ดินขังอยู่ตั้งแต่ชั้นดินดานหรือดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากขึ้นมา โดยปกติแล้วความลาดเทของระดับน้ำใต้ดินจะมีทิศทางตามความลาดเทของผิวดินและค่อนข้างราบ และจะมีการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ไปสู่ลำธารหรือทางน้ำที่ไหลออกไปจากหุบเขา น้ำดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่มาจากฝนที่ตกในพื้นที่และจากน้ำชลประทานที่ให้แก่พืชมากเกินไป ระดับน้ำใต้ดินมักจะสูงขึ้นในฤดูฝนและลดลงในฤดูร้อน ถ้าในน้ำหรือดินมีเกลืออยู่เป็นปริมาณมาก ก็อาจจะขึ้นมาสะสมบนผิวดินโดยการซึมขึ้นมากับน้ำและระเหยบนผิวดินได้

การระบายน้ำออกจากพื้นที่ที่มีลักษณะดังกล่าวนี้ควรจะใช้วิธีระบายเพื่อลดระดับเพราะการไหลของน้ำใต้ดินช้ามาก สำหรับบริเวณเชิงเขาซึ่งระดับน้ำใต้ดินมีความลาดเทมากและไหลค่อนข้างเร็ว

การระบายเพื่อลดระดับ (Relief Drain) มักจะไม่ค่อยได้ผลจึงควรใช้วิธีระบายโดยการสกัดกั้น (Interception Drain) แทน

ถ้าหากดินชั้นล่างโปร่งมากและน้ำใต้ดินมีคุณภาพดี การลดระดับน้ำใต้ดินโดยใช้บ่อตื้น (Gravity Well) อาจจะเหมาะกว่าแบบอื่น เพราะจะได้ประโยชน์ทั้งลดระดับน้ำใต้ดินและได้น้ำมาใช้ทำการชลประทานด้วย

2. **ระดับน้ำใต้ดินเหนือชั้นน้ำบาดาล** (Water table over an artesian aquifer) ในพื้นที่บางแห่งที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงนั้นอาจจะเนื่องมาจากการไหลซึมของน้ำจากชั้นน้ำบาดาล (Artesian or Confined Aquifer) ชั้นน้ำบาดาลนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ลึกและมีความกดดันสูงมาก ถ้าเจาะบ่อลงไปถึงชั้นน้ำบาดาลแล้วระดับน้ำในบ่อ อาจจะขึ้นมาอยู่สูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินก็ได้ พื้นที่ที่เกิดปัญหาการระบายน้ำแบบนี้จะมีระดับน้ำในบ่อจากชั้นน้ำบาดาลสูงกว่าระดับน้ำใต้ดินมาก และชั้นดินตามส่วนบนของชั้นน้ำบาดาลมีรอยร้าวหรือรั่ว น้ำจากชั้นบาดาลก็จะไหลซึมขึ้นมา และถ้าหากน้ำมีความกดดันมากก็อาจจะไหลซึมขึ้นมาถึงผิวดินได้ ดังเช่นรูปที่ 14.7

การระบายน้ำใต้ดินที่เกิดจากสาเหตุดังกล่าวทำได้ยากกว่ากรณีแรก ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะมีน้ำไหลมาเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลาและไม่สามารถควบคุมปริมาณได้ด้วย การที่จะลดระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่เช่นนี้ จะต้องวางท่อระบายน้ำให้ลึกและถี่มาก ถ้าหากน้ำมีความกดดันมาก ก็จะต้องเจาะบ่อสูบน้ำจากชั้นน้ำบาดาลเพื่อช่วยลดความกดดันให้น้อยลงด้วย การระบายน้ำจากพื้นที่เช่นนี้ส่วนใหญ่จะต้องลงทุนมากจนไม่คุ้มกับประโยชน์ที่จะได้รับ

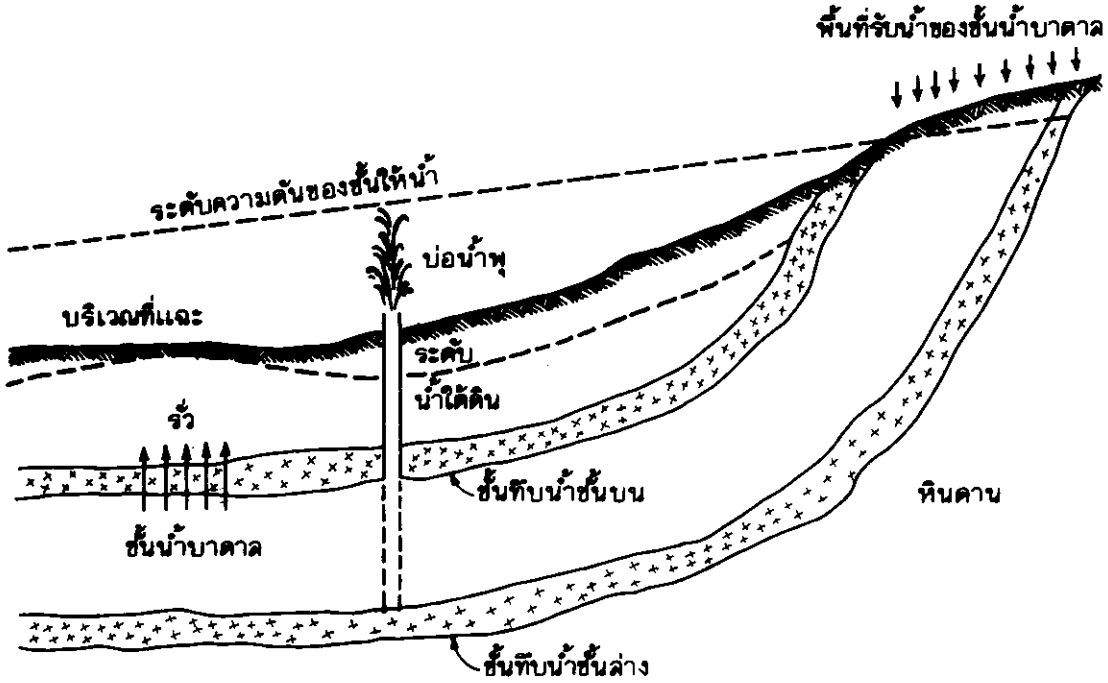
ถ้าน้ำที่ซึมขึ้นมานั้นไม่มากนักและเป็นบริเวณเล็ก ๆ การระบายน้ำก็อาจจะทำโดยการติดตั้งท่อระบายน้ำให้ลึกและถี่ในบริเวณดังกล่าว และอาจจะต้องใช้ระบบแบบสกัดกั้นวางรอบ ๆ เพื่อช่วยระบายน้ำที่เหลือจากท่อระบายเพื่อลดระดับ (Relief Drain) ไม่ให้ไหลซึมออกทางด้านข้างด้วย

3. **ระดับน้ำใต้ดินเทียม** (Perched-water table) ในดินที่มีการเรียงตัวเป็นชั้น ๆ อาจจะมีชั้นดินซึ่งมีความนำชลศาสตร์ต่ำแผ่อยู่ในเขตรากและอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ชั้นดินดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดระดับน้ำใต้ดินอีกระดับหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินที่แท้จริง ระดับน้ำใต้ดินดังกล่าวนี้เรียกว่า ระดับน้ำใต้ดินเทียม (Perched-water table) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 14.8 การระบายน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะเช่นนี้มักจะใช้ระบบระบายเพื่อลดระดับ (Relief Drain) แต่ถ้าน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหานั้นไหลมาจากที่อื่นก็อาจจะใช้ระบบสกัดกั้นประกอบด้วย

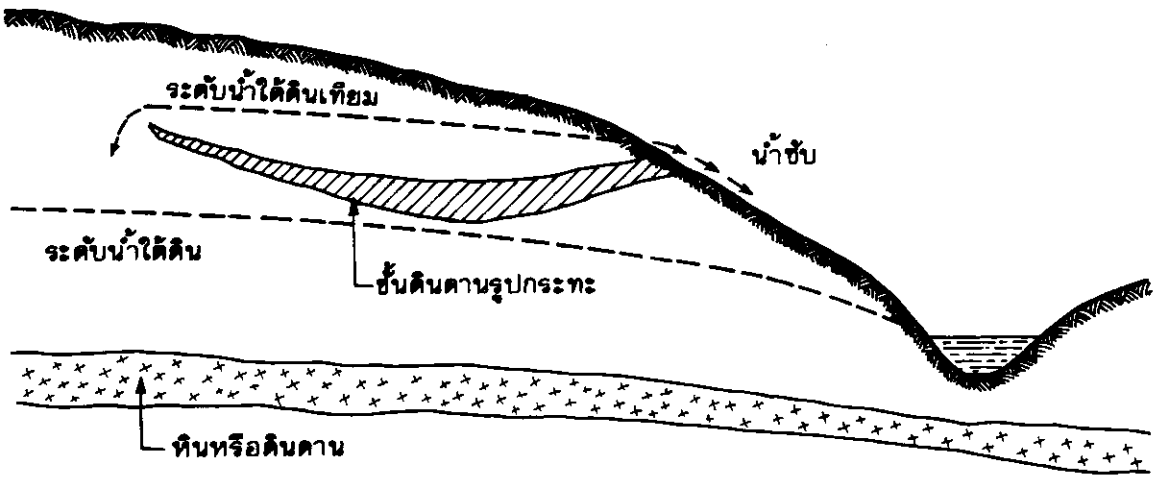
โดยหลักการแล้ว น้ำในชั้นดินตอนบนนี้อาจจะระบายโดยการเจาะชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากให้น้ำไหลลงไปสู่ระดับน้ำใต้ดินที่แท้จริง หรือป้องกันมิให้เกิดขึ้นโดยการป้องกันการรั่วซึมจากคลองส่งน้ำ ปรับปรุงการชลประทานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือจัดให้มีการระบายน้ำผิวดินให้เพียงพอ เป็นต้น

4. **ปัญหาการไหลของน้ำใต้ดินในทางราบ** (Lateral ground-water flow problems) ปัญหาการระบายน้ำที่จัดให้อยู่ในหัวข้อนี้ก็คือปัญหาที่เกิดจากการไหลของน้ำใต้ดินในทางราบในเขตรากหรือเข้าไปสู่เขตรากพืช ลักษณะการไหลดังกล่าวนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเรียงตัวของชั้นดิน

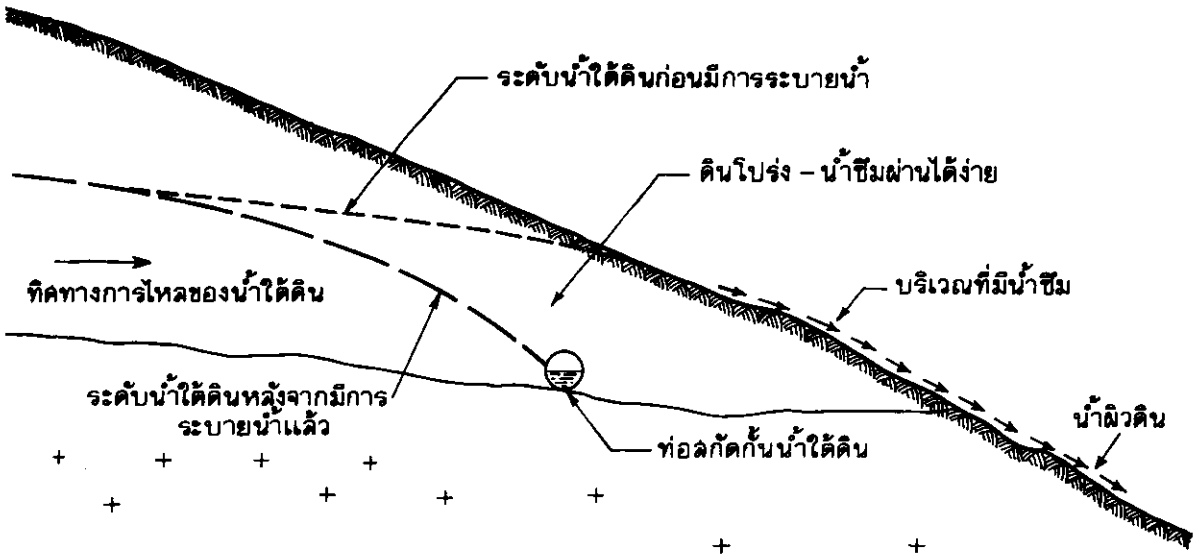
ในดินที่มีการเรียงตัวเป็นชั้น ๆ บางครั้งชั้นดินที่อยู่ติดกันมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่างกันเป็นร้อยหรือพันเท่า ดังนั้นการไหลของน้ำจึงถูกจำกัดอยู่แต่ในชั้นที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย แล้วก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้น เช่นในบริเวณเชิงเขา ดังรูปที่ 14.9 เราอาจจะเห็นน้ำซึมออก



รูปที่ 14.7 ลักษณะการรั่วซึมของน้ำจากชั้นน้ำบาดาล



รูปที่ 14.8 ลักษณะของระดับน้ำใต้ดินเทียม
(Perched Water Table)



รูปที่ 14.9 ลักษณะของปัญหาการไหลของน้ำใต้ดินในทางราบ (Lateral Ground – Water Flow Problem)

มาตรงบริเวณชั้นดินที่อยู่เหนือชั้นหินมาโผล่บนผิวดิน การแก้ปัญหาเช่นนี้ขึ้นอยู่กับความลึก ทิศทางและความลาดเทของชั้นหินหรือดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ตามปกติแล้วจะใช้คูหรือท่อระบาย สกัดกั้นมิให้น้ำไหลมาถึงเขตราก

การรั่วซึมจากคลองชลประทานก็อาจก่อให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกัน การแก้ปัญหานี้อาจจะทำได้โดยการติดตั้งทางระบายน้ำแบบสกัดกั้นที่เชิงของลาดคันดินช่วยสกัดกั้นไม่ให้น้ำไหลซึมต่อไปได้ อย่างไรก็ตาม ถ้าหากระดับน้ำในคลองสูงกว่าระดับดินมาก และทางระบายน้ำอยู่ใกล้กับคลองส่งน้ำก็อาจจะทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงจนทำให้คันคลองพังได้

14.6.2 ระบบระบายน้ำใต้ดิน

ระบบระบายน้ำใต้ดินหมายถึงอาคารระบายน้ำต่าง ๆ ที่จัดวางให้ทำหน้าที่ระบายน้ำใต้ดินออกไปสู่ที่ทิ้งน้ำ เนื่องจากว่าอาคารที่นิยมใช้ระบายน้ำใต้ดินส่วนใหญ่เป็นแบบท่อ (Tile Drain) ระบบระบายน้ำใต้ดินที่พูดกันทั่ว ๆ ไปจึงหมายถึงการจัดวางท่อระบายน้ำในลักษณะต่าง ๆ ให้เหมาะกับภูมิประเทศและแหล่งน้ำที่ต้องการระบาย ระบบระบายน้ำใต้ดินที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 5 แบบคือ

1. ระบบท่อขนาน (Gridiron or Parallel System)
2. ระบบก้างปลา (Herringbone System)
3. ระบบท่อประธานคู่ (Double Main System)
4. ระบบไร้รูปแบบ (Random System)
5. ระบบสกัดกั้น (Interception System)

ในพื้นที่แปลงหนึ่ง ๆ อาจจะใช้ระบบแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบผสมกันก็ได้ ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ แหล่งและทิศทางการไหลของน้ำที่ต้องการระบาย

1. **ระบบท่อขนาน** (Gridiron or Parallel System รูปที่ 14.10a) ระบบระบายน้ำแบบนี้ประกอบด้วยท่อระบายน้ำที่วางขนานกันเป็นระยะ ๆ และตั้งฉากกับท่อประธาน (Main tile) ซึ่งทำหน้าที่รับน้ำจากท่อระบายน้ำซึ่งจะมีอยู่เพียงด้านใดด้านหนึ่งของท่อประธานไปสู่ที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ระบบระบายน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับควบคุมระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ราบ เป็นรูปสี่เหลี่ยมและเนื้อดินสม่ำเสมอ

2. **ระบบก้างปลา** (Herringbone System รูปที่ 14.10b) ระบบระบายน้ำแบบนี้ประกอบขึ้นด้วยท่อระบายน้ำที่วางขนานกันเป็นระยะเช่นเดียวกันกับแบบแรก แต่จะทำมุมและต่อเข้ากับท่อประธานทั้งสองด้านในรูปลักษณะคล้ายก้างปลา ระบบระบายน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับควบคุมระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ท่อประธานหรือรองประธาน (Submain tile) ต้องวางอยู่ในแนวร่องระบายน้ำธรรมชาติตื้น ๆ ซึ่งพื้นที่ลาดมาหาทั้งสองด้าน หรืออาจจะใช้ผสมกับระบบระบายน้ำแบบอื่นก็ได้

3. **ระบบท่อประธานคู่** (Double Main System รูปที่ 14.10c) ระบบระบายน้ำแบบนี้ดัดแปลงมาจากสองแบบแรก กล่าวคือเมื่อต้องวางท่อประธานในแนวร่องระบายน้ำธรรมชาติซึ่งลึกหรือเป็นทางน้ำอยู่แล้ว ทำให้ต้องแบ่งพื้นที่ที่ต้องระบายน้ำออกเป็นสองแปลงและมีท่อประธานสองท่ออยู่บนแต่ละฝั่งของทางน้ำ ความจริงการมีท่อประธานสองท่อนี้นอกจากจะช่วยให้การวางระบบระบายน้ำทำได้สะดวกกว่า เนื่องจากระดับดินบนสองฝั่งของทางน้ำอาจแตกต่างกันมากแล้ว ถ้าหากมีการไหลซึมของน้ำจากทางน้ำนั้นเข้ามาในพื้นที่ ท่อประธานก็จะทำหน้าที่สกัดกั้นน้ำเหล่านี้ไว้ด้วย

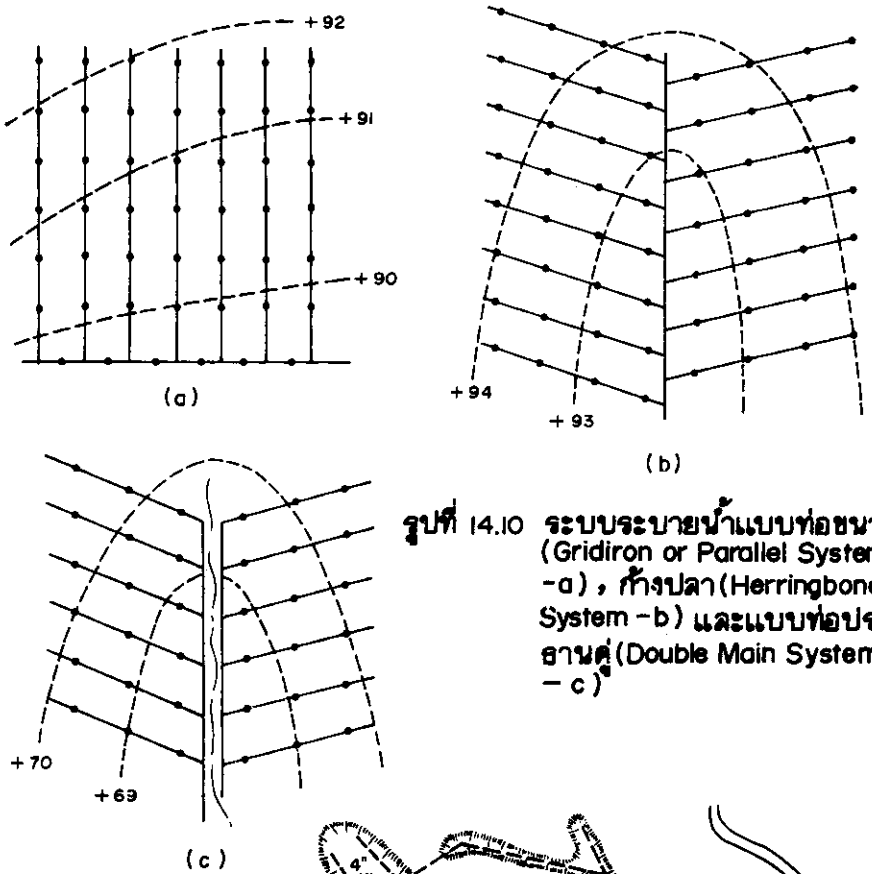
4. **ระบบไร้รูปแบบ** (Random System รูปที่ 14.11) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้สำหรับพื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ และมีที่ลุ่มน้ำขังเป็นแห่ง ๆ ซึ่งไม่ต้องการระบบระบายน้ำที่มีอาคารระบายน้ำวางขนานกันเป็นระยะ ๆ คลุมทั้งพื้นที่ ระบบระบายน้ำแบบนี้ค่อนข้างประหยัดเพราะจะมีแต่ท่อประธานเชื่อมต่อบริเวณที่ต้องการระบายน้ำแต่ละจุดและมีท่อระบายน้ำเฉพาะในบริเวณที่ลุ่มเหล่านี้เท่านั้น ถ้าบริเวณที่ต้องการระบายน้ำแต่ละจุดเป็นพื้นที่กว้างใหญ่ก็อาจจะต้องจัดท่อระบายน้ำในจุดนั้นเป็นแบบท่อขนาน (Gridiron) หรือแบบก้างปลา (Herringbone System) แล้วแต่กรณี

5. **ระบบสกัดกั้น** (Interception System รูปที่ 4.12) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้สกัดกั้นการไหลซึมของน้ำซึ่งไหลในทางราบเหนือชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากที่โผล่ขึ้นมาหรือวางอยู่ใกล้กับผิวดินและทำให้มีน้ำซึมออกมาจากบริเวณดังกล่าว การระบายน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะเช่นนี้จะทำโดยการวางท่อระบายน้ำบนชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากตอนบนของบริเวณที่มีน้ำซึมในแนวขนานกับแนวที่มีน้ำซึมออกมา และมีความลาดเทไปสู่ที่ทิ้งน้ำ

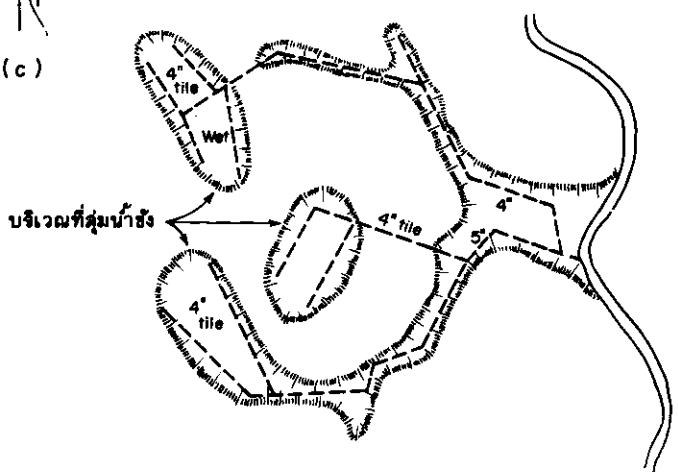
14.7 ความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำ

ความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำ (Tile depth and spacing) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะคอยควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ในการควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ที่ระดับหนึ่ง เราอาจจะเลือกวางท่อระบายน้ำในระดับที่ไม่ลึกนักแต่ระยะระหว่างท่ออยู่ใกล้กัน หรือวางท่อให้ไกลออกไปแต่อยู่ในระดับลึกมากขึ้นก็ได้

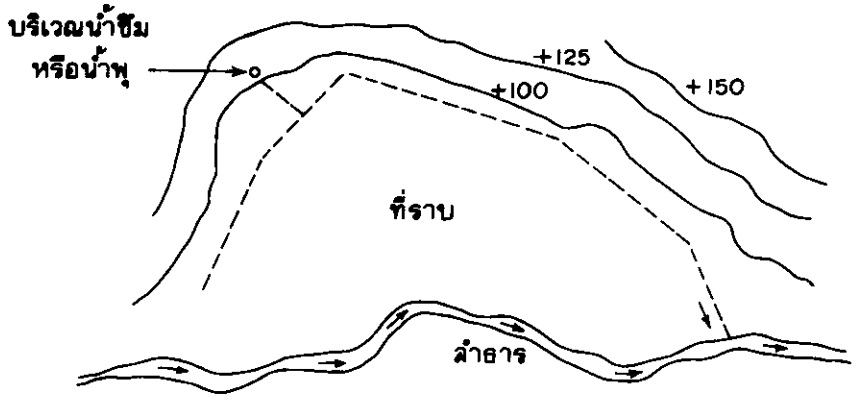
เนื่องจากว่า ระดับน้ำใต้ดินที่จุดกึ่งกลางระหว่างท่อระบายน้ำจะอยู่สูงกว่าจุดอื่น ๆ ระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการควบคุมจึงต้องพิจารณาที่จุดนี้ นอกจากนั้นจะต้องพิจารณาองค์ประกอบอย่างอื่นด้วย เช่น ปริมาณเกลือในดินและในน้ำ ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน ความลึกของชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ความลึกของที่ทิ้งน้ำตลอดจนความสามารถของเครื่องมือที่จะทำงานในระดับความลึกที่ต้องการนั้นด้วย



รูปที่ 14.10 ระบบระบายน้ำแบบท่อขนาน (Gridiron or Parallel System -a), ก้างปลา (Herringbone System - b) และแบบท่อประธานคู่ (Double Main System - c)



รูปที่ 14.11 ระบบระบายน้ำแบบไร้รูปแบบ (Random System)



รูปที่ 14.12 ระบบระบายน้ำแบบสกัดกั้น
(Interception System)

ในดินที่เกิดจากการผุกร่อนของหินแร่ต่าง ๆ (Mineral Soil) ซึ่งมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สม่ำเสมอตลอดความลึกของชั้นดิน ความลึกของท่อระบายน้ำจะอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 2.50 เมตร ถ้าหากมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ ท่อระบายน้ำควรจะวางอยู่เหนือหรือบนชั้นดินดังกล่าว แต่ถ้าจำเป็นต้องวางต่ำกว่าระดับนี้ หลังจากวางท่อระบายน้ำเสร็จแล้วควรจะกลบด้วยดินที่น้ำซึมผ่านได้ง่ายกว่า

ระยะระหว่างท่อระบายน้ำนอกจากจะขึ้นอยู่กับความลึกแล้วยังขึ้นอยู่กับความนำชลศาสตร์ด้วย สำหรับการคำนวณหาความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำนั้นจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ แต่ค่าดังกล่าวสำหรับดินชนิดต่าง ๆ อาจดูได้จากตารางที่ 14.1

ตารางที่ 14.1 ค่าเฉลี่ยของความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำสำหรับดินชนิดต่าง ๆ

ดิน	ความนำชลศาสตร์		ระยะระหว่างท่อระบายน้ำ เมตร	ความลึก เมตร
	ระดับความเร็ว	มม/วัน		
ดินเหนียว	ช้ามาก	< 2	10 - 15	0.90 - 1.10
ดินร่วนปนดินเหนียว	ช้า	2 - 5	12 - 20	0.90 - 1.10
ดินร่วนโดยทั่ว ๆ ไป	ค่อนข้างช้า	5 - 20	20 - 30	0.90 - 1.20
ดินร่วนปนทรายละเอียด	ปานกลาง	20 - 60	30 - 35	1.20 - 1.40
ดินร่วนปนทราย	ค่อนข้างเร็ว	60 - 120	30 - 60	1.20 - 1.50
ดินที่เกิดจากการเน่าผุของพืชและมูลสัตว์	เร็ว	120 - 240	30 - 90	1.20 - 1.50
ดินชลประทาน	ไม่แน่นอน		45 - 180	1.50 - 2.50

บทที่ 15
การส่งน้ำและบำรุงรักษาอาคารชลประทาน

15.1 คำนำ

จากการศึกษาการส่งน้ำทั้งในภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สรุปผลได้ว่าประสิทธิภาพของการชลประทานไม่สม่ำเสมอ บางแห่งต่ำมาก แต่ในวาระวิกฤติที่ขาดแคลนน้ำกลับตรงกันข้าม ประสิทธิภาพการใช้น้ำสูงมากอย่างไม่น่าเชื่อ แสดงว่าการส่งน้ำ และบำรุงรักษาปัจจุบันนี้ขาดการจัดการที่ดี

ข้อเสนอแนะของบริษัทที่ปรึกษาต่าง ๆ พอสรุปเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ได้คือ

1. ควรปรับปรุงการจัดการส่งน้ำ โดยวางแผนการส่งน้ำก่อนฤดูการเพาะปลูก แล้วปรับแก้การส่งน้ำแต่ละสัปดาห์ให้เหมาะสมตามความต้องการ

2. การปรับปรุง การบำรุงรักษา ให้ส่งน้ำได้เต็มที่และสดวก ได้ตามความจุของระบบการส่งน้ำที่ออกแบบไว้

3. ควรฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ของโครงการทุกระดับ ทุกหน้าที่ให้รู้จักวิธีการจัดการระบบการส่งน้ำ

4. ควรพิจารณาปรับปรุงโครงการระยะยาว โดยมีมาตรการดังนี้

   ก. ปรับปรุงระบบส่งน้ำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น ทั่วถึงขึ้น

   ข. เร่งส่งเสริมการใช้น้ำให้เกษตรกรมีส่วนร่วมในการส่งน้ำ และบำรุงรักษา

   ค. ออกกฎหมายที่เหมาะสมสนับสนุนมาตรการดังกล่าว

จึงได้รวบรวมแนวความคิดในการทำงาน ด้านส่งน้ำและบำรุงรักษา หรือการจัดการระบบการส่งน้ำมาพอเป็นแนวทางแก้ปัญหา ถึงอย่างไรก็ตามขอทำความเข้าใจว่าปัญหาของแต่ละโครงการแต่ละท้องถิ่นไม่เหมือนกัน ควรนำไปดัดแปลงใช้ให้เหมาะสม และเมื่อเป็นที่ยอมรับทั้งเกษตรกรและเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้องแล้ว ก็ควรทำเป็นคู่มือการส่งน้ำและบำรุงรักษาของโครงการนั้น ๆ ไว้ต่อไปด้วย

15.2 การจัดการส่งน้ำชลประทาน (Irrigation Water Management)

15.2.1 ปัญหาการจัดการส่งน้ำชลประทาน

การส่งน้ำชลประทานในปัจจุบันมีข้อบกพร่องโดยทั่วไปอยู่ 4 ประการคือ

1. ส่งน้ำไม่ทั่วถึง ต้นคลอง ต้นคูมีน้ำเหลือเฟือ ส่วนปลายคลอง ปลายคู มักจะขาดน้ำ หรือได้รับน้ำล่าช้า

2. ขาดความร่วมมือจากเกษตรกร เป็นเหตุให้การจัดการส่งน้ำสับสนขาดระเบียบไม่เป็นไปตามแผนการส่งน้ำ

3. ผลผลิตของการเกษตรไม่สูงเท่าที่ควรเป็น และเท่าที่คาดหวังไว้

4. ประสิทธิภาพการชลประทานต่ำกว่าที่คาดหวัง

15.2.2 จุดมุ่งหมายของการจัดการส่งน้ำ

การจัดการส่งน้ำมีจุดมุ่งหมายคือส่งน้ำให้ทั่วถึงเท่าที่จำเป็น ให้สม่ำเสมอเป็นธรรมและให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น แบ่งตามลักษณะการทำงานที่ต้องเกี่ยวพันกัน คือ

1. ทางด้านวิศวกรรม จะต้องปรับปรุงระบบการส่งน้ำ และวิธีการส่งน้ำให้เหมาะกับความต้องการของพืชทั่วถึง ทันเวลา และสูญเสียน้ำน้อยที่สุด

2. ทางด้านเศรษฐกิจ และสังคม จะต้องให้เกษตรกรมีส่วนร่วมอย่างเต็มที่ในการส่งน้ำ ใช้น้ำ ช่วยกระจายน้ำไปอย่างทั่วถึง เพียงพอสำหรับพืช สม่ำเสมอ และไม่เหลื่อมล้ำกัน มีข้อขัดแย้งน้อยที่สุด เป็นที่พอใจ และเป็นธรรม เป็นหลักประกันที่เชื่อถือได้

3. ทางด้านเกษตรกรรม เกษตรกรจะต้องนำน้ำไปใช้ในการเพาะปลูกพืชให้เหมาะกับดินและความต้องการของตลาด โดยใช้วิธีการเกษตรแผนใหม่ ปรับปรุงเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น และปลูกให้ได้เนื้อที่มากที่สุดเท่าที่ปริมาณน้ำต้นทุนจะอำนวยให้

สำหรับความสัมพันธ์ของลักษณะการทำงานทั้ง 3 ด้านดังกล่าวนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 15.1

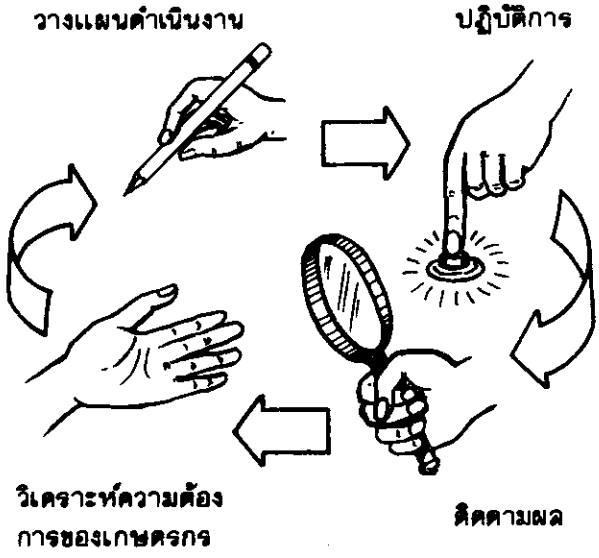
15.2.3 ขั้นตอนการจัดการส่งน้ำ

การจัดการส่งน้ำ เช่นเดียวกับการจัดการอื่น ๆ คือ ควรจะต้องมีขั้นตอนการดำเนินงานให้ครบวงจรคือ

1. **วางแผนการส่งน้ำ** โดยใช้ข้อมูลเนื้อที่เพาะปลูก พืชที่จะปลูกจัดทำแบบการส่งน้ำ กำหนดปริมาณน้ำที่จะส่งเข้าคลองแต่ละสาย แต่ละช่วงตลอดฤดูการเพาะปลูก

2. **ปฏิบัติการส่งน้ำ** ส่งแบบการส่งน้ำให้ผู้เกี่ยวข้องทราบแล้วควบคุมการส่งน้ำตามแผน

3. **ติดตามผลการส่งน้ำ** ติดตามความก้าวหน้าของการเพาะปลูกเป็นไปตามแผนที่วางไว้เพียงใด มีเหตุขัดข้องเพียงใด เพื่อปรับแก้แผนการส่งน้ำให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น



4. **การวิเคราะห์ความต้องการ** แผนการส่งน้ำ/หรือระบบการส่งน้ำที่ได้ปรับปรุงขึ้น อาจจะยังไม่สมบูรณ์พอที่จะอำนวยประโยชน์ หรือเหมาะสมเป็นที่พอใจ และยอมรับของเกษตรกร ในขณะเดียวกันเกษตรกรจะต้องปรับปรุงวิธีการเกษตรให้เหมาะสมกับการใช้น้ำชลประทาน ดังนั้น การวิเคราะห์ข้อมูล การติดตามผลการส่งน้ำ จะช่วยชี้ให้เห็นว่าควรปรับปรุงแก้แผนการส่งน้ำเพียงใด หรือให้เกษตรกรปรับปรุงวิธีการเกษตรเพียงใด จึงจะได้ประโยชน์เต็มที่

การดำเนินงานให้ครบวงจรนี้ควรทำทุกสัปดาห์ แต่ในทางปฏิบัติโครงการต่าง ๆ อาจไม่สามารถดำเนินการได้ครบวงจรนี้ แต่อย่างน้อยที่สุดควรมีการปรับแก้แผนการส่งน้ำตามปริมาณฝนในสัปดาห์ที่ผ่านมา และตามเนื้อที่เพาะปลูกจริงที่คงคลาดเคลื่อนไปจากแผน

15.3 การจัดทำแผนการส่งน้ำ

ในการส่งน้ำ มีจุดสำคัญที่ต้องควบคุมปริมาณน้ำในระบบการส่งน้ำอยู่ 3 ประการคือ (1) การส่งน้ำเข้านา (2) ทรบ.ปากคลองแยกซอย หรือคลองซอย และ (3) ปตร.ปากคลองสายใหญ่ และอาคารในคลองสายใหญ่ ดังนั้นในการจัดทำแผนการส่งน้ำ ก็ต้องจัดทำทั้งสามระดับดังกล่าวคือ

15.3.1 แผนการส่งน้ำในระดับแปลงนา

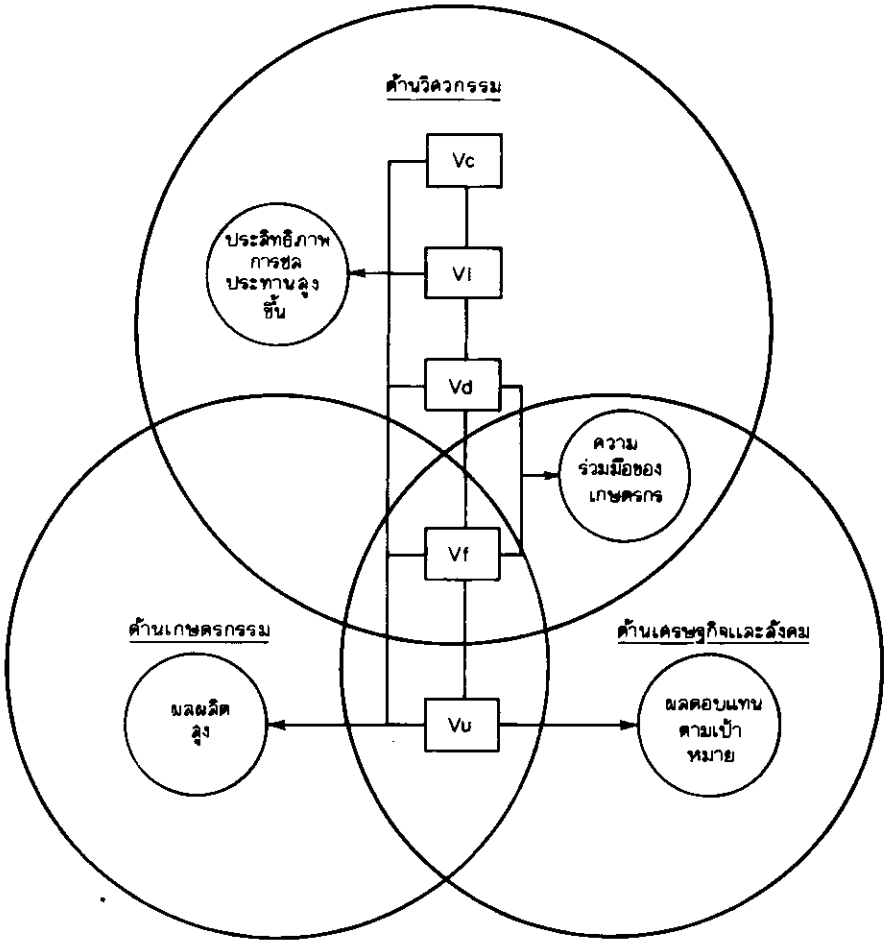
1. สำหรับการทำนาในฤดูฝน ข้อมูลที่ต้องศึกษาให้เข้าใจอย่างถ่องแท้ก่อนคือ
   - ข้อกำหนดในการออกแบบ ระบบการส่งน้ำในแปลงนา
   - กำหนดการปลูกพืช หมายถึงระยะเวลาเหมาะสมที่จะเริ่มทำนาตามคำแนะนำของฝ่ายเกษตรและความต้องการของเกษตรกร
   - ขีดความสามารถในการเตรียมแปลง ปักดำของเกษตรกร และวิธีที่นิยมของเกษตรกร เพื่อปรับแก้ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดในการออกแบบ
   - ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในการเตรียมดิน ของดินแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน
   - ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) เฉลี่ย

จากนั้นนำมาจัดทำตารางการส่งน้ำ โดยแยกเป็นแต่ละสัปดาห์ (โดยทั่วไปการออกแบบส่งน้ำแบบหมุนเวียนภายในแฉก ครบรอบใน 7 วัน)

การออกแบบระบบส่งน้ำในแปลงนาในปัจจุบันมักจะตั้งข้อกำหนดให้สามารถส่งน้ำได้เพียงพอสำหรับความต้องการน้ำสูงสุด คือ ช่วงเวลาการเตรียมแปลง และปักดำนา ทั้งนี้โดยไม่ต้องมีน้ำฝนช่วย ความต้องการน้ำสูงสุดดังกล่าว จะอยู่ในวันที่ปักดำจวนจะเสร็จ คือต้องส่งน้ำจำนวนหนึ่งเพื่อขังในแปลงเตรียมดิน และในขณะเดียวกันต้องส่งน้ำในแปลงที่ปักดำเสร็จแล้วด้วย (ส่วนใหญ่จะอยู่ระหว่างสัปดาห์ที่ 6 หรือที่ 7)

ในทางปฏิบัติ แผนการส่งน้ำใน 3-4 สัปดาห์แรก ซึ่งเป็นช่วงตกกล้า ควรส่งน้ำให้เกินสำหรับแปลงกล้า เพื่อจะได้ช่วยให้ดินชุ่มรอเตรียมแปลงปักดำ จะได้ลดความต้องการน้ำสูงสุดในสัปดาห์ที่ 6 หรือ 7 เมื่อปักดำแล้วให้ส่งน้ำเต็มที่ไปอีกสัก 1 สัปดาห์เพื่อให้มีน้ำขังในนาทั่วถึงแล้วจึงงดการส่งน้ำพอรักษาระดับน้ำในแปลงนาตามปกติ

2. สำหรับการปลูกพืชครั้งที่สอง ข้อมูลที่ต้องศึกษาเพิ่มเติมประกอบการวางแผนคือ
   - น้ำต้นทุนในฤดูแล้งมีเพียงใด จะทำนาได้เท่าใด ปลูกพืชอื่นได้เพียงใด
   - ดินมีความเหมาะสม ปลูกพืชได้เพียงใด



Vc = ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำ เข้าคลองสายใหญ่
Vl = ปริมาณน้ำในคลองซอย
Vd = ปริมาณน้ำในคูน้ำ
Vf = ปริมาณน้ำที่ไหลเข้านา
Vu = ปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้

รูปที่ 15.1 แสดงความสัมพันธ์ของด้านต่างๆ กับการจัดการส่งน้ำ

- เกษตรกรมีความประสงค์ปลูกพืชอย่างใด เหมาะกับสภาพเศรษฐกิจการตลาดหรือไม่
- หากมีปัญหาการปลูกพืชเกินน้ำต้นทุน หรือเกิดขาดแคลนน้ำ จะมีทางแก้ไขได้อย่างใด ควรปรึกษาวางแผนกับผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่ายไว้ล่วงหน้า

15.3.2 แผนการส่งน้ำที่ ทรบ.ปากคลองซอย หรือคลองแยกซอย

จัดทำขึ้นโดยรวบรวมความต้องการน้ำประจำสัปดาห์ของท่อส่งน้ำเข้านาทุกท่อในคลองซอยสายนั้น แต่จะมีปัญหาในคลองซอยขนาดใหญ่บางสายที่อาจจะครอบคลุมพื้นที่หลายโซน คือในการออกแบบได้ตั้งข้อกำหนดลดขนาดคลอง ด้วยเหตุผลที่ว่าความต้องการน้ำสูงสุดไม่ควรพร้อมกัน และอาจมีฝนช่วยในบางพื้นที่ ดังนั้น ผลรวมของท่อส่งน้ำเข้านาทุกท่อจะเกินความจุคลองซอยไปมาก การปรับแก้ทำได้ 2 วิธีคือ

1. ร่นกำหนดการเตรียมแปลงปักดำทำให้เหลื่อมกันออกไป เพื่อมิให้ความต้องการน้ำสูงสุดตรงกันทุกแฉก

2. ลดปริมาณน้ำส่งเข้าแต่ละท่อลงตามส่วน ทุกท่อจะต้องยืดระยะเวลาเตรียมแปลงและปักดำ (ซึ่งในทางปฏิบัติ ข้าวกล้าอาจจะแก่เกินไปมีปัญหายุ่งยากภายหลัง)

3. ส่งน้ำแบบหมุนเวียน ต้นคลอง กลางคลอง ปลายคลอง

ปัญหานี้ควรต้องวางแผนเผื่อเลือกแล้วเสนอแนะให้เกษตรกรสมาชิกผู้ใช้น้ำได้มีส่วนในการพิจารณาเลือกซึ่งวิธีตามข้อ 1. จะเป็นวิธีดีที่สุด

15.3.3 ความต้องการน้ำในคลองสายใหญ่

แผนการส่งน้ำในคลองสายใหญ่เป็นแผนหลักของโครงการที่เกี่ยวพันกับน้ำต้นทุนมาก ซึ่งในสภาวะขาดแคลนน้ำ จะต้องมีการปรับแก้แผนทุกสัปดาห์ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการเพาะปลูกที่เป็นจริง และเหมาะกับปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ สำหรับโครงการที่มีอ่างเก็บน้ำใหญ่อยู่ตอนบน ก็ต้องแจ้งความต้องการน้ำที่ผันแปรเหล่านี้ให้อ่างเก็บน้ำทางเหนือน้ำทราบด้วย เพื่อทำข้อตกลงในการจัดสรรน้ำในอ่างเก็บน้ำให้เหมาะสมต่อไป

สำหรับในภาคกลาง ขณะนี้ศูนย์จัดสรรน้ำได้ดำเนินการอยู่ การแจ้งขอน้ำจะนำข้อมูลการตรวจวัดสภาพการเพาะปลูกสัปดาห์ที่ผ่านมาคำนวณความต้องการน้ำที่คาดว่าจะต้องปรับแก้ สำหรับ 3 สัปดาห์ข้างหน้า แล้วรวบรวมขอน้ำไปยังการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย พร้อมทั้งแจ้งปรับแก้การส่งน้ำสำหรับสัปดาห์หลังไปยังโครงการต่าง ๆ ด้วย

15.4 ข้อกำหนดในการออกแบบ และแนวความคิดในการจัดการส่งน้ำ

15.4.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ

ข้อกำหนดในการออกแบบระบบการส่งน้ำในระดับแปลงนาในปัจจุบันนี้ ส่วนใหญ่กำหนดให้ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในแฉกส่งน้ำ โดยแบ่งพื้นที่แต่ละแฉกเป็นพื้นที่หรือหน่วยหมุนเวียนย่อยที่จะรับน้ำเป็นรอบเป็นเวร หรือบางแห่งที่ภูมิประเทศไม่อำนวยจำเป็นต้องมีแฉกส่งน้ำขนาดใหญ่มาก ก็จะให้คูน้ำสายใหญ่ส่งน้ำแบบตลอดเวลา (ทำหน้าที่คล้ายคลองแยกซอย) แล้วแบ่งแฉกส่งน้ำเป็นพื้นที่หมุนเวียนย่อย

ค่าชลภาระที่นำมาใช้ในการคำนวณขนาดคูน้ำใช้ค่าความต้องการใช้น้ำสูงสุด (โดยไม่มีฝนช่วย) ของการทำนาซึ่งค่าความต้องการน้ำสูงสุดจะอยู่ในช่วงสุดท้ายของการเตรียมแปลง กล่าวคือจะต้องส่งน้ำ

จำนวนหนึ่งเพื่อทำให้ดินชุ่มสามารถขังน้ำให้เตรียมแปลงได้ และจะต้องส่งน้ำจำนวนหนึ่งหล่อเลี้ยงข้าวที่ปักดำแล้วด้วย ดังนั้น ส่วนประกอบในการคำนวณที่สำคัญ ๆ คือ

1. ค่า Consumptive Use คือค่าการระเหยจากแปลงเพาะปลูกและปริมาณน้ำที่คายออกในการสร้างความเจริญเติบโต
2. ค่าการรั่วซึม (Percolation Losses)
3. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง
4. กำหนดเวลาในการเตรียมแปลง

ดังนั้นจะเห็นว่า ความต้องการน้ำสูงสุด จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับข้อกำหนดระยะเวลาเตรียมแปลงเพื่อปักดำนา นานกี่วัน ถ้ากำหนดระยะเวลาสั้น ความต้องการน้ำเตรียมแปลงแต่ละวันก็จะสูงมาก ถ้ากำหนดให้นานเป็นเดือน ความต้องการน้ำเตรียมแปลงแต่ละวันก็จะเฉลี่ยลดน้อยลงไป

ข้อกำหนด ระยะเวลาเตรียมแปลงนี้ มีข้อจำกัดบางประการที่ต้องนำมาประกอบการพิจารณาด้วย คือ ขีดความสามารถในการเตรียมแปลงของเกษตรกรแต่ละวัน อายุข้าวกล้ามีจำกัด ถ้ากำหนดระยะเวลาเตรียมแปลงยาวนาน ก็ต้องตกกล้าเป็นหลายระยะเพื่อมิให้ข้าวกล้าแก่เกินไป

โดยทั่วไป ได้กำหนดระยะเวลาเตรียมแปลงอยู่ระหว่าง 20 วัน ถึง 40 วัน

การกำหนดค่าความต้องการน้ำสูงสุดนี้ ในได้หวันทำเป็นสูตรไว้ คือ

$$Q_{max}\ (\text{ม}^3/\text{วัน}) = \left(\frac{AD_s}{N} + AD_t\right)\frac{1}{1-L} \quad \ldots\ldots\ldots 15.1$$

$$Q_{max}\ (\text{ม}^3/\text{วินาที}) = \left(\frac{AD_s}{NT} + \frac{AD_t}{T}\right)\frac{1}{1-L} \quad \ldots\ldots\ldots 15.1a$$

ในเมื่อ Q_{max} = ปริมาณความต้องการน้ำสูงสุดที่ต้องใช้

A = พื้นที่แฉกส่งน้ำเป็น ม^2

D_t = ความต้องการน้ำของข้าว รวมทั้งการรั่วซึม $(Et + P)$ ม./วัน

D_s = ความต้องการน้ำเตรียมแปลง

N = จำนวนวันที่กำหนดในการเตรียมแปลงปักดำ

T = จำนวน วินาทีในหนึ่งวัน = 86,400 วินาที

L = การสูญเสียน้ำในคูน้ำ หน่วยเป็นทศนิยมหลักสิบ

จากสูตรที่ 15.1 นำมาวิเคราะห์ความต้องการน้ำของแต่ละวัน (ดูรูปที่ 15.2 ประกอบ) จะเห็นได้ชัดว่าความต้องการน้ำจะเพิ่มขึ้นทุกวัน จนถึงวันสุดท้ายของการเตรียมแปลง (วันที่ N) เป็นวันที่ความต้องการน้ำสูงที่สุด จากนั้นจะลดฮวบลงเหลือเพียงแค่พอหล่อเลี้ยงต้นข้าว คือ

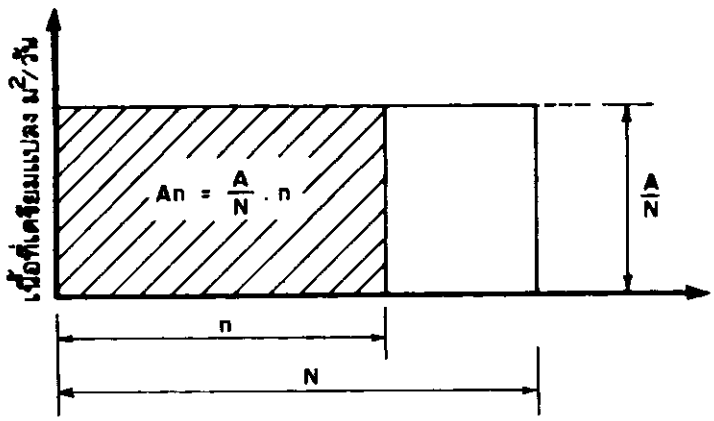
$$Qt = AD_t\left(\frac{1}{1-L}\right) \quad \ldots\ldots\ldots 15.2$$

ถ้าจะส่งน้ำตามข้อกำหนดในการออกแบบดังกล่าว จะต้องปล่อยน้ำเข้าท่อส่งน้ำเข้านาเพิ่มขึ้นทุกวัน โดยอาศัยการคำนวณจากสูตร

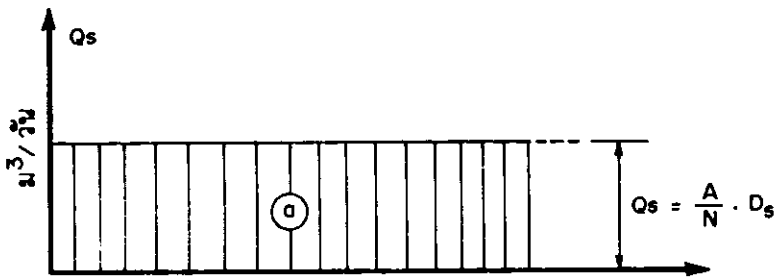
Qn = ความต้องการน้ำของข้าวในวันที่

$$= \left(\frac{AD_s}{N} + \frac{ADt.n}{N}\right)\frac{1}{1-L} \quad \ldots\ldots\ldots 15.3$$

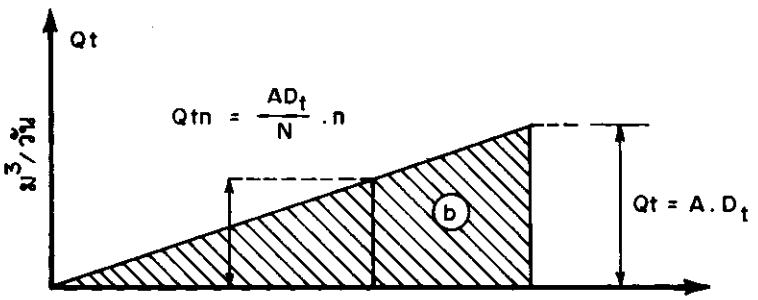
ก. แสดงเนื้อที่เตรียมแปลงในวันที่ N



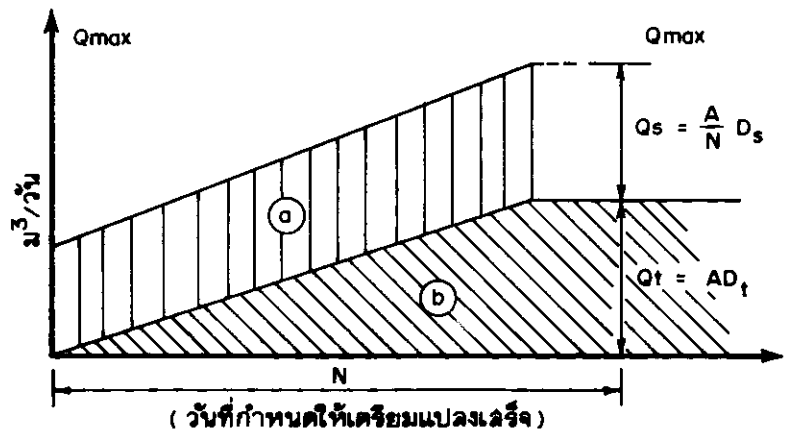
ข. ความต้องการน้ำในการเตรียมแปลง



ค. ความต้องการน้ำหล่อเลี้ยงแปลงนาหลังปักดำ (ซึ่งเพิ่มขึ้นทุกวัน)



ง. ความต้องการน้ำทั้งหมด



รูปที่ 15.2 แสดงความต้องการน้ำ ตามข้อกำหนดในการออกแบบ

จนถึงวันที่ N ซึ่งต้องการน้ำสูงที่สุด ซึ่งในทางปฏิบัติการทำแผนการส่งน้ำดังกล่าวทั้งระบบเป็นสิ่งที่ควบคุมได้ยากมาก ต้องมีการวัดน้ำทุกขั้นตอน และต้องปรับปริมาณน้ำเพิ่มทุก ๆ วัน

15.4.2 แนวความคิดในการจัดการส่งน้ำ

แนวความคิดในการจัดการส่งน้ำนี้ ในทางปฏิบัติควรกำหนดไว้ดังนี้

- ปริมาณน้ำที่ส่งควรสม่ำเสมอเป็นช่วง ๆ สะดวกในการทำกำหนดการส่งน้ำ และควบคุมบังคับน้ำช่วงละสัปดาห์

- ควรติดตามตรวจสอบผลการส่งน้ำอย่างใกล้ชิดพร้อมทั้งวัดปริมาณฝน เพื่อนำมาปรับแก้แบบการส่งน้ำ สัปดาห์ถัดไป

- การส่งน้ำเต็มที่ตามที่ออกแบบไว้ มักจะมีปัญหาน้ำในคลองสายใหญ่หรือคลองซอยไม่พอ และถ้าหากดูน้ำไม่ได้รับการบำรุงรักษาดีเยี่ยม น้ำอาจสันเสียหายได้

สำหรับแนวความคิดในการจัดส่งน้ำมีดังนี้คือ

1. แนวความคิดของ Wen

เรื่องแนวความคิดในการปฏิบัติการส่งน้ำนี้ L.W. Wen ได้วางแนวทางไว้คือ

Qm = ความต้องการน้ำระยะเวลาเตรียมแปลงเท่าที่จำเป็น = Qs + Qt

$$Qm\ (m^3/วัน) = \frac{AD_t}{[1 - e^{-(D_t/D_s) \cdot N}]} \cdot \frac{1}{1 - L} \quad \ldots\ldots 15.4$$

$$Qm\ (m^3/วินาที) = \frac{AD_t}{T\,[1 - e^{-(D_t/D_s) \cdot N}]} \cdot \frac{1}{1 - L} \quad \ldots\ldots 15.4a$$

e = ฐานรากค่าล็อกการิธึม = 2.718282

ในวันแรกจะส่งน้ำส่วนใหญ่ไปในการเตรียมแปลง ในวันต่อมาเริ่มลดเนื้อที่เตรียมแปลง และแบ่งน้ำส่วนหนึ่งไปหล่อเลี้ยงนาที่ปักดำแล้ว เนื้อที่เตรียมแปลงในวันถัดไปจะลดลงตามลำดับ จนถึงวันสุดท้าย (ดูรูปที่ 15.3)

Yo = เนื้อที่ส่งน้ำเพื่อเตรียมแปลงในวันแรก

$$= \frac{AD_t}{D_s\,[1 - e^{-(D_t/D_s) \cdot N}]}$$

Yn = เนื้อที่ส่งน้ำเพื่อเตรียมแปลงในวันที่

$$= Yo \frac{1}{e^{(D_t/D_s) \cdot N}}$$

วิธีการคำนวณปริมาณน้ำพร้อมทั้งตัวอย่างการคำนวณได้แสดงอยู่ในภาคผนวก 15.1

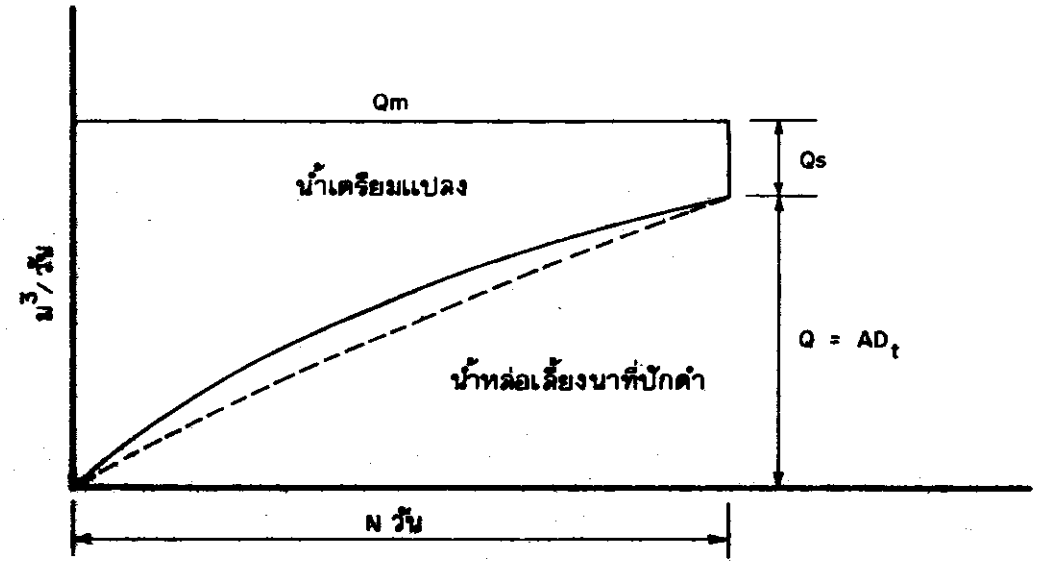
จากผลการคำนวณโดยสมมุติเนื้อที่ส่งน้ำ 1,000 ไร่

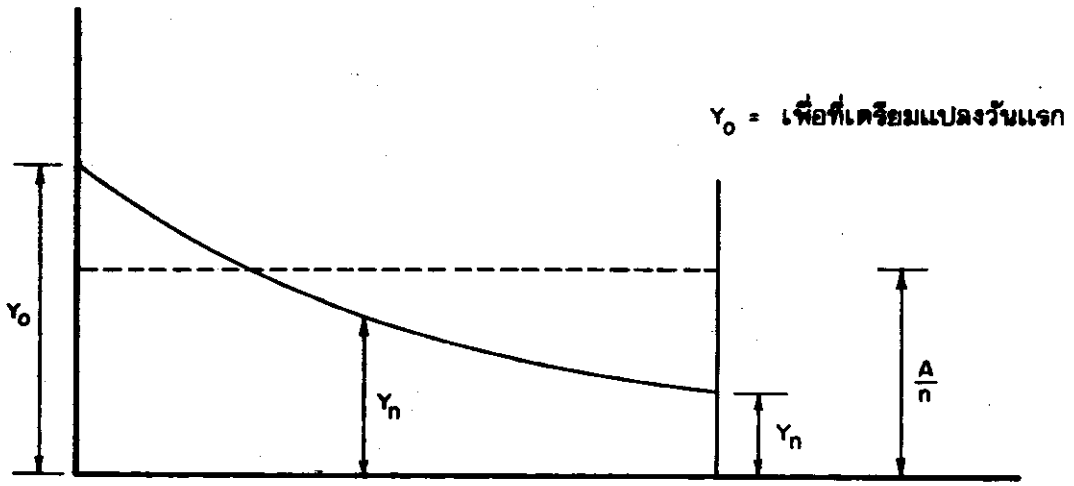
D_t = ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับข้าวที่ปักดำแล้ว (ม./วัน)

= 0.00589 + 0.0010 = 0.00689 ม/วัน

D_s = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง ผันแปรตามลักษณะดิน คือ ระหว่าง 0.2 0.45 ม.

N = กำหนดเวลาใช้ในการเตรียมแปลง 42 วัน





รูปที่ 15.3 แสดงความต้องการน้ำตามแนวความคิดของ Wen

เมื่อคำนวณเปรียบเทียบกับวิธีของ WEN แล้วสามารถลดปริมาณน้ำส่งเข้าคลองซอยได้ระหว่าง 7-9% และเมื่อเปรียบเทียบกับ Q_{max} ที่ใช้ในการออกแบบแล้ว จะสามารถลดปริมาณน้ำส่งเข้าคลองซอยได้ระหว่าง 31-42% ดังที่แสดงในตารางที่ 15.1

จากค่า Qm ที่คำนวณได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ Q_{max} ตามสูตร (15.1) ซึ่งใช้ในการออกแบบปริมาณที่ต้องการใช้จะลดลงถึงประมาณ 20%

แต่ในทางปฏิบัติก็ยังคงมีปัญหายุ่งยากอีก คือ การกำหนดเนื้อที่เตรียมแปลงจะลดลงทุกวัน การทำกำหนดการส่งน้ำ การตกลงกับเกษตรให้เข้าใจ และยอมรับ ยังคงซับซ้อนอยู่ ดังนั้นในทางปฏิบัติควรแบ่งพื้นที่เตรียมแปลงเป็นแต่ละส่วน ๆ ละ สัปดาห์ หรือ 2 สัปดาห์ ตามแต่เกษตรกรจะมีขีดความสามารถทำได้

2. แนวความคิดของ ร.ศ.ฉลอง

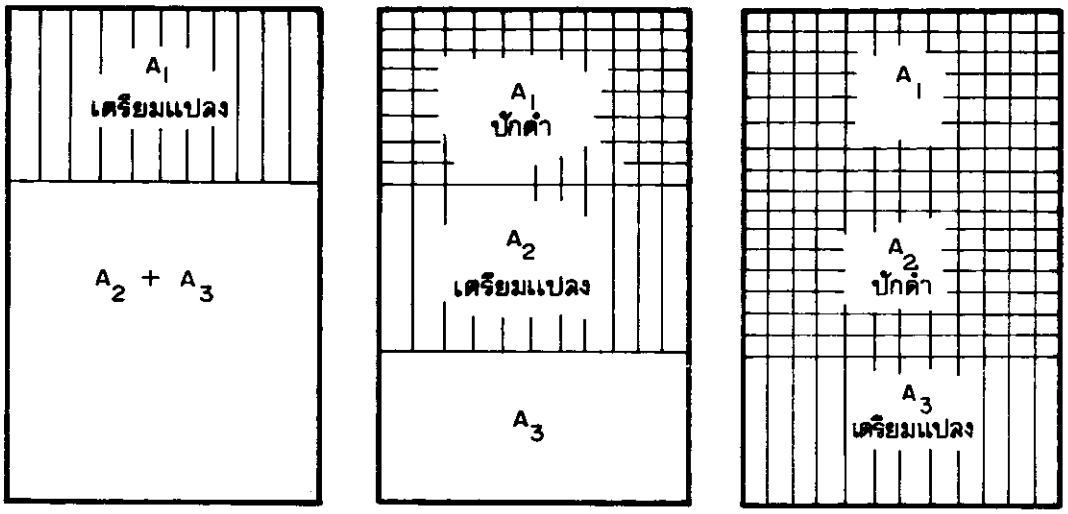
ผลจากการศึกษาการใช้น้ำของโครงการชลประทานต่าง ๆ ในภาคกลาง ร.ศ.ฉลอง เกิดพิทักษ์ ได้เสนอแนะวิธีการจัดสรรน้ำในระดับคลองซอย ที่สามารถเข้าใจง่ายและมีความถูกต้องมาก ซึ่งดัดแปลงให้เข้ากับสภาพการรายงานปลูกพืชของโครงการต่าง ๆ และนำข้อมูลที่มีอยู่ เช่น สัมประสิทธิพืชมาใช้ได้ ข้อเสนอแนะของ ร.ศ.ฉลองฯ จะประหยัดน้ำยิ่งขึ้น

ตารางที่ 15.1 เปรียบเทียบการคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการใช้โดยวิธีต่าง ๆ

ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลง D_S มม	Qmax ที่ใช้ในการออกแบบ $ม^3$/วินาที	Qm ตามวิธีของ Wen		คำนวณตามวิธีของ ร.ศ. ฉลองฯ			หมายเหตุ
		$ม^3$/วินาที	น้อยกว่า Qmax %	$ม^3$/วินาที	น้อยกว่าของ Qmax %	น้อยกว่าของ Wen %	
200	0.254	0.196	30	0.179	42	9	A = 1,000 ไร่
250	0.280	0.219	28	0.201	39	8	N = 42 วัน
300	0.306	0.243	26	0.224	37	8	D_t = 6.89 มม/วัน
350	0.332	0.267	24	0.248	34	7	E_c = 1 - L = 0.85
400	0.357	0.292	22	0.273	31	7	

แนวความคิดของ ร.ศ. ฉลองฯ

- ปริมาณน้ำใช้ในช่วงเวลาเตรียมแปลง และปักดำเท่ากันตลอด เช่นเดียวกับของ Wen
- การเตรียมแปลง แบ่งเป็น 3 ช่วง เวลา สำหรับภาคกลางให้ใช้ช่วงละ 2 สัปดาห์ (14 วัน) การเตรียมแปลงจนเสร็จ 42 วัน (N = 42)
- เริ่มปักดำ ภายหลังเมื่อเตรียมแปลงเสร็จ แต่ละช่วง



ช่วงที่ 1 (2 สัปดาห์) ช่วงที่ 2 (2 สัปดาห์) ช่วงที่ 3 (2 สัปดาห์)

รูปที่ 15.4 แสดงรายละเอียดแนวความคิดในการเตรียมแปลงและปักดำของ ร.ศ. ฉลอง

3. แนวความคิดในการทำแผนการส่งน้ำแบบง่าย ๆ (ในเขตโครงการท่ามะกา)

- แบ่งพื้นที่แฉกส่งน้ำออกเป็นเนื้อที่หมุนเวียนย่อย (Rotation Unit) โดยใช้อาคารบังคับน้ำในคูเป็นองค์ประกอบในการพิจารณาแบ่ง

- อัตราการใช้น้ำของพืช

$NR = K.Eref + P$ มม/วัน

NR = Net Water Requirement

K = Crop Factor $= \frac{Et}{Eref}$

E_t = Evapotranspiration

P = Percolation

Eref = การระเหยจากผิวน้ำที่ไม่มีพืชปกคลุม (Evaporation Reference)

หรือ NR = $E_t + P$

ในเขตจัดรูปที่ดินท่ามะกา NR มีค่าประมาณ 7.14 มม./วัน

P = 1.00 มม./วัน

กำหนดรอบการส่งน้ำหมุนเวียนที่ท่ามะกา = 7 วัน/ครั้ง

- สูตรการคำนวณเวลาการใช้น้ำแต่ละเนื้อที่หมุนเวียนย่อย

$$T = \frac{A + D}{Q + E_t}$$

T = เวลาที่ต้องใช้ในการส่งน้ำหน่วยละ ชั่วโมง

A = เนื้อที่หมุนเวียนย่อย $ม^2$

D = ความลึกของน้ำเหนือผิวดินที่ต้องส่งน้ำแต่ละรอบ

= NR x จำนวนวันที่ครบรอบส่งน้ำ

= 7.14 x 7 = 49.98 มม ใช้เท่ากับ 50 มม.

Q = ปริมาณเข้าแปลงนา $ม^3$/ชม. (เขตจัดรูป ปริมาณน้ำส่งเข้านา (ผ่านท่อ) ได้ 24 ลิตร/วินาที)

$\therefore Q$ = 0.024 x 3,600 = $ม^3$/ชม.

E_t = ประสิทธิภาพการใช้น้ำในนา = 80%

ต้องตรวจสอบว่าเวลาที่ต้องใช้ในการส่งน้ำครบหมดทุกแปลงเมื่อรวมแล้วเกินกำหนดเวลาการส่งน้ำหมุนเวียนครบรอบหรือไม่ ถ้าเกิน (7 วัน) ก็ใช้ไม่ได้

ต้องทราบว่าจะส่งน้ำเข้านาได้พร้อมกันกี่ท่อ

จากสูตร $N = \frac{Q \text{ คูน้ำ}}{q \text{ ท่อน้ำ}}$ = จำนวนท่อที่ส่งน้ำพร้อมกัน

15.5 การติดตามผล และการวิเคราะห์ผลการส่งน้ำ

15.5.1 การติดตามผลการส่งน้ำ

มีจุดมุ่งหมาย คือ

- เพื่อติดตามความก้าวหน้าของการเพาะปลูกในเขตโครงการแล้วนำมาปรับแก้แผนส่งน้ำให้ตรงความจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการส่งน้ำ
- เพื่อจะได้ทราบข้อบกพร่อง ของระบบส่งน้ำ วิธีการใช้น้ำ วิธีการเกษตรกรรม และใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงทั้ง 2 ฝ่ายให้ดีขึ้น ดังนั้นการติดตามผลการส่งน้ำโดยการทำนาในแฉกส่งน้ำเป็นระยะ ๆ จะให้ประโยชน์ในการปรับปรุงแผนส่งน้ำให้ถูกต้องขึ้น และสัมพันธ์กับความต้องการใช้น้ำของเกษตรกร

1. การเตรียมการติดตามผลการจัดสรรน้ำเพื่อทำนาก่อนที่จะทำการสำรวจติดตามผลการส่งจะต้องเตรียมการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 จะต้องจัดเตรียมแผนที่โครงการซึ่งแสดงการแบ่งแฉกส่งน้ำของแต่ละท่อส่งน้ำตามสภาพความเป็นจริงในสนาม ถ้าได้แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1 : 4,000 หรือเล็กกว่าจะเป็นการดี

ขั้นที่ 2 จะต้องทำการสำรวจและทำแผนที่แปลงกรรมสิทธิที่ดินในแต่ละแฉกส่งน้ำ ถ้าสามารถสำรวจทำแผนที่และหาเนื้อที่ทุกแปลงนาของแต่ละเจ้าของได้ก็จะเป็นการดีมากแม้จะต้องใช้เวลา แต่จะทำให้ประมาณความก้าวหน้าของเนื้อที่ทำนาในแต่ละขั้นตอนได้ถูกต้องตรงกับความเป็นจริงมากขึ้น หากมีแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตราส่วน 1 : 4,000 ก็จะหาเนื้อที่แต่ละแปลงนาได้ง่ายขึ้น

ขั้นที่ 3 ให้เลขหมายแปลงถือครองของแต่ละเจ้าของ ถ้าเจ้าของเดียวกันถือครองหลายแปลงและไม่อยู่ติดต่อเป็นผืนแผ่นเดียวกัน แต่ละแปลงถือครองจะมีหมายเลขประจำต่างกัน และให้หมายเลขแต่ละแปลงนาต่อจากแปลงถือครองอย่างไรก็ตามเพื่อป้องกันการสับสน และจะช่วยให้การดำเนินการขั้นต่อไปได้สะดวกและจดจำได้ง่ายขึ้น ควรจะกำหนดระบบการให้มีหมายเลขแปลงกรรมสิทธิ์และหมายเลขแปลงนา

ขั้นที่ 4 ทำบัญชีรายชื่อเกษตรกร ในแต่ละแฉกส่งน้ำ แสดงหมายเลขแปลงกรรมสิทธิ์ หรือแปลงถือครอง หมายเลขแปลงนาและจำนวนเนื้อที่ ซึ่งควรจะเรียงลำดับหมายเลขแปลงนาจากฝั่งซ้ายหรือฝั่งขวาของต้นคูน้ำ และจากคูส่งน้ำไปหาคูระบายน้ำ แล้ววนรอบกลับจากปลายคูทางฝั่งตรงกันข้ามไปหาต้นคูส่งน้ำ โดยยึดถือเป็นระบบเดียวกันตลอด เพื่อสะดวกในการดำเนินการสำรวจความก้าวหน้าของการทำนาต่อไป และง่ายต่อการตรวจสอบด้วย เนื่องจากในการสำรวจจะต้องใช้ฟอร์ม ชุดหนึ่งต่อหนึ่งช่วงเวลาสำรวจตลอดฤดูการเพาะปลูก แต่รายชื่อเกษตรกรและหมายเลขแปลงจะไม่เปลี่ยนแปลง ฉะนั้นรายชื่อเกษตรกรและหมายเลขแปลงในฟอร์ม ควรจะได้ทำสำเนาไว้หลาย ๆ ชุดให้เพียงพอใช้งานตลอดฤดูหรือตลอดปี

2. หลักการในการสำรวจผลการส่งน้ำเพื่อทำนา

โดยทั่วไปการสำรวจผลการส่งน้ำควรจะทำสัปดาห์ละครั้ง แต่อย่างไรก็ตาม ควรจะสัมพันธ์กับแผนรอบเวรส่งน้ำด้วย จึงจะทำให้ได้ประโยชน์กับการปรับปรุงแผนส่งน้ำ เหตุผลที่คิดว่าสัปดาห์ละครั้งเป็นช่วงเวลาที่พอเหมาะ คือ

- เห็นความเปลี่ยนแปลงความก้าวหน้าในการทำนาแต่ละขั้นตอนได้ชัดเจนและไม่เปลี่ยนแปลงไปมากเกินไปจนจำสิ่งที่ผ่านมาแล้วไม่ได้ และผลที่ได้จะถูกต้องขึ้น
- ผู้สำรวจจะได้มีเวลาว่างไปงานประจำอื่นที่มีอยู่แล้วโดยไม่เสียหาย
- ไม่นานเกินไปที่ทำให้การส่งน้ำเกิดการสูญเสียมาก
- ไม่นานเกินไปที่เกษตรกรจะได้พบปะปรึกษาเจ้าหน้าที่ส่งน้ำเมื่อมีปัญหา

การสำรวจควรจะเริ่มตั้งแต่วันแรกของกำหนดการส่งน้ำในฤดูการเพาะปลูกโดยถือเป็นสัปดาห์ที่ 0 ของการสำรวจ เพื่อจะได้ทราบสถานการณ์การปลูกพืชปรากฏอยู่ตั้งแต่วันแรก และจะได้ปรับปรุงแผนส่งน้ำให้ตรงกับความเป็นจริง นอกจากนี้เป็นการตรวจสอบการทำงานของระบบส่งน้ำไปด้วยหากบกพร่องหรือเกิดขัดข้องประการใดก็จะแก้ไขทันที เมื่อการส่งน้ำผ่านไป 1 สัปดาห์ ก็ทำการสำรวจเป็นสัปดาห์ที่ 1 และครั้งต่อ ๆ ไป แบบฟอร์ม 15.1 เป็นตัวอย่างแบบฟอร์มใช้สำหรับการกรอกข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ

โครงการ.....

แบบฟอร์ม 15.1

รายงานความก้าวหน้าของการทำงานรายสัปดาห์

นศช.....ชื่อพื้นที่ส่งน้ำ.....ฤดูเพาะปลูก.....ปี พ.ศ.....

พนักงานส่งน้ำ.....โซนที่.....แฉกส่งน้ำที่.....สัปดาห์ส่งน้ำที่.....จากวันที่.....ถึง.....

ชื่อเจ้าของที่ดิน	แปลงถือครองที่และนาแปลงที่	จำนวนเนื้อที่ (ไร่)	ความก้าวหน้าการใช้ที่ดินเพื่อทำนาในแต่ละขั้นตอนเป็นไร่						เนื้อที่ใช้ปลูกพืชอื่น			เนื้อที่ร้าง (ไร่)	จำนวนน้ำที่ส่งในรอบสัปดาห์ ลิตร/วินาที	หมายเหตุ
			เตรียมแปลง				เนื้อที่ส่งน้ำปกติ	เนื้อที่ระบายน้ำ	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	เนื้อที่ (ไร่)	ชื่อพืช			
			เนื้อที่ต้องการน้ำเตรียมแปลง	เนื้อที่ได้น้ำเตรียมแปลง	เนื้อที่ไถ-คราด	เนื้อที่ปักดำ								
รวม														

เนื้อที่ต้องการเตรียมแปลง = เนื้อที่ซึ่งต้องการส่งน้ำให้เพื่อเตรียมแปลง

เนื้อที่ได้รับน้ำเตรียมแปลงแล้ว = เนื้อที่ซึ่งได้รับน้ำเพียงพอเพื่อการเตรียมแปลงได้แล้ว

เนื้อที่ไถ-คราด = เนื้อที่ซึ่งได้ไถหรือคราดเสร็จแล้วและกำลังไถหรือคราด

เนื้อที่ปักดำ = เนื้อที่ซึ่งปักดำเสร็จแล้วและเพิ่งปรากฏเห็นการปักดำในสัปดาห์นั้น

เนื้อที่ส่งน้ำปกติ = เนื้อที่ซึ่งอยู่ในระยะที่ต้นกล้าตั้งตัวแล้วหรือหลังการปักดำหนึ่งสัปดาห์จนถึงข้าวสุกเต็มที่

เนื้อที่ระบายน้ำ = เนื้อที่ซึ่งระบายน้ำเพื่อการเก็บเกี่ยวหรือเนื้อที่ซึ่งข้าวสุกเต็มที่แล้ว ไม่ต้องส่งน้ำอีก แม้จะมีน้ำขังอยู่ในนาก็ตาม หรือแห้งโดยธรรมชาติ

เนื้อที่เก็บเกี่ยว = เนื้อที่ซึ่งได้เก็บเกี่ยวไปแล้วและกำลังเก็บเกี่ยว

เนื้อที่ใช้เพาะปลูกพืชอื่น = เนื้อที่ซึ่งไม่ใช่ทำนาแต่ปลูกพืชอื่นแทนหรือเลี้ยงปลา

เนื้อที่ร้าง = เนื้อที่ซึ่งปล่อยให้ว่างเปล่า ไม่ใช้ประโยชน์

จำนวนน้ำที่ส่งในรอบสัปดาห์ = ปริมาณน้ำเฉลี่ยในรอบสัปดาห์นั้น ซึ่งส่งจากคู หรือท่อส่งน้ำต้นคูสายนั้น ๆ

ในการนี้ได้ตั้งสมมุติฐานไว้ว่าการทำนาในแฉกส่งน้ำ หรือในพื้นที่ส่งน้ำของโครงการเป็นผลเนื่องมาจากการส่งน้ำ แม้ว่าการทำนาในฤดูฝนจะได้รับน้ำบางส่วนจากฝนก็ตาม การทำนาซึ่งเกี่ยวข้องกับงานจัดสรรน้ำจะแบ่งออกเป็น 4 ช่วงตอนใหญ่ คือ

ช่วงที่ 1 การเตรียมแปลง ช่วงส่งน้ำเตรียมแปลงหมายถึงช่วงการส่งน้ำเพื่อทำให้ที่นาซึ่งดินแห้งแข็ง แตกระแหงกลายเป็นดินที่ชุ่มชื้น หรือมีน้ำขังมีความอ่อนนุ่มพอเหมาะง่ายต่อการไถ คราด เตรียมดินปลูกข้าวไปจนถึงการปักดำเสร็จ โดยทั่วไปแล้วถ้าฝนตกไม่มากจะเป็นช่วงที่ใช้น้ำมากที่สุดในการทำนา

ช่วงที่ 2 การส่งน้ำปกติ ช่วงการส่งน้ำภายหลังการปักดำและต้นกล้าได้ตั้งตัวแล้วไปจนถึงต้นข้าวออกรวง และสุกเต็มที่ซึ่งข้าวจะไม่ต้องการน้ำอีก และจะเก็บเกี่ยวได้แล้ว การสำรวจผลการจัดสรรน้ำจะมีอยู่เพียงอย่างเดียว เรียกว่าเนื้อที่ส่งน้ำปกติ

ช่วงที่ 3 การระบายน้ำ โดยปกติเมื่อข้าวสุกเต็มที่เกษตรกรจะระบายน้ำออกจากนา หรือที่ไม่มีทางระบายน้ำ เกษตรกรจะปิดท่อรับน้ำเข้านาเพื่อปล่อยให้น้ำในนาแห้ง จะได้เก็บเกี่ยวได้ง่าย ดังนั้นการส่งน้ำในช่วงนี้จะลดจำนวนลงจากปกติ ตามจำนวนเนื้อที่ของข้าวสุกเต็มที่ซึ่งไม่ต้องการน้ำอีก การสำรวจผลการจัดสรรน้ำในช่วงนี้ เรียกว่าเนื้อที่ระบายน้ำ

ช่วงที่ 4 การเก็บเกี่ยว ความจริงการเก็บเกี่ยวเป็นกิจกรรมของเกษตรกรโดยตรงไม่เกี่ยวกับการส่งน้ำเพราะการส่งน้ำของโครงการจะหยุดเมื่อข้าวสุก การสำรวจเนื้อที่เก็บเกี่ยวจะให้ประโยชน์ในการสำรวจผลผลิตของโครงการ และจะได้ทราบวันสิ้นสุดการทำนาของโครงการ จะได้เตรียมการส่งน้ำสำหรับฤดูต่อไป การสำรวจผลการจัดสรรน้ำของโครงการในช่วงนี้เรียกว่า เนื้อที่เก็บเกี่ยว

ช่วงที่ 5 การตกกล้า แม้ว่าการส่งน้ำเพื่อการตกกล้าจะไม่ใช่ปัญหาใหญ่ในการจัดสรรน้ำ เนื่องจากน้ำใช้ไม่มากนัก แต่ก็ควรจะมีการสำรวจเอาไว้ด้วย เพราะการทราบเนื้อที่แปลงกล้าและพันธุ์ข้าว ก็จะเป็นประโยชน์ในการประมาณเนื้อที่แปลงปักดำ, ช่วงระยะเวลาปักดำ และช่วงระยะเวลาเก็บเกี่ยวได้ นอกจากนี้พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรใช้ก็จะทำให้ทราบว่าเกษตรกรยอมรับการส่งเสริมพันธุ์ข้าวใหม่มากน้อยเพียงใด ข้อมูลที่น่าจะทราบเกี่ยวกับการตกกล้ามี 4 อย่าง คือ

- พันธุ์ข้าว
- จำนวนเมล็ดพันธุ์ที่ใช้เป็นกิโลกรัม หรือถัง
- เนื้อที่ตกกล้าของข้าวแต่ละพันธุ์
- วันตกกล้า

ข้อควรระวังในการสำรวจผลการจัดสรรน้ำก็คือ ลำดับขั้นตอนของกิจกรรมในการทำนาซึ่งมักจะผิดพลาดได้ง่าย เนื่องจากในสัปดาห์ที่ทำการสำรวจอาจพบว่าแปลงนาบางแปลงอยู่ในขั้นตอนปักดำทันที ในกรณีเช่นนี้ ถือว่านาแปลงนั้นได้รับน้ำเตรียมแปลงและไถคราดมาแล้วในสัปดาห์นั้นเช่นกัน โดยยึดหลักว่าในสัปดาห์ที่ทำการสำรวจ ถ้าพบว่าการทำนาบนที่นาแปลงใดได้ก้าวหน้าข้ามขั้นตอนไปแล้ว ให้ถือว่าที่นาแปลงนั้นได้ดำเนินการในขั้นตอนต้น ๆ มาแล้วในสัปดาห์นั้นเป็นจำนวนเนื้อที่เท่ากัน

สิ่งที่จะต้องระมัดระวังในการเก็บข้อมูลอีกประการหนึ่งก็คือ จำนวนเนื้อที่ของแต่ละกิจกรรมของสัปดาห์ที่ผ่านมาแล้ว จะต้องไปรวมกับเนื้อที่ที่เพิ่มขึ้นในสัปดาห์ต่อไปเสมอจนเต็มพื้นที่นาทั้งหมดของพื้นที่สำรวจหรือพื้นที่ทำนาของโครงการ เว้นแต่เกษตรกรบางรายอาจทิ้งที่ดินให้ว่างเปล่า หรือใช้ปลูกพืชอย่างอื่น

15.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับผลการจัดสรรน้ำไม่ยุ่งยาก เพียงแต่รวมจำนวนเนื้อที่ที่ได้ดำเนินการในแต่ละกิจกรรมทำนาของเกษตรกรแต่ละราย เข้าด้วยกัน ก็จะทราบได้ทันทีว่าแต่ละกิจกรรมได้ก้าวหน้าไปเพียงใด แต่อย่างไรก็ตามจำนวนเนื้อที่สูงสุดของแต่ละกิจกรรม จะต้องไม่เกินเนื้อที่ที่ถือครองของเกษตรกรในพื้นที่นั้น หมายถึงทุกแปลงได้ทำนาเต็มพื้นที่ และในสัปดาห์เดียวกันจำนวนเนื้อที่รวมของกิจกรรมในขั้นตอนแรก จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับเนื้อที่รวมของกิจกรรมหลังเสมอ เมื่อรวมเนื้อที่แล้วเพื่อให้เห็นความก้าวหน้าในแต่ละกิจกรรมของการทำนาได้ง่ายขึ้น อาจแสดงด้วยกราฟโดยการพล็อตเนื้อที่ของแต่ละกิจกรรมทางแกนตั้งกับเวลาเป็นสัปดาห์ทางแกนนอน สำหรับจำนวนเนื้อที่อาจแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่ทำนาทั้งหมดของพื้นที่ทำนาที่สำรวจ ถ้าสำรวจทั้งโครงการก็เป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนเนื้อที่ชลประทานของโครงการ

อนึ่งเพื่อความสะดวกในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูล และเป็นเครื่องช่วยบันทึกความจำในการสำรวจสัปดาห์ต่อไป ควรจะจัดทำบัญชีสรุปความก้าวหน้าของการทำนามีชื่อเกษตรกรและหมายเลขแปลงของแฉกส่งน้ำที่ทำการสำรวจ สำหรับแต่ละกิจกรรมหรือขั้นตอนของการทำนา และบันทึกผลการสำรวจความก้าวหน้าในแต่ละสัปดาห์ของแต่ละกิจกรรมไว้ จะช่วยให้การสำรวจได้ผลถูกต้องและไม่สับสนด้วย

15.6 การบำรุงรักษาคูน้ำ

ปัญหาอุปสรรคสำคัญในการจัดการส่งน้ำ คือการแพร่กระจายน้ำไม่สม่ำเสมอ ปลายคูน้ำมักจะไม่ได้รับน้ำ หรือได้รับล่าช้า ทั้ง ๆ ที่ส่งน้ำเต็มคูน้ำ จนเปี่ยม แทบล้น น้ำก็ยังไม่ทั่วถึง

ถ้าหากตรวจวัดกันให้ละเอียด จะพบว่าคูน้ำที่ไม่ได้รับการบำรุงรักษาเท่าที่ควร ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืดจะสูงมากจนเป็นเหตุให้

- ความจุของคูน้ำลดลงมากจนน้ำไม่พอใช้
- ความลึกของน้ำในคูเพิ่มขึ้นจนอาจล้นคันเสียหายได้
- การรั่วซึมสูญเสียน้ำเพิ่มมากขึ้น

ในปากีสถานตะวันตก ได้ทำการตรวจวัดคูน้ำประมาณ 150 สาย ผลจากการตรวจวัด พอจะเป็นแนวคิดในการบำรุงรักษาคูน้ำได้ คือ

15.6.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความฝืด (n)

ลักษณะทางน้ำ	สัมประสิทธิ์ความฝืด (n)
ดาดด้วยอิฐ หรือหินก่อ	0.018
คูดินสร้างใหม่ สม่ำเสมอไม่มีสิ่งกีดขวาง	0.017-0.032
คูดิน ไม่สม่ำเสมอ ไม่มีต้นไม้งอก	0.030-0.035

ลักษณะทางน้ำ	สัมประสิทธิ์ความฝืด (n)
คูดิน สม่ำเสมอ มีหญ้าสั้น	0.026
คูดิน ไม่สม่ำเสมอ มีวัชชพืช	0.035-0.055
คูดิน มีวัชชพืชหนาแน่น	0.05-0.20

15.6.2 การวัดความสูญเสียน้ำโดยวิธีขังน้ำ (Ponding)

แล้วหาความสัมพันธ์ของอัตราการสูญเสียน้ำ กับระดับน้ำได้ความสัมพันธ์

$$QL = QLO\ e^{b.\triangle d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 15.5$$

QL = อัตราการสูญเสียน้ำที่ $\triangle d$ เกินกว่า รนส. (ลิตร/วินาที/100 ม.)

QLO = อัตราการสูญเสียน้ำปกติ

e = ฐานของค่าล็อกการิซึม = 2.718

b = ค่าเปลี่ยนแปลง สำหรับคลองต่าง ๆ

$\triangle d$ = การเปลี่ยนค่าความลึก ซม.

จากการตรวจวัด คูน้ำประมาณ 150 สาย เฉลี่ยค่า b = 0.15 อัตราการสูญเสียน้ำเปลี่ยน 15% เมื่อความลึกของน้ำเปลี่ยน 1 ซม.

เมื่อความลึกเพิ่ม 5 ซม. อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่ม 2 เท่า

เมื่อความลึกเพิ่ม 7.5 ซม. อัตราการสูญเสียน้ำจะเพิ่ม 3 เท่า

รูปที่ 15.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำกับระดับน้ำในคูน้ำ

15.6.3 แนวความคิดในการบำรุงรักษาคูส่งน้ำ

ถ้าหากคูน้ำมีวัชชพืช ขึ้นบ้าง ค่า n จะเพิ่มขึ้น เมื่อส่งน้ำ Q เท่าเดิม

ความลึกของน้ำในคูน้ำขนาดปานกลาง ส่วนลาดเท 1 : 4,000 จะมีระดับสูงขึ้นประมาณ 5 ซม. หรือกว่า ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัชชพืช

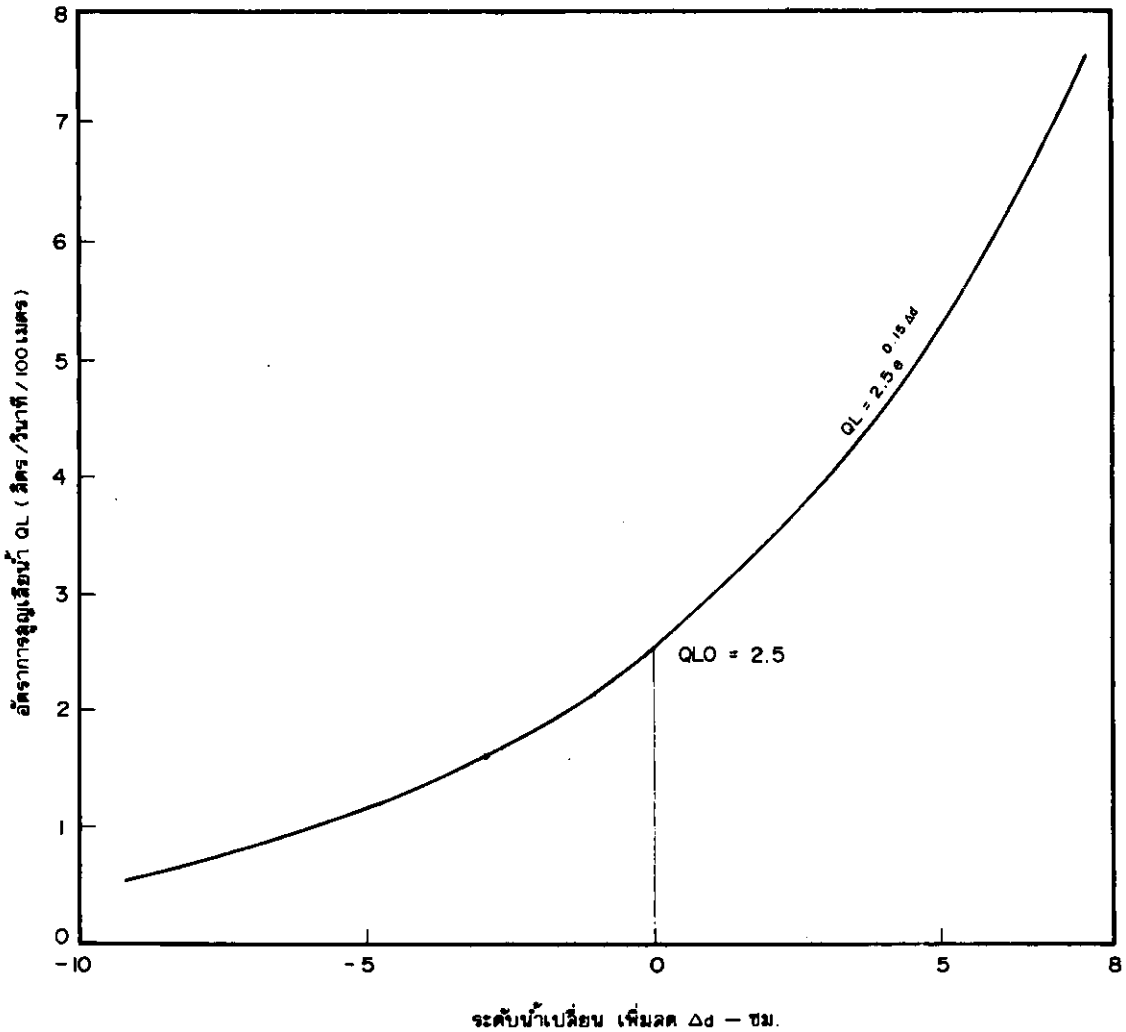
ถ้าหากลด Q ลง เพื่อรักษาระดับน้ำไม่ให้เกิน รนส. ในคูน้ำ ก็จะขาดปริมาณน้ำที่จะแจกจ่ายเข้านาไปมาก พบว่าบางแห่งที่วัชชพืชหนาแน่นจะส่งน้ำเข้าคูน้ำได้เพียง 70% ของความจุ ดังนั้นเมื่อรวมทั้งฤดูกาลส่งน้ำ ก็จะเป็นเหตุให้ขาดแคลนน้ำไปมาก

ดังนั้น การขุดลอก ตัดฟันวัชชพืช จึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง

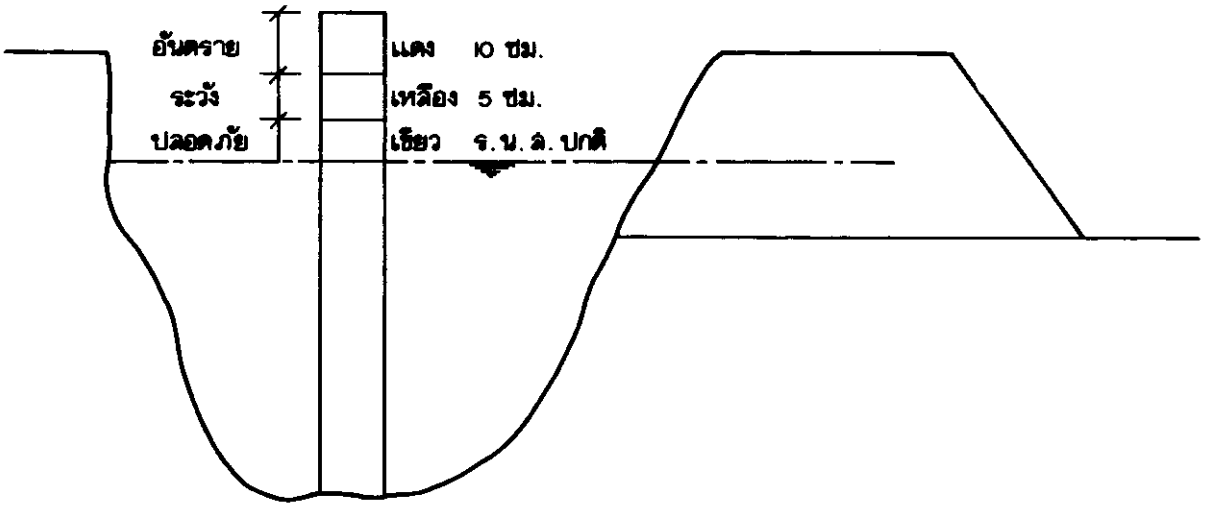
ข้อเสนอแนะ ให้ปักไม้ ระดับน้ำตามแนวคูน้ำในบริเวณที่ไม่อยู่ในอิทธิพลของอาคารวัดน้ำ โดยตั้งเกณฑ์ไว้ดังนี้

- ถ้าน้ำสูงขึ้น 5 ซม. ถือว่า "ปกติ" ปลอดภัย **ใช้สีเขียว**
- ถ้าน้ำสูงขึ้น 10 ซม. ถือว่า "ระวัง" เริ่มส่งน้ำยาก ควรจะต้องทำการนัดหมายกันขุดลอก ตัดฟันวัชชพืชโดยเร็ว **ใช้สีเหลือง**
- ถ้าน้ำสูงขึ้นเกิน 10 ซม. ถือว่า อันตราย น้ำอาจจะล้นคันคู ขาดพังได้ต้องเร่งขุดคลอง ตัดฟันวัชชพืชทันที หรือหยุดส่งน้ำชั่วคราว จนกว่าราษฎรจะทำการขุดลอกแล้วเสร็จ

ไม้ระดับน้ำนี้ ถ้าติดตั้งให้แม่นยำ จะช่วยในการตัดสินใจของหัวหน้าเหมืองที่จะนัดสมาชิกมาทำงานบำรุงรักษาเหมือง ส่วนเกณฑ์กำหนด "ปกติ" "ระวัง" วันละ 5 ซม. อาจจะใช้ไม่ได้สำหรับคูน้ำบางสาย ควรจะคำนวณตรวจสอบ และตั้งเกณฑ์ที่เหมาะสมแต่ละคูน้ำ



รูปที่ 15.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูญเสียน้ำ และระดับน้ำในคูน้ำ



15.7 แผนการตรวจสภาพของอาคารชลประทาน

กิจการชลประทานที่กรมได้จัดทำไปแล้ว นั้น ในปัจจุบันได้แผ่ขยายไปเกือบจะทั่วทุกลุ่มน้ำสำคัญต่าง ๆ ของประเทศอยู่แล้ว และกำลังจะก้าวไปถึงขั้นการชลประทานที่สมบูรณ์มี Storage Dam และ Reservoir อันจะประกันได้ว่า ในภูมิภาคใดที่โครงการชลประทานครอบคลุมอยู่ในบริเวณนั้น จะมีน้ำสำหรับการเพาะปลูกและสำหรับสาธารณูประโภคอื่น ๆ อย่างอุดมสมบูรณ์ กสิกรที่อยู่ในเขตที่จะรับบริการจากการชลประทานได้ ก็จะนอนใจได้ว่าผลิตผลการเกษตรของตนสม่ำเสมอทุกปี ไม่ต้องเสี่ยงกับสภาพดินฟ้าอากาศเช่นแต่ก่อน และเมื่อนั้นใคร ๆ ก็จะเห็นคุณค่าของการชลประทาน แต่ยิ่งกรมชลประทานก้าวหน้าไปเท่าใด กสิกรยิ่งมั่นใจ, ไว้วางใจมากขึ้นเท่าใด ความเหน็ดเหนื่อย, วิตกกังวลของช่างบำรุงรักษาก็จะมากขึ้นเพียงนั้น งานสำรวจออกแบบและก่อสร้างทำสำเร็จตามแผนได้ในระยะเวลาที่กำหนดช้าหรือเร็ว 5 ปีหรือ 10 ปี แล้วแต่กำลังเงิน, เครื่องจักรเครื่องมือและกำลังคน แต่งานบำรุงรักษานั้นไม่มีวันที่จะผ่อนคลายและสิ้นสุดลงได้ ต้องเพิ่มความเอาใจใส่, ระมัดระวังในการปฏิบัติงานมากขึ้นตาม Public Confidence ไปด้วย ทั้งนี้เพื่อรักษาชื่อเสียงของกรมและนายช่างที่สำรวจออกแบบและก่อสร้างโครงการไว้ เพราะเป็นงานขั้นสุดท้ายที่จะส่งผลของกิจการชลประทานที่ทำไปแล้วให้ถึงมือประชาชนได้ หากมีความผิดพลาดเสื่อมเสียขึ้นเมื่อใด ช่างบำรุงรักษาเท่านั้นที่เป็นผู้ผิด

ด้วยความรับผิดชอบดังได้กล่าวข้างต้น เมื่อฝ่ายบำรุงรักษารับโอนโครงการชลประทานใดจากฝ่ายก่อสร้างแล้ว ก็จะต้องหาทางที่จะปฏิบัติให้ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. พิจารณาปรับปรุงโครงการให้สามารถทำประโยชน์ได้ตามจุดประสงค์เดิมที่วาง Project planning ไว้ เมื่อพบในขั้น Operate ว่ายังขาดตกบกพร่องอยู่ และต่อจากนั้นก็จะต้องพิจารณาปรับปรุงโครงการให้ทันกาลสมัย และตามความจำเป็นที่ต้องแก้ไข เพื่ออำนวยประโยชน์แก่กสิกรให้มากขึ้น

2. อาคารชลประทานทั้งหมดที่ได้ก่อสร้างไว้นั้น จะต้องบำรุงรักษา (Maintain) ให้อยู่ในสภาพที่ใช้การได้ดีตลอดเวลา

และ 3. พยายามใช้โครงการชลประทานที่สร้างไว้แล้วนี้ให้เกิดประโยชน์ทางเศรษฐกิจให้มากที่สุด เช่น หาทางใช้น้ำซึ่งเป็นต้นทุนการผลิตอย่างหนึ่งนี้ ไปช่วยให้มีผลิตผลทางเกษตร คิดเป็นมูลค่าสูงที่สุด เป็นต้น การควบคุม, การแจกจ่ายน้ำ, การทดลองการใช้น้ำ, การทำ Demonstration Farm, Soil survey เพื่อ Land Classification และเพื่อกำหนด Cropping pattern ย่อมรวมอยู่ในข้อนี้ทั้งสิ้น

แผนการตรวจสภาพของอาคารชลประทานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการปฏิบัติงานในข้อ 2 จึงขอกล่าวเฉพาะข้อนี้

การบำรุงรักษาอาคารชลประทานไม่ใช่ของยาก ถ้าไม่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและระยะเวลาที่จะหยุดบริการในด้านการส่งน้ำเพื่อซ่อม

เมื่อเงินไม่จำกัดขอเท่าใดก็ได้แล้ว กำลังคน เครื่องจักรเครื่องมือตลอดจนวัสดุก่อสร้างก็จะมีเหลือเฟือ เมื่อชำรุดน้อยก็ซ่อม ชำรุดมากก็สร้างใหม่ ความรู้ความชำนาญในด้านบำรุงรักษาซ่อมแซมก็ไม่จำเป็น เพราะเมื่อซ่อมแล้วชำรุดอีกก็ซ่อมใหม่ได้ ไม่ต้องคิดค้นว่าชำรุดเพราะอะไร จะป้องกันอย่างไร และเมื่อชำรุดแล้วจะซ่อมวิธีใดจึงจะถาวร ส่วนระยะเวลาที่หยุดส่งน้ำเพื่อซ่อมเมื่อไม่จำกัดเวลา ซ่อมนานเท่าไรก็ได้แล้วก็ไม่ต้องวางแผนการที่รัดกุมหรือเร่งรัด ตลอดจนไม่ต้องหาทางแก้ไขเพื่อบริการการส่งน้ำตามปกติด้วย

เหตุการณ์ในปัจจุบันหาได้เป็นไปตามที่กล่าวมาแล้วไม่ เงินค่าใช้จ่ายของงบส่งน้ำและบำรุงรักษาต้องถูกแบ่งไปใช้เพื่อกิจการในข้อ 1 และข้อ 3 ด้วย และยอดงบประมาณที่ได้รับก็น้อยกว่าที่ควรจะเป็น เพราะผู้ที่เข้าใจและเห็นความจำเป็นของงานด้านนี้มีน้อย และส่วนใหญ่อยากเห็นความเจริญของบ้านเมืองที่รุดหน้ารวดเร็วทันตาเห็น สำหรับระยะเวลาที่หยุดบริการนั้นนับวันจะไม่มีเพราะการหยุดส่งน้ำชั่วระยะเวลาหนึ่งและไม่หาทางบริการทางอื่น ย่อมจะเสียผลทางเศรษฐกิจไม่มากก็น้อย และขาดความเชื่อถือ เห็นอกเห็นใจกันระหว่างเจ้าหน้าที่ของเรากับผู้ใช้น้ำด้วย นอกจากที่กล่าวนี้ เมื่อมีการปลูกพืชครั้งที่สองระยะเวลาที่จะหยุดซ่อมก็น้อยลง ซึ่งนำไปถึงความต้องการเครื่องจักรเครื่องมือทุ่นแรงต่าง ๆ ตลอดจนการแก้ไขระเบียบวิธีปฏิบัติงานและการเงินให้สอดคล้องกันด้วย

เมื่อทุกสิ่งจำกัดเช่นนี้ จึงต้องหาหนทางที่จะลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาซ่อมแซมลงและไม่ให้ขาดบริการเรื่องน้ำด้วย วิธีดำเนินการจะต้องมีดังต่อไปนี้

1. ผู้ใช้อาคารจะต้องรู้จักวิธี Operate ให้ถูกจุดประสงค์ที่สร้างและรู้จักส่วนสัดต่าง ๆ ของอาคารเป็นอย่างดี และต้องคำนึงถึงความเสียหายที่จะเกิดแก่อาคารในแง่ต่าง ๆ ด้วย ซึ่งต้องใช้ผู้มีความรู้หรือ Train เสียก่อนจึงมอบให้ดูแลอาคารนั้น จึงจะลดการชำรุดเสียหายได้มาก

2. จะต้องรู้ถึงจุดอ่อนของอาคารแต่ละชนิดว่า จะชำรุดได้ง่ายที่ใดเพราะเหตุใด ตามลักษณะที่ได้ออกแบบก่อสร้างไว้ นอกจากนั้นภัยธรรมชาติต่าง ๆ ที่อาคารนั้น ๆ จะต้องประสบตามสภาพที่แตกต่างกันไปแต่ละท้องถิ่น เช่น มักจะมี Flood หรืออาคารตั้งอยู่ในเขตน้ำเค็ม, น้ำที่มีกรด ด่าง หรือคลองที่อยู่ในเขตที่วัวควายเหยียบย่ำทำลายง่าย เป็นต้น เมื่อทราบก็หาทางป้องกันเสียก่อน

3. เมื่ออาคารชำรุดก็ต้องรู้จักวิธีการซ่อมว่า ควรดำเนินการอย่างไรจึงจะซ่อมได้แข็งแรงมั่นคงไม่ชำรุดอีก และจะมีวิธีการอย่างใดจึงจะไม่กีดขวางการส่งน้ำระบายน้ำเมื่อถึงฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งจะนำไปถึงการใช้เครื่องจักรเครื่องมือทุ่นแรงต่าง ๆ อันจะช่วยให้การซ่อมแซมสำเร็จ และทุ่นค่าใช้จ่ายได้มากนั้นด้วย

4. ต้องมีการตรวจสอบสภาพอาคารที่สำคัญ (Major Structure) เป็นระยะโดยกำหนดแผนการตรวจสอบ (Check-up Schedule) ขึ้นว่าจะตรวจปีละกี่ครั้ง, เมื่อใด, ตรวจอะไรบ้าง, ตรวจอย่างไร, รายงานอย่างไร

ทั้งนี้ เพื่อที่จะได้ทราบสภาพของอาคารตลอดเวลาว่าส่วนใดจะเริ่มชำรุด ควรรีบซ่อมเสียก่อนจะเสียหายมาก และกำหนดแผนการซ่อมแซมและของบประมาณ และเปิดโอกาสให้มีเวลาเตรียมตัวออกแบบและจัดหาสิ่งจำเป็นเตรียมไว้ก่อน ทุ่นเวลาในการหยุดบริการ

สภาพของอาคารที่จะต้องตรวจสอบพอสรุปเป็นหัวข้อสำคัญ ๆ ได้ดังต่อไปนี้

15.8 การทรุด (Settlement)

สาเหตุที่ก่อให้เกิดการทรุดนั้นมีหลายประการ แล้วแต่ลักษณะ หน้าที่ของอาคารนั้น ๆ แต่ที่สำคัญพอจะแยกเป็นหัวข้อได้มีดังต่อไปนี้

1. วิธีการออกแบบ จากการออกแบบซึ่งกำหนด bearing ของดินเทียบเคียงกับน้ำหนักของอาคารที่ทับอยู่ข้างบน ว่าดินสามารถรับน้ำหนักได้พอหรือไม่ ถ้าไม่พอ ขาดเหลือเท่าใด จึงใส่เข็มรากช่วย วิธีการเช่นนี้หากการตรวจสอบดินฐานรากไม่ดี หรือไม่ได้ทดลองทำ test load ทำให้กำหนด bearing ของดินพลาดไป อาคารนั้นก็จะทรุดได้ หรือเมื่อน้ำที่เดินลอดใต้ฐานมีกระแสเร็วพอที่จะพาเม็ดดินใต้ฐานไปได้ ทำให้เกิดโพรง และตัวอาคารไม่ได้วางทับไปบนดินค้างอยู่บนหัวเข็ม เข็มเหล่านั้นได้ออกแบบได้รับน้ำหนักเพียงบางส่วนเท่านั้น ทนไม่ได้ก็จะทรุด

2. ในการออกแบบในระยะหลัง ๆ มักจะกำหนดให้เข็มรับน้ำหนักทั้งหมด ถ้าดินมี bearing resistance พอ ก็ให้ดินรับน้ำหนักโดยไม่ต้องใช้เข็ม วิธีการเช่นนี้ ดูออกจะสิ้นเปลือง แต่มั่นคงกว่า แม้จะเกิด Piping ใต้ฐานราก อาคารก็ยังคงค้างอยู่บนหัวเข็ม เมื่อตรวจได้ก็อาจจะเจาะรู grout ให้เต็มแข็งแรงอย่างเดิมได้ ถ้าฐานรากเป็นดินล้วน อาคารก็จะค่อย ๆ ทรุด เมื่อเกิด piping ไม่ทรุดฮวบฮาบ การกัดพาดินใต้ฐานราก จะเป็นไปได้ช้ากว่าอย่างมีเข็ม อย่างไรก็ดีในประการหลัง จะมีการทรุดเกิดขึ้นได้ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินใต้ฐานราก เช่นในขณะก่อสร้างน้ำแห้ง ต่อมาเมื่อใช้เก็บกักน้ำ มีน้ำซึมเข้าไปในดิน การซึมผ่านของน้ำ อาจทำให้มีการจัดตัวของเม็ดดินใหม่แน่นเข้า การทรุดก็มีขึ้นได้บ้าง

3. การทรุดของผนัง คันกั้นน้ำ ทำนบดิน และถนน อันเกิดจากน้ำหนักของคันดินหรือน้ำหนักของยวดยานบนถนนก่อให้เกิด downpull ดินใต้ฐานรากถูดหนีออกทางด้านข้างเพราะ load ที่กระทำอยู่ใกล้ ลาด slope เกินไป สำหรับถนน บ่าถนนที่แคบ ก็จะป้องกัน downpull ไม่ได้

4. ดินใต้อาคารถูกน้ำกัดพาไปเป็นโพรง อาคารจึงทรุดแตกร้าว น้ำที่ผ่านนี้อาจเป็นน้ำที่เก็บกักด้านเหนือซึมผ่านระหว่างตัวอาคารและฐานราก หรืออาจเกิดจากน้ำฝนไหลลงระหว่างผิวดินลาด slope กับหินเรียง เพราะ Drainage ไม่ดี เมื่อไม่มีสิ่งใดรองรับอาคารก็ทรุด

5. ทรุดเพราะมีการเคลื่อนไหวของดินในฐานราก เช่น การขุดสระ ปอ ใกล้ตัวอาคาร ลึกใกล้ระดับธรณี ทำให้ดินใต้ฐานรากอูดหนีออกทางบ่อนี้ได้ หรือการทรุดเพราะมีน้ำหนักเพิ่มเติมบนตัวอาคารเกินกว่าที่ออกแบบไว้ เช่น สะพานที่รับน้ำหนักรถเกินพิกัด หรือมี speed เกินกว่าที่จำกัดไว้เพิ่ม impact มากขึ้น

6. การทรุดของอาคารส่วนต่าง ๆ อันเนื่องจาก Deflection ของคาน ตง หรือส่วนที่รับ load เช่น โครงยกที่เป็นเหล็ก หรือไม้ เป็นต้น

7. การทรุดที่เกิดจากดินฐานรากแทรกตัวขึ้นมาอยู่ใน void ของส่วนที่ทับอยู่ข้างบนได้ เช่น ถนนที่ปูพื้นด้วยหินใหญ่แล้วถมด้วยหินย่อยขนาดต่าง ๆ จนกระทั่งถึงผิวยางแอสฟัลท์ โดยมิได้รองหรือใส่ filter ใต้หินใหญ่เสียก่อน

8. การทรุดอันเนื่องจากลักษณะหินหรือดินที่เป็นฐานรากไม่แข็งแรงพอ แตกร้าวภายหลัง เช่น ฐานรากของ Dam ต่าง ๆ ทางด้านท้ายน้ำซึ่งมี Compressive Stress สูง เป็นต้น

15.8.1 วิธีการตรวจสอบ

1. Check ระดับ Settlement Points ตามปกติที่ตัวอาคาร ส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น บน หลังตอหม้อ หลังกำแพงปีก เรามักจะฝังหมุด เศษเหล็ก เอาไว้ และหมุดเหล่านั้นมีราคาระดับถูกต้องตามแบบทุกประการ ห่างจากตัวอาคารออกมาบนตลิ่งไกลพ้นอิทธิพลของการกัดเซาะของน้ำ การสั่นสะเทือน จะมีหมุดหลักฐานถาวรฝังไว้อีกแห่งหนึ่ง เพื่อไว้ตรวจสอบระดับบนหลังอาคารว่าทรุดต่ำไปมากน้อยเพียงใด โดยใช้กล้องระดับ Check ทุก 6 เดือน เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง จึงจะสอบระดับให้ถี่ขึ้นและมากแห่งขึ้น

สำหรับทำนบดินขนาดใหญ่ การทรุดของหลังทำนบจะต้อง Check ที่ Surface Settlement Points และการทรุดตัวของชั้นดินของตัวทำนบ ตาม Cross-Arms ชั้นต่าง ๆ เพื่อทราบว่าชั้นใดทรุดเท่าใดด้วย

2. การตรวจสอบการทรุดของดินใต้ฐานราก เมื่อยังมีอาคารข้างบนปกติอยู่ ใช้วิธีเคาะฟังเสียงดู หรือเจาะเปิดดูว่าข้างล่างทรุดหรือไม่

3. ดูรอย Crack ตามตัวอาคาร รอยแตกอ้าที่สำคัญ ๆ ที่ไม่ใช่ temperature Crack การแตกร้าวเหล่านั้นอาจเกิดจาก Unequal Settlement เมื่อพิจารณาจากแบบเสริมเหล็กก็อาจจะคาดหมายได้ว่า การทรุดเกิดขึ้นที่ใด ในทางตรงกันข้าม เมื่อรู้ว่าทรุดที่ใดก็อาจทราบว่าอาคารต้องแตกร้าวตรงไหน จากการคาดคะเนว่าจะทรุดที่ใด ก็ให้ตรวจสอบอย่างละเอียด

4. การ Operate ที่ผิด อย่าเพิ่งเข้าใจว่าเกิดจากลวดดึงบานยึดทำให้ระดับสันบานไม่เท่ากันอย่างเดียว ตอหม้อที่ทรุดเอียงไปจากแนวดิ่งทำให้บานเบียดกับตัวตอหม้อข้างหนึ่ง และแยกห่างจากตอหม้ออีกข้างหนึ่ง การปิดเปิดก็ฝืดได้

5. การทรุดตัวไม่เท่ากัน ทำให้ Alignment ของเพลาผิดไป เมื่อลูกบังคับที่หัวท้ายก็จะทำให้เพลาโก่งขณะปิดเปิดก็จะมีเสียงดังขึ้นได้ สิ่งเหล่านี้อาจเกิดจาก Settlement ได้ทั้งสิ้น

6. รูปร่างของตัวอาคารแม้มองด้วยตาก็อาจเห็นสิ่งผิดปกติ ซึ่งมักจะไม่เกิดเหมือนกันทั้ง 2 ข้าง Unsymmetry การเอนเอียงจากแนวดิ่งเป็นสิ่งที่ระบุ Settlement ซึ่งจะต้อง Check อย่างละเอียด

7. ระดับที่แตกต่างกันเล็ก ๆ น้อย ๆ บนหลังตอหม้อ หรือกำแพงปีกก็ดี อาจเกิดจากการโป่คอนกรีตในขณะก่อสร้างไม่เรียบร้อยก็ได้ การทรุดเมื่อเกิดแล้วทิ้งไว้นานก็อาจมีอาการเพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ้าระดับไม่เปลี่ยนแปลงเป็นระยะเวลานาน ระดับที่ผิดไปอาจไม่ใช่การทรุด

15.8.2 รอยร้าว

รอยร้าวที่เกิดแก่อาคารนั้น บางครั้งเกิดจากต้นเหตุอันเดียวกัน แต่มีรอยร้าวเป็นแบบต่าง ๆ กันได้ และในทางตรงกันข้ามรอยร้าวมีลักษณะอย่างเดียวกัน เกิดจากต้นเหตุต่าง ๆ กันก็มี

รอยร้าวแบ่งเป็น 2 แบบ

1. Solitary Cracks คือรอยร้าวที่เกิดเป็นแนวเดียวไม่ติดต่อ ส่วนมากเกิดจาก Overstressing เพราะรับน้ำหนักมากเกินไป จะรู้ได้ง่ายเมื่อดูจากแบบเสริมเหล็กและส่วนสัดของ Concrete แห่งนั้น โดยเฉพาะคานคอนกรีตที่แตกร้าว ถ้าแนวที่ร้าวนั้นใกล้เคียงกับที่เห็นจากคานที่นำมาทดลองกดแล้วแตก ก็จะรู้ได้ว่าร้าวเพราะอะไร

นอกจาก Overstressing คอนกรีตอาจร้าวเพราะการยืดหดหรือการหดหรือขยายตัวไม่เท่ากัน เช่น พื้นคอนกรีตจมอยู่ในดิน แต่กำแพงคอนกรีตซึ่งติดกันนั้นตากแดดตากฝนอยู่เป็นต้น

2. Pattern Cracking ส่วนมากเกิดจากการโป่คอนกรีตภายหลัง มักจะเห็นรอยแตกร้าวทั่วไปแล้วแตกหลุดเป็นแผ่นบาง ๆ เช่นร้าวลายงา อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิของอากาศ หรืออาจเกิดจากการบิดตัวหรือรับแรงกดมากเกินไปซึ่งรอยร้าวจะแคบ หรือแตกหลุดออกเป็นชิ้นเล็กมาก ซึ่งไม่เหมือนกับ Solitary Cracks ซึ่งเกิดจาก Tension รอยแตกอ้าที่เกิดขึ้นแห่งหนึ่งจะช่วยไม่ให้เกิดรอยอื่นขึ้นใกล้ ๆ อีก รอยร้าวแบบนี้มักจะเกิดขึ้นในขณะเดียวกันหรือพร้อม ๆ กัน

15.8.3 การสังเกตรอยร้าว

1. แตกรอยเดียว หรือแตกโดยทั่วไป
2. รอยแตก ๆ ลงไปตรง ๆ ตั้งฉากกับผิวคอนกรีต หรือแตกแล้วชอนขนานกับผิวคอนกรีต ถ้าแตกชอนรอยร้าวนี้อยู่ลึกจากผิวคอนกรีตเข้าไปเท่าใด
3. ร้าวลึกลงไปเท่าใด
4. แตกทั้งสองด้านหรือด้านเดียว จากทางใดไปทางใด
5. เปรียบเทียบทิศทางของรอยร้าวกับทิศทางที่เราเสริมเหล็ก
6. ตอนที่เพิ่มเหล็กหรือลดจำนวนเหล็ก กับเส้นรอยร้าวสัมพันธ์กันหรือไม่
7. พิจารณาว่ารอยร้าวนั้นอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดหรือ Section ของ Concrete หรือไม่
8. ถ้ามีส่วนของอาคารที่ทำหน้าที่อย่างเดียวกัน ถ้าแห่งหนึ่งแตก แห่งอื่น ๆ เป็นอย่างไร
9. รอยร้าวโตเท่าใด ยาวไปสุดแค่ไหน ทำไมจึงหยุดร้าว หรือจะไปหยุดตรงไหน
10. รอยร้าวนั้นจะร้าวต่อไปอีกหรือหยุด
11. ข้างในรอยร้าวเก่าหรือไม่
12. มีประวัติการซ่อมรอยร้าวตรงนี้บ้างหรือไม่

หัวข้อต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นนี้จะเป็นข้อมูลที่จะนำมาพิจารณาว่า การร้าวรานของคอนกรีตนั้นเกิดจากอะไร ซึ่งจะนำไปสู่การซ่อมที่ถูกวิธีด้วย

ในการลงบัตร ต้องการทราบเพียงว่าอาคารร้าวที่ใดบ้าง มากน้อยเพียงใด เท่านั้น เมื่อสงสัยจะต้องตรวจสอบละเอียดอีกครั้งหนึ่ง

15.8.4 การแตกหัก

หมายถึงส่วนของอาคารชำรุด อันอาจเกิดจากสาเหตุหลายประการซึ่งเสียหายมาก ถ้าเกิดจากการทรุดก็ดี หรือ Overstress ในคอนกรีตหรือไม้ เราก็จะทราบ เสียแต่ที่รอยร้าวมีเพียงเล็ก ๆ น้อย ๆ แล้ว การแตกที่เราจะได้พบซึ่งมักจะมาจากเหตุอื่น เช่น สิ่งของที่ลอยมากับน้ำกระทบกระแทกกับส่วนของอาคาร

หรือเรือแพที่ผ่านประตูน้ำชนตอม่อ บานประตูให้แตกหักเสียหายเป็นต้น เมื่อปรากฏว่ามีรอยแตกหักที่ใด ก็บันทึกลงในบัตร ตามเครื่องหมายที่กำหนดให้ว่าชำรุดมากน้อยเท่าใด

15.9 น้ำลอดใต้พื้น (Undermining)

อาคารชลประทานต้องรับกำลังทั้งทาง Dynamic และ Static force ในขณะที่ปิดกดน้ำไว้เฉย ๆ ก็ต้องรับกำลังอยู่ตลอดเวลา น้ำพยายามไหลไปสู่ที่ต่ำทุกวิธีทางที่จะเป็นไปได้ เช่น ลอดใต้พื้นฐานไปกัดเบิกทางอ้อมปีกของอาคาร สำหรับ Undermining นี้หมายความเฉพาะการที่น้ำลอดใต้พื้นฐานไปเท่านั้น เนื่องจากเราเก็บระดับด้านเหนือและด้านใต้ต่างกันมาก จึงมี Pressure สูง ในการออกแบบได้หาวิธีแก้ไขไว้หลายประการ เช่น ตอกเข็มพีดใต้อาคาร ทำให้น้ำต้องเดินไกล กระแสอ่อน จนไม่สามารถที่จะพัดพาดินใต้ฐานได้ หรือตอกเข็มพีดลงไปจนจดชั้นดินดานไม่ให้น้ำเล็ดลอดผ่านไปได้เลยเป็นต้น นอกจากนั้นก็จะมีการแผ่ฐาน Impervious Material ออกไปทางด้านเหนือและท้ายน้ำให้ยาว เพื่อเพิ่ม Length of Percolation ให้ยาวขึ้น ในบางกรณีที่ไม่จำเป็นต้องกักน้ำโดยเด็ดขาดอาจจะปล่อยให้น้ำซึมผ่านไปได้บ้างโดยทำ Filter ปิดทางไม่ให้น้ำพาดินออกมาได้ หรือในบางครั้งไม่ต้องการให้มี Pressure สูง ก็อาจจะเปิดทางให้ออก ผ่าน Filter เพื่อ Release pressure โดยวิธีหนึ่งวิธีใดหรือหลาย ๆ วิธีรวมกัน อาคารชลประทานก็จะมีสิ่งป้องกันน้ำลอดใต้ฐานอยู่แล้ว แต่ถ้าการก่อสร้างไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ หรือการออกแบบไม่มีสถิติเกี่ยวกับลักษณะดินฐานรากเพียงพอ หรือเมื่อก่อสร้างเสร็จแล้ว พื้นคอนกรีต หรือ Impervious Material ซึ่งเป็นสิ่งที่ปังคับเส้นทางเดินของน้ำแตกหัก ชำรุดน้ำรั่วได้ ก็จะทำให้ลาด Hydraulic gradient ผิดไปกระแสน้ำที่ลอดใต้ฐานแรงพอที่จะพัดพาดินไปได้ก็จะทำให้เกิดโพรง น้ำเดินลอดใต้พื้นของอาคารไปได้

15.9.1 วิธีตรวจ

1. ตรวจรอยร้าวตามพื้นฐานตอม่อและหินก่อหรือลาด Slope ตอนที่อยู่ใต้ผิวน้ำ รอยแตกที่ฉกรรจ์ทะลุผิวต่าง ให้คาดหมายว่าน้ำจะเดินลอดทางนี้เป็นทางลัด

2. เมื่อน้ำเดินลอดใต้ฐานได้สะดวก อันตรายที่จะเกิดกับพื้นด้านท้ายน้ำในขณะที่เก็บกักน้ำด้านเหนือไว้สูง เพราะน้ำหนักพื้นท้ายน้ำไม่พอรับกำลัง Uplift Pressure ซึ่งเพิ่มขึ้น

3. เมื่อบานปิดสนิท น้ำด้านท้ายน้ำควรหยุดไหล ถ้ามีกระแสไหลอ่อนให้สงสัยไว้ก่อนว่าน้ำรั่วจากด้านเหนือได้

4. อาคารขนาดใหญ่ เขื่อนระบาย Earth dam ฝายหรือ Spillway ที่ได้ฝัง Pressure Cells ไว้ จากผลการอ่าน Pressure จาก Gauge นำมา Plot เป็น Pressure Contour ใต้ฐานราก จะทำให้ทราบว่าเวลานี้น้ำเดินผ่านฐานรากในแนวใด จุดใดที่ Pressure สูงแสดงว่าน้ำไหลเข้าสู่จุดนั้นได้สะดวก ไม่ถูกกีดขวางจากดินใต้ฐานเท่าที่ควร

5. จากการตรวจสอบแบบเข็มราก แน่ใจว่าการทรุดไม่ได้เกิดจากดินฐานราก รับแรงกดไม่ไหว หรือเข็มรากมีจำนวนไม่พอ เมื่ออาคารนั้น ๆ ไม่มี Load อื่นใดมาทับถมมากขึ้น เมื่อเกิดการทรุดให้สันนิษฐานว่าเกิดจาก Undermining

6. การก่อสร้างอาคารแห่งนั้น การตอกเข็มพีดลักษณะ เดินทางธรณีวิทยา การประสานรอยต่อระหว่างพื้นฐานราก กับตัวอาคารซึ่งดูได้จากประวัติการก่อสร้าง ซึ่งเขียนเก็บไว้เป็นหลักฐาน จะช่วยให้การพิจารณาใกล้เคียงความจริงขึ้น

15.10 การกัดเซาะ (Scouring)

การกัดเซาะหมายถึงการที่กระแสน้ำพัดพามวลดินไปจากที่อยู่เดิม ทำให้เกิดโพรงหรือลาดตลิ่งเว้า ๆ แหว่ง ๆ ความหมายในที่นี้มุ่งไปถึงการกัดเซาะในบริเวณอาคารที่เก็บกักระบายน้ำเท่านั้น โดยปกติผู้ออกแบบอาคารจะพยายามทุกทางที่จะป้องกันไม่ให้มีการกัดเซาะเกิดขึ้น เพราะเมื่อน้ำได้กัดพาดินในบริเวณใกล้เคียงหรือใต้อาคารไปแล้ว ก็เป็นอันตรายแก่ตัวอาคารถึงกับพังได้ เช่นเดียวกับการชำรุดบุบสลายในแง่อื่น ๆ เหมือนกัน

การกัดเซาะเกิดได้จากเหตุหลายประการ

ก. กระแสน้ำไหลแรง จนสามารถกัดพาเม็ดดินไปได้ เช่นน้ำที่ถูกระบายอย่างแรงผ่านอาคารที่เก็บกัก กัดเซาะตลิ่งด้านท้ายน้ำ เป็นต้น ในกรณีเช่นนี้ผู้ออกแบบก็จะพยายาม pave ลาดตลิ่งด้านท้ายน้ำด้วย Concrete Slab หินก่อ หินเรียง หรือหินทิ้ง หินกะชุ หรือ Mattress rock ซึ่งใช้ลวดตาข่ายปิดทับห่อหุ้มหินไว้ เป็นต้น ให้ยาวพอเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำกัดพาดินในบริเวณใกล้เคียงไปได้ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการที่จะต้องทำ Protection ที่ยาว ผู้ออกแบบอาจจะใส่ Baffle กีดขวางกระแสน้ำเพื่อลด Energy หรือทำ Stilling Basin ให้กระแสน้ำอ่อนลงเสียในอ่างนี้ ก่อนที่จะไหลต่อไป เป็นต้น สำหรับด้านเหนือน้ำของอาคารลาดตลิ่งตอนก่อนถึงตัวอาคารก็มักจะถูกน้ำกัดเซาะ เพราะในการเปิดระบายอย่างแรงทำให้เปลี่ยน Grade ของผิวน้ำให้ชันขึ้น กระแสน้ำจึงไหลแรง กัดเซาะได้เช่นเดียวกัน

ข. การกัดเซาะที่เกิดจาก Pressure Momentum ตามอาคารที่ใช้ลดระดับน้ำในคลอง เช่น Check Drop กระแสน้ำที่โจนผ่านช่องน้ำตก ย่อมมีอิทธิพลกัดเซาะมากผิดปกติ ดังนั้นจึงต้องมีบ่อรับทางด้านท้ายน้ำ และมีการป้องกัน Turbulence Flow เช่นการบังคับสันคลื่นโดยติดแผ่นไม้หรือเหล็กเป็นชั้น ๆ จากผิวน้ำระดับต่าง ๆ ลงไป แผ่นเหล็กหรือไม้นี้จะต้องมีความกว้างกว่าระยะระหว่างสันคลื่น น้ำที่ผ่านไประหว่างช่องจะเป็น Stream Line Flow

ค. การกัดเซาะดินชั้นล่างหรือในระดับที่ผิวน้ำคงอยู่นาน การกัดเซาะทำนองนี้เกิดจากลักษณะดินลาดตลิ่งชั้นล่างเป็นทราย หรือพวก Cohesion Soil น้ำพัดพาดินชั้นนี้ออกไปเป็นโพรง ทำให้ดินชั้นบนไม่มีฐานรองรับก็เลื่อนและพังลง อีกประการหนึ่ง กรณีที่มีคลื่นจากเรือหรือกระแสลมเข้ากัดเซาะตลิ่งและระดับน้ำในคลองหรือ Reservoir มีระดับคงที่ ทำให้การกัดเซาะเป็นไปในระดับเดียวกันตลอดเวลา เมื่อกัดลึกเข้าไปมาก ดินชั้นบนก็พังลงได้เช่นเดียวกัน

ง. การกัดเซาะซึ่งเกิดจาก Surface Run-off ฝนที่ตกหนักในบริเวณอาคารย่อมไหลลงคลองตามลาดตลิ่ง ทั้งตรงบริเวณอาคารซึ่งมีการป้องกันลาดตลิ่งและตอนถัดไปซึ่งไม่มีการป้องกันด้วยเฉพาะตรงที่ลาดตลิ่งเป็น Concrete Slab หินก่อ หินเรียง น้ำฝนจะไหลลงใต้ลาด Concrete นี้ พัดพาเอาดินที่รองรับออกไป ทำให้เกิดเป็นโพรงใต้หินก่อ หินเรียง โดยทั่วไปโพรงเหล่านี้บางครั้งก็เห็นได้ง่าย บางครั้งก็มองไม่เห็น ช่างบำรุงรักษาต้องหมั่นเคาะลาดตลิ่งเหล่านี้ดูว่าเป็นโพรงที่ใด และสังเกตร่องรอยการไหลของน้ำบนดินข้างตลิ่ง ซึ่งโดยปกติช่างบำรุงรักษาจะต้องทำลาดจากตัวอาคารออกไปอย่างน้อย 1 : 25 เพื่อไม่ให้น้ำฝนไหลลงคลองตรงอาคาร

การกัดเซาะที่เกิดจากเหตุต่าง ๆ เหล่านี้ เมื่อมีขึ้นที่ใด เพราะเหตุใด ก็ควรบันทึกไว้ในบัตรตรวจสอบอาคารด้วย ผู้ตรวจอาจมองไม่เห็นเพราะบางครั้งการกัดเซาะเกิดขึ้นใต้ผิวน้ำ ก็จำเป็นต้องมีการหยั่งน้ำตรวจสอบ Section ดู

15.11 การตกตะกอน (Silting)

ในที่นี้ หมายถึงการตกตะกอนเฉพาะบริเวณใกล้เคียงตัวอาคารเท่านั้น เช่น ตามเหนือและท้ายอ่างประตูน้ำ ซึ่งเป็น Dead End หรือด้านเหนือและท้ายฝายซึ่งสร้างในลำน้ำธรรมชาติ กระแสน้ำเปลี่ยนทางกัดเซาะด้านหนึ่งและตกตะกอนอีกด้านหนึ่งเป็นต้น การตกตะกอนเหล่านี้เกิดจากกระแสน้ำอ่อนลงไม่สามารถจะโอบอุ้มตะกอนทั้งที่เป็น Bed Load และตะกอนประเภทแขวนลอยไว้ได้ ผลก็คือ เกิดการตื้นเขิน เรือแพผ่านไม่ได้ และตะกอนบีบทางน้ำให้เล็กลง เพิ่มการกัดเซาะให้แก่อีกฟากหนึ่งของลำน้ำแรงกว่าปกติ

การตรวจสอบก็ต้องทำรูปตัดตามยาว ตามขวางของคลองบริเวณอาคารตรงที่เดิมซ้ำกันทุกครั้ง เพื่อทราบว่ามีการตกตะกอนตื้นเขินเท่าใดในปีหนึ่ง

สำหรับ Reservoir การตกตะกอนทำให้ Capacity ของ Reservoir เล็กลง แม้ว่าจะมีส่วนที่เป็น Dead Storage สำหรับเก็บตะกอนเหล่านี้ไว้ก็ดี แต่ตะกอนที่แผ่กระจายออกไปตามขอบ Reservoir ย่อมทำให้อ่างน้ำลดความจุลงทุกขณะ ดังนั้น จึงต้องมีการตรวจสอบด้วยการหยั่งน้ำตามแนวเส้นที่กำหนดไว้ห่างจากตัว Dam ขึ้นไปทางเหนือน้ำเป็นระยะซึ่งต้องทำหมุดถาวรไว้ทุกแนว เพื่อให้สอบระดับได้ตรงที่เดิมทุกครั้ง วิธีการเช่นนี้ทำให้ทราบจำนวนน้ำซึ่งนำไปใช้ได้ว่ามีจำนวนเท่าใดแน่ และ Flood Space มีเท่าใด

15.12 การผุ (Rot)

หมายถึงการผุของไม้ ไม้ที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารชลประทาน ทั้งที่เป็นตัวอาคารเอง หรือที่ใช้ประกอบเป็นบางส่วน เช่น ไม้อัดน้ำ ย่อมประสพกับสภาพเปียก ๆ แห้ง ๆ อยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นไม้ที่ใช้ในเขตน้ำเค็มถูกเพลียงกัดพรุน ยิ่งทำให้ผุเร็วยิ่งขึ้นเพราะอากาศเข้าไปในไส้ของไม้ทางรูเหล่านี้ได้

ไม้ที่ใช้สร้างอาคาร แม้จะได้ทาด้วยน้ำมันดินปกปิดทำให้เกิด Oxidation ช้าอายุก็อยู่ได้นาน แต่ด้วยสภาพอากาศร้อน เย็น ทำให้ไม้เปียก แห้ง ยืดหด แตกร้าว การผุก็เกิดขึ้นข้างในรอยร้าวได้อีก ไม้ที่ผุย่อมขาดกำลังไม่เป็นไปตามที่ผู้ออกแบบกำหนด ดังนั้น ส่วนสำคัญของอาคารที่เป็นไม้จึงต้องได้รับการตรวจให้ถี่ถ้วน

โครง Truss การผุจะมีขึ้นที่รอยต่อ (Joints) ก่อน ปตร. ไม้จะผุในระดับดินถม ส่วนอื่น ๆ การผุจะเริ่มเกิดบริเวณที่ใช้น็อต และที่ ๆ น้ำขังได้ และจะผุที่หัวเสาซึ่งน้ำไหลซึมตามเส้นไม้เข้าไปได้ในบริเวณที่มีสิ่งปกปิด เช่น Concrete ก็ดี หรือไม้ท่อนอื่นปิดทับ ทำให้อับชื้น เกิดรา ไม้ผุได้ง่าย บริเวณต่าง ๆ ที่กล่าวนี้ผู้ตรวจต้องสนใจ เมื่อปรากฏขึ้น ขอให้ระบุไว้ในบัตรด้วย

15.13 การผุกร่อน (Corrosion)

เป็นการผุของโลหะ โลหะที่ใช้ในงานชลประทานมีเหล็กเหนียว เหล็กหล่อ ทองเหลือง เป็นส่วนใหญ่ เหล็กเหนียวใช้ทำบานประตู เหล็กหล่อใช้ทำฟันเฟือง เครื่องกว้าน ลูกล้อรับบานตลอดจนบานระบายหางปลา ทองเหลืองใช้ลด Friction ระหว่างบานกับตัวตอหม้อ โลหะเหล่านี้เมื่อถูกน้ำ ถูกดินฟ้าอากาศก็เป็นสนิม ผุพังได้เช่นเดียวกับไม้ เพียงแต่ว่าระยะเวลาที่ใช้งานคงทนถาวรกว่าเท่านั้น ลักษณะการเกิดของสนิม ส่วนที่จะเกิดได้ง่ายก็คือส่วนที่รับกำลังในโลหะแผ่นเดียวกัน ที่ใดมี Stress มาก ก็เกิดสนิมก่อน โลหะส่วนใดที่ประสพสภาพเปียก ๆ แห้ง ๆ ก็เป็นสนิมได้เร็ว นอกจากนั้น โลหะจะคงทน

ถาวรหรือไม่ย่อมแล้วแต่คุณภาพของน้ำ ซึ่งถ้ามีกรด ด่าง หรือเกลือ และปฏิกิริยาทางเคมีกับโลหะนั้น ๆ ก็ผุชำรุดได้เร็วมาก

การตรวจมองเห็นได้ง่ายว่าเป็นสนิมชุมที่ใด หรือส่วนใดถูกปฏิกิริยาทางเคมีจนชำรุดเป็นเนื้อที่เท่าใด มีสถิติการผุการเป็นสนิมเร็วช้าต่างกันอย่างไร ขณะเดียวกัน เมื่อโลหะนั้น ๆ ได้ถูกปกคลุมด้วยสีชนิดใด ได้ทาสีด้วยสีชนิดใด ทาไว้เมื่อใด การบันทึกต้องบอกด้วยว่าโลหะนั้นใช้ในน้ำที่มีคุณสมบัติด่าง เกลือ อย่างใดด้วย

15.14 สภาพของสี (Condition of Paint)

สีที่ใช้กับอาคารชลประทานส่วนใหญ่ใช้ทาเหล็กเพื่อป้องกันสนิม ทาอาคารที่ทำการ บ้านพัก เพื่อความคงทนถาวร และสวยงาม การตรวจสภาพของสีนั้น สีที่ยังคงติดแน่นไม่มีรอยร้าวเปิดช่องให้อากาศและน้ำเข้าทำลายไม้และโลหะยังคงใช้การได้ แต่ถ้าสีลอกหลุด หรือฉลอกไปแล้ว ก็จำเป็นต้องทาใหม่ การทาสีโดยปกติต้องมีสถิติว่าใช้สีชนิดใด ทากี่ครั้ง มีสีรองพื้นอื่น ๆ สำหรับป้องกันสนิมหรือไม่ ทาเมื่อไร ในเนื้อที่ 1 ตารางเมตรใช้สีเท่าใด ก่อนทาได้ทำความสะอาดหรือไม่ และไม้หรือโลหะนั้นแห้งดีแล้วหรือยัง ดังนั้น เมื่อรายงานสภาพของสีก็ควรบอกสิ่งต่าง ๆ ที่กล่าวแล้วมาด้วย เพื่อประกอบการพิจารณา

15.15 ลักษณะรอยต่อ (Joints)

รอยต่อในที่นี้หมายถึง Expansion Joint, Contraction Joint รอยต่อโดยปกติประกอบด้วย Rubber Water Stop, Cocking Compound และ Mastic Filler หรือยางมะตอยผสมทราย 1:3 สิ่งเหล่านี้ในขณะออกแบบและก่อสร้างถือว่าเป็น Water Tight น้ำผ่านไม่ได้ หากว่าวัตถุที่ปิดกั้นเช่น Rubber water stop ขาด เพราะรอยต่อขยายห่างจากกันมากเกินไป หรือยางแอสฟัลท์ละลาย เพราะถูกความร้อนทำให้เกิดเป็นช่องโหว่ น้ำเดินผ่านได้ก็จำเป็นต้องหาทางแก้ไขโดยด่วน เพราะน้ำจะเดินลัดผ่านทางช่องนี้ การที่ทำ Expansion Joint ไว้ ก็เพื่อความคงทนถาวรของตัวอาคาร ถ้าหากเกิดชำรุด น้ำเดินลัดทางช่องนี้ได้ ก็จะยิ่งทำให้อาคารพังเร็วขึ้นกว่าที่ไม่มี Expansion Joint เสียอีก

รอยต่อทุกแห่ง ตามแบบกำหนดไว้ให้กว้างเท่าใด เมื่อก่อสร้างเสร็จใหม่ ๆ ก็ต้องวัดสอบอย่างละเอียดว่ากว้างจริง ๆ เท่าใดแน่ เมื่อ Operate อาคารนั้นไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง (ประมาณ 6 เดือน) ก็ต้องวัดดูใหม่ เพราะเมื่อเกิดการทรุดในตัวอาคารขึ้นแล้วก็อาจจะกระทบกระเทือนถึงรอยต่อเหล่านี้ด้วย ตอนหนึ่งของรอยต่ออาจจะถูกบีบเข้าหากัน อีกตอนหนึ่งอาจจะถูกแยกออกจากกันจน Rubber Water Stop ฉีกขาดเพราะทนไม่ไหว ดังนั้นการตรวจลักษณะรอยต่อจึงต้องพยายามตรวจให้ทั่ว และบอกขนาดรอยต่อของเดิมประกอบไว้ด้วยในคำอธิบายด้านหลัง ส่วนที่เสียหายแลเห็นได้ง่ายก็คือ Cocking Compound และ Mastic Filler ซึ่งมักจะผุหลุดจากรอยต่อ จากนั้น กรวด หิน หรือวัตถุแข็งอื่น ๆ อาจเข้าไปแทนที่ และจะบังคับไม่ให้ Concrete ยืดหดตัวตามธรรมชาติได้ ซึ่งต่อไปก็จะมีการแตกร้าวบริเวณใกล้รอยต่อเหล่านั้น ถ้าเป็นยางแอสฟัลท์ ช่างบำรุงรักษาก็ต้องคอยกรอกแอสฟัลท์ผสมทรายให้เต็มรอยต่ออยู่เสมอ และขณะนี้ก็ปรากฏหลายแห่งว่ารอยต่อไม่มีอะไรเหลืออยู่ในช่องเลย

รอยต่อมีอยู่ทั่วไปตามแบบ ทั้งที่เห็นด้วยตาเปล่าบนส่วนของอาคารที่พ้นน้ำ และส่วนที่ต้องดำไปดูใต้น้ำ รอยต่อที่เหลื่อมล้ำหากไม่มากนักยังคงใช้การได้

15.16 การสึกหรอของเครื่องกว้าน

เครื่องกว้านที่ใช้ยกบานระบายประกอบด้วยเฟืองขนาดต่าง ๆ ถ้าเปิดครอบเครื่องกว้านออกดูก็จะเห็นได้ว่ามีการสึกหรอที่ใดบ้าง เพราะระหว่างที่ใช้งานจะมีจาระบีและน้ำมันเครื่องหล่อลื่น ช่วยป้องกันการสึกหรออยู่ จึงมองเห็นได้ง่ายว่าฟันเฟืองสัมผัสกันเต็มหน้าหรือไม่ เพราะเมื่อลองหมุนดูจาระบีก็จะถูกปาดออกไป ถ้าฟันเฟืองเหลื่อมล้ำกันหรือขบไม่เต็มหน้า เครื่องกว้านนั้นจะใช้กำลังได้ไม่เต็มตามที่ได้ออกแบบไว้ การหลวมคลอนอันเนื่องมาจากการเสียดสีของโลหะแล้วสึกกร่อนไป ทำให้ฟันเฟืองบางรับกำลังไม่ได้ตามที่ออกแบบไว้เช่นเดียวกัน

การสึกหรอของเครื่องกว้านย่อมเกี่ยวพันไปถึงการทรุดเอียงของแท่นกว้าน และ Alignment ในข้อต่อด้วย ระบบหล่อลื่นเป็นสิ่งจำเป็น การตรวจการสึกหรอนี้ พิจารณาโดยทั่ว ๆ ไปว่าเป็นไปมากน้อยเพียงใด ควรจะเปลี่ยนฟันเฟืองใหม่หรือไม่เมื่อใด ขณะเดียวกันก็ชี้แจงและตั้งข้อสังเกตถึงสาเหตุที่ทำให้ฟันเฟืองสึกกร่อนผิดปกติไปด้วย

15.17 การเอียงจากศูนย์เดิม (Alignment)

การเคลื่อนไหวของตัวอาคารผิดไปจากที่ตั้งอยู่เดิมย่อมเข้าอยู่ในข้อนี้ทั้งสิ้น โครงยกที่เอียงจะเกิดจาก Settlement ของตอหม้อใดตอหม้อหนึ่ง เพลาเครื่องกว้านคดเพราะแท่นกว้านทรุด บานเอียงเพราะลวดดึงบานยึดไม่เท่ากัน การติดตั้งกว้านไม่ได้ดิ่ง เหล่านี้จัดอยู่ในจำพวก Alignment ไม่ดีทั้งสิ้น ผลเสียที่เกิดขึ้นมีได้ต่าง ๆ ล้วนแต่อยู่ในขั้นร้ายแรงทั้งสิ้น เช่นโครงยกพัง เพราะ Column ไม่ได้รับ Axial Load แต่อย่างเดียว แต่ Combine Bending ด้วย หรือเมื่อเพลาเครื่องกว้านคด เพราะแท่นกว้านทรุดในขณะปิดเปิด ก็อาจจะทำให้ฟันเฟืองของรอกม้วนลวดเคลื่อนจากกันบนไม่เต็มหน้า ซึ่งถ้าหากฟันเฟืองหักก็ปิดเปิดต่อไปไม่ได้ สำหรับบานเอียงก็เพิ่ม Friction ระหว่างบานกับ Gate Seat มากขึ้น ทำให้เกินกำลังกว้านที่จะยกขึ้นได้ ในขณะที่จะต้องเปิดระบายน้ำ เมื่อเปิดไม่ได้น้ำก็ไหลข้ามและบ่าท่วมตัวอาคารบริเวณใกล้เคียง กัดเซาะอาคารพังได้เช่นเดียวกันเป็นต้น

การตรวจสอบ ต้องใช้เครื่องมือที่ละเอียดถี่ถ้วนสำหรับตัวอาคารก็ต้องใช้เครื่องมือสำรวจ เช่น กล้องทีโอโดไรท์ และกล้องระดับ สำหรับเครื่องกว้านเพลาต่าง ๆ ก็อาจจะใช้ระดับน้ำและเครื่องวัดระยะอย่างละเอียด อย่างไรก็ดี จะตรวจได้หรือไม่ก็ต้องมีสถิติว่า เมื่อก่อสร้างเสร็จใหม่ ๆ ส่วนสัดต่าง ๆ ของอาคารนี้อยู่ในสภาพใด หรือว่าในการตรวจครั้งก่อน ๆ มีสภาพแตกต่างกับการตรวจครั้งหลังอย่างไร การตรวจสอบเพียงครั้งเดียวไม่อาจจะทราบการเปลี่ยนแปลงได้ เพราะไม่มีสิ่งเทียบเคียง ดังนั้น การตรวจแต่ละครั้งจึงต้องทำหลักฐานบันทึกเก็บไว้เป็นสถิติด้วยและวิธีดำเนินการ สภาพสิ่งแวดล้อมก็พยายามให้คล้ายคลึงกับการตรวจครั้งก่อน ตัวอย่างเช่น การเดินระดับ ใช้กล้องอะไร กระทำในเวลาใด มีความละเอียดรอบคอบในการจัดทำเพียงใด ถ่ายระดับจากหมุดไหน เหล่านี้เป็นต้น

15.18 น้ำรั่วทางบานระบาย (Leakage)

Leakage หมายถึงการรั่วไหลของน้ำผ่านทางช่องว่างระหว่างตัวบานระบาย กับ Gate Seats ทั้งทางด้านข้างตอม่อและธรณี ซึ่งถ้าปรากฏขึ้นก็จะก่อให้เกิดการเสียหายหลายประการ คือ

1. ในกรณีที่น้ำมีค่ามาก เช่นในต่างประเทศ การที่ปล่อยให้น้ำรั่วไปโดยเปล่าประโยชน์ ก็หมายถึงการสูญเสียที่คิดมูลค่าเป็นเงินจำนวนมากได้ สำหรับการชลประทานของเราในฤดูแล้งขาดแคลนน้ำต้องการกักตุนไว้ มิใช่แต่เฉพาะน้ำที่ระเหยรั่วซึมไปเท่านั้นที่ทำให้ระดับเก็บกักลดต่ำลงทุกวัน Leakage

ก็เป็นส่วนสำคัญมากเช่นเดียวกัน

2. การที่ปล่อยให้น้ำรั่วผ่านระหว่างบานระบายกับตอม่อคอนกรีต จะเป็นช่องทางให้น้ำกัดเซาะคอนกรีตตอม่อให้กร่อนไป ดังที่เห็นจากอาคารที่สร้างไว้เป็นเวลานานทุกแห่ง

3. Vibration ที่บานระบายอันเกิดจาก Pressure Momentum ทำให้ลูกล้อรับบานและแกนสึกหรอเร็วกว่าปกติ

4. น้ำที่ผ่านอย่างแรงเพราะ Pressure สูงกัดเซาะสึดลอดจนน้ำมันที่ทาเคลือบไว้หลุดไป เกิดสนิมในเวลารวดเร็ว และ

5. การคำนวณปริมาณน้ำผ่านช่องระบายโดยสูตรต่าง ๆ ผิดพลาดไป เมื่อยกบานไม่พ้นน้ำ

จากผลเสียที่กล่าวข้างต้นทำให้ต้องหาทางป้องกันการรั่วไหลในทำนองนี้ ในการออกแบบจำเป็นต้องยอมให้มีส่วนเผื่อโดยทำบานระบายให้เล็กกว่าช่องระบายเล็กน้อย ให้มีทางเคลื่อนตัวปิดเปิดได้ง่ายขึ้น จึงต้องมีช่องว่างระหว่างบานระบายกับผนังตอม่อทุกแห่งเพื่อไม่ให้น้ำรั่วไหล ผู้ออกแบบพยายามหาวัตถุบางชนิดมาอุดช่องนี้ โดยใช้ไม้ปะกับบานระบาย แล้วใช้เหล็กสปริงดันให้ติดผนังตอม่อบ้าง แขวนท่อเหล็กไว้ทางด้านเหนือน้ำให้น้ำดันเข้าอุดช่องบ้าง วิธีการเหล่านี้ช่วยได้แต่ไม่สมบูรณ์ เพราะวัตถุที่ใช้ไม่เหมาะที่จะนำมา Seal ช่องว่างนี้กล่าวคือ

1. วัตถุที่ใช้ เช่น ไม้หรือเหล็ก ไม่สามารถจะอ่อนตัวทาบติดอุดช่องตามผิวคอนกรีตที่ขรุขระนั้นได้

2. เมื่อมีกรวดทรายไหลลอยตามน้ำมาอุดระหว่างบานระบายกับผนังตอม่อ หรือธรณี ไม้และเหล็กแข็งเกินไปอ่อนตัวไม่ได้ก็ค้างไม่ทำหน้าที่อุดช่องว่างตามประสงค์

3. ไม่คงทน ผุ และสึกกร่อนเป็นสนิม โดยเฉพาะเหล็กสปริงใช้งานนานเข้าก็ตาย ต้องเปลี่ยนบ่อย ๆ

4. เมื่อใช้ติดกับบานทีเดียว ทั้งไม้และเหล็กมีการยืดหดตัวได้ เมื่อขยายตัวก็ปิดเปิดบานไม่ได้

5. เมื่อถูกของแข็งกระทบกระทั่งไม้ก็แตกบิ่น เหล็กก็บุบ ไม่คงสภาพเดิม น้ำรั่วได้

ต่อมาเมื่อวิทยาการทางวัสดุก่อสร้างก้าวหน้าก็ได้มีการใช้ยางกันน้ำรั่ว ซึ่งเรียกว่า "Rubber Seal หรือ Hydraulic J Seal" มีคุณสมบัติที่แก้ปัญหาข้างต้นได้ครบถ้วน นำมาติดเข้ากับบานระบาย J Seal ที่ใช้มีทั้งที่เป็น Hollow bulb และ Solid bulb แล้วแต่ Pressure ของน้ำจะมากหรือน้อย น้ำลึกมากก็ใช้ Solid bulb ให้แข็งแรงขึ้น อย่างไรก็ดีแม้จะใช้ Rubber Seal แล้วก็อาจมีการเสียหายน้ำรั่วได้ในกรณีต่อไปนี้

1. ติด Rubber Seal ห่างเกินไป ตามปกติจะต้องให้ระยะของยางที่ติดยื่นออกมาจากตัวบานระบายกว้างกว่าระยะของช่องว่าง ระหว่างบานกับผนังต่อม่อ 1/4" ตัว bulb จะเบนขึ้นเหนือน้ำ เมื่อมี Pressure ก็จะถูกดันแนบกับผนังตอม่อหรือ Gate Seat ด้านข้างเอง ถ้าติดยางให้พอดีถึงผนังตอม่อ ถ้ามี Pressure สูง น้ำจะดันยางลู่รั่วได้ ที่เรียกว่า "Blow by"

2. ต่อยางไม่ดี ฝานหน้าตัดชันเกินไป และโดยเฉพาะ Hollow bulb ไม่ได้ใส่ Rubber plug อุดรูเสียก่อนฝานหน้าตัด ทำให้เนื้อที่รอยต่อน้อยไป ยางติดกันไม่แน่น เป็นจุดอ่อนที่ฉีกขาดได้ง่าย เมื่อมีการขัดสี หรือมี Stress มาก

3. ยางที่ติดข้างใต้บานระบายไม่มีเหล็กฉาก (Leg angle) ปะกันเป็นขารับน้ำหนักบานกด

Rubber Seal โดยตรง เมื่อ Over stress ก็ถูกบดฉีดขาดไป

4. เมื่อบานเอียงเพราะลวดยึดไม่ได้จัดใหม่ การทำงานของ Rubber Seal ก็ไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้

ดังนั้นการตรวจสอบก็ต้องพิจารณาถึงข้อนี้ด้วยเสมอ

นอกจากที่กล่าวมาแล้ว Leakage มีความหมายรวมถึงการรั่วไหลของน้ำผ่านระหว่างช่องว่างไม้เหลี่ยมอัดน้ำซึ่งปรับไม่ดี ไม่มียางแผ่นปะกัน หรือบานเหล็กที่ผุกร่อนเป็นรูน้ำรั่วได้ด้วย

15.19 ระบบการระบายน้ำ (Drainage around the structure)

ระบบการระบายน้ำในที่นี้หมายถึงการจัดทำทางระบายน้ำฝน ซึ่งเป็น Surface Run-off มิให้ไหลกัดเซาะพัดพาเอาดินในบริเวณอาคารไป และหมายรวมถึงการป้องกันน้ำท่าที่ซึมผ่านตัวอาคารเร็วกว่าที่กำหนดจนสามารถพาดินไปได้ หรือเพิ่ม Uplift Pressure ด้านท้ายน้ำจนเป็นอันตรายต่อตัวอาคารนั้นด้วย

Surface Run-off หรือน้ำฝนที่ไหลไปบนผิวดินเพราะซึมไม่ทัน ถ้าไม่มีวิธีการระบายทิ้งให้ถูกต้องก็จะทำให้เกิดความเสียหายขึ้นได้ดังนี้

1. ไหลลงตามลาด Slope ระหว่างผิวดินตอนที่สัมผัสกับ Concrete Slab หรือหินก่อ หินเรียงยาแนว ซึ่งตามปกติเมื่อดินแห้งหดตัวจะมีร่องระหว่างคอนกรีตกับดินเสมอ เมื่อน้ำฝนไหลลงไปแล้วติด Slope slab ลงคลองไม่ได้ ส่วนหนึ่งจะไหลออกทาง Weepholes ซึ่งทำ Reverse filter ไว้ ถ้ามีน้ำมากไหลออกไปทันก็จะไหลเลาะระหว่างดินกับคอนกรีตไปสู่ด้านท้ายน้ำ ในกรณีเช่นนี้มิใช่แต่จะค่อย ๆ ทำโพรงระหว่างดินกับคอนกรีตเท่านั้น แต่ค่อย ๆ ทำลาย Reverse filter ที่จัดทำไว้ให้ทรุดลงไปไม่เป็นระเบียบที่จะเป็นเครื่องกรองได้ เมื่อชำรุดแล้วต่อไปน้ำฝนก็อาจพาดินออกทางช่องระบายน้ำนี้ได้สะดวก ต่อจากนั้นก็จะเกิดโพรงใต้ concrete slab หินก่อ หินเรียงยาแนว ซึ่งจะทำให้ทรุดแตกร้าวได้ภายหลัง

2. ถ้าพื้นที่บนตลิ่งเป็นแอ่งน้ำขัง ก็จะทำให้ซึมลงดินใกล้ Slope เป็นการเพิ่มน้ำหนักให้มากขึ้น หรือถ้ามีรอยร้าวอยู่แล้วน้ำฝนที่ไหลลงไปจะช่วย lubricate ตาม slip plane ทำให้ลาดตลิ่ง Slide ได้ง่าย

3. การกัดโพรงใต้ concrete slab หรือหินก่อใกล้ตัวอาคารจะทำให้น้ำอ้อมปีกอาคารได้เร็วขึ้น

4. เมื่อปล่อยให้น้ำไหลลงตาม slope ที่ไม่มีการป้องกันแล้วก็จะเห็นร่องรอยการกัดเซาะลาดตลิ่งเป็นร่องลึก ๆ เสมอไป ซึ่งไม่น่าดู

การหาทางระบายน้ำในบริเวณอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าซ่อมแซมลงได้ วิธีการป้องกันอาจทำได้โดยแต่งลาดผิวดินจากขอบบนของ Slope slab ออกไปทางด้านนอกตัวอาคาร 1:20 ถึง 1:25 ลาดนี้จะต้องยาวออกไปไม่น้อยกว่า 5 เมตร ตอนปลายลาดทำรางคอนกรีตรับน้ำฝนไปทิ้งลงคลองทางด้านท้ายน้ำ หรือจะใช้ท่อดินเผาหรือ Tile drain ฝังแล้วกลบดินกรวดทราย รับน้ำไปทิ้งก็ได้ การปลูกหญ้าทำให้น้ำฝนไหลบนผิวดินไปสะดวกมีโอกาสซึมลงดินได้มาก ช่วยลด Surface run-off ได้ดี และจะลดการกัดเซาะตามลาดคันดินด้วย รอยร้าวของดินใกล้แนวลาดตลิ่งในฤดูแล้งใช้ Clay puddle อุดให้เต็ม

Weepholes ตามลาด slope ซึ่งใส่ Reverse filter ไว้นั้น เมื่อก่อสร้างไม่ควบคุมให้ดี การจัดทำReverse filter ไม่ถูกหลักเกณฑ์กลับจะเป็นผลร้ายกว่าไม่มีทางระบายน้ำเสียอีก

15.20 สรุป

การส่งน้ำและบำรุงรักษา เป็นงานที่ต้องการความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้โครงการชลประทานซึ่งลงทุนเป็นมูลค่ามหาศาล ได้อำนวยประโยชน์ดังเป้าหมายที่วางไว้ มีมาตรการที่ต้องดำเนินงานต่อเนื่องตลอดเวลาคือ

- การฝึกอบรม เจ้าหน้าที่ทุกระดับ
- การศึกษาปัญหา การค้นคว้าวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องทั้งทาง วิศวกรรม การจัดการทางเศรษฐกิจและสังคม รวมทั้งทางด้านเกษตรชลประทานด้วย
- การรวบรวมสถิติ ข้อมูล อย่างละเอียด ถูกต้องแม่นยำและวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผน
- ปรับปรุง แก้ไขจุดอ่อนต่าง ๆ วางแผนดำเนินงาน ทุกขั้นตอนให้เป็นไปได้ และติดตามประเมินผลทุกระยะ
- เน้นหลักด้านการส่งเสริมการใช้น้ำ และความร่วมมือของเกษตรกร เพราะความสำเร็จทั้งปวงขึ้นอยู่กับความร่วมมือของเกษตรกรผู้ใช้น้ำ

ภาคผนวก 15.1 การส่งน้ำให้ข้าว

ข้าว (Oryza sativa L.) แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ Japonica ปลูกอยู่ในแถบอบอุ่น เช่น ญี่ปุ่น เกาหลี จีนตอนเหนือ และ Indica ปลูกอยู่ในแถบร้อน เช่น ไทย อินเดีย ฟิลิปปินส์ นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ที่มีลักษณะกลาง ๆ Javanica พบในพม่า และ ชวา

พันธุ์จาปอนนิก้า มีลักษณะต้นเตี้ย (0.8-1.2 ม.) ไม่ไวต่อช่วงแสง (ปลูกได้ทุกฤดูและอายุตายตัว) สนองตอบต่อไนโตรเจน (เมื่อใส่ปุ๋ย N จะให้ผลผลิตสูงขึ้น) ส่วนพันธุ์อินดิก้า จะตรงข้ามคือต้นสูง ไวต่อช่วงแสง (เก็บเกี่ยวในฤดูเดียวกัน) ไม่สนองตอบต่อไนโตรเจน (เมื่อใส่ปุ๋ย N ลำต้นจะสูงขึ้น ผลผลิตไม่เพิ่มมาก) ลำต้นมักจะอ่อนล้มง่าย ในปัจจุบันได้มีข้าวพันธุ์ผสมใหม่ ที่มีคุณสมบัติคล้ายจาปอนนิก้า แต่ยังคงมีเมล็ดยาว และทนทานโรคคล้ายอินดิก้า

นอกจากนั้น ในประเทศไทยและใกล้เคียงยังมีพันธุ์ข้าวขึ้นน้ำที่ปลูกในน้ำลึก 4-5 ม. ได้ ข้าวน้ำลึกปานกลางที่ทนน้ำลึกกว่า 1 ม. ได้ และยังมีข้าวไร่ที่ทนแล้งคล้ายพืชไร่อีกด้วย แต่ผลผลิตส่วนมากยังไม่ได้ปรับปรุงพันธุ์ให้ดีขึ้น

การส่งน้ำให้ข้าวมากเกินไป ไม่เกิดประโยชน์ ข้าวบางพันธุ์ผลผลิตลดลง น้ำน้อยเกินไปทำให้ข้าวแคระแกรน การที่มีน้ำขังตลอดเวลาทำให้รากข้าวถูกทำลายโดยสภาพของอินทรีย์วัตถุที่สลายตัวง่าย การระบายน้ำบางช่วงจะช่วยถ่ายเทเอาสารมีพิษออก และเพิ่มอ๊อกซิเจนให้แก่รากข้าวด้วย จึงขอรวบรวมแนวคิดในการส่งน้ำให้ข้าวดังนี้

1. ความลึกของน้ำในนา

ได้มีการทดลองหลายแห่ง พอสรุปได้ว่าถ้าน้ำขังในนาถึง 5 ซม. จะให้ผลผลิตดีกว่า ข้าวพันธุ์ผสมใหม่จะให้ผลผลิตลดลงถ้าน้ำลึกกว่า 15-20 ซม. และถ้าลึกมากถึง 90 ซม. บางพันธุ์จะไม่ได้ผลผลิตเลย สำหรับพันธุ์พื้นเมือง เช่น เล็บมือนาง ที่เป็นข้าวทนน้ำท่วม ผลผลิตของนาน้ำลึก น้ำตื้น ไม่แตกต่างกัน ผลการทดลองที่โครงการไร่นาตัวอย่างกาฬสินธุ์ ปรากฏว่าน้ำลึก 5 ซม. ปูนาทำลายข้าวปักดำน้อยมาก ถ้าน้ำลึก 20 ซม. ปูนาทำลายข้าวปักดำใหม่กว่า 90% ดังนั้นพอสรุปได้ว่า ในเขตชลประทานควรจะได้กำหนดพื้นที่ให้เด่นชัดว่าบริเวณใดควบคุมระดับน้ำได้ บริเวณใดน้ำอาจจะยังท่วมลึกมากน้อยเพียงใด เพื่อจะได้เลือกใช้พันธุ์ข้าวและวิธีส่งน้ำให้เหมาะสม ถ้าเป็นไปได้ ไม่ควรส่งน้ำลึกเกินกว่า 10 ซม.

2. การรั่วซึมจากแปลงนา

การรั่วซึมจากแปลงนา การซึมทางข้าง (Lateral Seepage) นาแปลงใกล้เคียงนำเอาไปใช้ได้ ส่วนการรั่วซึมลงทางลึก (Deep Percolation) ในแปลงนาเป็นการสูญเสียน้ำที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ต้องตรวจวัดเพื่อใช้ในการออกแบบด้วย

อัตราการรั่วซึมที่เหมาะที่สุดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน และความเข้มข้นของสารละลายที่จะเป็นอันตรายต่อข้าว อายุของข้าว น้ำที่จะเติมให้ได้ รวมทั้งวิธีเกษตรกรรม เช่น กำหนดการใส่ปุ๋ย

การรั่วซึมมากเกินไป ผลการทดลองที่ IRRI พบว่าน้ำซึม 10 มม./วัน นาน 12 สัปดาห์ จะสูญเสียไนโตรเจนถึงประมาณ 4.6-9 กก./ไร่

การระบายน้ำทางใต้ดินน้อยเกินไป ในดินบางชนิดพบว่าจะเป็นอันตรายต่อข้าว เพราะการสะสมของสารที่เป็นพิษ กรด อินทรีย์วัตถุ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ นอกจากนั้นยังจะมีโรคราก เน่าบางชนิดพบในญี่ปุ่น ไต้หวัน และศรีลังกา อีกด้วย

การเกษตรกรรมแผนใหม่ที่ญี่ปุ่นให้น้ำซึมลงลึก 10-15 มม./วัน จะได้ผลผลิตสูงขึ้น และดินบางชนิดได้มีการฝังท่อระบายน้ำใต้ดิน

สำหรับในแถบที่ปลูกข้าวพันธุ์อินดิก้า ค่ารั่วซึมตามปกติ 1-2 มม./วัน

3. การขาดน้ำ

จากผลการทดลองพบว่า ถ้าข้าวขาดน้ำช่วงการเจริญเติบโตทางต้น (ตั้งแต่ปักดำจนถึงแตกกอเต็มที่) จะไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตมาก แต่ถ้าหากขาดน้ำในช่วงการเจริญเติบโตเพื่อสืบพันธุ์ (ตั้งแต่เริ่มสร้างรวงอ่อนจนถึงเก็บเกี่ยว) ผลผลิตจะต่ำมาก ข้าวจะออกรวงแต่เมล็ดจะลีบ

การทดลองใช้ปุ๋ยไนโตรเจนต่างระดับชดเชยการขาดแคลนน้ำ ปรากฏว่า การขาดแคลนน้ำในช่วงแตกกอ ไนโตรเจนในระดับสูงช่วยให้ผลผลิตไม่ลดลงมากได้ ส่วนการขาดแคลนน้ำในระยะตั้งท้องออกรวงแม้จะให้ไนโตรเจนระดับสูง ผลผลิตก็ยังต่ำลงมาก

สรุปได้ว่าในการจัดสรรน้ำ พึงระมัดระวังอย่าให้ขาดแคลนน้ำในช่วงข้าวเริ่มสร้างรวงอ่อนจนถึงออกรวงเป็นอันขาด เพราะผลผลิตจะลดต่ำมาก

4. วิธีการให้น้ำแก่ข้าว

เปรียบเทียบวิธีการให้น้ำแก่ข้าวหลาย ๆ วิธี เพื่อทดลองหาทางประหยัดน้ำ และได้ผลผลิตสูง ผลการทดลองที่ IRRI ปรากฏดังนี้

(1) ให้น้ำขังตลอดเวลาลึก 10 ซม. (DCF) ผลผลิต 1,210 กก./ไร่ ใช้น้ำ 683 มม.

(2) ให้น้ำขังตลอดเวลาลึก 2.5 ซม. (SCF) ผลผลิต 1,272 กก./ไร่ ใช้น้ำ 559 มม.

(3) ให้น้ำตามแนวคิดไต้หวันระบายน้ำกลางฤดู (II) ผลผลิต 1,294 กก./ไร่ ใช้น้ำ 612 มม.

(4) ให้น้ำแบบระบายน้ำไม่ขังผิวดิน (DS) ผลผลิต 840 กก./ไร่ ใช้น้ำ 409 มม.

(5) ให้น้ำแบบ (4) แต่ขังท่วมระยะหลัง (DS+F) ผลผลิต 1,115 กก./ไร่ ใช้น้ำ 794 มม.

(6) ให้น้ำแบบรอบเวรทุก 7 วัน 5 ซม. (AI) ผลผลิต 1,210 กก./ไร่ ใช้น้ำ 606 มม.

(7) ให้น้ำแบบ (6) แต่ขังท่วมระยะหลัง (AI+F) ผลผลิต 1,343 กก./ไร่ ใช้น้ำ 728 มม.

(8) ให้น้ำ 5 ซม. เมื่อพืชขาดน้ำ (IMS) ผลผลิต 890 กก./ไร่ ใช้น้ำ 498 มม.

จะเห็นว่าผลผลิตน้อยอยู่ 2 วิธี คือ วิธีที่ 4 และ 8 ส่วนวิธีอื่นอีก 6 วิธี ผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในด้านปริมาณน้ำที่ให้แก่ข้าว วิธีขังน้ำตื้นตลอดเวลาหรือวิธีที่ 2 ค่อนข้างประหยัดอย่างเห็นได้ชัด (82%) แต่วัชชพืชอาจมาก วิธีที่ 6 เป็นวิธีที่ใช้ในการออกแบบ ส่วนวิธีที่ 1 เป็นวิธีที่เกษตรกรนิยมทำกันอยู่ปัจจุบัน

สรุปได้ว่าการให้น้ำจะวิธีใดก็ตาม ผลผลิตไม่แตกต่างกัน เว้นแต่ปล่อยให้ข้าวขาดน้ำ

5. ช่วงเวลาการปลูกข้าว

พันธุ์ข้าวแบ่งได้ 2 ประเภทคือ ไวต่อช่วงแสง และไม่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งทั้ง 2 ประเภทนี้การเจริญเติบโตแบ่งได้ดังนี้

(1) ระยะจากหว่านเมล็ดพันธุ์จนถึงระยะแตกกอสูงสุด เรียกว่าระยะเจริญทางลำต้น (Vege-

tative Stage) จะมีการแตกกอ ความสูง และน้ำหนักฟางเพิ่มขึ้น (แบ่งเป็นช่วงตกกล้า 20-30 วัน ช่วงแตกกอ ซึ่งผันแปรตามพันธุ์และฤดูกาล)

(2) ระยะที่ข้าวรอช่วงแสงที่พอเหมาะที่จะสร้างรวงอ่อน ข้าวยังเจริญทางความสูงต่อไป น้ำหนักฟางเพิ่มขึ้นช้า ๆ หน่อเริ่มตายพร้อมใบล่าง (พันธุ์ที่ไม่ไวต่อช่วงแสงจะไม่มีระยะนี้หรือกล่าวได้ว่าช่วงนี้ไม่จำเป็นต้องมี)

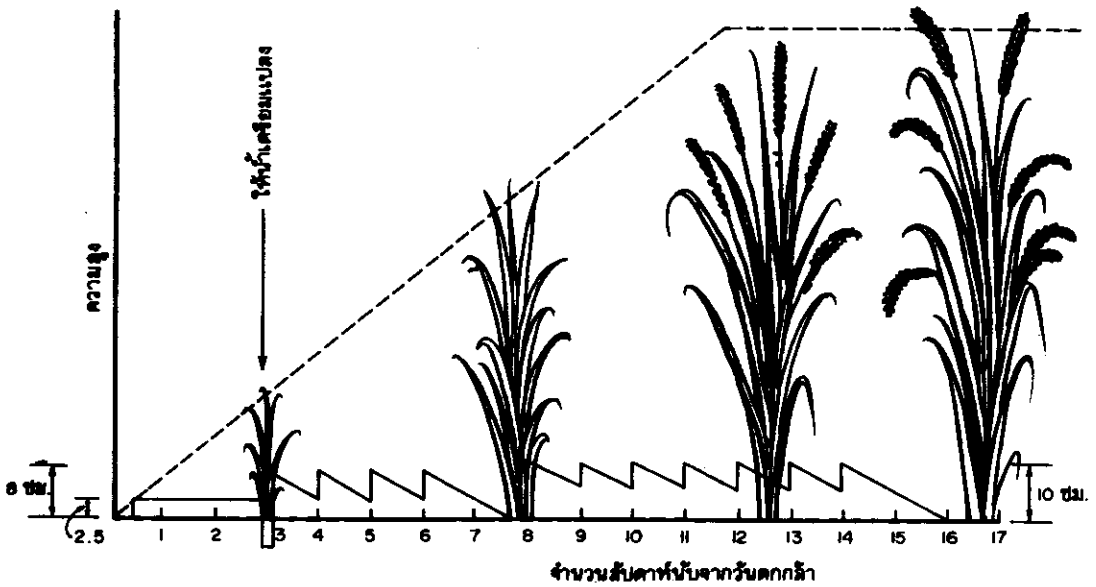
(3) ระยะที่ข้าวเริ่มเปลี่ยนจากการแตกกอมาเป็นเจริญทางการสร้างรวงอ่อน การแตกหน่อจะหยุด หน่อบางหน่อเริ่มตาย ความสูงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนสูงที่สุดเมื่อออกดอกเต็มที่ น้ำหนักฟางจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะธาตุอาหารถูกย้ายไปบำรุงรวงข้าว (ระยะนี้ประมาณ 30-35 วัน)

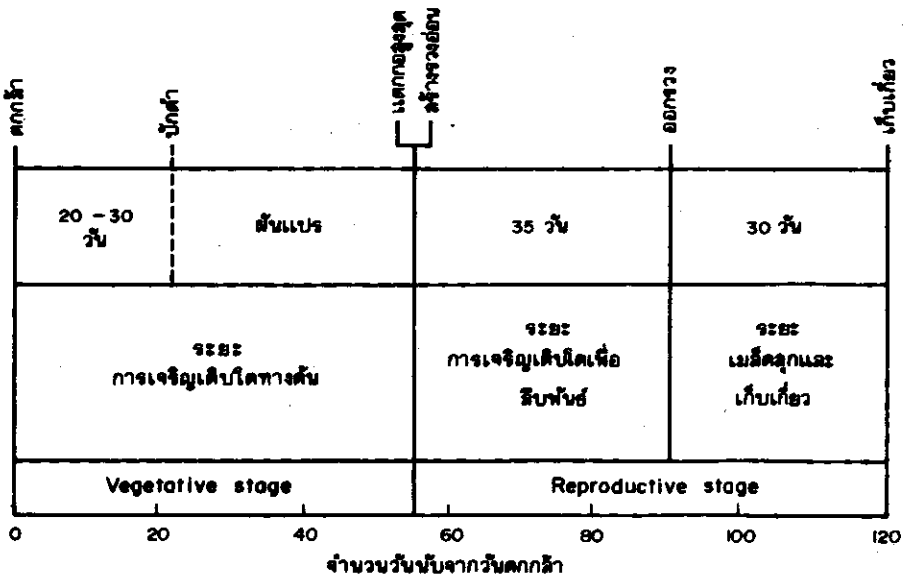
(4) ระยะข้าวแก่ จากข้าวเริ่มออกจนถึงเก็บเกี่ยว น้ำหนักรวงจะเพิ่มอย่างรวดเร็ว น้ำหนักฟางลดลง (ระยะนี้ประมาณ 30 วัน)

เวลาที่สมควรปักดำสำหรับพันธุ์ข้าวที่ไม่ไวต่อช่วงแสง กำหนดเวลาปลูกให้วันออกดอกอยู่ในช่วงเวลาที่มีแสงแดดจัด จะเป็นประโยชน์แก่ข้าวมาก การกำหนดเวลาไม่ยุ่งยาก

สำหรับพันธุ์ที่ไวต่อช่วงแสง การกำหนดเวลาปักดำ มีความสำคัญที่สุด เพราะการออกดอกและเก็บเกี่ยวจะคงที่ในทุก ๆ ปี คลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อมน้อยมาก การปลูกในเวลาไม่เหมาะสม เช่น ปลูกต้นฤดูเกินไป ข้าวต้องใช้เวลานานเกินไปในการเจริญเติบโตทางลำต้น (ในระยะที่ 2 ซึ่งไม่จำเป็น) ทำให้ข้าวสูงขึ้นเรื่อยๆ สร้างใบมาก ข้าวเกิดบังแสงแดด ระหว่างกอ ต้นอ่อนแอ สัมเสียหายมีเมล็ดลีบมาก นอกจากนั้นข้าวมีระยะเวลาอยู่ในนานานทำให้โรค แมลง ศัตรูข้าวมีโอกาสเข้าทำลายได้หลายรอบ และได้ง่ายเมื่อข้าวออกรวง

ระยะเวลาที่ใช้ในการปลูกข้าวให้ได้ผลผลิตสูงนั้น พันธุ์ข้าวหนักที่สุดกำหนดให้เพียง 4 เดือนก็เพียงพอ ส่วนข้าวพันธุ์เบาหรือไม่ไวต่อช่วงแสง อายุประมาณ 120-130 วัน เป็นอายุที่เหมาะสมที่สุด





- ต้นข้าวใช้เวลาประมาณ 35 วัน จากเริ่มแตกกอถึงวันออกรวงและประมาณ 30 วัน จากออกรวงถึงเก็บเกี่ยว
- ระยะการเจริญเติบโตทางต้นสั้น – ยาว ขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว ข้าวบางพันธุ์อาจใช้เวลาถึง 115 วัน หรือมากกว่า

รูปที่ 15.6 ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว

ภาคผนวก 15.2 ความต้องการน้ำของข้าว

การคำนวณปริมาณน้ำที่ข้าวต้องการใช้มีส่วนประกอบในการคำนวณคือ

- ค่า Consumptive Use
- ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลง ซึ่งยังขาดข้อมูล
- ปริมาณการรั่วซึม (Percolation losses)
- ปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall)

1. ค่า Consumptive Use

ได้มีการเปรียบเทียบผลการคำนวณ Consumptive Use กับค่าที่วัดได้จริงในสนามพบว่าสูตรต่าง ๆ มีความคลาดเคลื่อนทั้งนั้น ดังนั้นจึงต้องมีค่า Crop Coefficient มาปรับแก้

$$E_t = K_{co} \cdot E_{tp}$$

E_t Evapotranspiration

E_{tp} = Potential Evapotranspiration

K_{co} = Crop Coefficient

นอกจากการใช้สูตรคำนวณแล้ว จากผลการทดลองตรวจวัด E_t พบว่ามีความสัมพันธ์ผันแปรใกล้เคียงกับค่าระเหยจากถาดระเหย class A pan มาก ผลการตรวจวัดที่โครงการไร่นาตัวอย่างห้วยสีทน กาฬสินธุ์ ในฤดูฝนปี 2509 และปี 2510 ได้สมการ

$(E_t + P)$ แปลงนา (09) = $3.92 + 0.71\ E_{pan}$ $(r = 0.71)$ และ

$(E_t + P)$ แปลงนา (10) = $2.01 + 0.68\ E_{pan}$ $(r = 0.86)$

แสดงว่าค่า P อยู่ระหว่าง 2 - 4 มม./วัน และ

ค่า E_t = ประมาณ $0.7\ E_{pan}$

ผลจากการทดลองตรวจวัดค่า E_t ในแปลงนาที่ IRRI ออกมาใกล้เคียงกัน ดังนั้นควรใช้ค่าระเหย (E_{pan}) จากถาดวัดระเหย class A pan เป็นเครื่องบ่งชี้ค่า E_t ได้ และผลการตรวจวัดค่า E_{pan} ก็มีอยู่ทั่วประเทศ

นอกจากนั้นยังอาจจะใช้ค่า E_{pan} ที่วัดจริงในแต่ละช่วงเวลาคำนวณปรับแก้ค่า E_t เพื่อเพิ่มลดน้ำเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทานได้ด้วย

2. ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลง

ในฤดูแล้งปี 2520 ได้มีการตรวจวัดปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงในการทำนา ในเขตโครงการลำปาว กาฬสินธุ์ ของดินต่างชนิดกัน ผลการตรวจวัดพอสรุปได้ว่า

ดินทึบน้ำ ปริมาณน้ำใช้ในการเตรียมแปลงประมาณ 350 มม.

ดินร่วน (ชุดร้อยเอ็ด) ปริมาณน้ำเตรียมแปลง 300 มม.

เหตุที่ดินเหนียวทึบน้ำใช้น้ำในการเตรียมแปลงมากกว่าดินร่วนเพราะดินเหนียวแห้งมากจนมีรอยแตกระแหง รอยแตกลึกถึง 50 ซม. น้ำจึงต้องไหลลงไปทำให้ดินขยายตัวก่อน

ในการทำนาปรัง ปี 2522 ที่โครงการสามชุก สุพรรณบุรี ได้มีการวัดน้ำที่ส่งเพื่อใช้ในการเตรียมแปลง พบว่าใช้น้ำปริมาณมากถึง 344-671 มม. ซึ่งสูงกว่าข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบ อาจ

จะเป็นปัญหาให้วางแผนส่งน้ำได้ลำบากขึ้น

ควรจะทำการตรวจวัดให้มีข้อมูลมากกว่านี้ เพื่อจะได้วางแผนการส่งน้ำได้ใกล้เคียงความจริง

3. ปริมาณการรั่วซึม (Percolation losses)

เครื่องมือตรวจวัดค่า P อย่างง่าย ๆ คือใช้ถังกลม 2 ถัง เปิดปากเปิดก้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. และ 40 ซม. สูง 50 ซม. ฝังลงในดินลึกประมาณ 25 ซม. ซ้อนกัน 2 ชั้น ทำฝาปิดป้องกันการระเหย เติมน้ำให้ใกล้เคียงระดับในนา แล้ววัดน้ำที่สูญหายไปแต่ละวันเป็นค่า P

ดินร่วนปนทรายเช่นดินในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีชั้นดินละเอียดทึบน้ำเป็นดาลอยู่ใต้ผิวดินลึกประมาณ 18-20 ซม. (พันระดับไถพลิกดิน) ชั้นทึบน้ำนี้หนาประมาณ 8-10 ซม. ถ้าหากชั้นทึบน้ำนี้ถูกทำลาย น้ำจะรั่วซึมจากแปลงมาก ดังนั้นในการฝังถังวัดค่ารั่วซึม ไม่ควรฝังลึกจนชั้นทึบน้ำฉีกขาด ควรฝังลึกประมาณ 22-25 ซม. ก็พอ

การวัดค่ารั่วซึมในแต่ละโครงการ ควรตรวจวัดในดินแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและส่งน้ำต่อไป

4. ปริมาณฝนใช้งาน (Effective rainfall)

ปริมาณฝนที่นำไปใช้งานได้สำหรับนาข้าว จะแตกต่างจากของพืชไร่ เพราะในนาข้าวมีคันนาที่ขังน้ำส่วนเกินจากข้าวใช้ประจำวัน เอาไว้ใช้ในช่วงหลังได้บางส่วน ถ้าคันนาสูงมากเช่นคันนาทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อาจจะดักน้ำฝนไว้ได้มากกว่า 100 มม./วัน ถึงอย่างไรก็ตามน้ำส่วนหนึ่งจะเป็นส่วนเกินที่ล้นหรือซึมสูญหายไป และได้มีวิธีประมาณค่านี้ต่าง ๆ กัน คือ

(1) กองอุทกวิทยา กรมชลประทาน

ปริมาณฝนใช้งานในการทำนา คำนวณเป็นเปอร์เซนต์จากฝนตกประจำวันของเดือนต่าง ๆ ดังนี้

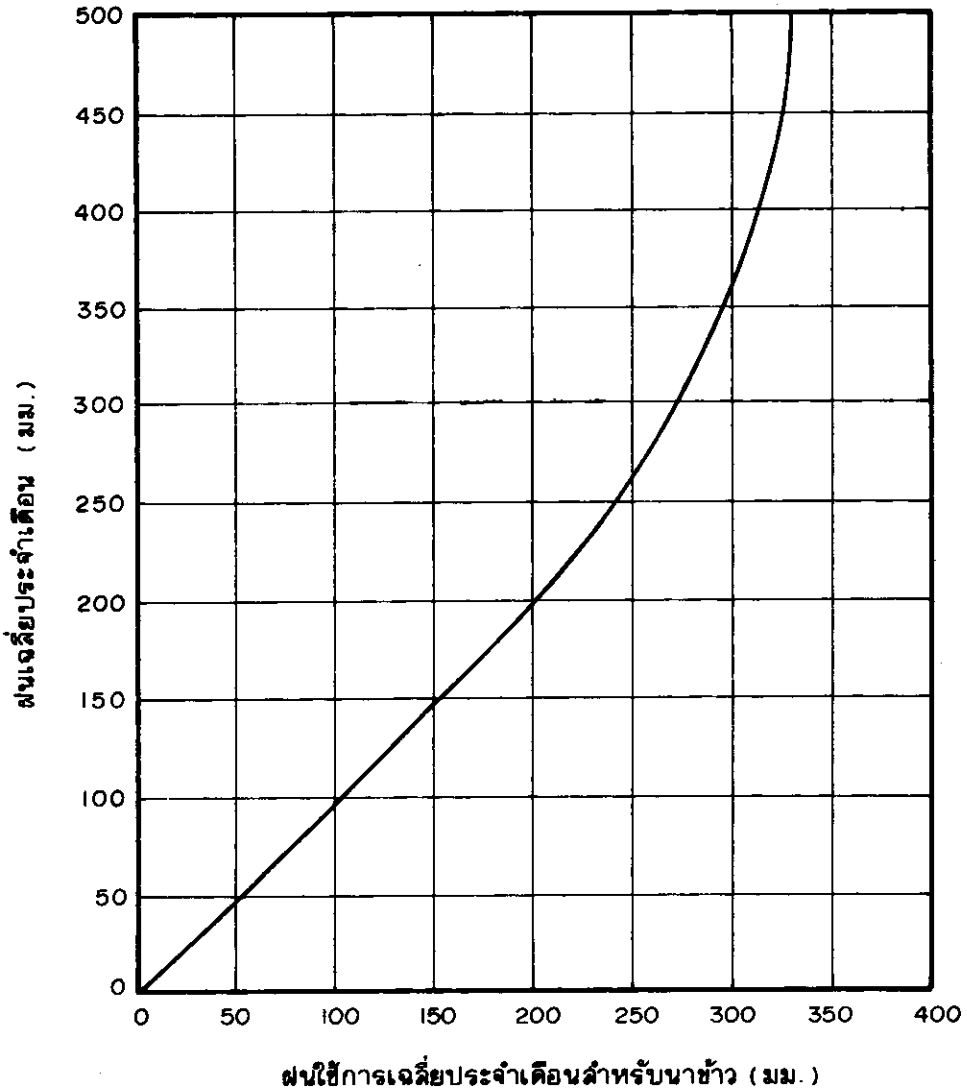
- เดือนในต้นฤดูฝน เม.ย. จนถึง ก.ย.	ฝนใช้งาน	75%	ของฝนจริง
- เดือนปลายฤดูฝน ต.ค.	"	65%	"
- เดือนต้นฤดูแล้ง พ.ย.	"	80%	"
- เดือนในฤดูแล้ง ม.ค. จนถึง มี.ค.	"	90%	"

(2) **ECI**

Engineering Consultant Inc. ได้ทำกราฟคำนวณค่าฝนใช้งานสำหรับทำนาในเขตโครงการลำปาว กาฬสินธุ์ ดังรูป

(3) **Acres**

ในภาคกลาง บริษัท Acres International Ltd. ได้รายงานการคำนวณปริมาณฝนใช้งานไว้ดังนี้



รูปที่ 15.7 ค่าเฉลี่ยฝนที่ใช้งานได้ประจำเดือนสัมพันธ์กับฝนประจำเดือนในแปลงนาของ ECI

ตารางที่ 15.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝนที่ตกทั้งหมด และ Effective Rainfall

ฝนตกทั้งหมด มม.	Effective Rainfall เป็นเดือน (มม.)							
	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3			
	ต.ค.	เดือนอื่น ๆ	ต.ค.	เดือนอื่น ๆ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	เดือนอื่น ๆ
0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	25	25	25	25	25	25	25
50	43	50	50	50	50	50	50	50
100	58	80	92	100	100	100	100	100
150	71	93	95	126	150	140	120	150
200	82	100	100	135	190	165	120	200
250	84	110	100	147	215	180	120	250
300	84	120	100	156	234	189	120	275
400	84	120	100	160	264	212	120	300
500	84	120	100	160	264	215	120	300

กรณีที่ 1 ได้แก่สภาพการทำนาในปัจจุบันซึ่งสามารถเก็บน้ำฝนไว้ในแปลงนาได้น้อยมาก

กรณีที่ 2 ได้แก่สภาพการทำนาในปัจจุบัน แต่ปริมาณน้ำฝนที่เก็บไว้ในแปลงนามีความสำคัญต่อการเพาะปลูก

กรณีที่ 3 ในอนาคตถ้ามีการปรับปรุงสภาพแปลงนาให้สามารถเก็บน้ำฝนไว้ให้พืชใช้ได้มากขึ้น

บรรณานุกรม

AMERICAN ASSOCIATION FOR VOCATIONAL INSTRUCTION MATERIAL, (1971). Planning for an Irrigation System, American Association for Vocational Instruction Material, Engineering Center, Athens, Georgia.

ASIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY (AIT), (1980). Water Balance and Economic Appraisal of Groundwater Development Project in Sukhothai Province, AIT Research Report No.119 RID-AIT, August.

BIEN, G., (1979). Instrument and Control Structures in Irrigation Water Management, Background Paper for Irrigation Water Management Training Session XIX.

BLANEY, H.F. and CRIDDLE, W.D. (1962). Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirements USDA Tech. Bull. 1275, U.S. Government Printing Office.

BOOHER, L.G., (1976). Surface Irrigation, F.A.O., Rome.

BOS, M.G., Discharge Measurement, The Working Group on Small Hydraulic Structure, Laboratorium Voor Hydraulica.

HAGAN, R.M., HAISE, H.R. and EDMINISTER, T.W., (1967). Irrigation of Agricultural Lands, American Society of Agronomy, Nomograph No.11.

HOUSTON, C.E., (1967). Drainage of Irrigated Lands, Circular 504 (Revised), Division of Agricultural Sciences, University of California.

ISRAELSEN, O.W. and HANSEN, V.E., (1967). Irrigation Principles and Practices, Third Ed. John Wiley and Sons, Inc.

JURINAH, J.J., Salt-Effected Soils (Lecture Notes), Utah State University.

KRAATZ, D.B. and MAHAJAN, I.K., (1975). Small Hydraulic Structures, F.A.O. Irrigation and Drainage Paper No.26/2, Rome.

LIST, R.J., (1966). Smithsonian Meteorological Tables, Smithsonian Miscellaneous Collections, Vol.114.

LUTHIN, J.N., (1966). Drainage Engineering, John Wiley and Sons, Inc.

MARR, C.J. The Border Method of Irrigation, California Agricultural Experiment Station Extension Service, Circular 408, Fourth Printing.

MARR, C.J., (1957). Grading Land for Surface Irrigation, California Agricultural Experiment Station Extension Service, Circular 438, revised, July.

MARR, C.J., (1967). Furrow Irrigation, California Agricultural Experiment Station Extension Service, Manual 37.

MERRIAM, J.L., (1968). Irrigation System Evaluation and Improvement, Blake Printery, California.

MERRIAM, J.L. and KELLER, J., (1978). Farm Irrigation System Evaluation: A Guide for Management, Utah State University, Logan, Utah.

PAIR, C.H. and Others, (1969). Sprinkler Irrigation, Third Edition, Sprinkler Irrigation Association, Washington D.C.

PALAYASOOT, PITOON., (1965). Estimation of Pan Evaporation and Potential Evapotranspiration of Rice in the Central Plain of Thailand by Using Various Formulas based on Climatological Data, M.S. Thesis, College of Engineering, Utah State University.

RICHEY, C.B., (1961) ed., Agricultural Engineers' Handbook, Mc Graw Hill Book Co.

SCHWAB, G.O. and Others (1966). Soil and Water Conservation Engineering, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc.

SOIL CONSERVATION SERVICE, U.S.D.A., (1970). SCS National Engineering Handbook, Section 15: Chapter 1 - Soil-Plant-Water Relationship, Chapter 3 - Planning Farm Irrigation System, Chapter 9 - Measurement of Irrigation Water, Chapter 12 - Land Leveling.

ULLAH, Enayet (1979). Irrigation Efficiency Evaluation of Lam Pao Project, AIT Thesis no.1364, Asian Institute of Technology.

U.S. Bureau of Reclamation (1978). Design of Small Canal Structures, U.S. Department of the Interior, pp.243-296.

U.S. Bureau of Reclamation (1975). Water Measurement Manual, U.S. Department of the Interior, Second Edition, U.S. Government Printing Office, 327 P.

U.S. Department of Agriculture (1955). The Yearbook of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

U.S. Department of Agriculture (1954). Agriculture Handbook No.60.

UTAH WATER RESEARCH LABORATORY (1967). Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement Structures: Part 1 - Submerged Flow, Part 2 - Parshall Flumes, Part 3 - Cutthroat Flumes, Part 4 - Weirs, College of Engineering, Utah State University, Logan, Utah.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล (2524) หลักการชลประทาน, ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สมชาย จันทร์ศรี (2522) การวัดปริมาณน้ำและการตรวจตราสภาพน้ำในแปลงนา เอกสารประกอบคำบรรยายการอบรมพนักงานส่งน้ำและนายตรวจชลประทาน