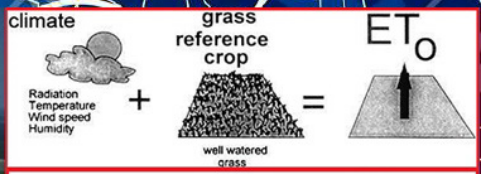
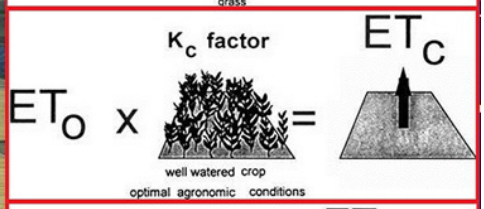
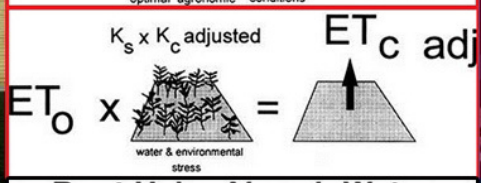
เอกสารประกอบการสอนวิชา 207211

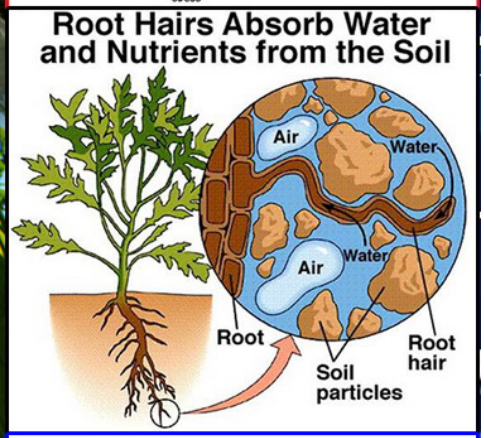
วิศวกรรมชลประทานเบื้องต้น

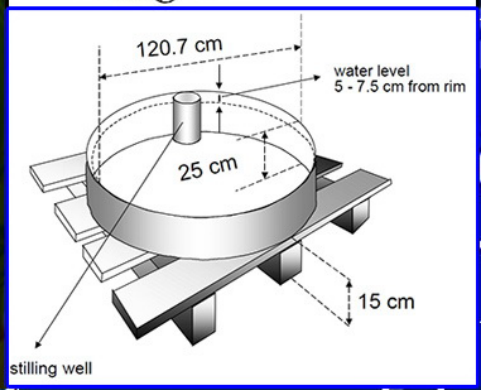
Introduction to Irrigation Engineering











ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน 2558

คำนำ

เอกสารชุดนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนวิชา 02207211 วิศวกรรมชลประทานเบื้องต้น (Introduction to Irrigation Engineering) ซึ่งเป็นวิชาบังคับตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา-ชลประทาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้นิสิตมีพื้นฐานความรู้ ความเข้าใจในหลักทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับวิศวกรรมชลประทานในภาพรวม การเอกสารชุดนี้มี 10 บท เนื้อหาคลอบคลุมบทนำเกี่ยวกับความสำคัญของการชลประทาน ประวัติการพัฒนาการชลประทานในประเทศไทย องค์ประกอบระบบชลประทาน แนวคิดในการจัดการน้ำ ความสัมพันธ์ระหว่างดินน้ำและพืช หลักทฤษฎีและวิธีการคำนวณความต้องการน้ำของพืชและความต้องการน้ำชลประทาน หลักและวิธีการกำหนดการให้น้ำแก่พืช วิธีการให้น้ำแบบต่างๆ หลักและวิธีการวิธีการส่งน้ำ การควบคุมน้ำและการระบายน้ำ และแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบระบบชลประทาน วิชานี้จะเป็นพื้นฐานสำคัญของวิชาวิศวกรรมชลประทานอื่นๆ เช่นวิชาการออกแบบระบบชลประทานในแปลงนา วิชาวิศวกรรมระบายน้ำ วิชาการวางแผน-การออกแบบ และการจัดการระบบชลประทานและแหล่งน้ำ คณะผู้จัดทำหวังว่าเอกสารชุดนี้จะเป็นประโยชน์ต่อทั้งนิสิตผู้เรียนวิชานี้ และผู้สนใจทั่วไป

รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศธร โสภาพันธ์
25 ธันวาคม 2558

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
หน้าปก	i
คำนำ	ii
สารบัญ	iii
บทที่ 1 บทนำ (Introduction)	1
1.1 คำนำ (Introduction)	1
1.2 ขอบเขตงานทางวิศวกรรมชลประทาน (Scope of Irrigation Engineering Works)	3
1.3 วิวัฒนาการการชลประทานในประเทศไทย (Irrigation Development in Thailand)	5
1.4 องค์ประกอบของระบบชลประทาน (Irrigation System Components)	7
1.4.1 แหล่งน้ำ (Water Resources)	8
1.4.2 หัวงานและอาคารประกอบ (Headworks and Appurtenent Structures)	8
1.4.3 ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ (Conveyance and Drainage)	11
1.4.4 ระบบให้น้ำ (Water Application System)	12
1.4.5 ระบบการบริหารจัดการน้ำ (Water Management System)	12
1.5 สิ่งแวดล้อมของโครงการชลประทาน (Environment Problems of Irrigation)	14
1.6 การวางโครงการชลประทาน (Irrigation Project Planning)	15
1.6.1 แนวคิดในการวางโครงการ (Project Planning Concept)	15
1.6.2 การศึกษาความเหมาะสมของโครงการ (Feasibility Study)	17
1.6.3 การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment, EIA)	18
1.7 การจัดการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Management)	22
1.7.2 หลักการจัดการน้ำชลประทาน (Principle of Irrigation Water Management)	22
1.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการจัดการน้ำ (Factors Affecting The Success of Water Management)	24
1.7.3 เครื่องมือสำหรับการบริหารจัดการน้ำ (Tools for Water Management)	26
1.8 เอกสารอ้างอิง	27
1.9 แบบฝึกหัด	29
บทที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช (Soil-Water-Plant Relationships)	30
2.1 ความจำเป็นต้องมีการชลประทาน	30
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน	32
2.3 ชนิดของน้ำในดิน	42
2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน	45

2.5 ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (Allowable Soil Moisture Deficiency, SMD) 47
2.6 การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน 48
2.7 การหาความชื้นในดินโดยการชั่งน้ำหนัก 49
2.8 ตัวอย่างการกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยการวัดความชื้นของดิน 51
2.9 ตัวอย่างการกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยพิจารณาถึงความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ 52
2.10 การดูดซึมน้ำของดิน (Intake Characteristics of Soil) 54
2.11 การรั่วซึมในแปลงนา (Percolation & Seepage) 65
2.12 เอกสารอ้างอิง 68
2.13 แบบฝึกหัด 69
บทที่ 3 ความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirements) 71
3.1 คำนำ 71
3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำและระเหย(Factors Affecting Evapotranspiration) 72
3.3 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (Determining Crop Evapotranspiration) 73
3.4 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration) 97
3.5 การตอบสนองของผลิตพืชเนื่องจากการขาดน้ำ (Yield Response to Water) 116
3.6 อิทธิพลของดินเค็มต่อการขาดน้ำ (Effect of Soil Salinity onWater Stress) 117
3.7 เอกสารอ้างอิง 123
3.8 แบบฝึกหัด 124
3.9 ภาคผนวก 131
บทที่ 4 ความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirements) 141
4.1 คำนำ 141
4.2 สูตรการคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน (Formula for Calculation of Irrigation Water Requirements) 142
4.3 ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirements) 143
4.4 ปริมาณการรั่วซึมน้ำในแปลงนา (Percolation in Paddy Field) 143
4.5 ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมอื่นๆ(Other Water Requirements) 144
4.6 ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall) 147
4.7 ประสิทธิภาพของการชลประทาน (Irrigation Efficiency) 154
4.8 การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทาน(Calculation of Irrigation Water Requirements) 161
4.9 การหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานโดยโปรแกรม CROPWAT 165
4.10 เอกสารอ้างอิง 175
4.11 แบบฝึกหัด 167

บทที่ 5 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช (Irrigation Scheduling) 183
5.1 หัวใจของการชลประทานระดับไร่นา 183
5.2 คุณสมบัติของดินเกี่ยวข้องกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช 183
5.3 ช่วงวิกฤตต่อการขาดน้ำของพืช 194
5.4 องค์ประกอบอื่น ๆ กับการกำหนดการให้น้ำ 194
5.5 วิธีกำหนดการให้น้ำ 198
บทที่ 6 วิธีการให้น้ำชลประทาน (Irrigation Methods) 224
6.1 ความหมายและขอบเขตการศึกษา 224
6.2 การให้น้ำทางผิวดิน (Surface irrigation) 226
บทที่ 7 การส่งน้ำชลประทาน (Irrigation Water Delivery) 260
7.1 ความหมาย “การส่งน้ำ” 260
7.2 หลักของการส่งน้ำชลประทาน 260
7.3 วิธีการส่งน้ำชลประทาน 260
7.4 แบบฝึกหัด 271
บทที่ 8 การระบายน้ำ (Drainage) 272
8.1 ความหมาย 272
8.2 ประเภทของงานระบายน้ำ 272
8.3 หลักการระบายน้ำผิวดิน 273
8.4 ส่วนประกอบของระบบระบายน้ำผิวดิน 274
8.5 หลักการระบายน้ำใต้ผิวดิน 274
8.6 ทางระบายน้ำใต้ดิน 276
8.7 การเลือกระบบระบายน้ำ 278
8.8 แบบฝึกหัด 278
บทที่ 9 การควบคุมการส่งน้ำ (Water Delivery Control) 280
9.1 ความหมายของคำว่า “การควบคุมการส่งน้ำ” 280
9.2 ประเภทของการควบคุมการส่งน้ำ 282
บทที่ 10 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบระบบชลประทาน (Basic Foundamental of Canal Design) 286
10.1 ข้อมูลที่ต้องการเพื่อคำนวณออกแบบหน้าตัดคลองส่งน้ำ 286
10.2 คลองส่งน้ำชลประทาน 289
10.3 แบบฝึกหัด 292

บทที่ 1 | บทนำ (Introduction)

1.1 คำนำ (Introduction)

การชลประทาน ถือเป็นศาสตร์เก่าแก่โบราณ เทียบเท่ากับอารยะธรรมของโลก (Irrigation is an old art as old as civilization) อารยะธรรมของโลกถือกำเนิด เปลี่ยนแปลงและเสื่อมสลายไปตามการพัฒนาการชลประทาน (Hansen, *et. al.,* 1980)

การชลประทานโดยนิยามทั่วไปหมายถึง การให้น้ำแก่พืช แต่ถ้ามองให้ลึกลงไปแล้วจะหมายถึงเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมความชื้นในเขตรากพืช เพื่อให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลผลิตทั้งปริมาณและคุณภาพตามที่ต้องการ ซึ่งถ้ามองในกรอบนี้แล้วการชลประทานจะเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีต่างๆ ดังต่อไปนี้ (Rydzewski, 1987)

- การให้น้ำแก่พืช
- การควบคุมสภาพบรรยากาศรอบๆ ต้นพืช
- การระบายน้ำในดิน
- การระบายน้ำผิวดิน
- การป้องกันน้ำท่วมพื้นที่เกษตรกรรม
- การพัฒนาแหล่งน้ำ
- การส่งน้ำ
- การจัดสรรน้ำ
- การอนุรักษ์น้ำ
- การจัดการคุณภาพน้ำ
- การพัฒนาพื้นที่เกษตรชลประทาน

ซึ่งจะเห็นได้ว่าการชลประทานมีขอบเขตงานที่กว้างขวาง มีความเกี่ยวข้องกับ คน ดิน น้ำ พืช ภูมิอากาศ ภูมิประเทศ และสิ่งต่างๆ มากมาย ดั้งนั้น วิศวกรชลประทาน ซึ่งมีหน้าที่ในการวางแผน ออกแบบ ก่อสร้าง และบริหารโครงการชลประทาน จึงจำเป็นที่จะต้องมีความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และศาสตร์แขนงต่างๆ ดังนี้

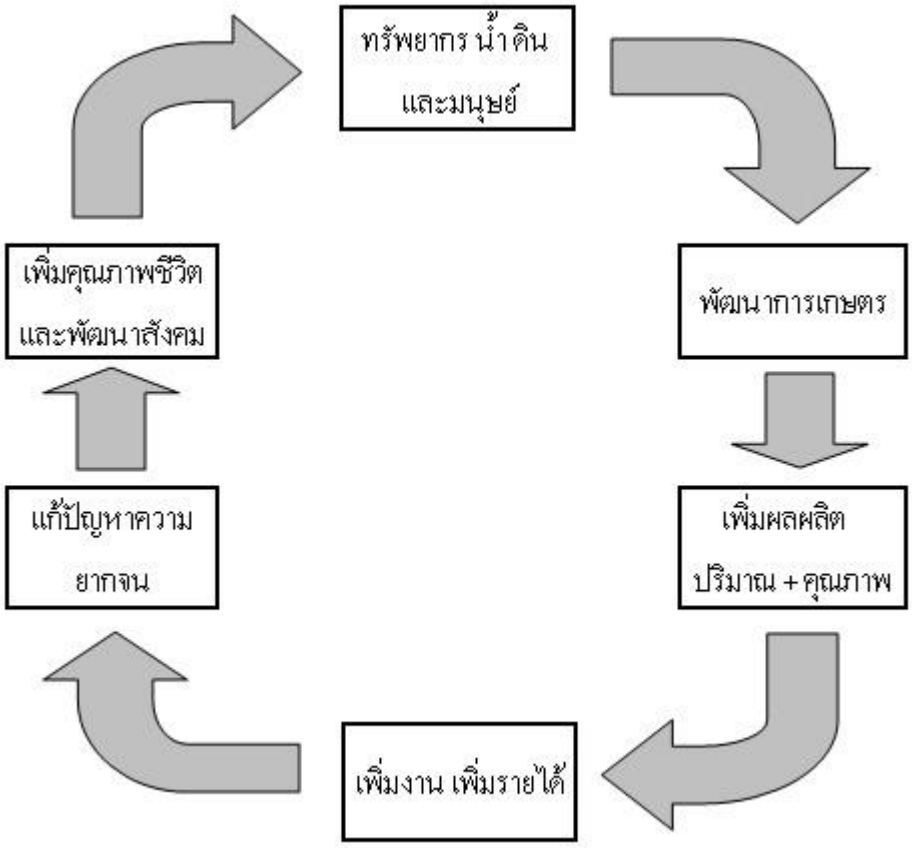
- **วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ** ซึ่งเกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์สภาพน้ำฝน-น้ำท่า การพัฒนาแหล่งน้ำทั้งผิวดินและใต้ดิน การวางแผนและการจัดการน้ำในระดับลุ่มน้ำทั้งปริมาณและคุณภาพและการอนุรักษ์น้ำ

- **วิศวกรรมโยธา** ด้านวิศวกรรมสำรวจ วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมชลศาสตร์ วิศวกรรมฐานราก วิศวกรรมก่อสร้าง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการวางแผน สำรวจ ออกแบบ และการก่อสร้างเขื่อน และอาคารชลประทานขนาดใหญ่
- **วิศวกรรมชลประทาน** ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการวางแผน สำรวจ ออกแบบ และก่อสร้าง ระบบส่งน้ำ ระบบให้น้ำ ระบบระบายน้ำ ถนนและทางลำเลียงในไร่นา แหล่งเก็บน้ำในไร่นา การจัดรูปที่ดิน การส่งน้ำและบำรุงรักษาโครงการชลประทาน และการจัดการน้ำชลประทาน
- **ศาสตร์อื่นๆ** ได้แก่ ด้านสังคม ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านการจัดการ และด้านเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม

จากความหมายของคำว่า **“การชลประทาน”** ตามที่กล่าวมาแล้ว จึงสามารถให้นิยามคำว่า **“วิศวกรรมชลประทาน”** เพื่อความชัดเจนได้ดังนี้

วิศวกรรมชลประทานคือวิชาที่เกี่ยวกับการพัฒนาแหล่งน้ำ การจัดสรรน้ำจากแหล่งน้ำ การส่งน้ำและการระบายน้ำ การให้น้ำแก่พืช และรวมถึงการควบคุมคุณภาพน้ำ ดังนั้นผู้เรียนจึงจำเป็นต้องมีความรู้ศาสตร์ในสาขาต่างๆ เช่น วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ วิศวกรรมชลศาสตร์ วิศวกรรมสำรวจ วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมฐานราก หลักการชลประทานและการระบายน้ำ เศรษฐศาสตร์ สังคม และสิ่งแวดล้อม เพื่อนำความรู้ทั้งหลายมาประยุกต์ใช้ในการวางแผน สำรวจ ออกแบบ ก่อสร้าง และบริการโครงการชลประทาน ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ประโยชน์ของระบบชลประทาน คือการนำเอาทรัพยากรน้ำ ดินและมนุษย์ มาใช้เพื่อการพัฒนาการเกษตร โดยมีเป้าหมายอันดับแรกเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและรายได้ของเกษตรกร และเป้าหมายระดับประเทศเพื่อการแก้ปัญหาความยากจน เพิ่มคุณภาพชีวิต และ พัฒนาสังคม ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ประโยชน์ของการชลประทาน

1.2 ขอบเขตงานทางวิศวกรรมชลประทาน (Scope of Irrigation Engineering Works)

วิศวกรรมชลประทานมีขอบเขตงานที่กว้างขวาง ระบบชลประทานจะสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์และเกิดประโยชน์ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ขึ้นอยู่กับผลการดำเนินงานในแต่ละส่วน หรือแต่ละขั้นตอน ดังนั้นวิศวกรชลประทานจึงจำเป็นต้องมีความรู้หลากหลายในวิชาต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1.1 เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานตั้งแต่ การวางแผน การสำรวจ การออกแบบโครงการ การก่อสร้างโครงการ การบริหารโครงการ การส่งน้ำและบำรุงรักษา การพัฒนาพื้นที่ไร่นาชลประทานและการจัดรูปที่ดิน การออกแบบระบบระบบให้น้ำและระบบระบายน้ำในแปลงไร่นา การอนุรักษ์น้ำ และการจัดการคุณภาพน้ำ ได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์

ตารางที่ 1.1 สรุปขอบเขตงานทางวิศวกรรมชลประทานและพื้นฐานความรู้ที่จำเป็นในการทำงาน

ขอบเขตงานทางวิศวกรรมชลประทาน	**พื้นฐานความรู้ที่ต้องการ**
การวางแผน	อุทกวิทยาทางวิศวกรรม เกษตรชลประทาน เศรษฐศาสตร์-สังคม สิ่งแวดล้อม การวางโครงการ
การสำรวจ	วิศวกรรมสำรวจ ปฐพีกลศาสตร์ ปฐพีวิทยา
การออกแบบ	วิศวกรรมชลประทาน วิศวกรรมชลศาสตร์ วิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมฐานราก
การก่อสร้าง	การบริหารงานก่อสร้าง
การบริหารโครงการ	การจัดการน้ำ
การพัฒนาพื้นที่ไร่นาชลประทานและการจัดรูปที่ดิน	การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา วิศวกรรมการระบายน้ำ
การออกแบบระบบให้น้ำและระบบระบายน้ำในไร่นา	การให้น้ำทางผิวดิน การให้น้ำแบบฉีดฝอยและน้ำหยด วิศวกรรมการระบายน้ำ
การอนุรักษ์น้ำ	วิศวกรรมการอนุรักษ์ดินและน้ำ
การจัดการคุณภาพน้ำ	สิ่งแวดล้อม

1.3 วิวัฒนาการการชลประทานในประเทศไทย (Irrigation Development in Thailand)

ตามหลักฐานทางประวัติศาสตร์ พบว่าประเทศไทยรู้จักพัฒนาการชลประทานเป็นเวลานานเท่ากับประวัติศาสตร์ของประเทศ เช่น คนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือรู้จักการสร้างอ่างเก็บน้ำเป็นเวลานับพันปี คนในภาคเหนือรู้จักการสร้างเหมืองฝายน้ำเพื่อนำน้ำมาใช้ในการเพาะปลูกกว่า 700 ปีมาแล้ว และ คนในภาคกลางรู้จักการขุดคลองเพื่อชักน้ำจากแม่น้ำเข้าไปยังพื้นที่ทำนาเมื่อหลายร้อยปีมาแล้ว ประวัติการพัฒนาการชลประทานของประเทศที่สำคัญ พอสรุปเป็นช่วงๆ ได้ดังนี้ (กรมชลประทาน. 2529)

(1) ยุคล้านนา

คนไทยล้านนาสามารถสร้างเหมืองฝายด้วยวัสดุธรรมชาติ พระเจ้าเม็งรายมหาราช ได้ทรงตรากฎหมายว่าด้วยการทดน้ำ ตลอดจนการดูแลและจัดสรรน้ำเพื่อการเกษตร ให้เกิดความยุติธรรมและเสมอภาคในการใช้น้ำ

(2) สมัยกรุงศรีอยุธยา

สมเด็จพระรามาธิบดีที่ 1 (พระเจ้าอู่ทอง) ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้จัดตั้ง **กรมนา** หนึ่งในจตุสดมภ์ขึ้นรับผิดชอบเกี่ยวกับการเกษตรกรรมและการชลประทาน

(3) สมัยรัตนโกสินทร์

พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว(ร.5) มีพระบรมราชานุญาติให้เอกชนตั้ง **บริษัทขุดคลองแลคูนาสยาม (Siam Canals, Lands and Irrigation Company)** ในปี พ.ศ. 2431 บริษัทได้รับสัมปทานให้ขุดคลองในทุ่งหลวงหรือทุ่งรังสิต เป็นระยะเวลา 25 ปี โดยได้รับผลตอบแทนจากรัฐบาลในรูปของที่ดินตามแนวสองฝั่งคลองที่ขุดเป็นกรรมสิทธิ์ และทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้จัดตั้ง **กรมคลอง** ขึ้น เมื่อ พ.ศ. 2445 เพื่อให้มีหน้าที่ในการขุดคลองเพื่อการคมนาคมและเก็บกักน้ำไว้ใช้ในการเพาะปลูก และดูแลบำรุงรักษาคลองต่างๆ ไม่ให้ตื้นเขิน

ในช่วงปี พ.ศ. 2445-2452 ได้ว่าจ้าง นายเจ โฮมัน วัน เดอร์ ไฮเด (Mr. J. Homan van der Heide) วิศวกรชาวฮอลันดา มาเป็นเจ้ากรมคลอง รับเงินเดือน 2,000 บาทต่อเดือน ในช่วงเวลานี้ซึ่งได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการชลประทานและการระบายน้ำในเขตลุ่มน้ำเจ้าพระยาตอนล่าง และเสนอแนะให้มีการสร้างเขื่อนเจ้าพระยาที่ จ.ชัยนาท ซึ่งประมาณว่าต้องใช้วงเงินสูงถึง 47 ล้านบาท ถือว่าสูงมากขณะนั้น จึงต้องชะลอโครงการไว้ก่อน

ปี พ.ศ. 2456 ได้ว่าจ้าง เซอร์ธอมมัส วอร์ด (Sir Thomas Ward) ผู้เชี่ยวชาญ ชาวอังกฤษ มาช่วยพัฒนาการชลประทาน ในช่วงนี้มีการก่อสร้างโครงการขนาดย่อม 5 โครงการ ได้แก่ โครงการแม่น้ำสุพรรณ โครงการเพชรบุรีฝั่งตะวันออก โครงการป่าสักใต้ โครงการชลประทานบริเวณจังหวัดลำปาง และโครงการชลประทาน-ระบายน้ำ ในบริเวณพื้นที่ลุ่มริมแม่น้ำเจ้าพระยา ในเขตจังหวัดพระนครศรีอยุธยา เรื่อยลงมาจนถึงชายฝั่งทะเล ใช้วงเงิน 23 ล้านบาท

พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัว(ร.6) ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้จัดตั้ง **กรมทดน้ำ**ในปี พ.ศ. 2547 เพื่อทำหน้าที่พิจารณาและจัดสร้างงานพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการเพาะปลูก

พระบาทสมเด็จพระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว(ร.7) ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าให้เปลี่ยนชื่อกรมทดน้ำเป็น **กรมชลประทาน** ในปี พ.ศ. 2470 และได้ขยายงานพัฒนาแหล่งน้ำและการชลประทานที่สำคัญ ได้แก่

- โครงการชลประทานแม่แฝก จ.เชียงใหม่
- โครงการชลประทานแม่ปิงเก่า จ.เชียงใหม่
- โครงการชลประทานแม่วัง จ.ลำปาง
- โครงการชลประทานลุ่มน้ำลำตะคอง จ.นครราชสีมา
- โครงการชลประทานห้วยเสนง จ.สุรินทร์
- โครงการบรรเทาอุทกภัยทุ่งแซงบาดาล จ.ร้อยเอ็ด
- โครงการบรรเทาอุทกภัยบ้านตูม-บ้านติ้ว จ.มหาสารคาม
- โครงการชลประทานนครนายก จ.นครนายก
- โครงการสามชุก จ.สุพรรณบุรี
- โครงการมะขามเฒ่า จ.ชัยนาท

(4) ยุคหลังสงครามโลกครั้งที่ 2

หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 ถือเป็นยุคเริ่มต้นของการพัฒนาการชลประทานสมัยใหม่ และมีการพัฒนาต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

ปี พ.ศ. 2493 เริ่มก่อสร้างเขื่อนเจ้าพระยาที่ จ.ชัยนาท เพื่อทดน้ำเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูกสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา ตามแนวคิดของนายเจ โฮมัน วัน เดอร์ ไฮเด โดยใช้เงินกู้ธนาคารโลก 18 ล้านเหรียญสหรัฐ

ปี พ.ศ. 2500 เริ่มก่อสร้างเขื่อนภูมิพล เขื่อนเก็บกักน้ำเอนกประสงค์แห่งประเทศไทย โดยใช้เงินกู้จากธนาคารโลก 66 ล้านเหรียญสหรัฐ

หลังจากนั้นมีโครงการพัฒนาการชลประทานโดยการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำที่สำคัญเกิดขึ้นดังตารางที่ 1.2 ผู้อ่านสามารถดูรายละเอียด เขื่อนทดน้ำ และเขื่อนเก็บกักน้ำที่สำคัญของประเทศ ได้จากเว็บไซด์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ http://irre.ku.ac.th/TDAMS.htm

ตารางที่ 1.2 โครงการเขื่อนที่สำคัญของประเทศ

โครงการ	ประเภท	จังหวัดที่ตั้ง	ปีที่สร้างเสร็จ	ขนาดความจุ (ล้าน ลบ.ม.)
เขื่อนภูมิพล	เขื่อนคอนกรีตโค้ง	ตาก	2507	13,462
เขื่อนสิริกิติ์	เขื่อนดิน	อุตรดิตถ์	2517	9,510
เขื่อนศรีนครินทร์	เขื่อนหินทิ้งแบบมีแกนดินเหนียว	กาญจนบุรี	2523	17,745
เขื่อนเขื่อนวชิราลงกรณ์ (ชื่อเดิมเขื่อนเขาแหลม)	เขื่อนหินทิ้งแบบมีแผ่นคอนกรีตกั้นน้ำด้านหน้า	กาญจนบุรี	2527	8,860
เขื่อนสิรินธร	เขื่อนหินทิ้งแบบมีแกนดินเหนียว	อุบลราชธานี	2514	1,966
เขื่อนจุฬาภรณ์	เขื่อนหินทิ้ง	ชัยภูมิ	2515	188
เขื่อนอุบลรัตน์	เขื่อนหินทิ้ง	ขอนแก่น	2509	2,263

(แหล่งข้อมูล : http://irre.ku.ac.th/TDAMS.htm)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาโครงการชลประทานต่างๆมากมาย ทั้งโครงการขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ซึ่งอาจจำแนกออกได้เป็น โครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ โครงการทดน้ำ โครงการสูบน้ำ สามารถส่งน้ำช่วยเหลือการเพาะปลูก ได้มากกว่า 25 ล้านไร่ ซึ่งส่วนใหญ่นำน้ำไปใช้ในการปลูกข้าว หลายโครงการสามารถปลูกข้าวได้ 2 ครั้งต่อปีหรือมากกว่า มีการพัฒนาระบบชลประทานในไร่นาทั้งระบบคันคูน้ำ(Ditch and Dike) และระบบจัดรูปที่ดิน (Land Consolidation) แบบต่างๆ เพื่อให้เกษตรกรสามารถนำน้ำจากคลองไปใช้ปลูกพืชได้สะดวกและมีประสิทธิภาพ

ระบบชลประทานในประเทศไทย มีประสิทธิภาพประมาณ 43 % ถือว่าอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ยทั่วไป (วราวุธ. 2548) การส่งน้ำส่วนใหญ่ยังเป็นระบบใช้คน ปิด-เปิด ประตูระบายน้ำด้วยมือ มีความพยายามที่จะเอาประตูน้ำอัตโนมัติแบบลูกลอย ซึ่งเป็นเทคโนโลยีของประเทศฝรั่งเศสมาทดลองใช้ เช่นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาคลองตรอนและโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง เป็นต้น

1.4 องค์ประกอบของระบบชลประทาน (Irrigation System Components)

องค์ประกอบของระบบชลประทาน อาจแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ (1) ฮาร์ทแวร์ (2) ซอฟท์แวร์ และ (3) ฮิวแมนแวร์ ส่วนที่เป็นฮาร์ทแวร์ของระบบชลประทาน คือ แหล่งน้ำ อาคารชลประทานต่างๆ

และเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการให้น้ำแก่พืช ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 1.4.1-1.4.2 ส่วนซอฟท์แวร์และฮิวแมนแวร์ คือ ส่วนของบริหารจัดการซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 1.4.5

1.4.1 แหล่งน้ำ (Water Resources)

แหล่งน้ำของระบบชลประทาน อ่างเป็นแหล่งน้ำขนาดใหญ่เช่นเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ หรือแหล่งน้ำขนาดเล็กเช่นแหล่งน้ำใต้ดิน และสระเก็บน้ำฝน เขื่อนและอ่างเก็บน้ำจะทำหน้าที่เก็บกักน้ำในช่วงฤดูฝนหรือช่วงน้ำมาก ไว้ใช้ในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงน้ำน้อย เช่นอ่างเก็บน้ำของเขื่อนภูมิพล เขื่อนสิริกิติ์ หรือเขื่อนต่างๆในตารางที่ 1.2 ซึ่งเป็นเขื่อนอเนกประสงค์(Multi-purpose Dam) ทำให้มีน้ำใช้ตลอดปี เกษตรกรสามารถปลูกพืชได้มากกว่า 1 ครั้งต่อปี อ่างเก็บน้ำเหล่านี้อาจส่งน้ำให้กับระบบชลประทานโดยตรง หรือส่งน้ำลงลำน้ำเดิม เพื่อส่งให้กับหัวงานของโครงการชลประทานเพื่อทดน้ำเข้าสู่ระบบชลประทานต่อไป

1.4.2 หัวงานและอาคารประกอบ (Headworks and Appurtenent Structures)

หัวงาน หมายถึงจุดที่ควบคุมการส่งน้ำเข้าสู่ระบบชลประทาน ตามปกติหัวงานของโครงการชลประทานทุกแห่งประกอบด้วยอาคาร 3 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 1.2 และ 1.3 คือ (คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. 2546)

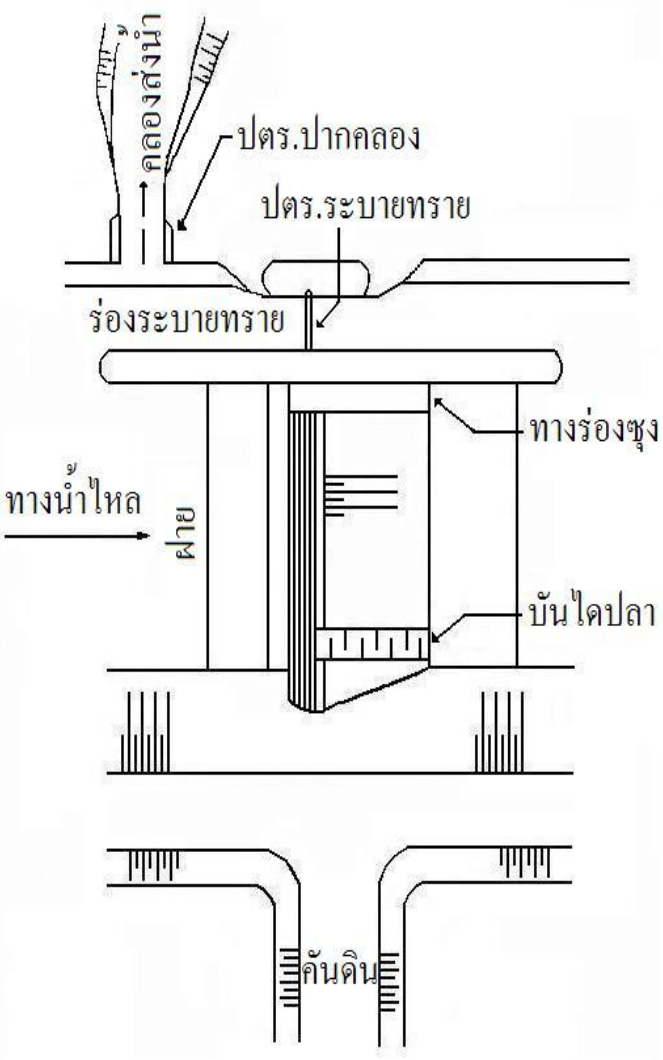
1) อาคารทดน้ำ (Diversion Structures) ได้แก่

-ฝาย (Diversion Weir) หรือ เขื่อนระบายน้ำ (Barrage หรือ Diversion Dam)

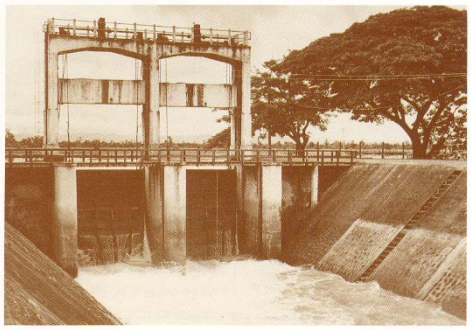
2) อาคารประกอบ (Appurtenant Structures)

เป็นอาคารที่สร้างประกอบกับฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ เพื่อให้หัวงานทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์

- อาคารประกอบฝาย ได้แก่
  - ประตูระบายทราย (Sand Sluice หรือ Scouring Sluice)
  - ร่องระบายทราย (Sluiceway Channel)
  - กำแพงแบ่งร่องน้ำ (Division Wall)
  - บันไดปลา (Fish Ladder)
  - ทางซุง (Logway)
  - สะพาน (Bridge)
  - คันกั้นน้ำ (Flood Protective Dikes)



(ก) แปลนหัวงานประเภทฝาย

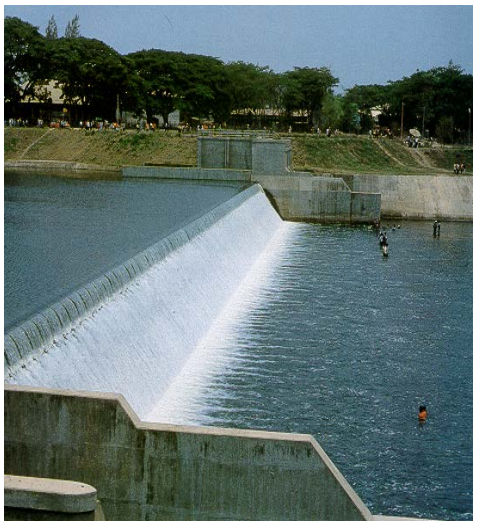


(ข) ประตูระบายปากคลอง

(ค) คลองส่งน้ำ

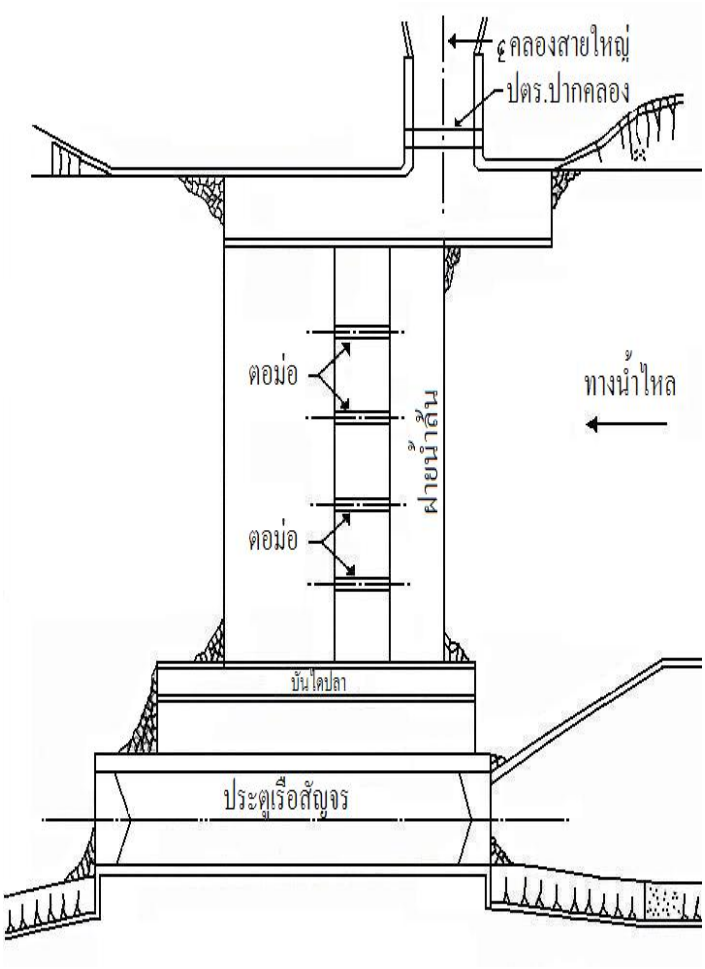
(ง) บันไดปลา

(จ) ฝายสินธุกิจปรีชา



(ฉ) ฝายน้ำล้น

รูปที่ 1.2 หัวงานประเภทฝายและอาคารประกอบ

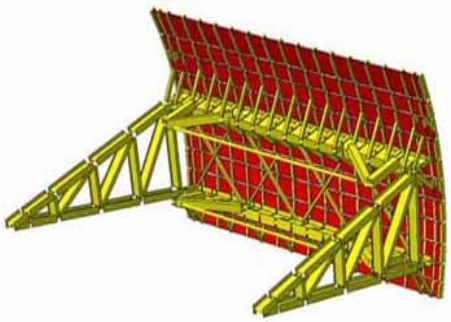


(ก) แปลนหัวงานประเภทเขื่อนระบายน้ำ

(ข) เขื่อนระบายน้ำเจ้าพระยา

(ค) ประตูระบายเขื่อน

(จ) ประตูเรือสัญจร



(ง) บานโค้ง(Radial Gate)

รูปที่ 1.3 หัวงานประเภทเขื่อนและอาคารประกอบ

- อาคารประกอบเขื่อนระบายน้ำ ได้แก่
  - บันไดปลา (Fish Ladder)
  - ประตูเรือสัญจร (Navigation Lock)
  - สะพาน (Bridge)
  - ทำนบดินปิดแม่น้ำเดิม (Closure Dam)
  - คันกั้นน้ำ (Flood Protective Dikes)

3) อาคารที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ได้แก่

- ประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ (Headgate of Main Canal)
- ที่ดักทราย (Sand Trap)

หัวงานของโครงการชลประทานหลายแห่งในประเทศไทย มีอาคารทดน้ำเป็นฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ สำหรับอาคารประกอบและอาคารที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่นั้นแต่ละหัวงานอาจจะมีไม่เหมือนกัน และไม่จำเป็นต้องมีครบทุกอย่างตามที่กล่าวไว้ข้างต้น

1.4.3 ระบบส่งน้ำและระบายน้ำ (Conveyance and Drainage Systems)

ระบบส่งน้ำ โดยทั่วไปหมายถึงคลองและอาคารในคลองส่งน้ำ(Irrigation Canal) หรือบางโครงการอาจเป็นระบบท่อส่งน้ำ ซึ่งทำหน้าที่ส่งหรือลำเลียงน้ำจากหัวงานเข้าสู่ระบบไร่นา คลองส่งน้ำอาจเป็นคลองดิน(Unlined Canal) หรือคลองดาดด้วยคอนกรีต(Concrete Lined Canal) และอาจแบ่งตามหน้าที่ในการส่งน้ำเป็น คลองสายใหญ่(Main Canal) คลองแยกหรือคลองสาขา(Branch Canal) คลองซอย (Laterals) และคลองแยกซอย (Sub-lateral Canal)เป็นต้น ในคลองส่งน้ำจะมีอาคารหลายประเภทเพื่อช่วยลำเลียงน้ำผ่านพื้นที่ซึ่งมีสภาพภูมิประเทศต่างๆ เช่น **อาคารในคลองส่งน้ำ (Canal Structures)** ซึ่งได้แก่ รางน้ำ (Flumes) ท่อเชื่อม (Inverted Siphons) ท่อระบายหรือประตูระบายรับน้ำ (Inlets) ท่อระบายหรือประตูระบายทิ้งน้ำ(Outlets) สะพาน (Bridges) ท่อลอด (Culverts) ที่ข้ามสัตว์พาหนะ (Cattle Ramps) อาคารน้ำตก(Drops) รางเท (Chutes) และเพื่อช่วยในการควบคุมการส่งน้ำให้เป็นไปตามแผนที่วางไว้ นอกจากนี้ยังมี **อาคารควบคุมน้ำ (Control Structures)** เช่น ประตูระบายทดน้ำกลางคลอง(Check Regulators) ประตูระบายปลายคลองส่งน้ำ(Tail Regulators) ประตูระบายปากคลองซอย(Distributary Head Regulators) และท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Turnouts)

ในระบบชลประทาน ปกติจะต้องมีระบบระบายน้ำเพื่อระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่ โดยทั่วไประบบระบายน้ำของโครงการจะเป็นระบบเปิด มีคูระบายน้ำเพื่อระบายน้ำจากแปลงออกสู่คลองระบายน้ำ และระบายออกสู่แม่น้ำต่อไป รายละเอียดเกี่ยวกับการระบายน้ำจะได้กล่าวถึงในบทที่ 9

1.4.4 ระบบให้น้ำ (Water Application System)

หลังจากที่ส่งน้ำผ่านระบบกระจายน้ำในไร่นา เข้าสู่แปลงเพาะปลูก เกษตรกรเจ้าของแปลงจะเป็นผู้นำน้ำไปให้กับพืช วิธีการให้น้ำแก่พืช (Irrigation Methods) ที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปมี 4 วิธี (วราวุธ. 2545) คือ

(1) วิธีการให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation)

(2) วิธีการให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation)

(3) วิธีการให้น้ำแบบจุลภาค (Micro Irrigation)

(4) วิธีการให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Sub-Surface Irrigation)

แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันออกไป การเลือกใช้วิธีการให้น้ำที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ สภาพดิน ชนิดพืชที่ปลูก วิธีการเพาะปลูก ค่าลงทุน และปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ ฯลฯ รายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการให้น้ำแบบต่างๆ จะกล่าวถึงในบทที่ 6

1.4.5 ระบบการบริหารจัดการน้ำ (Water Management System)

ระบบบริหารจัดการน้ำ คือ ส่วนที่จะขับเคลื่อนให้ระบบชลประทานสามารถทำหน้าที่ส่งน้ำ และให้น้ำแก่พืชได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ (1) กฎ ระเบียบ หลักเกณฑ์ และวิธีการในการบริหารจัดการน้ำ หรือส่วนที่เรียกว่า ซอฟท์แวร์(Softwares) และ (2) บุคลากรที่ทำหน้าที่ในการบริหารจัดการน้ำ และรูปแบบการจัดองค์กรการบริหารจัดการน้ำ หรือที่เรียกว่า ฮิวแมนแวร์(Humanwares) การบริหารจัดการน้ำจะบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ก็ต่อเมื่อมีระบบการบริหารจัดการที่เหมาะสม นั่นคือมีกฎ ระเบียบ หลักเกณฑ์ และวิธีการที่เหมาะสม มีบุคลากรตลอดจนรูปแบบการจัดองค์กรที่เหมาะสม

การบริหารจัดการน้ำอาจแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับ (วราวุธ. 2538) คือ

(1) การบริหารจัดการน้ำระดับลุ่มน้ำ

(2) การบริหารจัดการน้ำระดับโครงการ

(3) การบริหารจัดการน้ำระดับไร่นา

การบริหารจัดการน้ำระดับลุ่มน้ำ มีความหมายครอบคลุมถึงการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำร่วมกับทรัพยากรอื่นๆ ในลุ่มน้ำเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน สำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ ได้ให้นิยามคำว่า การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำ(River Basin Water Resources Management) ไว้ดังนี้

การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำ หมายถึงการที่จะดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกันเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำ เพื่อให้มีการจัดหาน้ำ (พัฒนาแหล่งน้ำ) ตลอดจนการ

แก้ปัญหาเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำในทุกพื้นที่ของแต่ละลุ่มน้ำ โดยมีเป้าหมายเพื่อประโยชน์ในการดำรงชีวิตของทุกๆ สิ่งในสังคม ทั้งคน สัตว์ และพืช ฯลฯ อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด และให้มีการใช้น้ำอย่างยั่งยืน การจัดการทรัพยากรน้ำในแต่ละลุ่มน้ำ จึงประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ที่สำคัญดังนี้ (สำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. 2540)

- การพัฒนาแหล่งน้ำ (จัดหาน้ำ) เพื่อประโยชน์ด้านต่างๆ
- การจัดสรรและใช้ทรัพยากรน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ
- การอนุรักษ์แหล่งน้ำ
- การแก้ปัญหาน้ำท่วม
- การแก้ปัญหาด้านคุณภาพน้ำ

ในปัจจุบันแนวคิดของการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ จะมีลักษณะเป็นการบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสาน ซึ่ง Global Water Partnership (GWP) (1996) ได้นิยามว่า

การบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสาน (Integrated Water Resources Management, IWRM) คือ กระบวนการในการส่งเสริมการประสานการพัฒนาและจัดการน้ำ ดิน และทรัพยากรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาซึ่งประโยชน์สูงสุดทางเศรษฐกิจและความเป็นอยู่ที่ดีของสังคมอย่างทัดเทียมกัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความยั่งยืนของระบบนิเวศน์ที่สำคัญ

การผสมผสานสามารถพิจารณาแยกออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบทางธรรมชาติ และระบบของมนุษย์

(1) การผสมผสานระบบทางธรรมชาติ (Natural System Integration)

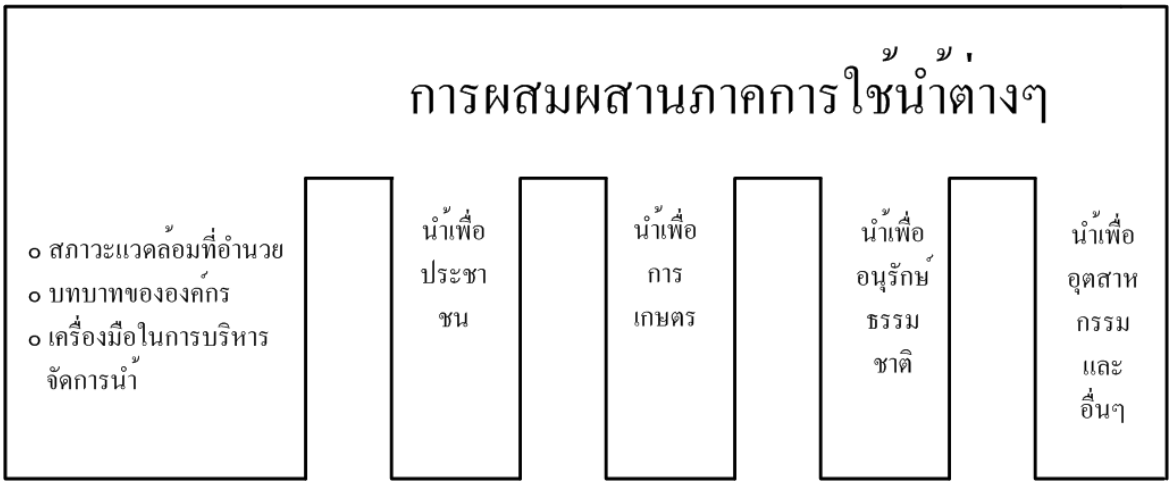
- การผสมผสานระหว่างการบริหารจัดการน้ำจืดและชายฝั่งทะเล
- การผสมผสานการบริหารจัดการดินและน้ำ (น้ำสีเขียว vs. น้ำสีน้ำเงิน น้ำสีเขียว คือน้ำที่ใช้โดยตรงสำหรับการผลิตมวลชีวภาพ และที่ระเหย น้ำสีน้ำเงิน คือน้ำที่ไหลในแม่น้ำ ลำธาร และที่อยู่ใต้ดิน)
- การผสมผสานการบริหารจัดการน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน
- การผสมผสานการบริหารจัดการปริมาณและคุณภาพของทรัพยากรน้ำ
- การผสมผสานผลประโยชน์ของผู้ใช้น้ำที่อยู่ต้นน้ำและท้ายน้ำ

(2) การผสมผสานระบบของมนุษย์

- ความเชื่อมโยงของทรัพยากรน้ำ
- การกำหนดนโยบายของประเทศโดยพิจารณาถึงภาคการพัฒนาอื่นๆ
- ผลกระทบของการพัฒนาแหล่งน้ำต่อเศรษฐกิจมหภาค
- หลักการพื้นฐานสำหรับการกำหนดนโยบายแบบผสมผสาน
- การโน้มน้าวการตัดสินใจทางเศรษฐกิจ
- การให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย มีส่วนร่วมในกระบวนการวางแผนและการตัดสินใจ

- การประสานการจัดการน้ำและน้ำเสีย

แนวคิดของการบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสานสามารถ แสดงในรูปของหวีที่เรียกว่า “GWP Comb” ดังรูปที่ 1.4 ซึ่งแสดงถึงการผสมผสานภาคการใช้น้ำต่างๆ และ 3 องค์ประกอบที่สำคัญต่อการบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสาน



รูปที่ 1.4 แนวคิดในการจัดการน้ำแบบผสมผสานของ GWP (GWP Comb)

ส่วนการบริหารจัดการน้ำระดับโครงการ และการบริหารจัดการน้ำระดับไร่นา จะเป็นที่การจัดการน้ำชลประทานเป็นหลัก ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 1.7

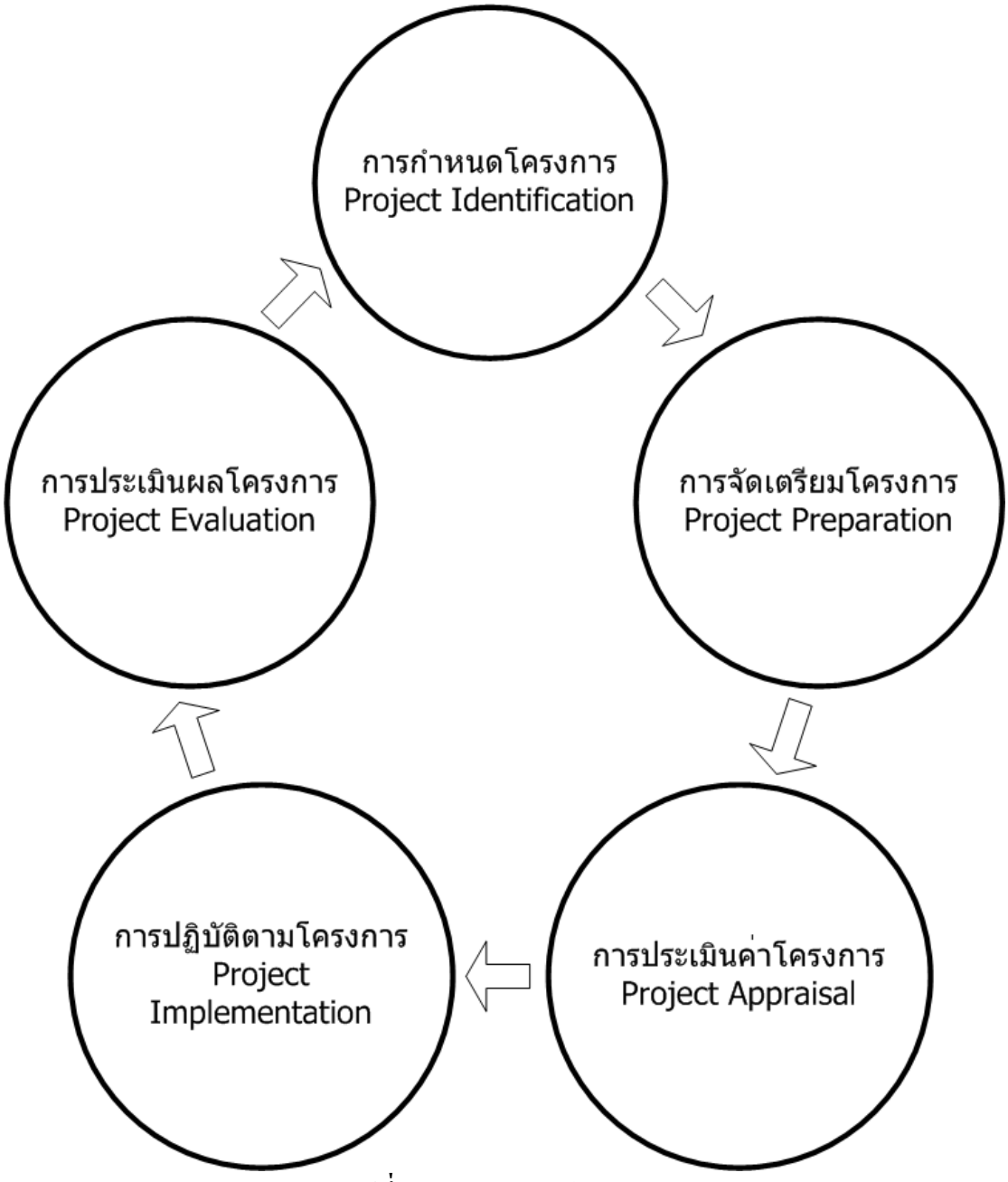
1.5 สิ่งแวดล้อมของโครงการชลประทาน (Environment Problems of Irrigation)

สิ่งแวดล้อมของโครงการชลประทาน หมายรวมถึง ทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิต ที่อยู่ในบริเวณของระบบชลประทาน การพัฒนาระบบชลประทานอาจก่อให้เกิดทั้งผลประโยชน์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ เช่น การสร้างเขื่อน และอ่างเก็บน้ำ จะทำให้สูญเสียพื้นที่ป่าส่วนหนึ่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อทั้งคน สัตว์ และพืชที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น อ่างเก็บน้ำอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและ วัฏจักรน้ำในลุ่มน้ำนั้น แต่อ่างเก็บน้ำก็มีประโยชน์ทำให้สามารถเก็บน้ำไว้ใช้ในช่วงที่ขาดแคลน ช่วยบรรเทาอุทกภัย เป็นแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำแห่งใหม่ พูดง่ายๆ ว่าอ่างเก็บน้ำมีทั้งผลดี และผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม การจะตัดสินใจว่าควรพัฒนาระบบชลประทานหรือไม่ จึงต้องมีการพิจารณาถึงผลประโยชน์และผลกระทบอย่างละเอียดรอบคอบก่อนตัดสินใจ รายละเอียดเบื้องต้นเกี่ยวกับการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการ จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 1.6.3

1.6 การวางโครงการชลประทาน (Irrigation Project Planning)

1.6.1 แนวคิดในการวางโครงการ (Project Planning Concept)

ธนาคารโลก(World Bank หรือ IBRD) ได้สรุปวงจรโครงการ เพื่อเป็นแนวคิดสำหรับการวางโครงการ โดยกำหนดว่าวงจรโครงการประกอบด้วย 5 ส่วนที่สัมพันธ์กันดังรูปที่ 1.5 (Baum,W.C and S.M.Tolbert. 1985) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้



รูปที่ 1.5 วงจรการวางโครงการ

(1) การกำหนดโครงการ (Project Identification)

เริ่มจากการกำหนดวัตถุประสงค์โครงการ การรวบรวมแนวความคิดหรือความรู้ การคัดเลือกแนวความคิดที่เหมาะสม การแสวงหาแหล่งเงินทุนและความช่วยเหลือต่างๆ เลือกวิธีการกำหนดโครงการ การศึกษาความเหมาะสมและเป็นไปได้ในเบื้องต้น การจัดทำรายงานสรุปย่อการกำหนดโครงการ(Project Identification Brief, PIB)

(2) การจัดเตรียมโครงการ (Project Preparation)

ประกอบด้วยการออกแบบโครงการในรายละเอียด และจัดทำรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ (Feasibility Report)

(3) การประเมินค่าโครงการ (Project Appraisal)

ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจ เช่น กรมชลประทาน กระทรวงฯ คณะรัฐมนตรี หรือสถาบันการเงิน จะทำการประเมินค่าโครงการ โดยการนำเอาผลการวิเคราะห์โครงการในรายงานการศึกษาความเหมาะสมมาใช้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจ การตัดสินใจว่าจะอนุมัติโครงการหรือไม่ จะพิจารณาจากการวิเคราะห์ความเหมาะสมด้านต่างๆ เช่น เทคนิค เศรษฐกิจ สังคม การเงิน และผลกระทบสิ่งแวดล้อม

(4) การปฏิบัติตามโครงการ (Project Implementation)

เริ่มจากการแบ่งองค์ประกอบของโครงการออกเป็นส่วนย่อยๆ ได้แก่ กิจกรรมและงาน จัดตั้งองค์กรและคณะทำงานเพื่อรับผิดชอบการปฏิบัติงาน มอบหมายงานและกิจกรรมของโครงการให้กับผู้รับผิดชอบ ตลอดจนจัดสรรทรัพยากรที่จำเป็นสำหรับกิจกรรมต่างๆ ของโครงการ ประสานงาน ติดตามผล และควบคุมการทำงานของกลุ่มต่างๆ และการใช้ทรัพยากรโครงการเพื่อให้งานและกิจกรรมของโครงการสำเร็จลุล่วง ภายในเงื่อนไขข้อจำกัดของเวลาและทรัพยากรที่มีอยู่

(5) การประเมินผลโครงการ (Project Evaluation)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของวงจรโครงการ กระบวนการประเมินผลโครงการ แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงย่อย คือ การประเมินผลก่อนการดำเนินงาน (Ex Ante หรือ Pre-evaluation) การประเมินผลระหว่างการดำเนินงาน (On-going or Concurrent Evaluation) และ การประเมินผลหลังการดำเนินงาน (Ex-post Evaluation)

การวางโครงการ อาจแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ

(1) การกำหนดกรอบการพัฒนา(Framework) ซึ่งถือเป็นการศึกษาหรือวางโครงการในเบื้องต้นเพื่อนำไปใช้ตัดสินใจว่าควรมีการศึกษาในรายละเอียดต่อหรือไม่ การศึกษาวางโครงการในระดับนี้ มีชื่อเรียกต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การศึกษาเบื้องต้น (Reconnaissance Study หรือ Preliminary Investigation)
- การศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้น (Pre-Feasibility Study)
- การศึกษาเพื่อวางแผนหลัก (Master Plan Study)

(2) การศึกษาความเหมาะสม (Feasibility Study)

(3) กรออกแบบในรายละเอียด (Detail Design)

1.6.2 การศึกษาความเหมาะสมของโครงการ (Feasibility Study)

American Society of Civil Engineers(1982) เสนอขั้นตอนในการศึกษาโครงการชลประทานและระบายน้ำ ไว้ 6 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายของโครงการ (Object & Target) เช่น

- เพื่อการพัฒนาสภาพความเป็นอยู่ (Improve Living Conditions) โดยการเพิ่มการจ้างงาน เพิ่มรายได้ และการพัฒนาสภาพสังคมให้ดีขึ้น
- เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจ (Improve National Economic Efficiency)
- เพื่อการเพิ่มดุลการแลกเปลี่ยนกับต่างประเทศ (Improve Foreign Exchange Balance)
- เพื่อการปรับปรุงการกระจายประชากร (Improve Distribution of Population)
- เพื่อการส่งเสริมและรักษาสภาพแวดล้อม (Protect and Enhance National Environment)

(2) การวิเคราะห์ความต้องการ (Need) ซึ่งประกอบด้วย

- ความต้องการผลผลิตจากโครงการ
- ความต้องการน้ำ
- การเปลี่ยนสภาพพื้นที่ไร่นาเป็นเมือง (Land Conversion)
- ความสามารถในการจ่ายค่าน้ำของเกษตรกร
- ขีดความสามารถในการจ่ายบำรุงรักษาและค่าลงทุน(Payment Capacity Analysis)
- การบรรเทาน้ำท่วม
- การผลิตกระแสไฟฟ้า
- ความต้องการสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ (Recreation)

(3) การประเมินทรัพยากร (Resources Inventory) ซึ่งประกอบด้วย

- ทรัพยากรทางกายภาพ (Physical) เช่น น้ำ ดิน ภูมิอากาศ เป็นต้น
- ทรัพยากรทางการเงิน (Financial)
- ทรัพยากรมนุษย์และสถาบัน (Human & Institution)

(4) การสร้างทางเลือก (Alternative Plans) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- ต้องการมีส่วนร่วมของประชาชน(Public Participation)
- จำเป็นต้องมีการสร้างสรรค์และการคิดสิ่งใหม่(Creativity and Innovation)
- ควรใช้ข้อมูลการวิเคราะห์หลังการดำเนินงาน(Post Analysis)
- การกำหนดส่วนประกอบของทางเลือก

- วิเคราะห์ผลประโยชน์และค่าลงทุน
- แบ่งการดำเนินการเป็นช่วงๆ (Phasing, Staging and Timing)
- การระบุข้อจำกัดในการดำเนินการ (Identify Constraints)
- การพัฒนาทางเลือกขั้นต้น (Develop Initial Alternatives)
- การสร้าง(Formulate) แผนการปฏิบัติงานและบำรุงรักษา
- การเลือกทางเลือกเพื่อการประเมิน

(5) การประเมินทางเลือก (Evaluate Plans)

- เกณฑ์การตัดสินใจ(Decision Criteria)
  - ทางด้านเทคนิค
  - เศรษฐศาสตร์
  - การเงิน
  - สังคม
  - สิ่งแวดล้อม
- วิธีการตัดสินใจ (Decision Making Process)

สามารถใช้กระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ (Multicriteria Decision Making Process) เช่น Analytic Hierachical Process (AHP) และการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimazation) ในการประเมินทางเลือก

(6) การเลือกทางเลือก (Select Plan)

(7) เน้นการมีส่วนร่วม (Public Participation)

1.6.3 การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม(Environmental Impact Assessment, EIA)

เขื่อนและอ่างเก็บน้ำถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบชลประทาน การก่อสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำมีประโยชน์หลายด้าน เช่น การชลประทาน การผลิตกระแสไฟฟ้า การอุปโภค-บริโภคและอุตสาหกรรม การป้องกันน้ำท่วม และอื่นๆ แต่เขื่อนก็อาจมีผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตลอดจนคุณค่าต่าง ๆ ที่มีต่อมนุษย์ เช่น ผลจากการมีโครงการทำให้มีเส้นทางคมนาคม ถนน และอื่น ๆ เพิ่มขึ้นในพื้นที่เหนือลำน้ำ ซึ่งอาจชักนำให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่อป่าไม้ สัตว์ป่า โดยจะเป็นช่องทางให้มีการบุกรุกเข้าไปทำลายป่าเพิ่มขึ้น ทั้งยังเป็นการลดจำนวนและทำให้เกิดการแตกกระจายของฝูงสัตว์ป่า ประกอบกับโครงการดังกล่าวมักจะเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านอุทกวิทยาของลุ่มน้ำนั้น อันจะส่งกระทบต่อไปยังทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางด้านกายภาพและ

ด้านนิเวศวิทยา ให้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมทั้งในพื้นที่ลุ่มน้ำนั้น และพื้นที่ท้ายน้ำ ไปจนกระทั่งถึงปากแม่น้ำ ดังนั้นการวางแผนดำเนินโครงการเหล่านี้จะต้องพิจารณาครอบคลุมถึงผลกระทบที่อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพยากรสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ เช่น สัตว์ป่าที่อาศัยทั้งบนบกและในน้ำ ปัญหาการย้ายถิ่นที่อยู่อาศัยของประชากรในบริเวณซึ่งจะสร้างอ่างเก็บน้ำ อันทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพทางเศรษฐกิจและสังคมตามมา

จากการศึกษาผลกระทบจากการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำที่ผ่านมา พบว่าหากมีการวางแผนป้องกันความเสียหายต่อทรัพยากร และสภาพสิ่งแวดล้อมไว้อย่างรอบคอบแล้ว โครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำนั้น จะสามารถบรรลุเป้าหมายในการพัฒนาแหล่งน้ำ ตลอดจนการพัฒนาสภาพแวดล้อมใหม่ของโครงการให้ได้รับประโยชน์มากที่สุด และก่อให้เกิดผลเสียหายต่อสภาพแวดล้อมน้อยที่สุด ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการ ยังมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในการวางแผนแก้ไขผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น และสามารถนำไปวางแผนการควบคุมการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติในลุ่มน้ำนั้น เพื่อให้สามารถใช้ได้ยั่งยืนตลอดไป (สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535)

(1) ประเภทและขนาดโครงการที่ต้องจัดทำรายงาน

ประเภทและขนาดโครงการที่ต้องจัดรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม เรื่องการกำหนดประเภทและขนาดของโครงการที่ต้องมีรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม มีดังนี้

- เขื่อนเก็บกักน้ำหรืออ่างเก็บน้ำ ที่มีปริมาตรเก็บกักน้ำตั้งแต่ 100 ล้านลูกบาศก์เมตรขึ้นไป หรือมีพื้นที่เก็บกักน้ำตั้งแต่ 15 ตร.กม. ขึ้นไป
- การชลประทานที่มีพื้นที่ชลประทานตั้งแต่ 80,000 ไร่ขึ้นไป
- นอกจากนี้ โครงการพัฒนาแหล่งน้ำบางโครงการที่อยู่ในพื้นที่ที่คณะรัฐมนตรีกำหนดไว้เป็นพิเศษ ก็ต้องจัดทำรายงานด้วย คือ
  - โครงการพัฒนาแหล่งน้ำที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำชั้น 1B ตามมติคณะรัฐมนตรีเรื่องการกำหนดชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและข้อเสนอแนะมาตรการการใช้ที่ดินในเขตลุ่มน้ำ
  - โครงการพัฒนาแหล่งน้ำ เพื่อการอุตสาหกรรมในพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออกตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 21 เมษายน 2524 เรื่อง การพัฒนาอุตสาหกรรมหลักและท่าเรือน้ำลึกบริเวณชายฝั่งทะเลตะวันออก

(2) ส่วนประกอบของรายงาน

ส่วนประกอบและการจัดรูปแบบของรายงานฯ นั้น ให้เป็นไปตามที่กำหนดในเอกสาร **แนวทางทั่วไปในการจัดทำรายงานวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการหรือกิจการทุกประเภท** และ

รูปแบบของรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดของส่วนประกอบเฉพาะโครงการดังนี้

- รายละเอียดของโครงการ
- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโครงการ
- มาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น
- การพิจารณาทบทวนทางเลือกของโครงการ ซึ่งอาจจำแนกตามขนาดและวัตถุประสงค์ของโครงการ
- การสำรวจและติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม

นอกจากนี้ ในรายงานฯ จะต้องมีบทสรุปและความเห็นต่าง ๆ เกี่ยวกับการศึกษาและมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมทั้งหนังสืออ้างอิงสำหรับวิธีการศึกษาและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมถึงแหล่งข้อมูลต่าง ๆ พร้อมทั้งภาคผนวกเกี่ยวกับความเห็นและข้อเสนอแนะของสำนักงานฯ ตลอดจนข้อชี้แจงต่าง ๆ เกี่ยวกับการจัดทำรายงานฯ ด้วย

(3) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยอาศัยรายละเอียดสิ่งแวดล้อมปัจจุบันของโครงการเป็นข้อมูลพื้นฐานในแต่ละประเด็น จะต้องกระทำในเชิงปริมาณให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ทั้งในช่วงเวลาระหว่างการก่อสร้างและหลังการก่อสร้าง โดยพิจารณาประเด็นสำคัญดังต่อไปนี้

- ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ
  - ปริมาณน้ำผิวดิน คุณภาพน้ำผิวดิน น้ำใต้ดิน ดิน ธรณีวิทยาและแผ่นดินไหว ตะกอนและการสึกกร่อน ภูมิอากาศ
- ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางด้านชีวภาพ
  - ทรัพยากรประมง นิเวศวิทยาในน้ำ สัตว์ป่า(สัตว์บก) ป่าไม้ นิเวศวิทยาในอ่างเก็บน้ำ
- คุณค่าการใช้ประโยชน์ของมนุษย์
  - น้ำใช้ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การคมนาคม การควบคุมน้ำท่วม การพัฒนาแหล่งแร่ การใช้ที่ดิน
- คุณค่าคุณภาพของชีวิต
  - สังคม – เศรษฐกิจ การตั้งถิ่นฐานใหม่ การสาธารณสุข การพักผ่อนหย่อนใจ และสุนทรียภาพ โบราณคดีและสิ่งมีค่าทางประวัติศาสตร์

(4) มาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมและการชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น

เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไข หรือบรรเทาความรุนแรงของผลกระทบให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังนั้นจะต้องกล่าวถึงมาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้นตามที่ได้ประเมินไว้ รวมทั้งการชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจออกมาในรูปทรัพย์สินหรือการพัฒนาในด้านต่าง ๆ ทั้งนี้ ค่าชดเชยที่ได้รับควรจะทำให้ผู้ได้รับความเสียหายมีความเป็นอยู่ดีขึ้นกว่าเดิม หรืออย่างน้อยก็เท่ากับที่เคยเป็นอยู่ตลอดจนการกำหนดปริมาณ และจำกัดขอบเขตการใช้ทรัพยากรชนิดที่มิอาจฟื้นฟูขึ้นมาเหมือนเดิมได้อันเนื่องจากการดำเนินโครงการ ทั้งนี้ อาจกระทำได้โดยกำหนดเป็นแผนป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตลอดจนแผนงานส่งเสริมหรือพัฒนาเฉพาะสำหรับทรัพยากรสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท เช่น

- แผนงานส่งเสริมการเพาะพันธุ์ปลา การผสมเทียม และการเพาะเลี้ยงพันธุ์ปลา
- มาตรการรักษาป่าไม้ไว้เพื่อประโยชน์ในการอนุรักษ์ดินและน้ำ
- แผนการปรับปรุงคมนาคมทางน้ำ รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการเดินเรือ การขนถ่ายสินค้า เป็นต้น
- มาตรการในการควบคุมดูแลประชากรผู้ถูกย้ายถิ่น เพื่อให้สามารถปรับตัวเข้ากับวิธีการทำการเกษตรแบบใหม่ ๆ ได้ โดยให้มีการส่งเสริมการเกษตร และมีการดำเนินการด้านสถาบัน ได้แก่ การส่งเสริมให้มีสินเชื่อจากสหกรณ์การเกษตร เป็นต้น
- แผนงานป้องกันการแพร่โรค และการส่งเสริมให้มีสิ่งอำนวยความสะดวกทางด้านสุขาภิบาลต่าง ๆ ที่จำเป็นอย่างเพียงพอ สำหรับชุมชนที่ตั้งขึ้นมาใหม่ในหมู่บ้าน เพื่อปรับปรุงสภาพความเป็นอยู่ให้ดีขึ้น และเพื่อเป็นการลดปัญหามลภาวะในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งอาจเกิดขึ้น
- แผนพัฒนาสถานที่ท่องเที่ยวภายในโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ โดยจะต้องครอบคลุมถึงมาตรการอนุรักษ์สถานที่ ซึ่งอาจถูกทำลายระหว่างก่อสร้างโครงการ พร้อมกับการส่งเสริมคุณค่าทางสุนทรียภาพ เช่น การปลูกต้นไม้เสริมแนวที่ถูกขุด ตัด หรือรบกวน เพื่อมิให้เกิดรอยตำหนิหรือเกิดความเสียหายต่อความงดงามของภูมิประเทศ
- แผนงานโยกย้ายและเก็บรักษาโบราณวัตถุและสิ่งที่มีคุณค่าทางประวัติศาสตร์ เป็นต้น

(5) การพิจารณาทบทวนขนาดและวัตถุประสงค์ของโครงการ

การพิจารณาทางเลือกของโครงการทำได้โดยการเปรียบเทียบผลดี ผลเสียต่าง ๆ โดยต้องเลือกทางเลือกที่ก่อให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุด หรืออยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ตลอดจนความเป็นไปได้ทางวิศวกรรม และเศรษฐศาสตร์ ทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ มีดังนี้

- ขนาดความสูงที่เหมาะสมของเขื่อน

- ทางเลือกในการใช้น้ำที่เก็บกักไว้
- ทางเลือกที่ตั้งของโครงการ

(6) การสำรวจและติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม

จะต้องกล่าวถึงแผนงานที่เหมาะสมในการสำรวจและติดตามตรวจสอบผลกระทบของโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำที่มีต่อคุณค่าและทรัพยากรสิ่งแวดต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นภายหลังโดยกล่าวถึงวิธีการ ระยะเวลา ความถี่ของการติดตามตรวจสอบประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- สภาพภูมิอากาศ
- อุทกวิทยาของน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน
- คุณภาพน้ำผิวดินในบริเวณอ่างเก็บน้ำและลำน้ำท้ายเขื่อน ตลอดจนการรุกตัวของน้ำเค็มบริเวณปากแม่น้ำ
- การประมงและการเพาะเลี้ยง ตลอดจนวัชพืชน้ำในบริเวณอ่างเก็บน้ำและลำน้ำท้ายเขื่อน
- การเปลี่ยนแปลงสภาพป่าไม้บริเวณอ่างเก็บน้ำและทางต้นน้ำ
- การกัดเซาะ พังทลายของตลิ่งและขอบอ่างเก็บน้ำ ตลอดจนการตกตะกอน
- การใช้น้ำของประชากรเพื่อการเกษตร รวมทั้งเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า
- ด้านการสาธารณสุข สุขาภิบาลและโภชนาการ
- สภาพการเปลี่ยนแปลงทางสังคมเศรษฐกิจ
- การท่องเที่ยวและคุณค่าทางสุนทรียภาพ

1.7 การจัดการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Management)

1.7.1 หลักการจัดการน้ำชลประทาน (Principle of Irrigation Water Management)

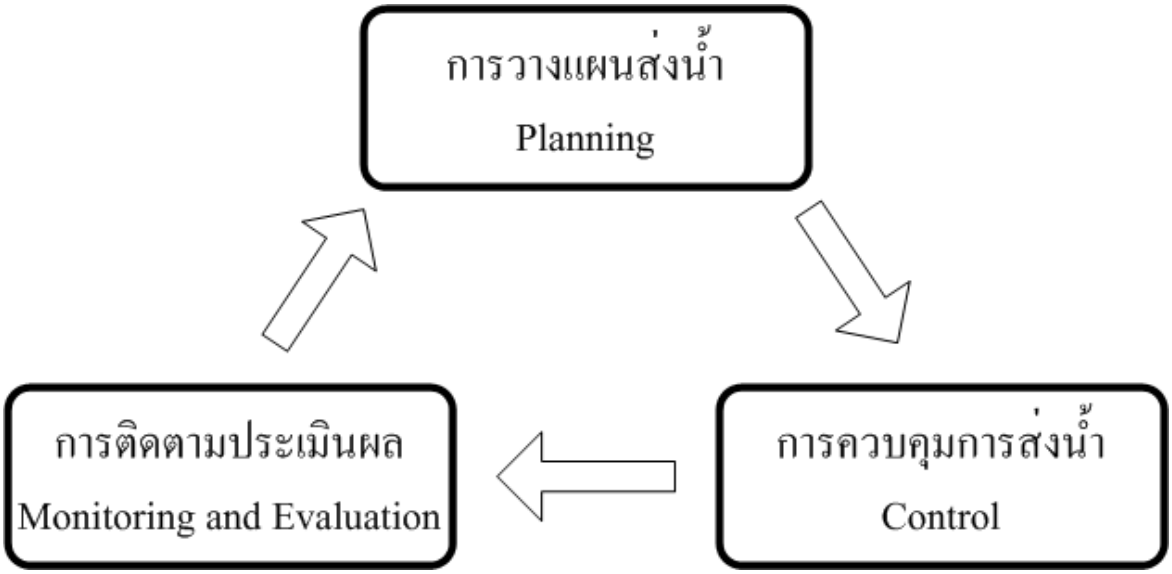
วัตถุประสงค์หลักของการจัดการน้ำชลประทาน คือ การส่งน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ส่งน้ำให้กับพื้นที่หรือบุคคลที่เหมาะสม และส่งในช่วงเวลาที่เหมาะสม ดังคำภาษาอังกฤษที่ว่า **“To Deliver the right amount of water to the right person at the right time”** การที่จะบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวจะต้องมีการดำเนินงานเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้ (วราวุธ. 2539)

(1) การวางแผนการส่งน้ำหรือวางแผนการจัดสรรน้ำ

(2) การควบคุมการส่งน้ำ

(3) การติดตามประเมินผลการส่งน้ำจริงในสนาม

งานทั้ง 3 เป็นกิจกรรมที่ต่อเนื่องกันซึ่งสามารถนำมาเขียนอธิบายให้เข้าใจได้ง่ายดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 วงจรการจัดการน้ำของโครงการชลประทาน

หัวใจสำคัญของการวางแผนการจัดสรรน้ำคือ **ข้อมูล** ถ้าข้อมูลถูกต้องเชื่อถือได้ แผนการจัดสรรน้ำก็จะถูกต้องตรงตามต้องการของเกษตรกร อย่างไรก็ตาม ในการวางแผนจัดสรรน้ำมีตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ฝน การเพาะปลูกพืชจริงของเกษตรกร ฯลฯ ทางโครงการจึงควรมีแผนเผื่อเลือกเตรียมไว้รับสภาวะการขาดแคลนน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

หลังจากการที่มีแผนการจัดสรรน้ำที่ดีแล้ว ลำดับถัดไปก็คือการควบคุมการส่งน้ำให้ถึงมือเกษตรกรตามแผนที่วางไว้ ซึ่งหัวใจสำคัญของการควบคุมการส่งน้ำคือคน (ทั้งเจ้าหน้าที่สนามและเกษตรกร) และความสมบูรณ์ของระบบควบคุมน้ำชลประทานคือ ปตร. และอาคารอัดน้ำ ซึ่งจะต้องมีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ให้รู้จักการควบคุมการส่งน้ำ ฝึกอบรมเกษตรกรให้รู้จักการทำงานของระบบและการให้น้ำชลประทานอย่างประหยัดและถูกวิธี ต้องมีการสอบเทียบ (Calibrate) อาคารคุมน้ำที่สำคัญพร้อมติดตั้งอุปกรณ์เพื่อใช้วัดน้ำและช่วยในการควบคุมน้ำ

การติดตามผลการส่งน้ำมีวัตถุประสงค์เพื่อการตรวจสอบว่าการส่งน้ำจริงเป็นไปตามแผน หรือเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่ ถ้าไม่ อะไรคือสาเหตุที่ทำให้การส่งน้ำจริงไม่เป็นไปตามแผน เพื่อจะได้ดำเนินการแก้ไขให้ถูกจุดในการส่งน้ำครั้งต่อๆ ไป ตลอดจนเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้น้ำของส่วนต่าง ๆ ของโครงการ เพื่อใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่และของตัวเกษตรกรเองด้วย

1.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการจัดการน้ำ

(Factors Affecting The Success of Water Management)

การบริหารจัดการน้ำชลประทานจะประสบความสำเร็จหรือไม่ สามารถวัดได้โดยใช้ตัวชี้วัดที่สำคัญ 3 ตัวคือ

1. ประสิทธิภาพการชลประทาน (Efficiency)
2. ความน่าเชื่อถือได้ของระบบ (Reliability)
3. ความทั่วถึงและยุติธรรมในการใช้น้ำ (Equity)

ประสิทธิภาพ คือดรรชนีที่แสดงให้เห็นว่าน้ำที่ส่งเข้าระบบชลประทาน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกได้มากน้อยเพียงใด

ความน่าเชื่อถือได้ คือดรรชนีที่แสดงให้ผู้ใช้น้ำมั่นใจว่าจะได้รับน้ำในปริมาณและเวลาที่ต้องการ ไม่ว่าสถานการณ์น้ำของระบบจะเป็นเช่นใด

ความทั่วถึงและยุติธรรม คือดรรชนีที่แสดงให้เห็นว่าที่ส่งเข้าระบบชลประทานถูกแบ่งให้ผู้ใช้น้ำอย่างทั่วถึงและยุติธรรมมากน้อยเพียงใด

ระบบชลประทานที่ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมีความน่าเชื่อถือได้สูง และสามารถส่งน้ำได้อย่างทั่วถึงและยุติธรรมเป็นระบบที่ทุกคนปรารถนา ปัจจัยที่มีผลต่อความสำเร็จในการจัดการน้ำชลประทานของโครงการ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

- ฮาร์ทแวร์ (Hardwares)
- ซอฟท์แวร์ (Softwares)
- ฮิวแมนแวร์ (Humanwares)

ฮาร์ทแวร์ของระบบชลประทานได้แก่ ระบบคลองส่งน้ำอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการส่งน้ำจากแหล่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูก ถ้าได้รับการออกแบบและก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ และได้รับการบำรุงรักษาและซ่อมแซมอยู่เสมอ พร้อมจะทำหน้าที่ตามที่ได้รับการออกแบบไว้

ซอฟท์แวร์ ได้แก่ กฎระเบียบ วิธีปฏิบัติ วิธีการบริหารงาน คู่มือต่าง ๆ ซึ่งทำหน้าที่กำกับการทำงานของฮาร์ทแวร์ ถึงแม้ว่าฮาร์ดแวร์จะพร้อมใช้งาน ถ้าซอฟท์แวร์ไม่เหมาะสมระบบชลประทานก็อาจยังไม่ทำหน้าที่ตามที่ต้องการ ระบบชลประทานอาจได้รับการออกแบบให้ทำงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น

- ทำงานแบบควบคุมเหนือน้ำ(Upstream Control)หรือแบบควบคุมท้ายน้ำ (Downstream Control)

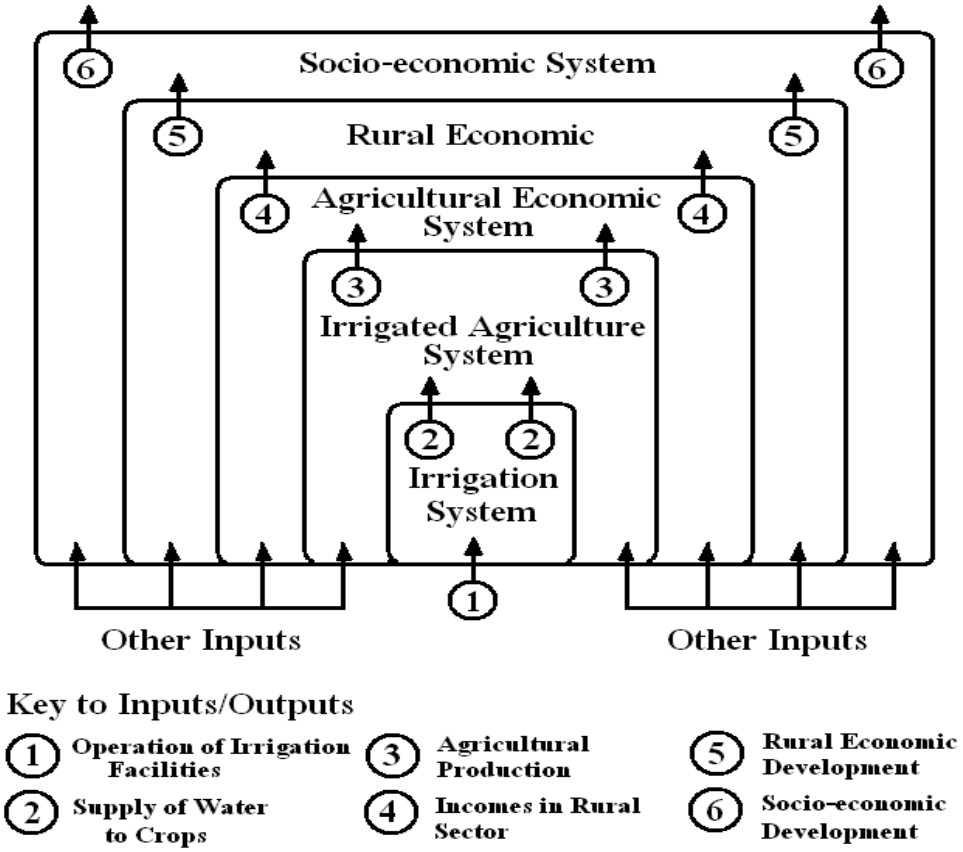
- ทำงานโดยใช้คนเป็นหลักในการควบคุม(Manual Operation) หรือทำงานแบบอัตโนมัติ (Automatic Operation)
- ส่งน้ำแบบตลอดเวลา หรือแบบเป็นรอบเวร แต่ละแบบจะมีวิธีการบริหารจัดการที่แตกต่างกัน

สุดท้ายคือ ฮิวแมนแวร์ ซึ่งก็คือคน คนที่เกี่ยวข้องกับระบบชลประทานมี 2 กลุ่ม กลุ่มแรกคือเจ้าหน้าที่ที่ทำหน้าที่ในการบริหาร ควบคุมการทำงาน และดูแลบำรุงรักษาของระบบชลประทานหลัก (Main System) กลุ่มที่สองคือ เกษตรกรซึ่งทำหน้าที่และบำรุงระบบชลประทานในไร่นา และเป็นผู้ใช้น้ำ

ฮิวแมนแวร์ ถือเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างสูงต่อความสำเร็จในการจัดการน้ำชลประทาน คุณสมบัติที่สำคัญของฮิวแมนแวร์ทั้งผู้บริหารและผู้ใช้น้ำคือ

- ต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และความเข้าใจในการจัดการน้ำชลประทาน
- มีความตั้งใจที่จะทำงาน
- มีความเข้าใจในปัญหาต่าง ๆ ปัญหาของการจัดการน้ำชลประทานเป็นปัญหาเฉพาะพื้นที่ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยปัญหาของแต่ละระบบชลประทานโดยเฉพาะ

สิ่งสำคัญคือ กลุ่มคนที่เกี่ยวข้องกับการจัดการน้ำชลประทานต้องมีความเข้าใจและยอมรับความจริงที่ว่า “น้ำคือทรัพยากรที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ จึงต้องใช้อย่างประหยัด ไม่ว่าจะต้องมีการเสียค่าน้ำหรือไม่” และความสำคัญในการบริหารจัดการน้ำชลประทานจะส่งผลสภาพเศรษฐกิจและสังคม ของระบบที่ครอบคลองระบบชลประทานนั้น ดังแสดงในรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 Nested System (Small and Svendsen. 1992)

1.7.3 เครื่องมือสำหรับการบริหารจัดการน้ำชลประทาน (Tools for Irrigation Water Management)

เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำชลประทานประสบผลสำเร็จบรรลุวัตถุประสงค์ที่วางไว้ คือ **การส่งน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ส่งน้ำให้กับพื้นที่หรือบุคคลที่เหมาะสม และส่งในช่วงเวลาที่เหมาะสม** ตามที่กล่าวมาแล้ว จำเป็นต้องมีเครื่องมือช่วยในการบริหารจัดการน้ำชลประทาน ซึ่งพอจะกล่าวถึงในเบื้องต้นได้ดังนี้

(1) เครื่องมือช่วยในการวางแผนการส่งน้ำ เช่นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดสรรน้ำและติดตามผลการส่งน้ำ หรือ WASAM(Water Allocation Scheduling and Monitoring) (วราวุธและวัชระ. 2538; วราวุธและลำจวน. 2539; ภราดาและวราวุธ. 2542) และโปรแกรม NAGA (Molle and Pongput. 1997) โปรแกรม WASAM จะช่วยคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ประตูระบายต่างๆในโครงการ เป็นรายสัปดาห์ จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกพืช ปริมาณฝนที่ตก ปริมาณน้ำในแปลงนา และ ข้อมูลระบบคลอง เพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับพนักงานส่งน้ำในการควบคุมการปิดเปิดประตูระบายน้ำ นอกจากนี้โปรแกรม

WASAM ยังสามารถใช้ในการติดตามผลการส่งน้ำว่ามีประสิทธิภาพ และเป็นไปตามเป้าหมายมากน้อยเท่าใด ส่วนโปรแกรม NAGA เป็นโปรแกรมที่ใช้แสดงผลการส่งน้ำว่าแต่ละคลองได้รับน้ำเพียงพอหรือไม่ โดยแสดงในรูปของ GIS เพื่อให้ผู้บริหารโครงการใช้เป็นแนวทางการตัดสินใจ ในการปรับแผนการส่งน้ำต่อไป

(2) เครื่องมือช่วยในการควบคุมการส่งน้ำและติดตามผลการส่งน้ำ ได้แก่ ระบบโทรมาตร (Telemetering System) ระบบตรวจวัดและควบคุมระยะไกล หรือ SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition System) หรือ ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation) (วราวุธและวิชญ์. 2548; วิชญ์และวราวุธ. 2546) ซึ่งทั้ง 3 ระบบตรวจวัดน้ำและเก็บบันทึกข้อมูลระยะไกลอัตโนมัติ แทนการใช้คนออกไปตรวจวัดน้ำ ทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง รวดเร็วและแม่นยำ ระบบ SCADA และระบบคลองอัตโนมัติจะมีระบบประมวลผลข้อมูล ระบบช่วยในการตัดสินใจ และ ระบบควบคุมประตูระบายน้ำระยะไกลแบบอัตโนมัติ หรือแบบควบคุมตามคำสั่งของผู้ควบคุม ทำให้การควบคุมการส่งน้ำทำได้ง่าย สะดวก และรวดเร็ว ทันต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบคลองส่งน้ำ ปัจจุบันเริ่มมีการนำเอาระบบดังกล่าวมาช่วยในการบริหารจัดการน้ำชลประทาน ในประเทศไทย

1.8 เอกสารอ้างอิง

1. กรมชลประทาน (2529). 84 ปี ชลประทาน. โรงพิมพ์สารมวลชน จำกัด. กรุงเทพฯ. 496 น.
2. คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. 2546. การวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำชลประทาน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 250 น.
3. ภราดา มีอำพล และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2542. การพัฒนาโปรกรม WASAM 3.01. หนังสือวันชูชาติ. สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์. น.77-95.
4. วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2538. เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการเรื่องน้ำขั้นสูง. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. น. 1-9.
5. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และ วัชระ เสือดี. 2538. การพัฒนาโปรแกรม WASAM Version 2. วิศวกรรมสาร มก, 25: 98-115.
6. วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2539. แนวความคิดในการจัดการน้ำระดับโครงการ. ดงตาลสัมพันธ์. สมาคมนิสิตเก่าวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. น. 30-41.
7. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และ ลำจวน เขียวแก่. 2539. การพัฒนา WASAM 2.2 สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษามูลบน. วิศวกรรมสาร มก, 28: 59-72.

8. วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2545. การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 300 น.
9. วิชญ์ ศรีวงษาและวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2546. การพัฒนาระบบวัดระดับน้ำและควบคุมการปิด-เปิดประตูระบายน้ำระยะไกล. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 ประจำปี 2546 : วิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน . ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. น. 549-559.
10. วราวุธ วุฒิวณิชย์ .2548. ประสิทธิภาพการชลประทานในประเทศไทย. การประชุมเรื่องน้ำของประเทศไทย ครั้งที่ 1 ณ ศูนย์ประชุมสหประชาชาติ กรุงเทพฯ. สมาคมทรัพยากรน้ำ. 22-23 มีนาคม 2548. 9 น.
11. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และ วิชญ์ ศรีวงษา. 2548. ระบบคลองอัตโนมัติ. หนังสือวันชูชาติ สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์. 4 มกราคม 2548. น. 61-70.
12. สำนักงานคณะกรรมการทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. 2540. เหตุผลและความจำเป็นการจัดทำแผนแม่บทการจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำต่างๆ ทั่วประเทศ. สำนักเลขาธิการนายกรัฐมนตรี 13 น.
13. สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2535. แนวทาวการเตรียมรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ. 13 น.
14. American Society of Civil Engineers. 1982. Principle of Project Formulation for Irrigation and Drainage Project. G.R. Baumli (eds.). 192 p.
15. Baum, W.C. and S.M.Tolbert. 1985. Investment in Development: Lessen of World Bank Experience. Oxford University Press. New York. p6.
16. Global Water Partnership. 1996. การบริหารจัดการน้ำแบบผสมผสาน (Integrated Water Resources Management). TAC Background Paper No. 4. แปลและเรียบเรียงโดย อภิชาต อนุกูลอำไพ. 68 น.
17. Hansen, V. E., Israelsen, O. W. and G. E. Stringham (1980). Irrigation Principles and Practices, Fourth Edition. John Wiley & Sons, New York, USA. 417 p.
18. Molle, F. and K .Pongput. 1997. NAGA Version 1.0: Documentation. DORAS Project, Kasetsart University, Bangkok. 40 p.
19. Rydzewski, J. R. (1987). Irrigation Development Planning: An Introduction for Engineers. John Wiley & Sons, New York. 265 p.
20. Small, L.E. and M.Svendsen. 1992. A Framework for Assessing Irrigation Performance I. International Food Policy Research Institute, Washington,D.C., 38 p.

1.9 แบบฝึกหัด

(1) จงบอกประเด็นสำคัญของการบริการจัดการน้ำระดับลุ่มน้ำ

(2) แนวคิดในการบริการจัดการน้ำแบบผสมผสานเหมาะที่จะนำมาใช้ในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในประเทศไทยหรือไม่ จงให้เหตุผล

(3) Global Water Partnership Comb คืออะไร มีประโยชน์อย่างไร

(4) จงระบุองค์ประกอบที่สำคัญของระบบชลประทานมาพอเป็นสังเขป

(5) จงอธิบายขั้นตอนในการวางโครงการชลประทาน โดยละเอียด

(6) จงระบุประเด็นสำคัญในการศึกษาความเหมาะสม (Feasibility Study) ของโครงการชลประทาน

(7) จงระบุประเภทของโครงการชลประทานที่ต้องทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม

(8) จงระบุสิ่งแวดล้อมที่อาจได้รับผลกระทบจากโครงการสร้างเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

(9) จงอธิบายหลักการจัดการน้ำชลประทานโดยละเอียด

(10) ตัวชี้วัดความสำเร็จของการจัดการน้ำชลประทานมีอะไรบ้าง

(11) Nested System คืออะไร มีความสำคัญอย่างไรต่อการจัดการน้ำชลประทาน

บทที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช (Soil-Water-Plant Relationships)

ในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช นี้ จะได้อธิบายถึงคุณสมบัติทางกายภาพของดินและพืชที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน สามารถอุ้มน้ำตลอดจนการที่พืชดูดน้ำจากดิน ความรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์เหล่านี้ จะเป็นพื้นฐานเบื้องต้นในการพิจารณาวางแผนออกแบบ และบริหารงานส่งน้ำชลประทานในแปลงเพาะปลูกให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.1 ความจำเป็นต้องมีการชลประทาน

เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่า องค์ประกอบสำคัญของการเพาะปลูกมีอยู่ 4 อย่างด้วยกัน คือ ดิน น้ำ พืช และพลังงานแสงแดด การที่พืชจะเจริญเติบโตงอกงามได้จะต้องปลูกอยู่ในดินที่ มีแร่ธาตุอาหารสมบูรณ์ มีความชุ่มชื้นพอเหมาะ มีอากาศและแสงแดดมาเป็นพลังงานในการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุให้เป็นอาหารที่จะนำไปใช้ในการเจริญเติบโตต่อไป

องค์ประกอบทั้ง 4 นี้ นอกจากพันธุ์พืชแล้วล้วนแต่ขึ้นอยู่กับธรรมชาติทั้งนั้นซึ่งหมายความว่าเรามิอาจจะบังคับหรือเปลี่ยนแปลงสภาพได้ตามความพอใจ เราสามารถทำได้อย่างมากก็เป็นการปรับปรุงหรือเพิ่มเติมเสริมให้มีสภาพดีขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ดิน คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของดินในแต่ละท้องที่นั้นถูกกำหนดโดยธรรมชาติ จะเปลี่ยนแปลงดินเหนียวให้เป็นดินทรายไม่ได้แต่เราสามารถเพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินเพื่อปรับปรุงโครงสร้างของดินให้ดีขึ้นได้ พลังงานแสงแดดก็เช่นกัน พื้นที่ใดจะได้รับแสงแดดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่นั้น การจะขยายเวลากลางวันให้นานขึ้นนั้นทำไม่ได้ในพื้นที่แปลงใหญ่ แต่พอจะทำได้สำหรับเรือนเพาะชำเท่านั้น น้ำฝนนั้นตกตามฤดูกาล แต่โดยทั่วไปแล้วมักจะตกไม่สม่ำเสมอตลอดฤดูและปริมาณที่ตกก็ไม่เท่ากันในทุกปี ซ้ำการกระจายของฝนยังไม่ทั่วถึงพื้นที่ ฉะนั้นน้ำฝนจึงมักจะไม่พอเหมาะแก่การเจริญงอกงามของพืชในเขตเกษตรน้ำฝน (Rainfed Agriculture) ถ้าหากว่าพื้นที่เพาะปลูกนั้นมีฝนตกสม่ำเสมอดีและมีประสิทธิภาพพอก็ไม่จำเป็นจะต้องจัดหาน้ำมาเพิ่มเติมอีก แต่ถ้าฝนตกไม่แน่นอน เช่น มีการทิ้งช่วงนาน ๆ และบ่อยครั้ง การจัดหาน้ำมาช่วยในช่วงระยะเวลาดังกล่าวก็จะช่วยให้พืชสามารถเจริญงอกงามต่อไปตามปกติ และจะไม่มีผลกระทบต่อผลผลิต

นอกจากนี้ถ้าหากไม่มีการชลประทานแล้วชาวนาก็จะไม่สามารถปลูกพืชนอกฤดูฝนได้ การชลประทานจึงนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นเพราะผลผลิตจะเพิ่มขึ้น คุณภาพจะดีและทำให้ผลผลิตคงที่ ก็เมื่อมีการชลประทานช่วย กล่าวคือ

(1) การชลประทานเป็นหลักประกันได้ว่าพืชจะมีน้ำพอเพียงกับความต้องการอยู่ตลอดเวลา

(2) การชลประทานช่วยให้สามารถเพิ่มจำนวนต้นพืชต่อไร่ได้มากขึ้น

(3) การชลประทานช่วยให้สามารถใช้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(4) ทำให้สามารถปลูกพืชพันธ์ใหม่ ๆ ที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อให้คุณภาพของผลผลิตดีขึ้น

(5) ทำให้สามารถปลูกพืชให้ผลกำไรตอบแทนสูง

(6) ทำให้การเพาะปลูก เช่น การตกกล้า การปักดำ และการเก็บเกี่ยวได้เสร็จตามแผนการผลิตและความต้องการของตลาด

(7) ทำให้สามารถปลูกพืชหมุนเวียนกันได้ทุกฤดูกาลหรือตลอดทั้งปี

(8) ทำให้สามารถขยายพื้นที่เพาะปลูกให้ได้ประโยชน์มากขึ้น

(9) สามารถป้องกันวัชพืช

(10)ช่วยชำระล้างความเค็มของดิน

หรือถ้าจะแยกความแตกต่างระหว่างการเพาะปลูกที่อาศัยการชลประทานกับการเพาะปลูกที่ไม่อาศัยการชลประทานให้เห็นข้อแตกต่างกันได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างการเพาะปลูกที่อาศัยการชลประทานกับการเพาะปลูกที่ไม่อาศัยการชลประทาน

อาศัยการชลประทาน	ไม่อาศัยการชลประทาน
1. ฤดูที่ยาวนานกว่า	1. ฤดูปลูกสั้น
2. ปลูกพืชได้มากชนิดกว่า	2. จำกัดชนิดพืช ในการปลูก
3. ปลูกพืชหลายอย่างในขณะเดียวกัน	3. ปลูกพืชได้น้อยอย่าง
4. มีความมั่นคงและได้ผลผลิตสูง	4. ไม่มั่นคงและได้ผลผลิตต่ำ
5. มีค่าลงทุนสูงโดยได้รับค่าตอบแทนสูง	5. ค่าลงทุนต่ำแต่มีผลตอบแทนต่ำ
6. ช่วงระยะเวลาการทำงานนาน และมีงานที่จะต้องปฏิบัติมากกว่า	6. ช่วงระยะเวลาการทำงานสั้นและมีงานน้อย

อย่างไรก็ตามต้องขอกล่าวเน้นไว้ที่นี้ว่า การจัดหาน้ำมาเพื่อวัตถุประสงค์นี้ ควรทำต่อเมื่อผลประโยชน์ที่จะได้รับเพิ่มขึ้นคุ้มกับค่าลงทุนเท่านั้น ดังนั้นก่อนตัดสินใจลงทุนจัดหาน้ำมาเพื่อการชลประทานควรจะได้พิจารณาจากหัวข้อดังต่อไปนี้เสียก่อน คือ

(1) เมื่อมีการชลประทานแล้ว ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตจะเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด

(2) จะต้องมีวิธีการอื่นใดอีกที่จะช่วยให้การชลประทานนั้นเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง เช่น จะต้องใช้ปุ๋ยมากขึ้นเพื่อจะได้ปลูกพืชต่อไร่มากขึ้น และจะต้องใช้เงินเพื่อการนี้เท่าไร

(3) จะต้องการน้ำมาทำการชลประทานในระยะเวลาต่าง ๆ เท่าไร และจะหาน้ำนั้นได้จากไหน

(4) จะเลือกใช้การชลประทานแบบใด และจะต้องเสียค่าลงทุนเท่าใด

เมื่อเปรียบเทียบค่าลงทุนทั้งหมดกับผลประโยชน์ที่จะได้รับเพิ่มขึ้นจากการมีชลประทาน ถ้าหากไม่คุ้มก็ไม่ควรมีการชลประทาน และการชลประทานก็เป็นเพียงส่วนประกอบหนึ่งที่ช่วยให้การเพาะปลูกมีผลดีทั้งในทางปริมาณและคุณภาพอย่างสม่ำเสมอตลอดไป

2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของดิน

ดินมีคุณสมบัติที่สำคัญหลายประการ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช โดยเฉพาะคุณสมบัติทางกายภาพซึ่งค่อนข้างจะคงที่ และสามารถสังเกตตรวจสอบได้จากภายนอกโดยไม่จำเป็นต้องคำนึงส่วนประกอบทางเคมี ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะคุณสมบัติที่สำคัญเกี่ยวข้องกับการให้น้ำชลประทานโดยตรงเท่านั้น อันได้แก่ลักษณะเนื้อดิน (Soil Texture) โครงสร้างของดิน (Soil Structure) และความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (Apparent Specific Gravity, As) หรือความหนาแน่นรวม (Bulk Density) และความพรุนของดิน (Porosity, n) เป็นต้น

คุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพของดินมีความเกี่ยวพันกับการเติบโตของพืช ซึ่งดินที่มีความอุดมด้วยแร่ธาตุอาหารพืชนั้น ไม่จำเป็นต้องเป็นดินที่ให้ผลผลิตสูงแก่พืชผลที่ปลูกเสมอไป นอกจากว่าดินนั้น ๆ จะมีคุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพเหมาะสมกับความต้องการของพืชควบคู่กันไปกับความอุดมด้วยธาตุอาหารของพืช เช่น ดินบางชนิด อาจมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการยังชีพของพืชอย่างครบถ้วนและเพียงพอกับความต้องการของพืช แต่ถ้าดินนั้นจับกันเป็นก้อนแข็งจนต้นกล้าของเมล็ดพืชที่ปลูกไม่อาจงอกโผล่พ้นผิวดินขึ้นมาได้ง่าย และรากของต้นที่โผล่พ้นผิวดินก็ได้รับความลำบากในการไชชอนไปในดินเพื่อหาน้ำ และอาหารไปเลี้ยงลำต้น พืชที่ขึ้นอยู่บนดินนั้น ๆ ย่อมไม่อาจเติบโตและให้ผลผลิตได้ดีเท่าที่ควร เพราะสมบัติทางกายภาพไม่เหมาะสมของดินเป็นตัวจำกัดไม่ให้พืชใช้ประโยชน์จากธาตุอาหารที่มีอยู่ได้เต็มที่ ดังนั้นควรทำความเข้าใจกับคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ของดินเสียก่อน

เนื้อดิน(Soil Texture) เป็นคุณลักษณะของดินที่บ่งถึงความหมาย หรือความละเอียดของดิน เนื้อดินจะหยาบหรือละเอียดนั้น เราใช้ช่วงขนาดของอนุภาคปฐมภูมิของดินเป็นตัวกำหนด

ดินส่วนใหญ่ประกอบด้วยส่วนผสมระหว่างอนุภาคปฐมภูมิหลัก 3 ชนิด อันได้แก่ อนุภาคของทราย (Sand) ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05 มม. ตะกอนทราย (Silt) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.002-0.05 มม. และดินเหนียว (Clay) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.002 มม. สำหรับดินที่มีอนุภาคของทรายเป็นส่วนประกอบมากกว่าเรียกว่า ดินเนื้อหยาบ อนุภาคของทราย ตะกอนทราย และดินเหนียวเป็นส่วนประกอบอย่างละเท่า ๆ กัน เรียกว่า ดินเนื้อร่วน หรือดินเนื้อปานกลาง เนื้อดินจึงอาจแบ่งหยาบ ๆ ได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังกล่าว

นอกจากนี้ยังนิยมจำแนกประเภทของเนื้อดินโดยละเอียดตามมาตรฐานสากลอีก ทำได้โดยนำดินที่ต้องการจะทราบไปวิเคราะห์แยกหาส่วนประกอบของอนุภาคปฐมภูมิอันได้แก่ อนุภาคทราย ตะกอนทราย และดินเหนียวว่ามีอย่างละกี่เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ซึ่งผลรวมจะต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์เสมอ แล้วนำผลที่ได้ไปเทียบกับไดอะแกรมสามเหลี่ยมมาตรฐานในรูปที่ 1 ก็จะทราบว่า เป็นเนื้อดินประเภทใด

ในทางปฏิบัติ การจำแนกเนื้อดินอย่างหยาบ ๆ อาจจะทำได้โดยการพิจารณาจากลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน ซึ่งถ้าหากผู้สังเกตมีประสบการณ์พอสมควร ก็สามารถบอกชื่อดินกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ถูกต้อง ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินกลุ่มที่สำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้

ดินทราย(Sand) เป็นดินที่ประกอบด้วยทรายมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ จึงมีลักษณะหลวมตัวและแยกกันเป็นเม็ด ๆ ทรายแต่ละเม็ดสามารถมองเห็นและสัมผัสได้โดยง่ายเมื่อใช้มือบีบขณะแห้งแล้วคลายออก ทรายจะร่วนหล่นแยกออกจากกัน ถ้าบีบกดเมื่อเปียกชื้นทรายจะจับเป็นก้อนแต่จะแตกออกเมื่อจับต้อง

ดินร่วนปนทราย(Sandy Loam) เป็นดินที่ประกอบด้วยทรายมากกว่า 50 % แต่มีตะกอนทรายและดินเหนียวปนอยู่ พอที่จะทำให้จับตัวกันเป็นก้อนได้บ้าง ทรายแต่ละเม็ดจะสามารถมองเห็นและสัมผัสได้ ถ้าบีบไว้ในมือเมื่อชื้นจะจับตัวเป็นก้อนแข็งและไม่แตกเมื่อใช้นิ้วกดเบา ๆ

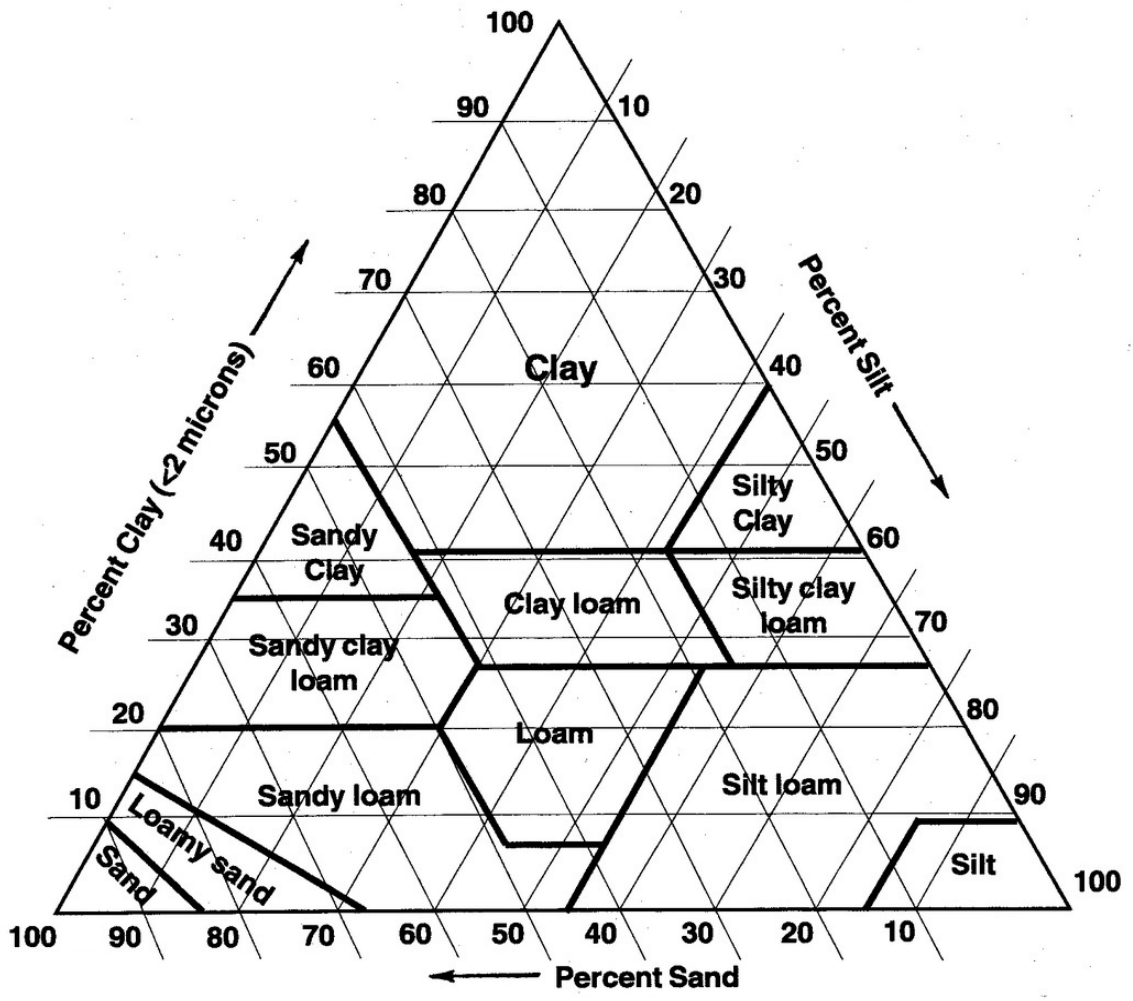
ดินร่วน (Loam)เป็นดินที่มีส่วนผสมของทราย ตะกอนทราย และดินเหนียว ในอัตราส่วนอย่างละพอ ๆ กัน มีลักษณะอ่อนนิ่มเมื่อจับ แต่พอจะสังเกตได้ว่ามีความหยาบกระด้างของทรายอยู่บ้าง เมื่อเปียกจะเหนียวเล็กน้อย ถ้าทำให้แน่นในเมื่อขณะที่แห้งจะเป็นก้อนและไม่แตกเมื่อใช้นิ้วกดเบา ๆ แต่ถ้าทำให้แน่นในขณะที่ดินเปียกจะเป็นก้อนแข็งไม่แตก

ดินร่วนปนตะกอนทราย(Silt Loam) เป็นดินที่ประกอบด้วยตะกอนทรายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ มีทรายละเอียดปนอยู่เป็นจำนวนปานกลาง และมีดินเหนียวปนอยู่จำนวนเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อแห้งมักจะจับตัวเป็นก้อน แต่ก้อนดินเหล่านี้สามารถจะทำให้แตกได้ง่าย เมื่อบดขยี้จะรู้สึกอ่อนนุ่มเหมือนแป้ง ไม่ว่าจะแห้งหรือปียกดินมักจะจับตัวเป็นก้อน ซึ่งหยิบจับได้โดยไม่แตกหัก

ดินร่วนปนดินเหนียว(Clay Loam) เป็นดินที่มีเนื้อละเอียดเป็นก้อนหรือแผ่น ซึ่งมักจะแข็งเมื่อแห้ง เมื่อใช้นิ้วจี้ดูจะเป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งแตกได้ง่าย เนื้อดินเปียกจะจับตัวเป็นก้อนซึ่งจะต้องถือเบา ๆ เมื่อคลึงจะไม่แตกเป็นผง และจะกลายเป็นก้อนที่อัดตัวแน่น

ดินเหนียว(Clay) เป็นดินที่มีเนื้อละเอียด ซึ่งส่วนมากเมื่อแห้งมักจะจับตัวเป็นแผ่นหรือก้อนแข็ง เมื่อทำให้เปียกจะปั้นเป็นก้อนได้ และมักจะมีลักษณะเหนียว เมื่อใช้นิ้วจี้ดูจะเป็นแผ่นยืดหยุ่น

เช่น สมมติว่าการจากการวิเคราะห์ดินก้อนหนึ่ง มีอนุภาคทราย 50 % ตะกอนทราย 30 % ดินเหนียว 20 % จากรูปที่ 2.1 ก็จะบอกได้ว่าดินก้อนนั้นเป็นดินร่วน (Loam)



รูปที่ 2.1 การจำแนกเนื้อดินตามสัดส่วนของทราย ตะกอนทราย และดินเหนียว

ดินเนื้อละเอียดโดยปกติเมื่อแห้งจะจับกันเป็นก้อนที่แข็งแกร่งและเมื่อเปียกจะเหนียวเหนอะหนะ ต้องใช้แรงงานมากในการไถ คราด หรือพรวนดิน จึงนิยมเรียกดินจำพวกนี้อีกอย่างว่า Heavy Soil ในทางตรงกันข้าม ดินเนื้อหยาบโดยปกติเป็นดินที่ไถ คราด หรือพรวนง่าย เพราะไม่จับกันเป็นก้อนแข็งแกร่งและไม่เหนียวเหนอะหนะ จึงนิยมเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Light Soil ฉะนั้น คำว่า Heavy และ Light มิได้บ่งถึงน้ำหนักดินแต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามควรจะต้องทราบลักษณะของเนื้อดินชั้นต่าง ๆ ในเขตรากพืช เพราะลักษณะเนื้อดินมีอิทธิพลอย่างมากต่อปริมาณน้ำที่จะอุ้มเอาไว้สำหรับให้พืชใช้ และอัตราการไหลซึมของน้ำลงในดิน เป็นต้น ดินที่ประกอบด้วยเม็ดดินขนาดใหญ่หรือดินเนื้อหยาบ เช่น ดินทรายจะมีคุณสมบัติให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย มีการระบายน้ำดี แต่อุ้มน้ำไว้ได้น้อย ในทางตรงกันข้าม ดินเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กจะอุ้มน้ำไว้ได้มาก แต่การระบายน้ำและถ่ายเทอากาศไม่ดี ดูรูปที่ 2.2 นี่เป็นข้ออธิบายอย่าง

หนึ่งว่าดินที่มีเนื้อขนาดปานกลางจะเหมาะสำหรับการปลูกพืชมากกว่าดินเนื้อละเอียด ถึงแม้ว่าดินเนื้อละเอียดจะเก็บน้ำไว้ได้ดีกว่าก็ตาม

โครงสร้างของดิน(Soil Structure) หมายถึงคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัว และเกาะกันระหว่างเม็ดดินเป็นก้อนดิน โครงสร้างของดินกำหนดจากรูปร่าง ขนาด และความคงทนต่อการแตกแยกของเม็ดดิน โครงสร้างของดินมีอิทธิพลต่อการชลประทาน และการกสิกรรมอย่างยิ่ง เพราะโครงสร้างของดินจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศภายในดิน อัตราการซึมของน้ำลงในดิน ตลอดจนการแผ่กระจายของรากพืช ฉะนั้น ควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของดินในเขตรากพืชด้วย การเขตกรรมอยู่เสมอ ๆ

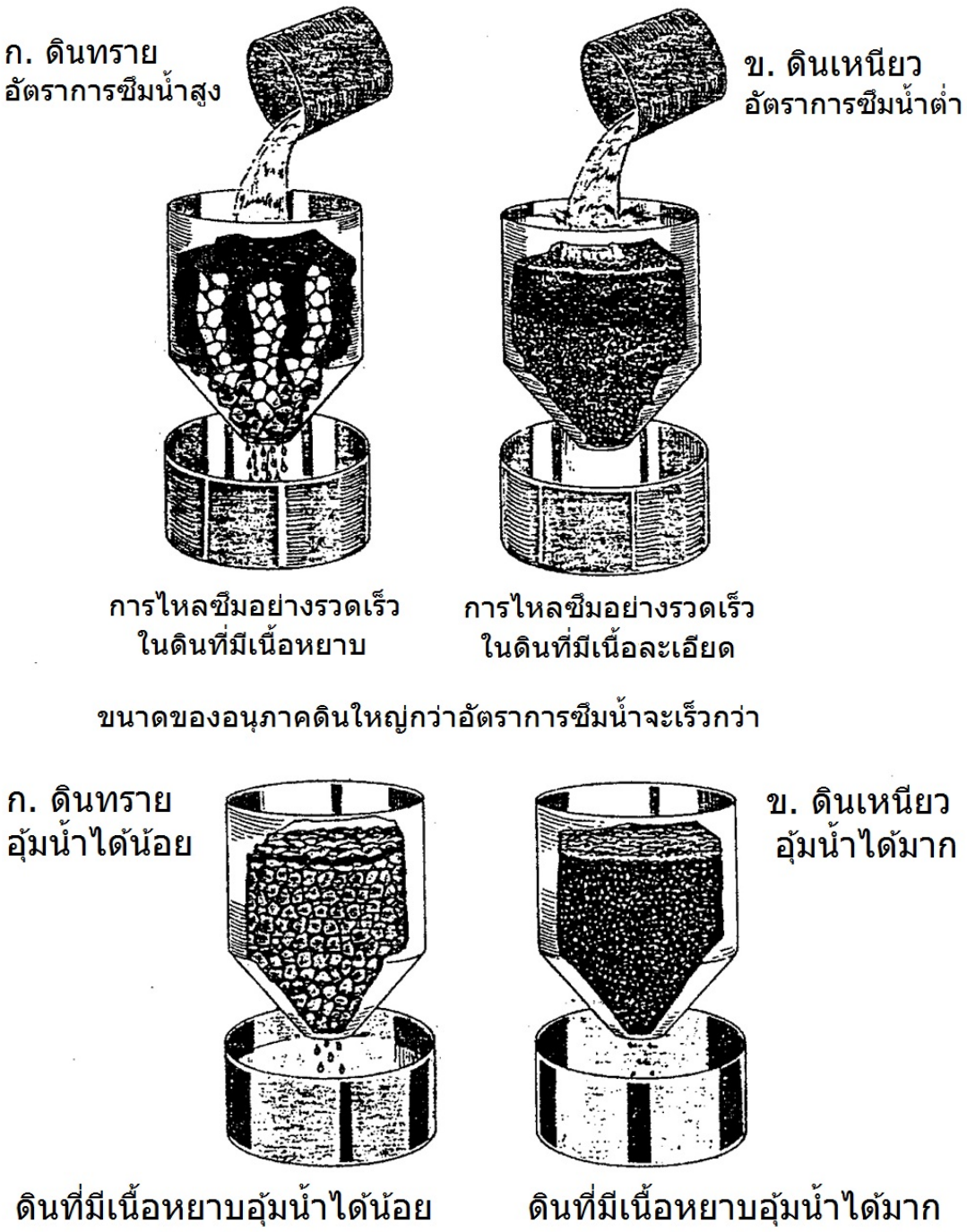
ประเภทของโครงสร้างของดิน ดูรูปที่ 2.3 เมื่อพิจารณาตามลักษณะรูปร่างของเม็ดดิน หรือหน่วยโครงสร้างของดิน อาจจำแนกโครงสร้างออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

(1) **โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นก้อนเหลี่ยม** มีความกว้าง ความยาว และความหนา ไล่เลี่ยกัน โครงสร้างแบบนี้น้ำซึมได้ด้วยอัตราปานกลาง

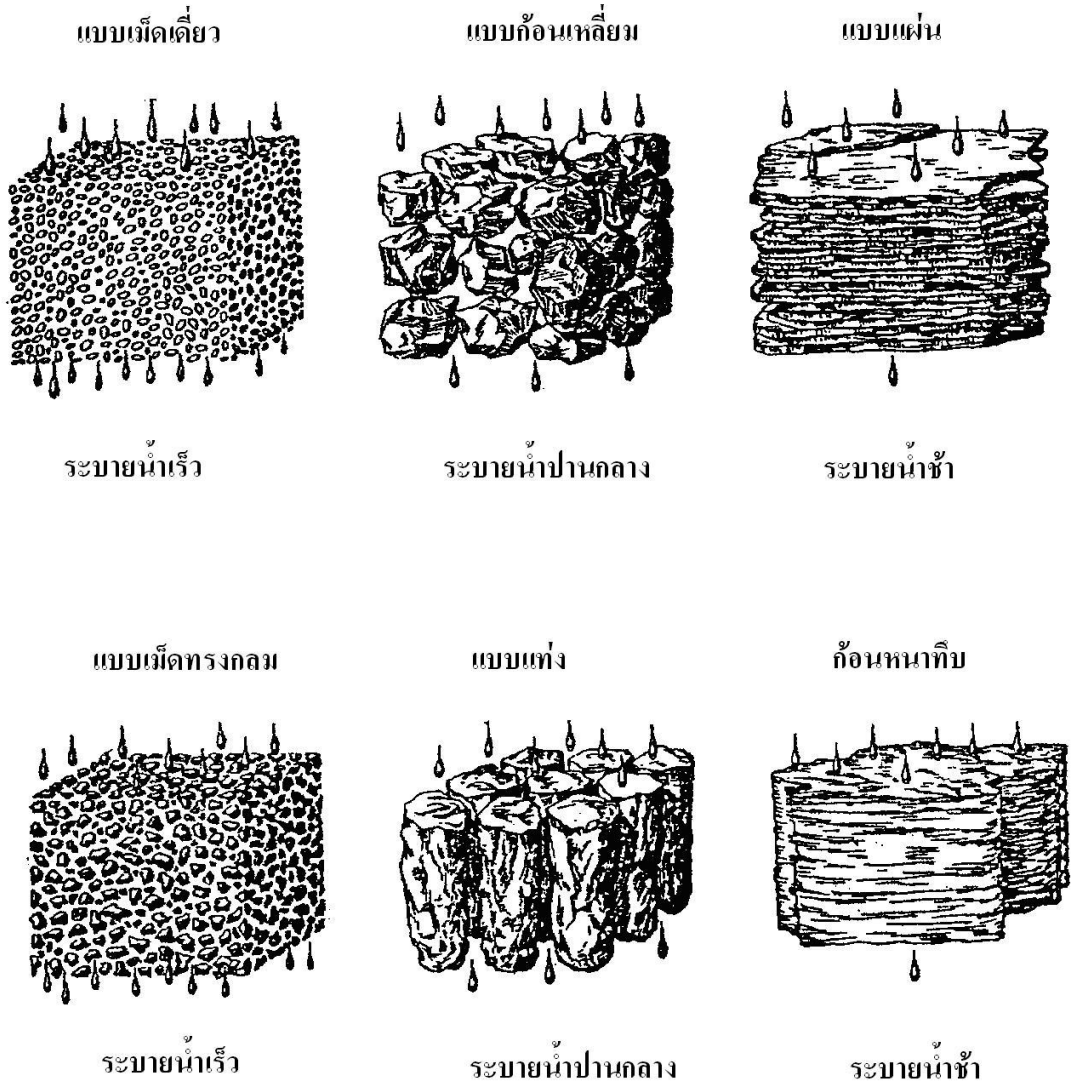
(2) **โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแผ่นในแนวราบ** มีความยาว และความกว้างเป็นหลายเท่าของความหนา โครงสร้างแบบนี้น้ำซึมได้ช้า

(3) **โครงสร้างมีลักษณะเป็นเม็ดคล้ายทรงกลม** เป็นโครงสร้างที่เหมาะสมกับการเพาะปลูกมากกว่าโครงสร้างแบบอื่น ๆ

(4) **โครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแห่งตั้งในแนวดิ่ง** คือมีความหนา เป็นหลายเท่าของความกว้าง และความยาว น้ำซึมได้เร็ว



รูปที่ 2.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่มีเนื้อหยาบและดินที่มีเนื้อละเอียด



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของดินที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent specific Gravity, As) เป็นคุณสมบัติของดินที่สำคัญมากอย่างหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการจะหาปริมาณน้ำที่จะให้แก่พืชเพราะเป็นเครื่องแสดงถึงความสามารถของดินที่สามารถอุ้มน้ำชลประทานไว้ได้มากหรือน้อยอย่างหนึ่ง ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏนี้หาได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของดินแห้ง และจากนิยามดังกล่าวจะเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$$As = \frac{Ws}{\gamma_w V} \qquad (2.1)$$

เมื่อ As = ความถ่วงจำเพาะปรากฏ

Ws = น้ำหนักของดินแห้ง

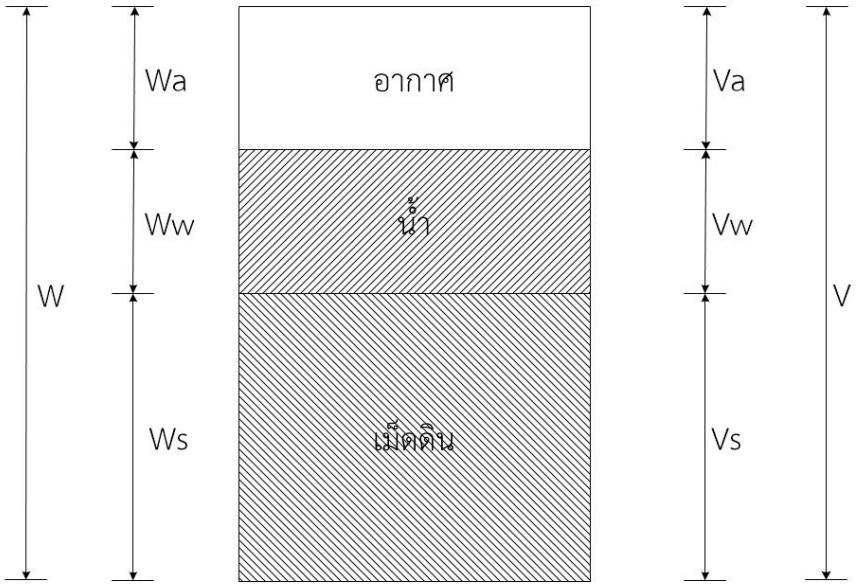
V = ปริมาตรของดินทั้งก้อน ซึ่งเท่ากับปริมาตรของอากาศ (Va)

(Va) + ปริมาตรน้ำ (Vw) + ปริมาตรของเม็ดดิน (Vs)

γ_w = ความหนาแน่นของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 62.4 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต

ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏนี้ บางครั้งก็ใช้เป็นค่าความหนาแน่นรวมของดิน (Bulk Density, D_B) โดยที่ค่าความหนาแน่นรวมของดิน หมายถึง อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของดินแห้ง ต่อปริมาตรของดินทั้งก้อน ดังสมการ

$$D_B = \frac{W_S}{V} \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเม็ดดิน น้ำ และอากาศ

จากสมการจะเห็นว่าเมื่อใช้หน่วยในระบบเมตริก คือน้ำหนักเป็นกรัม ปริมาตรเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร และความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าตัวเลขของความถ่วงจำเพาะปรากฏกับค่าความหนาแน่นรวม จะเป็นตัวเลขเดียวกัน ต่างกันที่ค่าความถ่วงจำเพาะไม่มีหน่วยแต่ความหนาแน่นรวมมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

การหาค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินหรือความหนาแน่นของดินจะหาได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Soil Core Sampler ดังแสดงในรูปที่ 2.5 เครื่องมือนี้ใช้เก็บตัวอย่างดินแบบไม่ให้กระทบกระเทือนต่อโครงสร้างของดิน ส่วนปลายที่ใช้ตัดดิน (Cutting Tips) มี 2 แบบ คือ แบบใบมีด (หมายเลข 7) ใช้สำหรับดินอ่อนและดินแบบลิ่ม (หมายเลข 8) ใช้สำหรับดินแข็ง

ในขั้นแรกก่อนที่จะลงมือเก็บตัวอย่างดินจะต้องทำการวัดปริมาตรและชั่งน้ำหนัก วงแหวน (หมายเลข 11) ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างดินเสียก่อน แล้วจึงนำเครื่องมือดังกล่าวไปตอกลงในดิน โดยใช้ค้อน (หมายเลข 13) ตรงบริเวณและความลึกที่ต้องการจุดที่จะเก็บตัวอย่างดินควรจะมีลักษณะเป็นตัวแทนของดินในแปลงทั้งหมด การเก็บตัวอย่างดินแต่ละครั้งไม่ควรเก็บน้อยกว่า 5 จุด เพื่อจะได้นำมาเฉลี่ยหาค่าที่ถูกต้อง เมื่อเก็บตัวอย่างดินได้แล้วให้ใช้เครื่องดันที่เรียกว่า Core Extractor (หมายเลข 15) ดันวงแหวนออกจากกระบอกเก็บตัวอย่างดินและใช้มีดปาดดินให้มีปริมาตรพอดีกับวงแหวนแล้วจึงนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง นำเอาออกมาชั่งหาน้ำหนักของดินแห้ง (Ws) แล้วจึงทำการคำนวณหาความถ่วงจำเพาะปรากฏตามสมการที่ 2.1 หรือความหนาแน่นรวมจากสมการที่ 2.2

ตัวอย่างที่ 2.1 ในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินมีข้อมูลดังต่อไปนี้

ขนาดวงแหวน : เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตรน้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 45 กรัมน้ำหนักดินแห้งหลังอบรวมน้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 250 กรัม

วิธีทำ

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

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

น้ำหนักดินแห้ง (Ws) $= 250-45 = 205$ กรัม

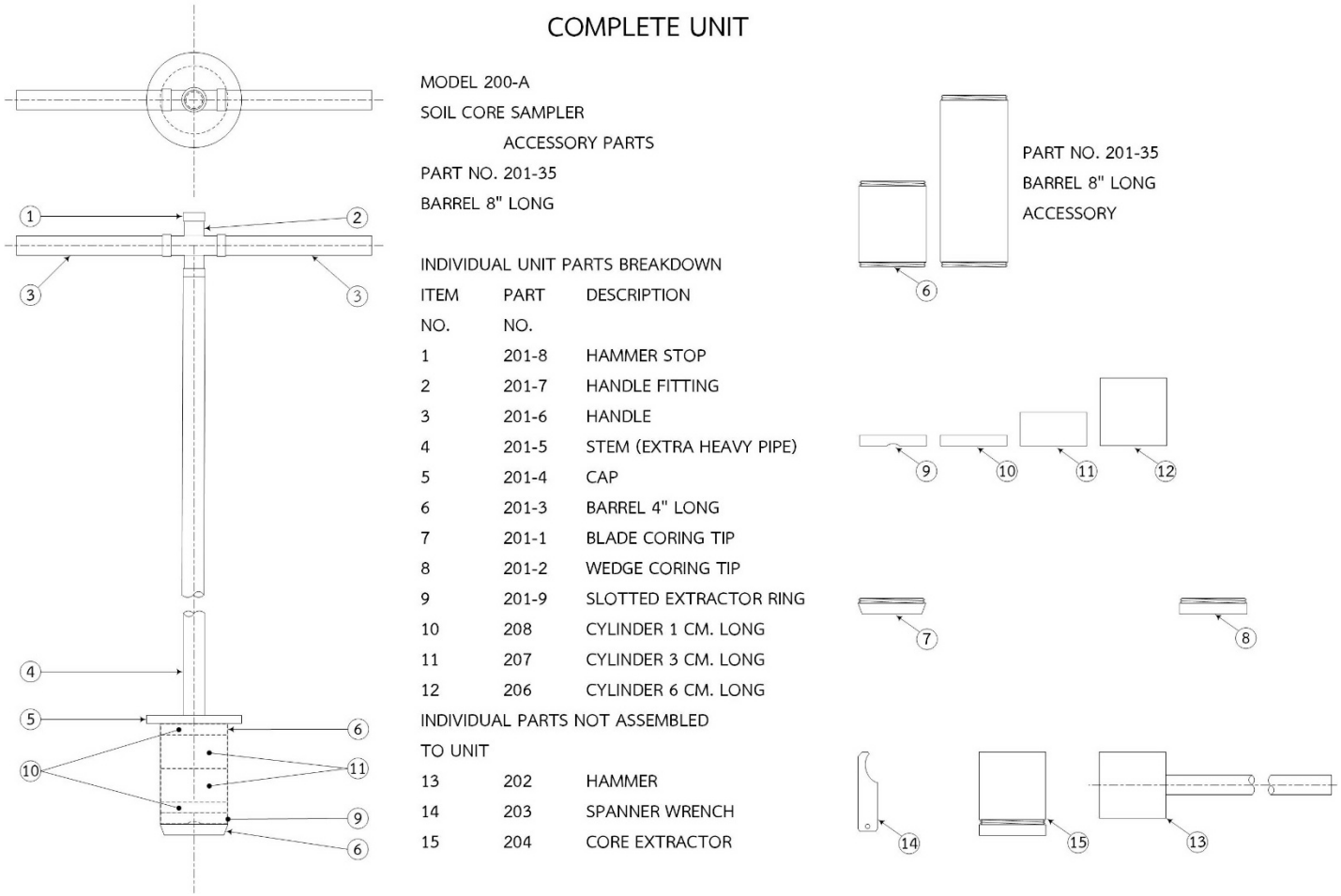
ความหนาแน่นของน้ำ (γ_w) $= 1$ กรัมต่อ ลบ.ซม.

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

$= \frac{205}{1 \times 142.5} = 1.43$

หรือความหนาแน่นของดิน (DB) $= \frac{Ws}{V}$

ความหนาแน่นของดิน $= \frac{205}{142.5} = 1.43$ กรัมต่อ ลบ.ซม.



รูปที่ 2. 5 เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินแบบ Soil Core Sampler

ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินในพื้นที่เพาะปลูกทั่ว ๆ ไปจะมีค่าน้อยที่สุดที่ผิวดินเนื่องจากดินโปร่งและมีอินทรียวัตถุมาก ค่าดังกล่าวนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อต่ำจากผิวดินมากขึ้น และจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อต่ำกว่าผิวดินประมาณ40 เซนติเมตร ถึงแม้ค่านี้จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดและลักษณะของดินก็ตาม ถ้าต้องการรู้ค่าที่แท้จริงจะต้องตรวจวัดเอาในสนาม แต่ถ้าไม่สะดวกที่จะทำการวัดจริง ๆ ในสนามอาจจะพิจารณาเลือกใช้ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏตามชนิดของเนื้อดิน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (A_S)

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 (Silt Clay)	1.25 – 1.35 (เฉลี่ย 1.30)
ดินเหนียว (Clay)	1.20 – 1.30 (เฉลี่ย 1.25)

ความพรุนของดิน(Porosity, n) เป็นอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินต่อปริมาตรของก้อนดิน คือ

$$n = \frac{Vv}{V} \times 100 \qquad (2.3)$$

n = ความพรุนของดิน

Vv = ปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งเท่ากับปริมาตรของอากาศ (Va) + ปริมาตรของน้ำ (Vw) ที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดดิน

V = ปริมาตรของดินทั้งก้อน

ดินเนื้อละเอียดจะมีความพรุนมากกว่าดินเนื้อหยาบ ดังนั้นค่าความถ่วงจำเพาะหรือความหนาแน่นของดินเนื้อละเอียดจึงต่ำกว่าของดินเนื้อหยาบ ดินชนิดต่าง ๆ มีความพรุนแตกต่างกัน เพราะลักษณะการจัดเรียงและการเชื่อมยึดกันระหว่างเม็ดดินแตกต่างกัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัวของดินแต่ละชนิด นอกจากนี้อินทรียวัตถุในดิน ก็มีส่วนทำให้ความพรุนและความหนาแน่นของดินแตกต่างกันไปด้วย การหาความพรุนของดินอาจจะทำได้ต่อจากการหาค่าความหนาแน่นรวมของดิน โดยใช้ Soil Core Sampler เก็บตัวอย่างดิน เราก็จะทราบปริมาตรของตัวอย่างดินที่เราเก็บได้จากปริมาตรของวงแหวนเก็บตัวอย่าง เมื่อได้ปริมาตรรวมของก้อนดินแล้ว (V) ก็นำก้อนดินนั้นมาหาปริมาตรของส่วนที่เป็นของแข็ง (Vs) โดยการนำดิน

นั้นไปละลายน้ำที่รู้ปริมาตร คนจนเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงวัดปริมาตรรวมทั้งหมด ปริมาตรรวมทั้งหมดนี้เมื่อหักลบกับปริมาตรของน้ำเดิมก็จะทราบปริมาตรของดินส่วนที่เป็นของแข็ง (Vs) เราก็สามารถหาค่า Vv ซึ่งเท่ากับ V-Vs ได้ แล้วจึงคำนวณหาค่าความพรุนของดินตามสูตรที่กล่าวข้างต้นได้ อย่างไรก็ดีถ้าไม่สามารถหาความพรุนของดินดังวิธีข้างต้นได้ก็อาจจะใช้ค่าความพรุนของดินในพื้นที่เพาะปลูกดังแสดงในตารางที่ 2.3 แทนได้

ตารางที่ 2.3 ความพรุน (porosity) ของดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	ความพรุน (n) %	
	ช่วงค่าปกติ	ค่าเฉลี่ย
ดินทราย	32-42	38
ดินร่วนปนทราย	40-47	43
ดินร่วน	43-49	46
ดินร่วนปนเหนียว	47-51	49
ดินเหนียวปนตะกอนทราย	49-53	51
ดินเหนียว	51-55	53

2.3 ชนิดของน้ำในดิน

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การเรียงตัวของเม็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปทรงต่าง ๆ ขึ้นในดิน เมื่อฝนตกหรือให้น้ำแก่พืช น้ำก็จะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ และเกาะติดอยู่กับเม็ดดินด้วย แรงดึงดูดของโมเลกุลชนิดเดียวกัน (Adhesive Force) และแรงดึงดูดของโมเลกุลต่างชนิดกัน (Cohesive Force) ถ้าหากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่างเรากล่าวว่า ดินนั้นอิ่มน้ำ (Saturated) และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมด จะเป็นปริมาตรสูงสุดที่ดินจะเก็บเอาไว้ได้ ถ้าไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ แต่เนื่องจากว่าสสารทุกอย่างที่อยู่บนผิวโลกจะถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำอยู่ตลอดเวลารวมทั้งน้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำที่อยู่ตรงกลางของช่องว่างกับเม็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นเมื่อผลรวมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำต่อน้ำและน้ำต่อดินน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก น้ำก็จะไหลลงสู่ที่ลึกกว่าน้ำในดินที่ไหลด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้เรียกว่าน้ำอิสระ (Gravitational Water หรือ Free Water) ดังเช่น เมื่อฝนหยุดตกหรือหยุดให้น้ำแก่พืช น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะระบายออกภายในเวลา 2-3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี Free Water จะถูกระบายออกไปหมดก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืชและจะมีอากาศเข้ามาแทนที่ ส่วนน้ำในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ซึ่งไม่ถูกระบาย

ออกด้วยแรงดึงดูดของโลก อาจจะยังคงมีการเคลื่อนที่อยู่ด้วยแรงดูดซับน้ำซึ่งอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ดังกล่าวนี้เรียกว่า น้ำดูดซับ (Capillary Water) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ช้ามาก ช้ากว่าน้ำอิสระ (Free Water) และจะมีทิศทางใดก็ได้ โดยเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่มีแรงดึงดูดความชื้นมากที่สุดเสมอ

และจากการสูญเสียน้ำโดยการระเหยจากผิวดิน และจากที่พืชดูดเอาไปใช้จะทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่น้ำในดินไม่มีการเคลื่อนที่อีก ทั้งนี้เพราะว่าแรงที่น้ำหรือความชื้นจับยึดติดแน่นเป็นแผ่นบาง ๆ รอบเม็ดดิน จะมากจนกระทั่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ พืชก็จะเหี่ยวเฉาและถ้าหากไม่ให้น้ำแก่พืชในตอนนี้แล้วพืชก็จะตาย น้ำซึ่งยึดติดแน่นกับเม็ดดินและไม่สามารถที่จะทำให้เคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก หรือแรงดูดซับนี้เรียกว่าน้ำเยื่อ (Hygroscopic Water)

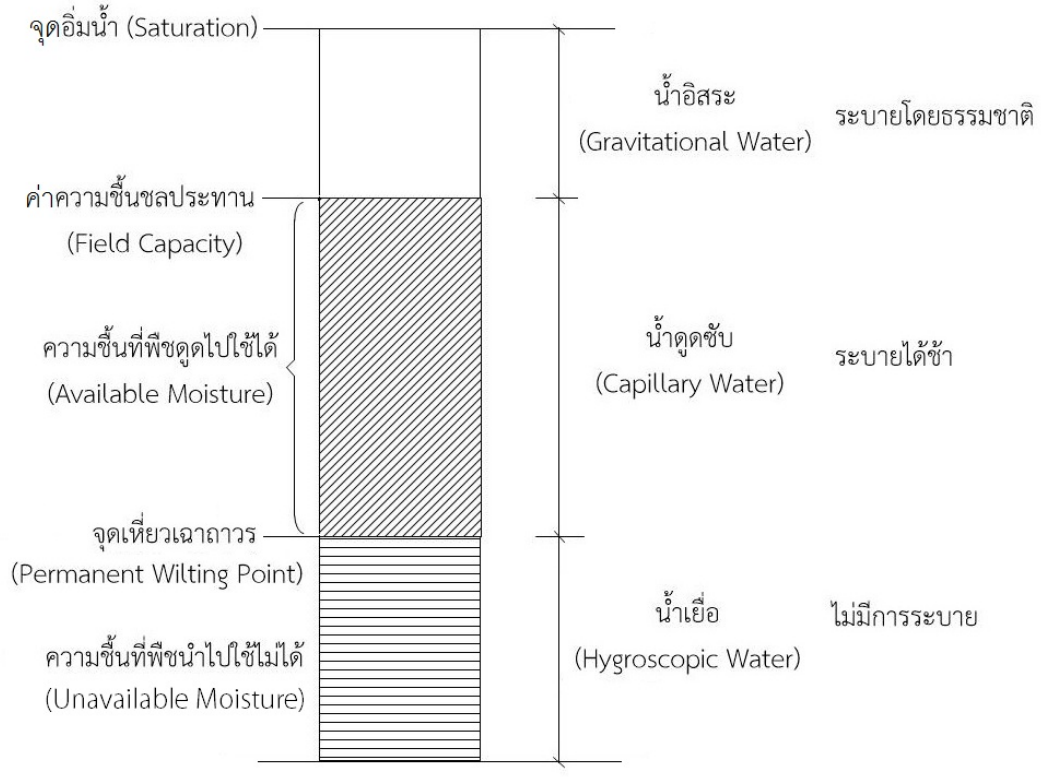
สรุปแล้ว เราสามารถจัดแบ่งน้ำในดินออกได้เป็น 3 ชนิด ดังกล่าวคือ ดูรูปที่ 2.6 ประกอบ

(1) น้ำอิสระ (Free Water or Gravitational Water)

(2) น้ำดูดซับ (Capillary Water)

(3) น้ำเยื่อ (Hygroscopic Water)

ในบรรดาน้ำทั้งสามชนิดนี้น้ำดูดซับ (Capillary Water) นับว่ามีความสำคัญต่อพืชมากที่สุด น้ำส่วนใหญ่ที่พืชดูดไปใช้ได้ก็คือน้ำส่วนนี้



รูปที่ 2.6 น้ำในดินและระดับความชื้นของดินที่จุดต่าง ๆ

น้ำอิสระ(Free Water) เป็นน้ำส่วนเกินซึ่งพืชจะได้รับประโยชน์จากน้ำส่วนนี้บ้างเพียงเล็กน้อยก่อนที่น้ำส่วนนี้จะถูกระบายออกจากดินในเขตราก ในทางปฏิบัติน้ำส่วนนี้ถือว่าสูญเสีย

น้ำเยื่อ(Hygroscopic Water) เป็นส่วนที่พืชดูดไปใช้ไม่ได้จึงนับว่าไม่มีความสำคัญต่อพืช

2.3.1 ความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

หลังจากที่น้ำอิสระได้ถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้ว ความชื้นในดินก็จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง เพราะน้ำที่เหลืออยู่มีการเคลื่อนที่ช้ามาก ปริมาณความชื้นในดินหลังจากน้ำอิสระถูกระบายออกไปหมดแล้วนี้ เรียกว่า เป็นความชื้นชลประทาน (Field Capacity) ปริมาณความชื้นที่ Field Capacity นี้ไม่อาจหาเป็นค่าตัวเลขที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะยังคงมีการเคลื่อนที่ของน้ำดูดซับ (capillary Water) อยู่ตลอดเวลา แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นไม่มากนัก ในทางปฏิบัติมักจะถือว่าปริมาณความชื้นในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี หลังจากที่ฝนตกหนัก หรือหยุดให้น้ำแล้ว 2-3 วัน เป็นความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

2.3.2 จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

ความชื้นในดินเมื่อพืชไม่สามารถมาใช้ทดแทนการคายน้ำ และพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เรียกว่า ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายกรณีก่อนที่จะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น ในตอนกลางวันของวันที่มีอากาศร้อนจัด ความชื้นของอากาศต่ำ ลมแรง และพืชมีใบกว้าง ลักษณะของอากาศและพืชเช่นที่กล่าวนี้จะทำให้พืชมีการสูญเสียน้ำโดยการควยออกทางใบมาก และเมื่ออัตราที่พืชดูดน้ำจากดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ พืชก็มักจะมีอาการเหี่ยวเฉาถึงแม้ว่าขณะนั้นดินจะมีความชื้นอยู่มากก็ตาม แต่เมื่ออากาศเย็นลงพืชก็จะสดขึ้นตามเดิม จะเห็นได้ว่าอาการเหี่ยวแของพืชไม่ว่าจะเป็นการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรหรือชั่วระยะเวลาหนึ่งนั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช ความลึกและการแผ่กระจายของราก ตลอดจนความสามารถของดินที่จะเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ได้เราถือว่าพืชมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร ถ้าหากว่านำพืชที่เฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพืชจะมีการสูญเสียน้ำน้อยมากหรือไม่มีการสูญเสียเลย แล้วพืชนั้นยังไม่สดขึ้น

2.3.3 ความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ (Available Moisture)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชดูดไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตก็คือน้ำดูดซับ (Capillary Water) ซึ่งอยู่ระหว่างความชื้นชลประทาน (Field Capacity)กับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ดังนั้นผลต่างระหว่างความชื้นในดินสองค่านี้ก็คือ ค่าความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ (Available Moisture)

ความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้นี้มีหน่วยการวัดได้หลายอย่าง เช่น วัดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของดินแห้ง (Pw) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Pv) ความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน ซึ่งแบบหลังนี้เป็นหน่วยที่สะดวกและนิยมใช้กันมาก เช่น ดินร่วนมีความชื้นที่พืชดูดไปใช้ 2 มม. ต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามหน่วยทั้งสามนี้สามารถเปลี่ยนจากหนึ่ง ไปเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ ถ้าทราบค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏหรือค่าความหนาแน่นรวมของดิน ซึ่งจะกล่าวถึงวิธีหาภายหลัง

ขนาดของเม็ดดินหรือเนื้อดินจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้ได้มาก กล่าวคือ ในดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตามดินทรายบางชนิดอาจมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากว่าดินเหนียว ทั้งนี้เพราะดินที่มีเนื้อละเอียดมาก ๆ จะมีน้ำที่ยึดอยู่รอบ ๆ เม็ดดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้เป็นจำนวนมากด้วย

ในดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีมักจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะว่าที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity) น้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ซึ่งส่วนมากมีขนาดใหญ่จะถูกระบายออกไปจนหมด มีความชื้นที่เก็บไว้ได้น้อย ดินที่มีมีความชื้นที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้มากมักจะเป็นดินที่มีเม็ดขนาดปานกลางหรือค่อนข้างละเอียด เช่น ดินที่ประกอบขึ้นด้วยตะกอนทราย (Silt) เป็นส่วนใหญ่ ความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่าง ๆ จะได้กล่าวถึงต่อไป

2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

ดินเปรียบเสมือนถังน้ำหรือเป็นที่เก็บน้ำโดยธรรมชาติให้แก่พืช ซึ่งรากพืชจะดูดเอาความชื้นในดินไปใช้อีกทอดหนึ่ง และในการให้น้ำชลประทานเราพยายามให้น้ำไม่มากไปกว่าที่ความสามารถของดินในระยะเขตรากพืชจะอุ้มไว้ได้ ดินแต่ละชนิดมีความสามารถอุ้มน้ำไว้ได้มากน้อยต่างกัน และนานเร็วต่างกันไปตามลักษณะเนื้อดิน และโครงสร้างของดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นสำคัญ เช่น ในระหว่างดินเหนียว ดินร่วน และดินทรายนี้ ดินเหนียวจะอุ้มน้ำได้มากที่สุดและนานที่สุด ส่วนดินทรายมีลักษณะตรงกันข้ามดังที่แสดงในรูปที่ 2.2

สำหรับในแง่ของการชลประทาน ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ (ยกเว้นนาข้าว) คือความชื้นในดินช่วงระหว่างความชื้นชลประทานถึงความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรเท่านั้น ดังนั้นในที่นี้ก็จะกล่าวเฉพาะแต่ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินในช่วงนี้เท่านั้นเช่นกัน และเพื่อความสะดวกในการคำนวณความชื้นที่จะเพิ่มให้แก่ดินตามความสามารถสูงสุดที่ดินจะอุ้มไว้ได้นั้น ได้กำหนดว่าที่ความชื้นชลประทานมีค่าแรงดึงความชื้นอยู่ระหว่าง 1/10-1/3 บรรยากาศ และความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรมีแรงดึงความชื้นเท่ากับ 15 บรรยากาศ ซึ่งก็พอจะหาค่าออกมาเป็นความชื้นโดยน้ำหนักหรือความลึกของน้ำต่อความลึกของดินได้ โดยอาศัยเครื่องแยกความชื้นออกจากดิน (Soil Moisture Extractor) สำหรับในกรณีที่ไม่มี

เครื่องมือดังกล่าว อาจจะพิจารณาเลือกใช้ค่าต่าง ๆ ได้จากตารางที่ 2.4 และความสามารถในการอุ้มน้ำของดินหรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ของดินชนิดต่าง ๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.4 ค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรของดินชนิดต่าง ๆ

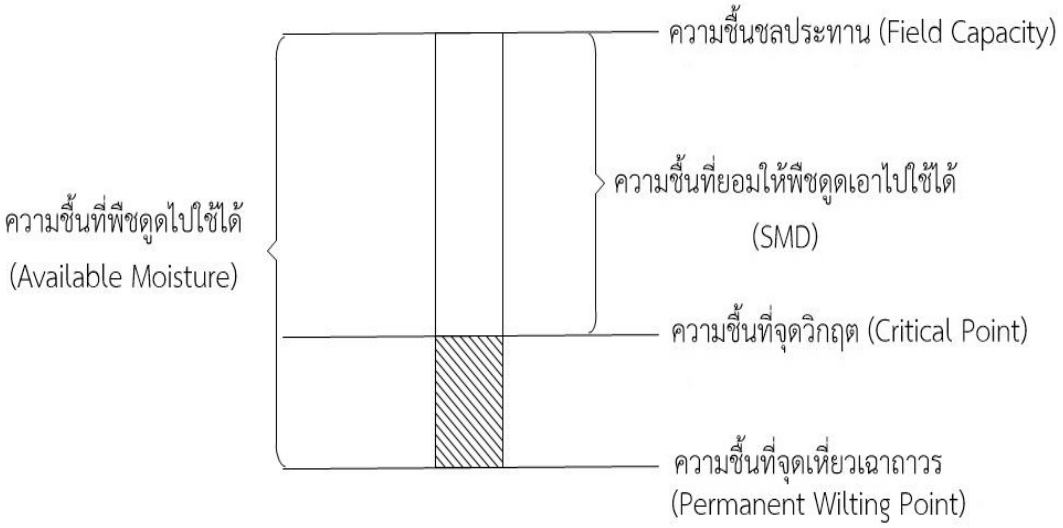
เนื้อดิน	ความชื้นชลประทาน % โดยน้ำหนักดินแห้ง	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร % โดยน้ำหนักดินแห้ง
ดินทราย (Sand)	6-12 (เฉลี่ย 9)	2-6 (เฉลี่ย 4)
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	10-18 (เฉลี่ย 14)	4-8 (เฉลี่ย 6)
ดินร่วน (Loam)	18-26 (เฉลี่ย 22)	8-12 (เฉลี่ย 10)
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)	23-31 (เฉลี่ย 27)	11-15 (เฉลี่ย 13)
ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay)	27-35 (เฉลี่ย 31)	13-17 (เฉลี่ย 15)
ดินเหนียว (Clay)	31-39 (เฉลี่ย 36)	15-19 (เฉลี่ย 17)

ตารางที่ 2.5 ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ประโยชน์ในดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	ความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ เป็น มม. ต่อดินลึก 1 ซม.
ดินเนื้อหยาบมาก-ดินทรายเนื้อหยาบมาก	0.35 – 0.65
ดินเนื้อหยาบ-ดินทรายหยาบ ดินทรายละเอียดและดินทรายปนดินร่วน	0.65 – 1.00
ดินเนื้อหยาบปานกลาง-ดินร่วนปนทราย และดินร่วนปนทรายละเอียด	1.00 – 1.50
ดินเนื้อปานกลาง-ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน และดินร่วนปนตะกอนทราย	1.20 – 1.90
ดินเนื้อละเอียดปานกลาง-ดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนปนดินเหนียว ปนตะกอนทราย และดินร่วนปนดินเหนียวปนทราย	1.50 – 2.10
ดินเนื้อละเอียด-ดินเหนียวปนทราย, ดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินเหนียว	1.30 – 2.10
ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมาก	1.70 – 2.50

2.5 ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (Allowable Soil Moisture Deficiency, SMD)

ในการให้น้ำแก่พืชที่ไม่ใช้ข้าวตามหลักการชลประทานที่ถูกต้องนั้น คือ การให้น้ำเพื่อควบคุมความชื้นในดินในเขตรากพืชให้อยู่ในช่วงระหว่างจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) กับความชื้นชลประทาน (Field Capacity) หรือพูดง่าย ๆ ว่าอยู่ในช่วงความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ การให้น้ำแก่พืชและเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร ส่วนจะให้ลดลงใกล้มากน้อยแค่ไหน ขึ้นอยู่กับความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ความสามารถในการทนแล้งของพืชและสภาพภูมิอากาศ เช่น ความแห้งแล้งและชุ่มชื้นซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำของพืช โดยทั่ว ๆ ไปจะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 50-70 เปอร์เซ็นต์ ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไป เรียกว่า ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (Allowable soil moisture deficiency, SMD) ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดุดเอาความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้จนหมดแล้ว เรียกความชื้นที่เหลือระดับนี้ว่าความชื้นวิกฤต หรือความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical moisture level หรือ Critical point) ซึ่งที่ระดับความชื้นนี้ ถือว่าเป็นจำนวนความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดิน ในระดับที่เริ่มจะกระทบกระเทือนต่อผลผลิต เพื่อให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างเทอมต่าง ๆ ที่กล่าวถึงจะแสดงให้ดูไว้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้กับความชื้นที่ยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้

จากรูปที่ 2.7 พอจะสรุปได้ว่า การให้น้ำแก่พืชจะต้องเริ่มทำเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤตและปริมาณน้ำที่ให้จะต้องมากพอที่จะเพิ่มความชื้นในดินให้ถึงความชื้นชลประทานซึ่งถ้าหากทำการให้น้ำ

ไม่ทันจนทำให้ความชื้นในดินลดต่ำลงกว่าความชื้นที่จุดวิกฤตจะมีผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิตของพืชทำให้ผลผลิตน้อยลง

แต่การที่จะรู้ว่าความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤตหรือยังจะต้องมีการตรวจวัดความชื้นในดินในเขตรากพืชซึ่งมีทางทำได้ 3 วิธี คือการตรวจความชื้นโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสการวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนักและวิธีสุดท้ายคือการวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ ทั้ง 3 วิธีดังกล่าวจะช่วยทำให้ทราบว่าควรจะให้น้ำแก่พืชได้หรือยัง และก็ต้องให้ด้วยปริมาณเท่าใด ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะการตรวจความชื้นโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส กับการวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก เพื่อให้เข้าใจง่ายเป็นแนวทางประกอบสำหรับหัวข้อบรรยายอื่น ๆ ต่อ ๆ ไป

2.6 การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน

การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่เจาะได้ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในเขตรากและที่จุดต่าง ๆ ในพื้นที่จะทำให้ทราบความชุ่มชื้นของดินได้โดยประมาณเนื่องจากวิธีนี้ต้องการเครื่องมือเจาะดูตัวอย่างดินเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมีประโยชน์มากเมื่อไม่มีเครื่องมือกำหนดการให้น้ำช่วย เพียงแต่ใช้สว่านเจาะดินหรือใช้พลั่วขุดดินในเขตรากมาตรฐานดู ซึ่งกระทรวงเกษตรของสหรัฐได้จัดทำตารางสำหรับเป็นแนวทางในการกำหนดการให้น้ำไว้ ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่มีความชื้นที่พืชดูดไปใช้ในระดับต่าง ๆ

ความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ที่มีอยู่ในดิน	**ลักษณะความรู้สึกสัมผัส**			
	ดินเนื้อหยาบ	**ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ**	**ดินเนื้อปานกลาง**	**ดินเนื้อละเอียดและละเอียดมาก**
0 เปอร์เซ็นต์	แห้ง ร่วน ไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้ง ร่วน ไม่เกาะกันเป็นก้อน	ดินเนื้อปานกลาง	แห้ง แข็ง มีรอยแตกร้าว บางทีมีก้อนร่วนเล็ก ๆ บนผิวหน้า
50 เปอร์เซ็นต์หรือต่ำกว่า	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือไม่เป็นก้อน	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือไม่เป็นก้อน	แห้งเป็นผงหรือเกาะกันเป็นก้อนแต่บี้ให้แตกเป็นผงได้ง่าย	ค่อนข้างนุ่ม กำให้แน่นเป็นก้อนได้

50-75 เปอร์เซ็นต์	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือไม่เป็นก้อน	กำให้แน่นเป็นก้อนได้แต่แตกง่าย ไม่เกาะกัน	ค่อนข้างร่วน แต่กำให้แน่นจะเกาะกันเป็นก้อนได้	กำให้เป็นก้อนใช้นิ้วรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้
75 เปอร์เซ็นต์ ถึง Field Capacity	เกาะกันบ้าง กำเป็นก้อนแต่แตกง่าย	กำเป็นก้อน แต่แตกง่าย	กำเป็นก้อนได้ ค่อนข้างเหนียว เมื่อบีบจะลื่นเล็กน้อย	รีดเป็นแผ่นระหว่างนิ้วมือได้ง่าย รู้สึกลื่น
ที่ Field Capacity (100 เปอร์เซ็นต์) เกิน Field Capacity	บีบไม่มีน้ำออกมา แต่เปียกมือ สลัดในมือจะมีน้ำกระเด็นออกมา	เหมือนดินเนื้อหยาบ นวดดินจะมีน้ำออก	เหมือนดินเนื้อหยาบ บีบจะมีน้ำออกมา	เหมือนดินเนื้อหยาบ เป็นโคลน มีน้ำบนผิว

2.7การหาความชื้นในดินโดยการชั่งน้ำหนัก

การตรวจวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนักเป็นวิธีหนึ่งที่จะทราบว่าความชื้นในดินขณะนั้นลดลงถึงจุดที่ต้องให้น้ำได้หรือยัง โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในเขตรากพืชและที่จุดต่าง ๆ ในแปลงเพาะปลูก (ตัวอย่างดินที่เก็บจากแต่ละจุดไม่ควรน้อยกว่า 100 กรัม) นำมาชั่งแล้วอบให้แห้งในเตาอบ ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของดินไม่ลดลงอีก จากนั้นจึงนำเอาไปชั่งหาน้ำหนักของดินแห้ง น้ำหนักของดินที่หายไปในการชั่งทั้งสองครั้ง ก็คือจำนวนความชื้นในดินขณะที่เก็บตัวอย่างนั่นเอง

การที่จะบอกว่าดินมีความชื้นเท่าใด สามารถบอกได้ 3 แบบ คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน

(1) ความชื้นในดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง จะหาได้จากสมการ

$$Pw = 100\frac{Ww}{Ws} \quad (2.4)$$

เมื่อ Pw = ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง

Ww = น้ำหนักของน้ำในดิน

Ws = น้ำหนักของดินแห้ง

(2) ความชื้นในดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะหาได้จากสมการ

$$Pv = 100\frac{Vw}{V} \quad (2.5)$$

เมื่อ Pv = ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

Vw = ปริมาตรของน้ำในดิน

V = ปริมาตรของดินทั้งก้อน

(3) ความชื้นในดินในรูปของความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน

วิธีนี้ก็คล้าย ๆ กับวิธีการที่หาความชื้นโดยปริมาตร โดยการเก็บตัวอย่าง ทำโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างตัวอย่างซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเท่ากับ A ดังนั้น ปริมาตรของน้ำในดินจะเท่ากับ d.A. และปริมาตรก้อนดินเท่ากับ A.D. ในเมื่อ d และ D เป็นความลึกของน้ำที่อยู่ในดินและความลึกของแท่งดินตามลำดับ จากสมการที่ (4) จะได้ว่า

$$Pv = 100 \times \frac{Vw}{V} = 100 \times \frac{d.A.}{D.A.}$$

หรือ $$\frac{d}{D} = \frac{Pv}{100} \qquad (2.6)$$

ในกรณีที่ทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As) หรือความหนาแน่นรวม (D_B) ของดินแล้วการหาจำนวนความชื้นของดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะง่ายขึ้น โดยทำการหาความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งสะดวกกว่าเสียก่อน แล้วใช้สูตร

$$Pv = Pw.As \qquad (2.7)$$

จากสมการ (2.6) $$\frac{d}{D} = \frac{Pw.As}{100} \qquad (2.8)$$

หรือ $$d = \frac{Pw.As.D}{100} \qquad (2.9)$$

ในเมื่อ d เป็นความลึกของน้ำที่อยู่ในดิน หรือที่จะต้องเพิ่มให้แก่ดิน D เป็นความลึกของดินที่พิจารณาส่งน้ำได้แก่ความลึกในเขตรากพืชนั่นเอง สำหรับค่าความลึกทั้งสองในสมการ (2.9) จะมีหน่วยอย่างเดียวกัน คือ ถ้า D เป็นเซนติเมตร d ก็จะเป็นเซนติเมตรด้วยถ้าเปลี่ยนเป็นหน่วยอื่น ต้องมีค่าคงที่มาคูณ

ในการคำนวณปริมาณน้ำชลประทานที่จะส่งนั้น จำนวนความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้มักจะนิยมคำนวณจากหน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อความลึกของดินดังตารางที่ 2.4 เมื่อต้องการจะทราบว่าจะต้องให้น้ำแก่พืชคิดเป็นความลึกเท่าไรก็เอาความลึกของเขตรากคูณกับค่าจำนวนความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ตามกำหนดก็จะได้ความลึกของน้ำที่ต้องการให้แก่พืช

ตัวอย่างที่ 2.2 ในการหาความชื้นในแปลงเพาะปลูกแห่งหนึ่ง ซึ่งเนื้อดินเป็นดินร่วน โดยต้องการทราบความชื้นทั้ง 3 แบบ คือ (ก) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง (ข) เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร และ (ค) ความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน ผลจากการใช้สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดินปรากฏว่ามีข้อมูลดังต่อไปนี้

น้ำหนักของกระป๋องเก็บตัวอย่าง = 17 กรัม

น้ำหนักดินเปียกรวมน้ำหนักกระป๋อง = 128 กรัม

น้ำหนักดินแห้งรวมน้ำหนักกระป๋อง = 105 กรัม

วิธีทำ น้ำหนักดินแห้ง (Ws) = 105 – 107 = 88 กรัม

น้ำหนักของน้ำในดิน (Ww) = 138 – 105 = 23 กรัม

ความชื้นในดิน = $\frac{23}{88}\times 100$ = 26.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง

ดังนั้น ก) ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง(Pw) = 26.1 %

จากตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ (As) ของดินร่วน = 1.40

ข)ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Pv) = Pw x As

= 26.1 x 1.40

= 36.5 %

ค) ความชื้นในรูปของความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน $\frac{d}{D} = \frac{Pv}{100}$

$= \frac{36.5}{100}$

= 0.365

หมายความว่าในดินลึก 1 เซนติเมตร จะมีความชื้น = 0.365 เซนติเมตร

2.8 ตัวอย่างการกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยการวัดความชื้นของดิน

ตัวอย่างที่ 2.3 จงหาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

ความชื้นของดินก่อนการให้น้ำ = 8.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง

ความชื้นที่ความชื้นชลประทาน = 21.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง

ความลึกของเขตราก = 0.90 เมตร

ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน = 1.25

วิธีทำ

ความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน

= 21.5 – 8.5 = 13.0 % โดยน้ำหนักดินแห้ง

ดังนั้น Pw = 13.0 %

D = 0.90 เมตร หรือ 90 เซนติเมตร

As = 1.25

จากสมการ (2.9) d = $\frac{Pw.As.D}{100}$

ความลึกของน้ำที่ต้องให้ = $\frac{13\times 1.25\times 90}{100}$ = 14.6 เซนติเมตร

ดังนั้นจะต้องให้น้ำแก่ดินเป็นปริมาณน้ำสุทธิ 14.6 เซนติเมตร ดินจึงจะมีความชื้นที่ความชื้นชลประทานตลอดความลึกของเขตราก 0.90 เมตร

สำหรับกรณีที่ดินในเขตรากมีเนื้อดินไม่สม่ำเสมอกันตลอด กล่าวคือ มีความถ่วงจำเพาะปรากฏต่างกัน การคำนวณหาปริมาณความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินก็ต้องทำเป็นชั้น ๆ แล้วจึงนำเอาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินในแต่ละชั้นมารวมกันก็จะได้ความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินทั้งหมด

2.9 ตัวอย่างการกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยพิจารณาถึงความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้

ตัวอย่างที่ 2.4 ถ้าจากการพิจารณาพบว่าดินในพื้นที่เพาะปลูกเป็นดินเนื้อปานกลางมีความสามารถในการอุ้มน้ำหรือมีความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ 2 มม./ซม. ถ้าข้าวโพดที่ปลูกในแปลงนี้มีระยะรากพืชลึกประมาณ 80 ซม. และความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ (SMD) = 60%

อยากทราบว่าค่าความชื้นในดินที่จะยอมให้ข้าวโพดดูดไปใช้ตลอดเขตรากคิดเป็นความลึกของน้ำเท่าไร

วิธีทำ หาความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ตลอดเขตราก = 2 x 80 = 160 มม.

$\therefore$ ความชื้นที่ยอมให้ข้าวโพดดูดไปใช้ได้ $= 160 \times \frac{60}{100}$

คิดเป็นความลึกของน้ำ = 96 มม.

ตัวอย่างที่ 2.5 ถ้าผลจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่าดินในแปลงเพาะปลูกเป็นดินร่วนและมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

ความชื้นชลประทาน (FC) = 25 % โดยน้ำหนักดินแห้ง

ความชื้นจุดเหี่ยวเฉาถาวร (PWP) = 10 % โดยน้ำหนักดินแห้ง

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As) = 1.4

ก) ให้คำนวณหาความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ (Available Moisture) ของดินในแปลงดังกล่าวในหน่วยความลึกของน้ำ (มม.) ต่อความลึกของดิน (ซม.)

ข) ถ้าพื้นที่ดังกล่าวกำลังปลูกอ้อย ซึ่งมีระยะรากลึกประมาณ 80 เซนติเมตร และจะให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ลดลง 60 % (SMD = 60 %)

ให้คำนวณหาความชื้นในดินที่ยอมให้อ้อยดูดไปใช้ได้ตลอดเขตราก ก่อนการให้น้ำ หรือปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่แปลงอ้อยนี้ (เป็นความลึกของน้ำ)

วิธีทำ

ก) หาความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ = ความชื้นชลประทาน – ความชื้นจุดเหี่ยวเฉาถาวร

= 25 – 10 = 15 % โดยน้ำหนักดินแห้ง

จากสมการ (2.9) $d = \frac{Pw.As.D}{100}$

ในที่นี้ Pw = 15 %

As = 1.4

D = ความลึกของดิน 1 เซนติเมตร

$\therefore d = \frac{15 \times 1.4 \times 1}{100}$ = 0.21 เซนติเมตร หรือ 2.1 มม.

ความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ = 2.1 มม./ซม.

ข) อ้อยรากลึก 80 เซนติเมตร

$\therefore$ ความชื้นที่อ้อยดูดไปใช้ได้ตลอดเขตราก = 2.1 x 80 = 168 มม.

กำหนดให้ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ = 60 %

$\therefore$ ความชื้นที่ยอมให้อ้อยดูดไปใช้ได้ตลอดเขตราก = $168 \times \frac{60}{100}$

= 100.8 มม.

หรือปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่แปลงอ้อย = 100.8 มม.

สำหรับการหาความถี่ในการให้น้ำหรือเมื่อให้น้ำเต็มที่แล้วพืชจะใช้ได้สูงสุดกี่วัน โดยไม่ทำให้กระทบกระเทือนต่อผลผลิต อาจจะใช้วิธีการคำนวณหาได้ เมื่อทราบอัตราการใช้น้ำสูงสุดของพืชต่อวัน ซึ่งก็พอจะคำนวณหาได้แต่จะไม่กล่าวในที่นี้ และปริมาณน้ำที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้หรือปริมาณน้ำชลประทานสุทธิดังสมการ

$$\text{ความถี่ในการให้น้ำ(วัน)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องให้แก่พืช(มม.)}}{\text{ปริมาณการใช้น้ำของพืช(มม./วัน)}}$$

ตัวอย่างที่ 2.6 สมมติตามตัวอย่างที่ 2.5 ถ้าอัตราการใช้น้ำในช่วงที่อ้อยมีรากลึก 80 เซนติเมตร นั้นมีค่า 8 มม./วัน ให้หาความถี่ในการให้น้ำ

วิธีทำ

จากสมการ

$$\text{ความถี่ในการให้น้ำ(วัน)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องให้แก่พืช(มม.)}}{\text{ปริมาณการใช้น้ำของพืช(มม./วัน)}}$$

$= \frac{100.8}{8} =$ 12.6 วัน

นั่นคือความถี่ในการให้น้ำ = 12 วัน

ปริมาณน้ำที่ที่จะทำให้ดินในเขตรากพืชอิ่มตัว

ปริมาณน้ำส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับความพรุนของดินในแปลงความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ และระยะเขตราก ซึ่งจะหาได้จากสมการ

$$Ds = \frac{(n - Pv)D}{100} \qquad (2.10)$$

เมื่อ Ds = ความลึกของน้ำที่จะทำให้ดินในเขตรากอิ่มตัว

n = เปอร์เซ็นต์ความพรุนของดิน

Pv = ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำมีหน่วยเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

D = ความลึกของเขตรากโดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าประมาณ 30 เซนติเมตร

ตัวอย่างที่ 2.7 ในแปลงปลูกข้าวซึ่งมีลักษณะเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ก่อนการให้น้ำมีความชื้น 10 % โดยน้ำหนักดินแห้ง ต้องการทราบปริมาณน้ำที่จะทำให้ดินในแปลงอิ่มตัวตลอดความลึก 30 เซนติเมตร (สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏและค่าความพรุนของดินให้ใช้ค่าเฉลี่ยจากตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2)

วิธีทำ

จากสมการ (2.10) $Ds = \frac{(n - Pv)D}{100}$

จากตารางที่ 2.3

n(ความพรุน) = 49 %

Pv(ความชื้นโดยปริมาตร) = Pw.As

Pw (ความชื้นโดยน้ำหนักดินแห้ง) = 10 %

จากตารางที่ 2.2

As (ความถ่วงจำเพาะปรากฏ) = 1.35

D (ความลึกของดิน) = 30 เซนติเมตร

แทนค่าในสมการ (2.10)

$$Ds = \frac{(49 - 10 \times 1.35)30}{100}$$

นั่นคือปริมาณน้ำที่จะทำให้ดินในแปลงอิ่มตัว = 10.65 เซนติเมตร

2.10 การดูดซึมน้ำของดิน (Intake Characteristics of Soil)

การดูดซึมน้ำของดินหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าการซึมของน้ำลดลงไปในดิน (infiltration) หมายถึงการที่น้ำซึ่งขังอยู่เหนือผิวดินค่อย ๆ ซึมลงไปในดินตามช่องว่างระหว่างเม็ดดินตามรอยแตกระแหงหรือรูโพรงต่าง ๆ ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลซึมลงไปในดินหนึ่งในหน่วยเวลาเรียกอัตราการดูดซึมน้ำของดิน (Intake Rate) หรืออัตราการซึมของน้ำลงไปในดิน (Infiltration Rate)

อัตราการดูดซึมน้ำของดินเป็นองค์ประกอบสำคัญในการกำหนดระยะเวลาที่จะต้องให้น้ำแก่พืช ตลอดจนอัตราการให้น้ำแก่แปลงเพาะปลูกและการกำหนดขนาดของแปลงเพาะปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการชลประทานแบบผิวดินเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในการให้น้ำ อัตราการดูดน้ำของดินจะมากน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญหลายอย่างเช่น

(1) **ความลึกของน้ำที่ขังอยู่บนผิวดิน** ความลึกของน้ำที่ขังอยู่บนผิวดินจะก่อให้เกิดแรงดันให้น้ำไหลซึมลงไปในดิน ถ้าน้ำที่ขังอยู่บนผิวดินมากจะก่อให้เกิดรงดันมาก น้ำจะไหลซึมลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว ถ้าความลึกของน้ำที่ขังอยู่บนผิวดินน้อยแรงดันก็จะน้อย น้ำจะซึมลงไปในดินได้ช้า

(2) **ลักษณะเนื้อดิน** ถ้าเป็นดินพวกเนื้อหยาบ เช่น พวกดินทราย จะยอมให้น้ำผ่านไปได้สะดวกและรวดเร็ว ส่วนดินเนื้อละเอียดเช่นดินเหนียวน้ำจะไหลผ่านได้อย่างช้า ๆ

(3) **ลักษณะโครงสร้างของดิน** จากที่ได้กล่าวมาแล้วเกี่ยวกับโครงสร้างของดิน เช่น โครงสร้างแบบเม็ดจะยอมให้น้ำไหลผ่านไปได้อย่างรวดเร็ว แต่โครงสร้างบางอย่างจะยอมให้น้ำไหลผ่านไปได้ปานกลาง เช่น โครงสร้างแบบก้อนและแบบแท่ง และโครงสร้างบางชนิดยอมให้น้ำไหลผ่านไปได้อย่างช้ามาก เช่น โครงสร้างแบบแผ่น

(4) **ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ** ถ้าดินแห้งมากหรือมีความชื้นน้อย ก่อนการให้น้ำดินจะมีแรงดึงความชื้นสูง น้ำจะถูกดูดซึมเข้าไปในดินได้อย่างรวดเร็ว แต่ถ้าดินมีความชื้นอยู่มากก่อนการให้น้ำ แรงดึงความชื้นของดินจะต่ำ อัตราการไหลซึมของน้ำเข้าไปในดินจะลดน้อยลง

(5) **การปิดผิวดิน** เกิดเนื่องจากเม็ดฝนหรือเม็ดน้ำที่ให้ด้วยวิธีการชลประทานแบบฉีดฝอย ตกลงมากระแทกผิวดินทำให้ผิวดินแน่น ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าอัตราการดูดซึมลดลงอย่างรวดเร็วหรืออาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากตะกอนที่ถูกพัดมากับน้ำในขณะที่ทำการให้น้ำหรือน้ำท่วม พวกตะกอนละเอียดจะเข้าไปอุดตามช่องว่างรอบเม็ดดินเม็ดใหญ่กว่าในลักษณะปิดเคลือบแน่นน้ำซึมผ่านไม่ได้ทำให้น้ำซึมผ่านได้ยาก

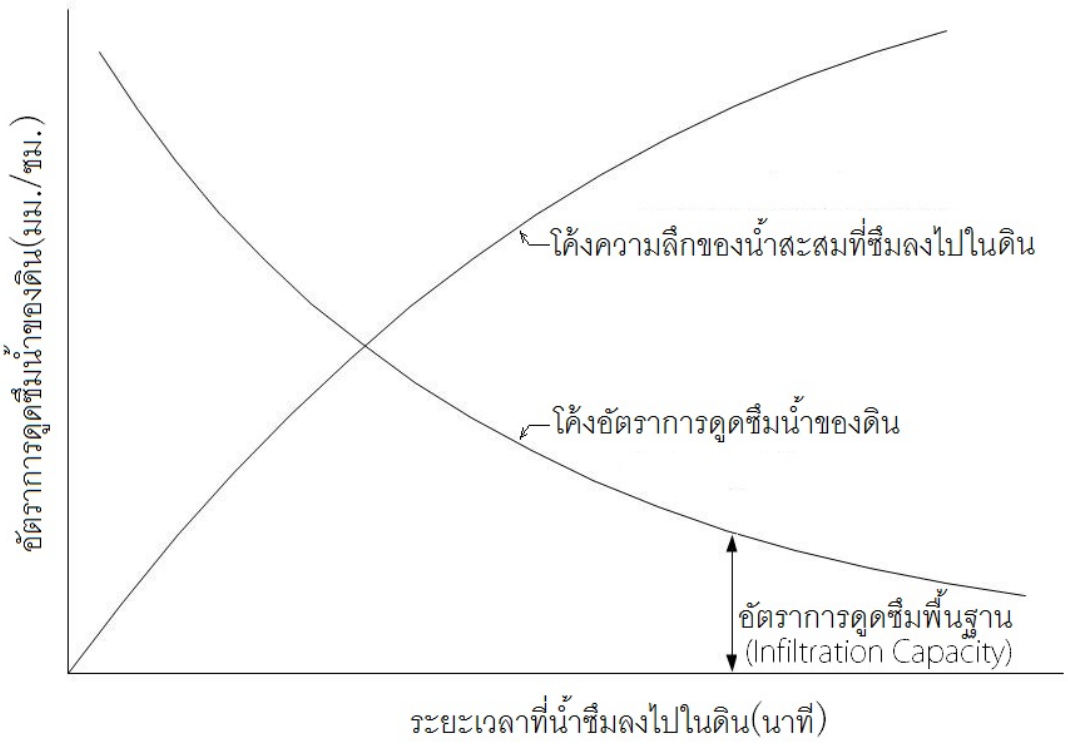
(6) **รอยแตกของดิน** คือการแตกระแหงของดินบางประเภท ในขณะที่แห้งมาก ๆ เช่น พวกดินเหนียว เมื่อส่งน้ำไปบนผิวดินเป็นครั้งแรกน้ำจะซึมผ่านรอยแตกอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อดินนี้เปียกก็จะขยายตัวออกปิดรอยแตก น้ำจะซึมผ่านได้ยากมาก แต่ถ้ารอยแตกระแหงมีมาก และมีขนาดใหญ่จะทำให้ค่าอัตราการดูดซึมของดินสูงตลอดเวลา

(7) **การไถพรวนดิน** การไถพรวนดินจะช่วยทำให้น้ำซึมลงไปในดินได้มากขึ้น เพราะการไถพรวนจะช่วยทำให้ดินร่วนขึ้น การไถพรวนจะช่วยแก้การปิดผิวดินได้ แต่ต้องไม่ทำการไถในระหว่างที่ดินเปียก เพราะจะทำให้เกิดดินอัดแน่นใต้ชั้นดินที่ทำการไถไว้

(8) **การปลูกพืชหมุนเวียน** จะช่วยทำให้ค่าอัตราการดูดซึมของดินเปลี่ยนแปลงได้ เพราะรากพืชจะช่วยทำให้ดินร่วน ดังนั้น ถ้ามีการจัดระบบการปลูกพืชหมุนเวียนให้ดี เช่น ทำการปลูกพืชรากลึกบ้าง ตื้นบ้าง สลับกันจะช่วยทำให้ดินร่วนขึ้น ดินจะสามารถรับน้ำได้มากขึ้น

(9) ปริมาณเกลือในดินและน้ำ ปัญหาเรื่องเกลือในดินจะมีผลต่อสภาพของดิน ถ้าในดินมีเกลือประเภทแคลเซียมและแมกนีเซียม จะช่วยทำให้ดินดีขึ้น มีลักษณะร่วนซุยขึ้น แต่ถ้าหากว่าในดินมีเกลือประเภทโซเดียมคลอไรด์ และโซเดียมซัลเฟต จะทำให้เกิดความเสียหายแก่ดินและจะทำให้ดินมีลักษณะแน่นทึบน้ำซึมผ่านยาก อาจจะแก้ไขได้โดยสารเคมีพวกแคลเซียมซัลเฟตหรือยิบซัม จะช่วยปรับปรุงดินและถ่ายเทอากาศทำให้รากพืชเจริญเติบโตได้ดีขึ้น

ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน อัตราการดูดซึมน้ำของดินจะมีค่าสูงมากในตอนแรกที่เริ่มทำการให้น้ำและจะมีค่าน้อยลงเรื่อย ๆ หลังจากที่ให้น้ำไปแล้วช่วงเวลาหนึ่งค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดินจะมีค่าเกือบคงที่ซึ่งอัตราการดูดซึมในช่วงนี้เรียกว่าอัตราการดูดซึมพื้นฐาน (Basic Intake Rate หรือ Infiltration Capacity) และได้มีผู้ให้นิยามว่า “อัตราการดูดซึมพื้นฐาน คือ อัตราการดูดซึมน้ำของดินในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการดุดซึมเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ต่อชั่วโมง” ซึ่งค่าโดยประมาณของดินชนิดต่าง ๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 2.6 และถ้าพิจารณาความลึกสะสม (Accumulated Depth) ของน้ำที่ซึมลงไปในดินจะเห็นว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการดูดซึมน้ำของดิน

ตารางที่ 2.6 ค่าโดยประมาณของอัตราการดูดซึมพื้นฐานของดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	อัตราการดูดซึมพื้นฐาน มม. ต่อชั่วโมง
ดินทรายหยาบ (Coarse Sand)	10.0 – 25.5
ดินทรายละเอียด (Fine Sand)	12.5 – 19.0
ดินร่วนปนทรายละเอียด (Fine Sandy Loams)	12.5
ดินร่วนตะกอนทราย (Silty Loams)	10.0
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loams)	7.5

2.10.1 การหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดิน วิธีการวัดหาอัตราการดูดซึมน้ำของดินแตกต่างกันไปตามลักษณะของการให้น้ำชลประทาน เช่น ถ้าคาดว่าจะทำการให้น้ำชลประทานแบบท่วมเป็นผืน ซึ่งลักษณะการดูดซึมน้ำจะเป็นแบบการดูดซึมในแนวดิ่งแต่เพียงอย่างเดียวควรจะใช้วิธีการวัดแบบใช้ถังกลม (Infiltrometer) หรือวัดแบบให้น้ำท่วมขังบนผิวดินในแปลง (Ponding) ซึ่งทำได้ง่ายและสะดวก แต่ถ้าเป็นการให้น้ำแบบร่องคูซึ่งการดูดซึมน้ำมีทั้งแนวดิ่งและแนวราบก็ต้องใช้วิธีการวัดอัตราการไหลเข้าและออกจากร่องคู (Inflow-Outflow)

ก. การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินในถังกลมอุปกรณ์ในการวัดประกอบด้วยถังกลม แผ่นรองตอก เครื่องตอก และตะขอวัดระดับน้ำดังแสดงในรูปที่ 2.9 ถังกลมมีลักษณะเป็นถังเปิดหัวและเปิดท้ายทั้งสองด้าน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 25 เซนติเมตรและสูงไม่น้อยกว่า 30เซนติเมตร การวัดควรจะทำหลาย ๆ จุดเพื่อหาค่าเฉลี่ยและจุดที่ทำการวัดควรจะเป็นตัวแทนของดินในแปลงทั้งหมด เมื่อเลือกจุดที่จะทำการวัดได้แล้วจึงตอกถังกลมลงไปลึกประมาณ 15 เซนติเมตร และเติมน้ำลงไปในถัง ขณะที่เติมน้ำจะต้องระมัดระวังไม่ให้กระทบกระเทือนต่อผิวดิน ซึ่งจะช่วยได้มากถ้าใช้กระสอบหรือพลาสติกคลุมผิวดินในถังเสียก่อนที่จะเติมน้ำ ทันทีที่เติมน้ำลงไปในถังจะต้องทำการวัดระดับน้ำด้วยตะขอวัดระดับน้ำ พร้อมทั้งจับเวลาและบันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มจนกระทั่งอัตราการดูดซึมน้ำของดินมีค่าคงที่จึงหยุด

ขณะที่น้ำซึมลงไปถึงปลายถังด้านล่าง มันจะพยายามไหลซึมออกทางด้านข้างซึ่งจะมีผลทำให้อัตราการดูดซึมน้ำของดินที่วัดได้มีค่าสูงกว่าที่เกิดขึ้นจริง ๆ การไหลซึมของน้ำทางด้านนี้จะสามารถป้องกันได้โดยใช้ถังอีกใบหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าตอกครอบลงไป โดยให้ถังใบเล็กที่ใช้วัดอยู่ตรงกลางแล้วเติมน้ำลงไประหว่างถังทั้งสองใบให้เท่ากับในถังใบเล็ก โดยวิธีนี้ความกดดันของน้ำระหว่างถังทั้งสองจะป้องกันมิให้น้ำในถังใบเล็กซึมหนีออกทางด้านข้าง ซึ่งจะทำให้ค่าที่วัดได้ถูกต้องยิ่งขึ้น ในกรณีที่มีถังเพียงใบเดียวก็อาจทำคันดินล้อมรอบถังที่ใช้วัดและเติมน้ำลงไประหว่างคันดินและถังเช่นเดียวกับการใช้ถังสองใบก็ได้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความลึกของน้ำเหนือผิวดินมีอิทธิพลต่ออัตราการดูดซึมน้ำของดิน เพื่อที่จะให้ข้อมูลที่วัดได้สามารถใช้กำหนดระยะเวลาการให้น้ำได้ด้วย ความลึกของน้ำในถังจึงควรมีขนาดเดียวกันกับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริง ๆในขณะให้น้ำแก่พืช และขณะที่บันทึกอัตราการดูดซึมน้ำของดิน จะต้อง

คอยเติมน้ำในถังให้อยู่ที่ระดับเริ่มแรกเสมอ การเติมน้ำควรจะทำเมื่อน้ำในถังหายไปประมาณ 2 – 5 เซนติเมตร การจดบันทึกจะต้องทำจนกระทั่งค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดินมีค่าเกือบคงที่ จึงหยุดและนำเอาข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาอัตราการดูดซึมน้ำของดินต่อไป

ถ้านำเอาความลึกของน้ำสะสม (Accumulated Depth) และเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำท่วมผิวดินมาเขียนลงในกระดาษกราฟ เราจะได้ความสัมพันธ์กันในรูปของสมการยกกำลัง

$$D = At^{B} \quad (2.11)$$

เมื่อ D = ความลึกของน้ำสะสมที่ซึมลงไปในดิน (มิลลิเมตร)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

A และ B = เป็นค่าคงที่ของสมการ

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

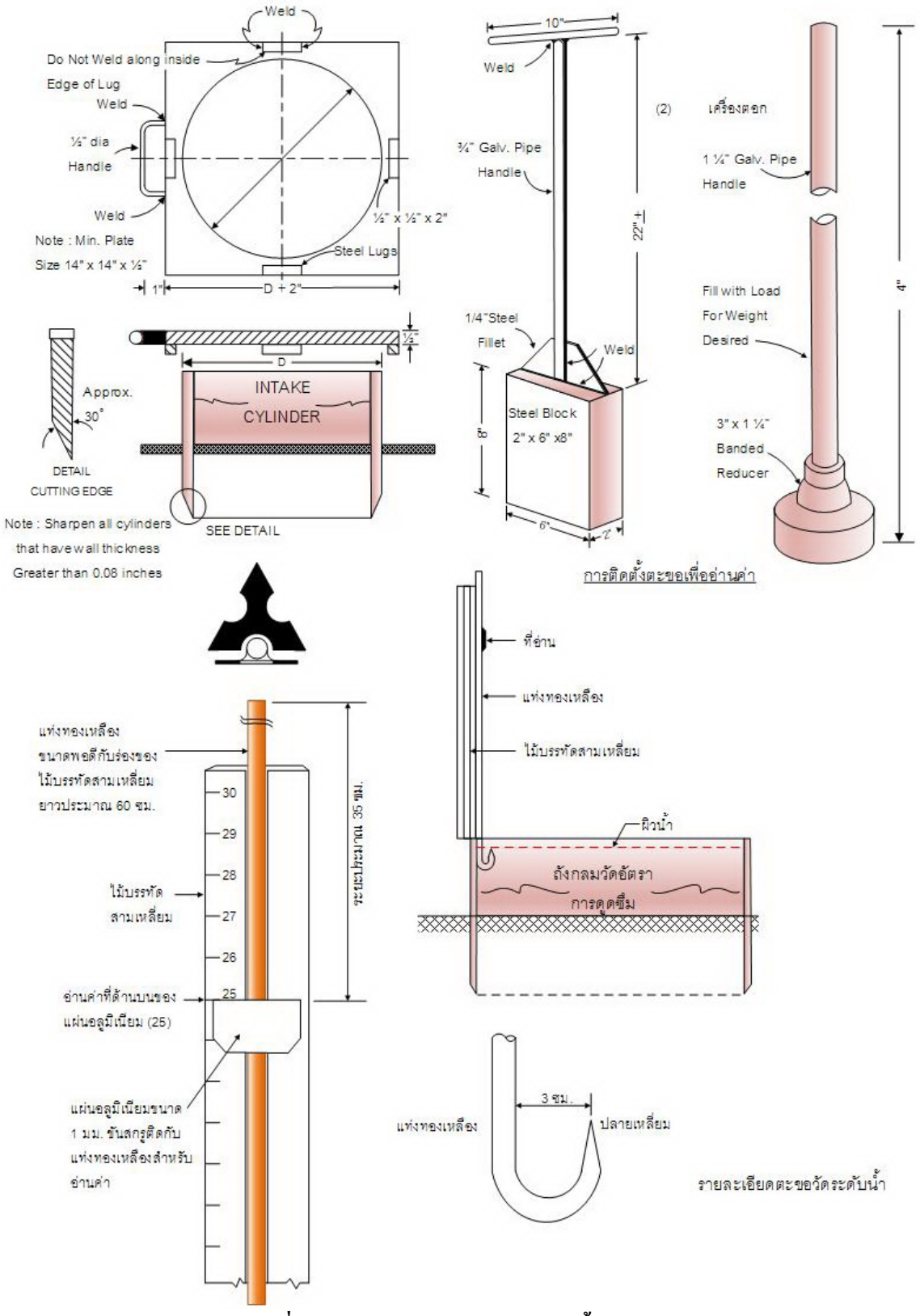
สมการ (2.11) นี้อาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$\text{Log } D = B \log t + \log A \quad (2.12)$$

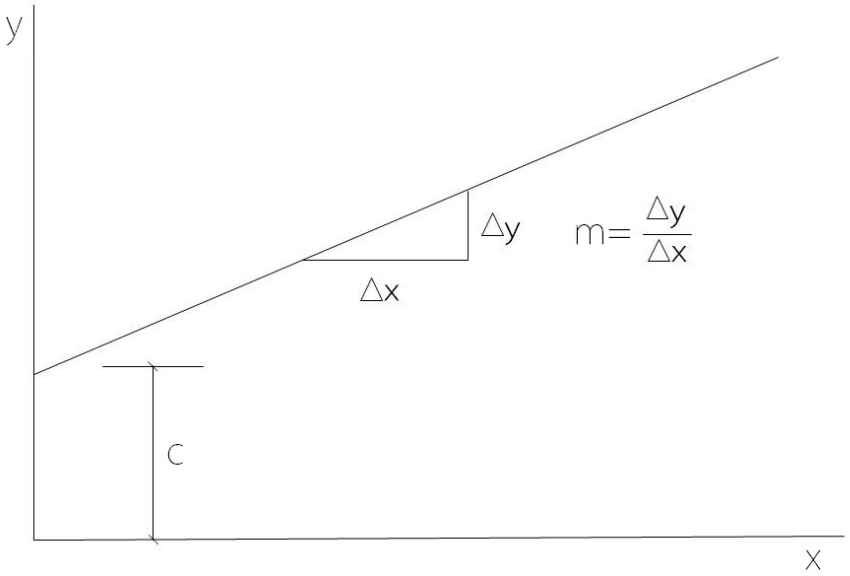
ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

$$Y = mX + c \quad (2.13)$$

ในสมการ (2.13) ความลาดชันของเส้นมีค่าเท่ากับ $\Delta y / \Delta x$ และcเป็นค่าคงที่ซึ่งเท่ากับระยะทางจากจุดกำเนิด (Origin) ถึงจุดตัดระหว่างเส้นตรงกับแกน ดูรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์วัดอัตราการดูดซึมน้ำของดิน



รูปที่ 2.10 กราฟเส้นตรงของสมการ y = mx + c

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

B = ความลาดเทของเส้นและมีค่าเท่ากับระยะทาง (linear scale) ในแนวตั้งหารด้วยระยะทางในแนวราบระหว่างจุดสองจุดบนเส้น โดยปกติแล้วจะมีค่าเท่ากับอยู่ระหว่าง 0 และ 1

A = ระยะทางจากจุดกำเนิด (origin) ถึงจุดที่เส้นตัดกับแกนตั้งในที่นี้จะมีค่าเท่ากับความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินสะสมที่เวลา t = 1 นาที

จากสมการความลึกของน้ำสะสมที่ซึมลงไปในดิน จะสามารถเปลี่ยนเป็นสมการดูดซึมของดินได้โดย

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

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

$$= A.Bt^{B-1} \qquad (2.14)$$

เมื่อ I = อัตราการดูดซึมน้ำ (มิลลิเมตร/นาที)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

ตามปกติแล้วมักจะใช้ค่า I มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง จึงอาจเขียน (2.14) ใหม่ให้อยู่ในรูปง่าย ๆ ได้ดังนี้

$$I = kt^n \quad (2.15)$$

เมื่อ I = อัตราการดูดซึมน้ำของดิน (มม./ชั่วโมง)

t = ระยะเวลานับตั้งแต่เริ่มต้นให้น้ำ (นาที)

k = เป็นระยะจากจุดกำเนิดถึงจุดที่กราฟตัดแกนตั้ง ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 60 A.B.

n = ความลาดเทของกราฟ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ B – 1

ตัวอย่างที่ 2.8 จากสมการทดลองหาอัตราการดูดซึมน้ำของดินในดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) ได้ผลดังตาราง จงหาสมการอัตราการดูดซึมน้ำของดินและการดูดซึมสะสม

ก. ถ้าต้องการจะให้น้ำแก่พืช 80 มม. จะต้องให้น้ำนานเท่าใด

ข. จงหาอัตราการดูดซึมน้ำของดิน หลังจากให้น้ำแล้ว 20 นาที และ 2 ชั่วโมง

ข้อมูลอัตราการดูดซึมน้ำของดินที่วัดจากถังลม

ดิน : ดินร่วนปนทราย

ความชื้น : 10 % โดยน้ำหนักของดินแห้ง

เวลา (นาที)				การดูดซึมน้ำของดิน (มม.)		
เวลา.... น.	เวลาต่าง	เวลาเหมะสม		ความลึก	ความลึกต่าง	ความลึกสะสม
10.55		0		63		0
56	1	1		66	3	3
59	3	4		71	5	8
11.01	2	6		72	1	9
05	4	10		76	4	13
17	12	22		84	8	21
26	9	31		88	4	25
38	12	43		91	3	28
12.03	25	68		102	11	39
21	18	86		104	2	41
39	18	104		110	6	47
1.20	41	145		122	12	59
50	38	183		135	13	72

** วัดจากปากถังถึงผิวน้ำ

จากกราฟการดูดซึมสะสมระยะทางจากจุดกำเนิดถึงจุดตัดที่แกนตั้งเท่ากับ 3.7 และ slope ของเส้นเท่ากับ 0.56 ดังนั้นสมการของการดูดซึม (Accumulated Depth) คือ

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

โดย D มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร และ t มีหน่วยเป็นนาที จากสมการนี้เราสามารถหาสมการอัตราการดูดซึมน้ำของดินที่เวลาใดหลังจากให้น้ำได้ดังนี้

$k = 60.A.B$

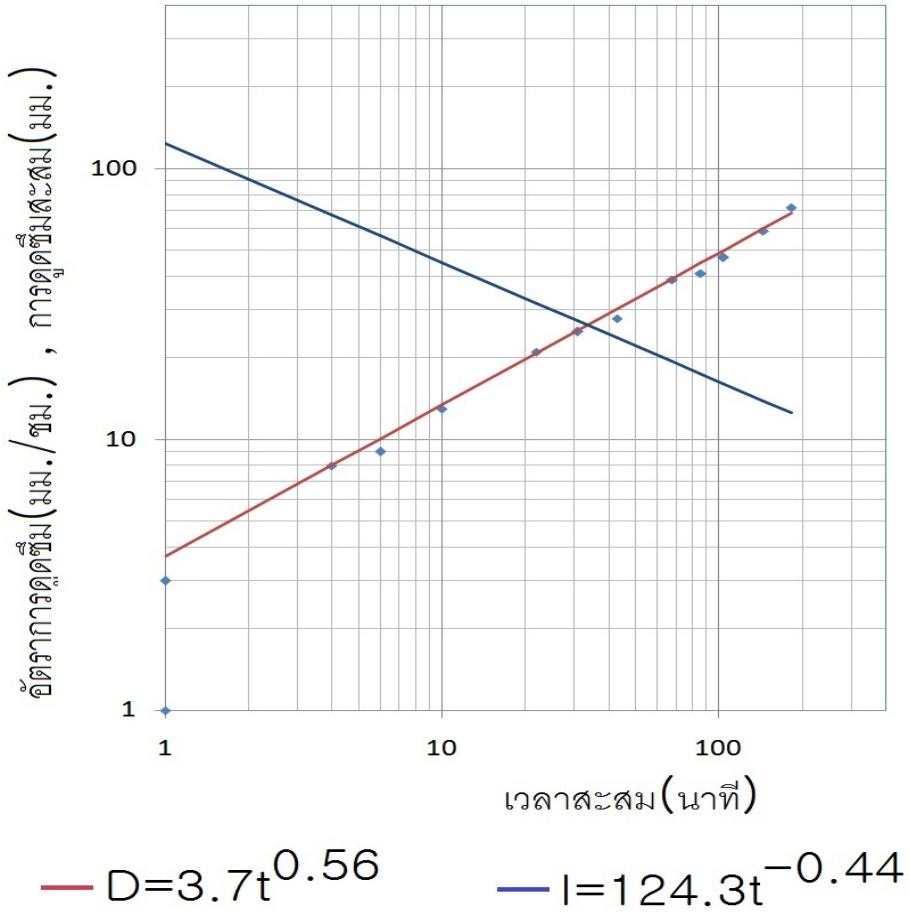
$= 60 \times 3.7 \times 0.56 = 124.3$

$n = B - 1$

$= 0.56 - 1 = -0.44$

$I = 124.3t^{-0.44}$ มม./ชม.

นำเอาค่าความลึกสะสม (D) และเวลาสะสม (t) ไปพล็อตลงในกระดาน log-log จะได้กราฟดูดซึมสะสมเป็นกราฟเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึม ความลึกสะสมกับเวลา

เพื่อความสะดวกในการหาค่าอัตราการดูดซึมน้ำของดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ ควรจะเขียนกราฟของสมการข้างบนลงในกระดาษ log-log โดยเริ่มจากจุดที่ที่แกนตั้ง (I) มีค่าเท่ากับ 124.3 จากนั้นเขียนเส้นตรงซึ่ง

มีความลาดเทเท่ากับ -0.44 ซึ่งทำได้ โดยลากเส้นในแนวราบให้ยาว 10 หน่วย แล้วลากเส้นในแนวดิ่งจากปลายของเส้นเดิมแต่อยู่ต่ำกว่า 4.4 หน่วย เมื่อลากเส้นต่อระหว่างจุดปลายของเส้นนี้กับจุดบนแกนตั้งที่มีค่า 124.3 ก็จะได้กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของดินตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.11

ก. ต้องการหาว่าจะต้องให้น้ำแก่พืชนานเท่าใด อาจทำได้ 2 วิธีคือ (1) โดยการอ่านกราฟ ถ้าต้องการให้น้ำแก่พืช 80 มม. จะต้องให้น้ำขังอยู่บนผิวดินนาน 245 นาที (2) โดยการคำนวณจากสมการดังนี้

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

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

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

$$= 242 \text{ นาที}$$

ข. ค่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินหลังจากให้น้ำแล้ว 20 นาที และ 2 ชม. เมื่ออ่านจากกราฟจะได้

$$I_{20} = 34 \text{ มม./ชม.}$$

$$I_{120} = 15 \text{ มม./ชม.}$$

ค่าเหล่านี้อาจจะคำนวณจากสมการที่หาได้ คือ

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

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

$$= 33.33 \text{ มม./ชม.}$$

และ $I_{120} = 124.3(120)^{-0.44}$

$$= 15.1 \text{ มม./ชม.}$$

วิธีการวัดการดูดซึมของดินที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะใช้เครื่องมือง่าย ๆ และวิธีการก็ง่าย แต่ยังมีวิธีการวัดอีกสองแบบซึ่งยังนิยมใช้กันอยู่ละสมควรจะทราบ คือ

ข. การวัดอัตราการดูดซึมน้ำของดินโดยการวัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าและไหลออก (Inflow – Outflow)

วิธีการดังกล่าวข้างต้นเป็นการวัดเมื่อทิศทางการไหลซึมของน้ำอยู่ในแนวดิ่ง ซึ่งเป็นลักษณะของการให้น้ำแบบท่วมผิวดิน แต่ในการให้น้ำทางร่องคู (Furrow Irrigation) ลักษณะการดูดซึมจะแตกต่างออกไป กล่าวคือ ทิศทางที่น้ำไหลซึมเข้าไปในร่องคูจะมีทั้งในแนวดิ่งและในแนวราบ ดังนั้นถ้าจะใช้วิธีวัดโดยถังกลมกับการให้น้ำทางร่องคูจึงไม่ถูกต้อง วิธีที่ใช้กันคือ วัดความแตกต่างระหว่างอัตราที่น้ำไหลเข้าและออกจากช่วงความยาวของร่องช่วงหนึ่ง ค่าที่วัดได้นี้ก็คืออัตราการที่น้ำซึมในร่องคูนั่นเอง

วิธีวัดทำได้โดยติดตั้งอาคารวัดน้ำขนาดเล็กไว้ที่หัวร่อง และที่จุดซึ่งอยู่ระห่างออกไปทางท้ายร่องประมาณ 25 – 30 เมตร เริ่มวัดอัตราที่น้ำไหลเข้าเมื่อน้ำไหลมาถึงจุดกึ่งกลางระหว่างอาคารวัดน้ำทั้งสองและ

วัดครั้งต่อไปเมื่อน้ำไหลผ่านอาคารวัดน้ำอันหลังออกไปเล็กน้อย จากนั้นก็วัดต่อ ๆ ไปทุก 3-5 นาที หรือมากกว่าจนได้ข้อมูลมากพอ การวัดทุกครั้งจะต้องวัดพร้อมกันทั้งสองแห่ง

เนื่องจากว่าอัตราการที่น้ำไหลผ่านนิยมบอกเป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลา อัตราการซึมในร่องคูที่วัดได้จึงบอกเป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อความยาวของร่องระหว่างอาคารวัดน้ำ เช่น ลิตร/วินาที/25 เมตร หรือแกลลอน/นาที/100 ฟุต เป็นต้น หน่วยดังกล่าวนี้สามารถแปลงให้เป็น มม./ซม. หรือ นิ้ว/ซม. ได้ โดยถือว่าพื้นที่รับน้ำในร่องเท่ากับระยะทางระหว่างอาคารวัดน้ำคูณด้วยระยะทางระหว่างร่อง (Furrow Spacing)

2.11 การรั่วซึมในแปลงนา (Percolation & Seepage)

การรั่วซึมในแปลงนาจะเกิดมีได้เป็นสองลักษณะคือ การรั่วซึมทางลึก (percolation) ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตรากลงสู่ดินชั้นล่าง และการรั่วซึมทางด้านข้าง (seepage) การรั่วซึมทั้งสองลักษณะจะเกิดขึ้นเมื่อดินอิ่มน้ำ (Saturation) หรือภายหลังดินได้ดูดซึมน้ำเป็นเวลานานจนกระทั่งอัตราการดูดซึมของดินมีค่าคงที่ ในขณะที่ดินอิ่มตัวน้ำนี้ น้ำในดินส่วนหนึ่งจะซึมลงดินชั้นล่างด้วยแรงดึงดูดของโลก และบางส่วนก็จะไหลไปตามทิศต่าง ๆ โดยรอบ ซึ่งค่าทั้งสองนี้ยากที่จะแยกออกจากกัน แต่นับว่ามีความสำคัญต่อการออกแบบระบบส่งน้ำและระบบแจกจ่ายน้ำในแปลงนาเป็นอย่างมาก เพราะเป็นการสูญเสียที่หลีกเลี่ยงไม่ได้เนื่องจากเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติ ฉะนั้น (Percolation & Seepage) จึงเป็นตัวการที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เพิ่มปริมาณน้ำชลประทานที่จะส่งให้แก่พืชมากกว่าปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อการรั่วซึมน้ำของดินคือเนื้อดิน โครงสร้างของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน (Permeability) ความหนาแน่นของดิน ความลาดเทของชลศาสตร์ของน้ำใต้ดิน ความแตกต่างของระดับพื้นดิน ความลึกของชั้นดินทึบน้ำ

สำหรับในแปลงนาที่มีน้ำขังอยู่ตลอดเวลาจะถือว่าการรั่วซึมทางด้านข้างนั้น แปลงนาที่อยู่ใกล้เคียงสามารถนำออกไปใช้ได้ ส่วนการรั่วซึมทางลึกเป็นการสูญเสียน้ำที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจวัดเพื่อประโยชน์ในการคำนวณความต้องการน้ำชลประทานในแปลงนาซึ่งจะทำการวัดได้ง่าย ๆ โดยใช้ถังกลมเปิดปากเปิดก้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร สูง 50 เซนติเมตร ตอกลงในดินลึกประมาณ 25 เซนติเมตร ทำฝาปิดป้องกันการระเหยในกรณีที่มีชั้นดินทึบน้ำเป็นแผ่นบาง ๆ อยู่ใกล้ผิวดิน เวลาตอกถังจะต้องไม่ให้ลึกจนทำให้ชั้นดินทึบน้ำฉีกขาด เติมน้ำให้ใกล้เคียงกับระดับน้ำในแปลงนา แล้วทำการวัดน้ำที่หายไปในแต่ละวัน จะได้ค่าการรั่วซึมทางลึกของแปลงนาโดยประมาณ นอกจากนี้แล้วยังมีวิธีการวัดอัตราการรั่วซึมในแปลงนาที่ปลูกข้าวจริง ๆ อีก โดยการติดตั้งเครื่องมือที่เรียกว่าบรรทัดเอียง (Sloping gauge) ดังรูปที่ 12 วิธีนี้ไม่มีการวัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าออกจากแปลงนา

หลักการของบรรทัดเอียงก็เพียงแต่ว่าในแปลงนาข้าวจะมีปริมาณน้ำที่เกี่ยวข้องอยู่ 5 ชนิด คือ น้ำชลประทาน (IR) การใช้น้ำของข้าว (ET) น้ำฝน (RN) น้ำที่ระบายออก (DR) และน้ำที่สูญเสียโดยการรั่วซึม (S&P) ดังนั้น ถ้าไม่มีน้ำไหลเข้าออกแปลงนานั้นแล้ว น้ำในแปลงนาก็จะมีการสูญเสียเพียงสองทางคือ ET + (S&P) ซึ่งจะสามารถหาได้โดยวัดระดับน้ำที่ลดลงประจำวันในแปลงนา สำหรับค่า ET ของนาข้าวนั้นสามารถหาในแปลงนาได้ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป ดังนั้นเมื่อนำค่า ET ไปลบออกแล้ว ก็จะได้ค่า S&P หลักใหญ่ของการใช้บรรทัดเอียง ก็คือจะต้องไม่มีน้ำล้นเข้าออกแปลงนา

เนื่องจากระดับน้ำในแปลงนาที่ลดลงในแต่ละวันมีค่าเฉลี่ยน้อยกว่า 1 เซนติเมตร ดังนั้นเพื่อให้การวัดระดับน้ำทำได้ละเอียดขึ้น ไม้บรรทัดที่ใช้ติดตั้งต้องเอียง 1 ต่อ 5 เพื่อที่จะได้ขยายการวัดให้มีช่วงกว้างขึ้น โดยสามารถคำนวณหา S&P จากสมการ

$$S\&P_t = \frac{(WD_{t-1} - WD_t)}{5} - ET_t \qquad (2.16)$$

$S\&P_t$ = อัตราการรั่วซึม มม./วันในวันที่ t

WD = ระดับน้ำที่วัดได้จากบรรทัดเอียง มม.

t = วันที่ทำการวัด

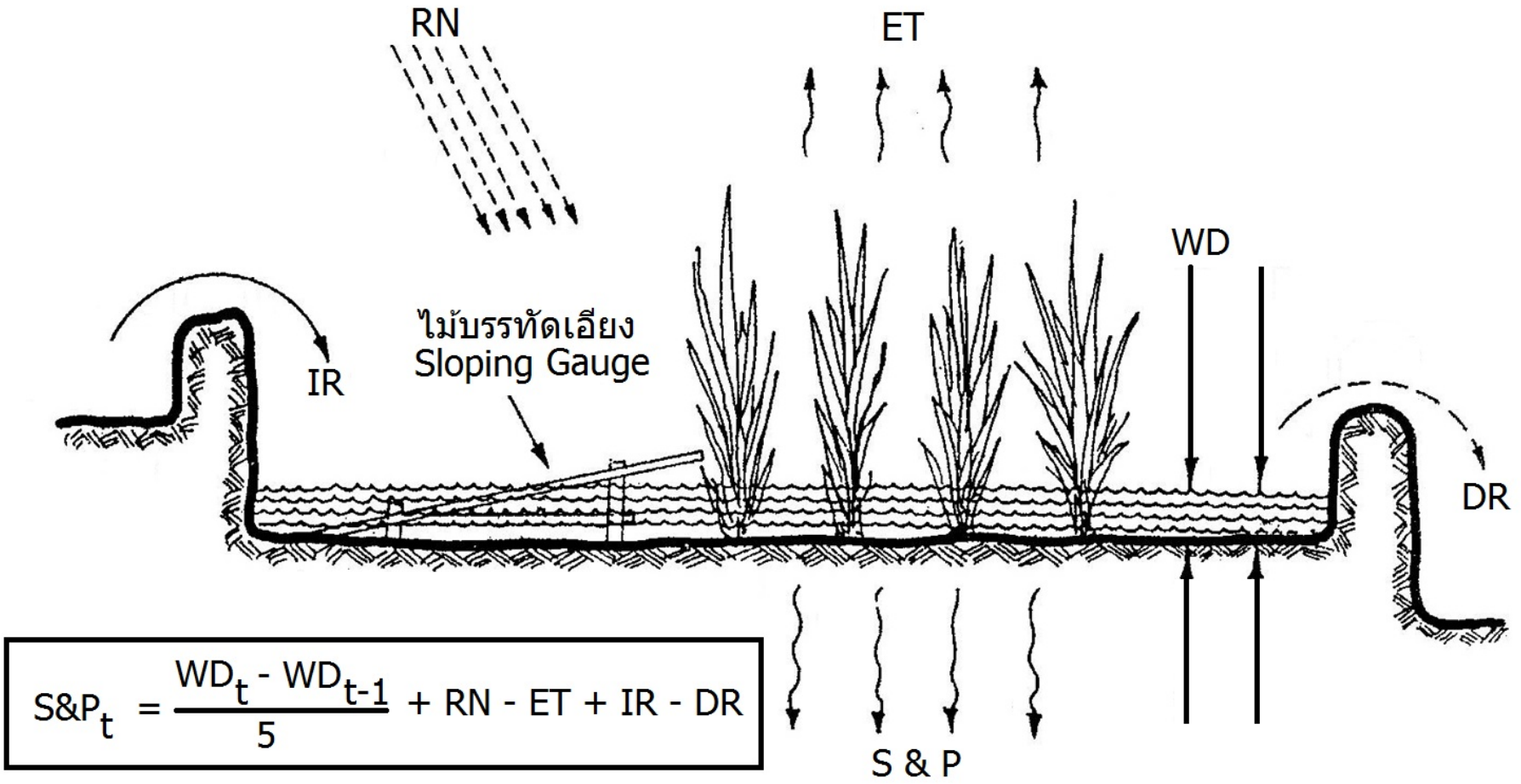
ถ้าวันไหนมีฝนตกจะต้องบวกอัตราการรั่วซึมด้วยปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ แต่มีข้อแม้ว่า การที่ฝนตกต้องไม่ทำให้เกิดน้ำล้นแปลงนา

จากที่มีผู้เคยทำการประเมินไว้ว่า สำหรับดินเหนียวและมีระดับน้ำใต้ดินตื้น จะมีการสูญเสียประมาณวันละ 1-2 มิลลิเมตร แต่ถ้าเป็นสภาพดินทรายและมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ลึก อาจจะมีการสูญเสียของน้ำมากถึงวันละ 7-10 มม. ซึ่งวิธีที่จะลดปริมาณการสูญเสียของน้ำโดยการรั่วซึมลงไปในดินให้น้อยลง อาจกระทำได้โดยดารทำเทือกหลาย ๆ ครั้ง เพราะนอกจากจะทำให้ดินแน่นขึ้นแล้ว ยังเป็นการช่วยกำจัดวัชพืชในแปลงนาอีกด้วย

ในกรณีที่มีน้ำต้นทุนอย่างจำกัด ข้อเสนอแนะในการปลูกพืชตามลักษณะของการสูญเสียของน้ำโดยการรั่วซึมลงไปในดินมีดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ข้อเสนอแนะในการปลูกพืชตามลักษณะของการสูญเสียของน้ำโดยการรั่วซึมลงไปในดิน

การรั่วซึม	ข้อเสนอแนะ
1 – 3 มม./วัน	ทำนาได้ทั้งฤดูฝน (นาปี) และฤดูแล้ง (นาปรัง)
3 – 5 มม./วัน	ทำนาในฤดูฝน และปลูกพืชไร่ฤดูแล้ง
มากกว่า 5 มม./วัน	การปลูกพืชไร่หรือพืชที่ใช้น้ำน้อยกว่าข้าว



รูปที่ 2.12 แสดงบรรทัดอียงสำหรับวัดการรั่วซึมของน้ำในแปลงนา

2.12 เอกสารอ้างอิง

1. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย. 2524. การชลประทานระดับไร่นา. ปทุมธานี. 300 น.
2. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน. 2529. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร การใช้น้ำชลประทาน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 451 น.
3. วิบูลย์ บุญยธโรกุล. 2526. หลักการชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. 274 น.
4. Israelsen, O.W. and V.E. Hansen, 1962, Irrigation Principles and Practices, 3rd Edition Wiley Toppan, 447p.

2.13 แบบฝึกหัด

(1) เก็บตัวอย่างดินในโครงการชลประทานแห่งหนึ่ง จากพื้นที่ที่มีสภาพแตกต่างกัน 3 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ ส่วนประกอบของดินได้ผลดังตาราง

ดินตัวอย่าง	% ทราย	% ตะกอนทราย	% ดินเหนียว	เนื้อดิน
ตัวอย่างที่ 1	30	30	40	
ตัวอย่างที่ 2	5	10	85	
ตัวอย่างที่ 3	75	15	10	

จงใช้รูปที่ 2.1 จำแนกประเภทเนื้อดิน (Soil Texture) ของดินทั้ง 3 ตัวอย่าง พร้อมประมาณค่าคุณสมบัติของดินดังต่อไปนี้

- ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ
- ค่าความพรุน (Porosity)
- ค่าความชื้นที่ Field Capacity
- ค่าความชื้นที่ Permanent Wilting Point
- ค่าความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ (Available Moisture)

(2) ในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาค่าความหนาแน่นรวม(Bulk Density) และค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ของดินด้วย Soil Core Sampler ได้ข้อมูลดังนี้

-ขนาดวงแหวน : เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตรน้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 50 กรัม

- น้ำหนักดินก่อนอบรวมน้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 285 กรัม
- น้ำหนักดินแห้งหลังอบที่ 105 °c เป็นเวลา 24 ชั่วโมง รวมน้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 250 กรัม

(3) ในการหาความชื้นของดินในแปลงเพาะปลูกแห่งหนึ่งซึ่งเป็นดินร่วน โดยการใช้สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดิน ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As) ของดินร่วน	=	1.40	
น้ำหนักของกระป๋องเก็บตัวอย่าง	=	17.0	กรัม
น้ำหนักดินเปียกรวมน้ำหนักกระป๋อง	=	128.0	กรัม
น้ำหนักดินแห้งรวมน้ำหนักกระป๋อง	=	105.0	กรัม

จงคำนวณหาความชื้นในดินเป็นร้อยละโดยน้ำหนักดินแห้ง และโดยปริมาตร

(4) จงหาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชื้นที่ Field Capacity

ความชื้นของดินก่อนการให้น้ำ	=	8.5	% โดยน้ำหนักดินแห้ง
ความชื้นที่ Field Capacity	=	21.5	% โดยน้ำหนักดินแห้ง
ความลึกของเขตราก(D)	=	0.90	เมตร
ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน(As)	=	1.25	

(5) ดินในพื้นที่เพาะปลูกเป็นดินเนื้อปานกลาง มีความสามารถในการอุ้มน้ำหรือมีความชื้นที่พืชดูดไปใช้ได้ 2 มม./ซม. ถ้าข้าวโพดที่ปลูกในแปลงนี้มีระยะเขตรากลึกประมาณ 80 ซม. และความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ เท่ากับ 60 % อยากทราบว่าค่าความชื้นในดินที่ยอมให้ข้าวโพดดูดไปใช้ตลอดเขตรากซึ่งมีหน่วยเป็นความลึกของน้ำมีค่าเท่าใด

(6) ดินในพื้นที่เพาะปลูกแห่งหนึ่งเป็นดินร่วน (Loam) ถ้าพืชที่ปลูกในแปลงนี้มีระยะเขตรากลึกประมาณ 100 ซม. และความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ เท่ากับ 55 % อยากทราบว่าค่าความชื้นในดินที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ตลอดเขตรากซึ่งมีหน่วยเป็นความลึกของน้ำมีค่าเท่าใด

(7) จากข้อ 5 ถ้ากำหนดว่าจะให้น้ำแก่ข้าวโพกเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤต (Critical Point) และในการให้น้ำแค่ละครั้งจะให้จนดินมีความชื้นที่ Field Capacity ถ้าประสิทธิภาพการใช้น้ำในแปลงข้าวโพดดังกล่าวเท่ากับ 85% จงคำนวณหาปริมาณน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง

ถ้าแปลงข้าวโพดดังกล่าวมีพื้นที่ 20 ไร่ น้ำที่ให้ได้จากการสูบน้ำจากแหล่งน้ำในพื้นที่กำหนดว่าการให้น้ำแต่ละครั้งจะใช้เวลาในการสูบไม่เกิน 8 ชม. จงคำนวณหาขนาดเครื่องสูบน้ำที่ต้องการ

(8) ในแปลงข้าวซึ่งเนื้อดินเป็นดินร่วนปนดินเหนียว ก่อนการให้น้ำมีความชื้น 10%โดยน้ำหนักดินแห้ง จงคำนวณหาปริมาณน้ำที่จะทำให้ดินในแปลงอิ่มตัวตลอดความลึก 30 เซนติเมตร ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ เท่ากับ 1.35 และค่าความพรุนของดินเท่ากับ 49%

(9) ในการวัดอัตราการซึมน้ำของดินในแปลงเพาะปลูกแห่งหนึ่งด้วย Double Ring Infiltrometer ได้ข้อมูลดังตาราง จงหาสมการการซึมสะสม (Cumulative Infiltration) และสมการอัตราการซึมน้ำ

(Infiltration Rate) ของดินในแปลงดังกล่าวพร้อมคำนวณหาว่าถ้าต้องการให้น้ำทางผิวดินเป็นปริมาณ 50 มม. จะต้องให้น้ำขังบนผิวดินเป็นเวลานานเท่าใด

เวลา (นาที)			การดูดซึมน้ำของดิน (มม.)		
เวลา	เวลาต่าง	เวลาสะสม	ความลึก	ความลึกต่าง	ความลึกสะสม
8:30 AM			75.00		
8:31 AM			76.00		
8:33 AM			77.00		
8:36 AM			78.00		
8:40 AM			80.00		
8:50 AM			81.00		
9:05 AM			86.00		
9:30 AM			91.00		
10:30 AM			93.00		
11:30 AM			108.00		
1:30 PM			117.00		
3:30 PM			120.00		
6:00 PM			140.00		

(10) จงตอบคำถามต่อไปนี้

(10.1) โครงการชลประทานแห่งหนึ่งมีพื้นที่เพาะปลูก 300,000 ไร่ ปริมาณการใช้น้ำของพืชเท่ากับ 5 มม./วัน พืชมีอายุ 120 วัน จงคำนวณหาว่าโครงการจะต้องเตรียมน้ำไว้สำหรับเพาะปลูกเท่าใด ประสิทธิภาพการชลประทาน เท่ากับ 60%

(10.2) ถ้าปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่จะต้องให้แก่แปลงอ้อย เท่ากับ 100 มม. อ้อยมีอัตราการใช้น้ำ 8 มม./วัน จงหาความถี่ในการให้น้ำ

บทที่ 3 ความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirement)

3.1 คำนำ

ปริมาณความต้องการน้ำของพืช(Crop Water Requirement) หรือปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspirationหรือ Crop Consumptive Use) เป็นข้อมูลสำคัญที่วิศวกรชลประทานจำเป็นจะต้องทราบ เพราะปริมาณความต้องการน้ำของพืชจะเกี่ยวข้องกับการกำหนดการให้น้ำ(ปริมาณและความถี่ในการให้น้ำ) การออกแบบระบบส่งน้ำและระบบแหล่งน้ำของโครงการชลประทานการวางโครงการชลประทานและรวมถึงการบริหารจัดการน้ำชลประทาน

ปริมาณความต้องการน้ำของพืช คือปริมาณน้ำที่พืชต้องการในกระบวนการระเหย(Evaporation) และการคายน้ำ(Transpiration) ซึ่งปกติจะเรียกว่าการคายระเหย(Evapotranspiration)ถือเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Crop Evapotranspiration} = \text{Crop Transpiration} + \text{Soil Evaporation} \qquad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 ปริมาณความต้องการน้ำของพืชของพืช จึงประกอบด้วย

- ปริมาณการคายน้ำของพืช(Crop Transpiration) ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดินเพื่อนำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อและคายออกทางใบสู่บรรยากาศในกระบวนการคายน้ำถือเป็นน้ำที่พืชใช้ในการเจริญเติบโต ถ้าดินมีความชื้นไม่เพียงพอ พืชจะเกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ (Water Stress) และอาจมีผลทำให้พืชปิดปากใบพืชลดการคายน้ำซึ่งจะมีผลต่อการสังเคราะห์แสง การเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของพืช หลักการชลประทานที่กล่าวถึงในบทที่ 2 คือต้องควบคุมความชื้นในเขตรากให้เพียงพอกับความต้องการน้ำในกระบวนการคายน้ำ
- ปริมาณการระเหยน้ำจากผิวดิน(Soil Evaporation) ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืชและจากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่ รวมถึงน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการชลประทานเป็นการสูญเสียน้ำจากแปลงเพาะปลูกที่หลีกเลี่ยงไม่ได้แต่สามารถลดการปริมาณการระเหยน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกได้โดยการหาวัสดุที่เหมาะสมมาคลุมดิน (Mulching) เพื่อลดการสูญเสียน้ำจากระเหยดังรูปที่ 3.1

ในสภาวะที่อากาศแห้งอุณหภูมิสูงและลมพัดแรง อัตราการระเหยน้ำจากผิวดินจะมีค่ามาก และมีผลทำให้ความชื้นในดินลดลงอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันพืชจะคายน้ำมากขึ้น จึงจำเป็นต้องให้น้ำชลประทาน

บ่อยมากขึ้น เพื่อป้องกันไม่ให้ความชื้นในดินลดลงต่ำกว่าจุดวิกฤต (Critical Point) และพืชเกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำตามที่กล่าวมาแล้ว

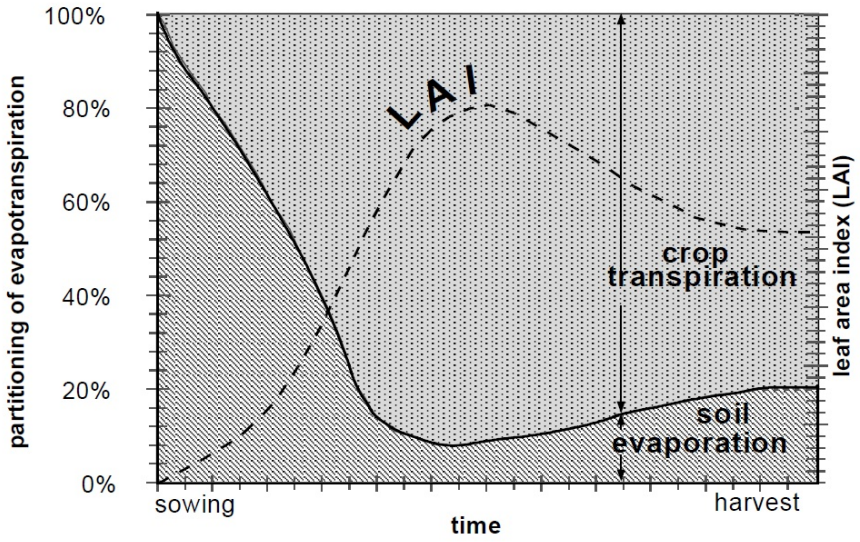
รูปที่ 3.1 การคลุมดินเพื่อลดการระเหย

3.2ปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำและระเหย(Factors Affecting Evapotranspiration)

การคายน้ำของพืชและการระเหยน้ำจากผิวดินในแปลงจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก คือ

- ภูมิอากาศซึ่งได้แก่ รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นสัมพัทธ์การคายน้ำและการระเหยจะแปรผันโดยตรงกับค่ารังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ และความเร็วลมและจะแปรผันผกผันกับค่าความชื้นสัมพัทธ์
- ชนิดและอายุพืชพืชบางชนิดเช่นข้าว อ้อยต้องการน้ำในการคายน้ำและการระเหยสูง ขณะที่พืชบางชนิดต้องการน้ำน้อยกว่าเช่นข้าวโพด ข้าวฟ่าง ขณะที่พืชยังเล็กเช่นช่วงเริ่มปลูก พืชจะใช้น้ำในการคายน้ำน้อยแต่ผิวดินที่มีพืชปกคลุมน้อยจะมีการระเหยของน้ำสูง
- ความชื้นในดินถ้าดินมีความชื้นสูงพืชจะใช้น้ำในการคายน้ำและการระเหยได้เต็มที่ตามศักยภาพของพืชและสภาวะของภูมิอากาศ แต่ถ้าดินมีความชื้นน้อยการคายน้ำและการระเหยจะลดลง

ปริมาณการคายน้ำและการระเหยในสมการที่ 3.1 จะมีเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงอายุการเจริญเติบโตของพืช ช่วงเริ่มปลูก (Sowing) พืชยังเล็กมาก เปอร์เซนต์การปกคลุมพื้นที่น้อย ปริมาณการคายน้ำจะน้อยแต่ปริมาณการระเหยจะมาก ครั้นเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ สัดส่วนพื้นที่ใบที่ปกคลุมพื้นที่ (Leaf Area Index, LAI) มีค่ามาก ปริมาณการคายน้ำจะมีค่ามากขึ้น ขณะที่การระเหยลดลง และเมื่อพืชใกล้เก็บเกี่ยวการคายน้ำจะลดลงและมีการระเหยมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สัดส่วนการระเหยและการคายน้ำ

การคายน้ำคือขบวนการที่น้ำซึ่งพืชดูดไปจากดินไหลผ่านลำต้นไปสู่ใบ และสูญเสียไปในบรรยากาศในรูปของไอน้ำทางรูใบถ้าพิจารณาดูเซลล์ที่ใบของพืชจะเห็นว่า เซลล์บางเซลล์จะติดอยู่กับใบซึ่งเป็นท่อนำน้ำมาสู่ใบ เมื่อมีการสูญเสียน้ำจากใบ เซลล์ของใบก็จะเหี่ยวซึ่งเป็นผลให้มีแรงดูดน้ำจากเส้นใบมากขึ้น น้ำก็ต้องไหลจากลำต้นไปสู่ใบเพิ่มขึ้น และรากพืชก็จะต้องดูดน้ำจากดินเพิ่มข้น ดังนั้นถ้าดินมีความชื้นอย่างพอเพียงอยู่ตลอดเวลา อัตราที่พืชดูดน้ำจากดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำ(Transpiration Rate) ในทางตรงกันข้าม ถ้าความชื้นในดินลดลงจนไม่พอเพียงกับความต้องการของพืช อัตราการคายน้ำก็จะขึ้นอยู่กับอัตราที่พืชดูดได้จากดิน

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

ถึงแม้ว่าการคายน้ำของพืชที่มากเกินไปจนกระทั่งทำให้เกิดการเหี่ยวเฉาขึ้นนั้นเป็นอันตรายต่อพืช และทำให้ผลผลิตลดลง แต่เนื่องจากว่า อัตราการคายน้ำของพืชขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เช่น อุณหภูมิ แสงแดด และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ความเร็วของลม และความชื้นของบรรยากาศซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ในทางปฏิบัติแล้ว จึงมีทางป้องกันมิให้เกิดความเสียหายแก่พืชได้โดยพยายามจัดให้พืชนั้นอย่างเพียงพอตลอดเวลา และทำให้ดินมีคุณสมบัติที่จะทำให้รากพืชสามารถแผ่กระจายออกไปได้อย่างกว้างขวางและลึกซึ่งจะทำให้พืชสามารถดูดน้ำไปใช้ได้อย่างพอเพียงอยู่เสมอ

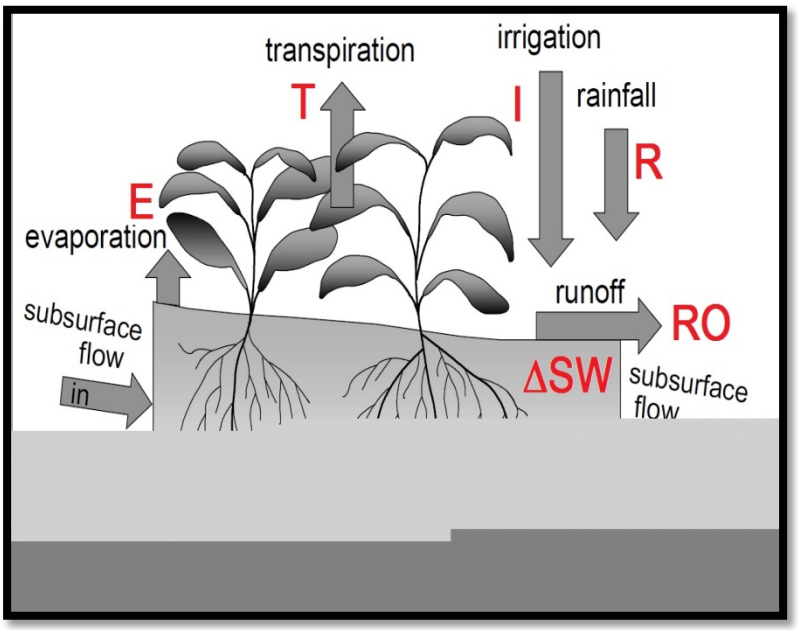
3.3 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (Determining Crop Evapotranspiration)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชในกระบวนการระเหยและคายน้ำซึ่งต่อไปจะเรียกสั้นๆว่าค่า ET_C สามารถหาได้หลายวิธี ดังนี้

1. การคำนวณจากสมดุลน้ำในแปลง (Soil Water Balance)
2. การวัดปริมาณการระเหยและการคายน้ำโดยตรงโดยใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter)
3. การคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศ (Meteorological Data)
4. การคำนวณจากถาดวัดการระเหย (Pan Evaporation)

3.3.1 การคำนวณจากสมดุลน้ำในแปลง (Soil Water Balance)

การศึกษาสมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูกจะทำให้ทราบว่าแต่ละวันแปลงเพาะปลูกได้รับน้ำเป็นจำนวนเท่าใด และมีการสูญเสียน้ำในกระบวนการต่างๆ เป็นจำนวนเท่าใด ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์หาว่าแต่วันแปลงเพาะปลูกต้องสูญเสียน้ำในกระบวนการระเหยและคายน้ำเท่าใดซึ่งจะทำให้ทราบว่าค่า ET_C โดยประมาณ องค์ประกอบของสมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูกแสดงอยู่ในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูก

จากรูปที่ 3.3 สามารถเขียนสมการเพื่อหา ET_C จากสมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูกได้ดังนี้

$$ET_C = I+R - RO - DP \pm \Delta SW \pm \Delta SF \quad (3.2)$$

เมื่อ

ET_C คือปริมาณการใช้น้ำของพืชในช่วง t วัน

I คือปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้ในช่วง t วัน

R คือปริมาณฝนที่ตกลงในแปลงในช่วง t วัน

RO คือปริมาณการสูญเสียน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก (Runoff) ในช่วง t วัน

DP คือปริมาณการสูญเสียน้ำที่ไหลเลยเขตราก (Deep Percolation) ในช่วง t วัน

ΔSW คือผลต่างของความชื้นของดินในเขตราก (Soil Moisture) ในช่วง t วัน

ΔSFคือผลต่างของความชื้นจากแปลงข้างเคียงที่เคลื่อนเข้าสู่เขตรากและความชื้นขากเขตรากที่เคลื่อนออกไปสู่แปลงข้างเคียง (Subsurface Flow) ในช่วง t วัน

ถ้าทราบค่าทางขวามือของสมการจะสามารถคำนวณหา ET_C ในช่วง t วันใดๆได้ จากสมาการค่า I, R, RO, ΔSW สามารถวัดได้ แต่ไม่สามารถวัดค่า DP และ ΔSFในแปลงเพาะปลูกได้ ในสภาพแปลงเพาะปลูกตามปกติและในช่วงระยะยาว ΔSF เช่น 7-10 วัน ΔSF จะมีค่าน้อยมากจนตัดทิ้งได้ จึงเหลือเฉพาะ DP ที่มีปัญหาในการวัด แต่สามารถคำนวณหาค่า DP โดยประมาณได้ถ้ารู้ค่าความชื้นในดินก่อนการให้น้ำหรือรู้อัตราการซึมน้ำของดินในแปลงก่อนการให้น้ำหรือก่อนฝนตกและเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาในการวัดหรือการประมาณค่า DP จึงแนะนำว่าวิธีการหาค่า ETC จากสมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูกควรใช้เฉพาะช่วงที่ไม่ได้ให้น้ำชลประทานหรือไม่มีฝนตก ในกรณีนี้สมการที่ (3.3) จะเขียนได้ใหม่เป็นดังนั้นช่วงที่ไม่มีฝนตกหรือมีการให้น้ำชลประทาน ET_Cจะเท่ากับความชื้นในดินที่หายไปในช่วงเวลา t วัน

$$ET_C = \Delta SW \qquad (3.3)$$

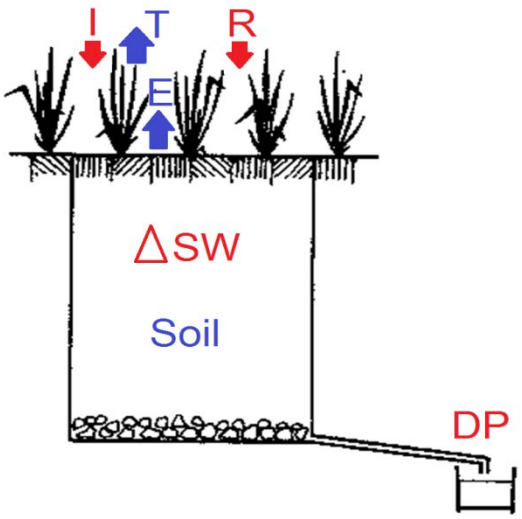
ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหาความยุ่งยากในการหาค่า ETC จากสมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูกตามที่กล่าวมาแล้ว จึงนิยมสร้างถังวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter) เพื่อใช้หาค่า ET_C แทน ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.3.2 การวัดปริมาณการระเหยและการคายน้ำโดยตรงโดยใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืช(Lysimeter)

ถังวัดการใช้น้ำของพืชคือเครื่องมือสำหรับการวัดค่า ET_C โดยตรง แต่วิธีนี้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูง ปกติจะใช้เฉพาะงานวิจัยเท่านั้น ถังวัดการใช้น้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

- ประเภทไม่วัดน้ำหนัก(Non-weighing Lysimeters)ได้แก่
  - ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation Type)
  - ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ (Constant Water Table Type)
  - ถังวัดการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)
- ประเภทวัดน้ำหนัก (Weighing Lysimeters)
  - ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง (Mechanically Weight Type)
  - ถังวัดการใช้น้ำแบบทุ่นลอย (Float Lysimeter)
  - ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค (Hydraulic Weighing Lysimeter)

ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation Type)ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เป็นแบบที่นิยมใช้กันมาก เนื่องจากสามารถสร้างได้ง่าย ราคาถูก ไม่มีขีดจำกัดเรื่องขนาด สามารถวัดค่า ET_Cเป็นรายวันหรือมากกว่า ถังวัดการใช้น้ำแบบนี้ทำให้สามารถวัดค่า DP ได้ และสามารถตัดค่า ΔSF ออกจากสมการที่ (3.2) ได้ค่า ΔSW จะหาได้โดยการตรวจวัดความชื้นในดินในแต่ละวัน



$$ET_C = I + R - DP + \Delta SW$$

รูปที่ 3.4 ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ (Percolation Type)

ถังวัดการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter)ประกอบด้วยถัง 4 ถัง ขนาด 0.75ม. X 0.75ม. สูง 1.00 ม. เป็นถังก้นปิด 2 ถัง ก้นเปิด 2 ถัง นำไปติดตั้งในแปลงข้าว โดยปลูกข้าวในถังก้นปิด A และถังก้นเปิด C ส่วนถัง B (ก้นปิด) และ D (ก้นเปิด) ไม่ปลูกข้าว วัดระดับน้ำในถังที่หายไป จะทำให้สามารถวัดค่า E, T และ P ของข้าวได้ดังรูปที่ 3.5 P คือค่า Percolation หรือปริมาณการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแปลงนา

ถัง	ลักษณะถัง	สิ่งที่ต้องการวัด
A	ปิดก้น+ปลูกข้าว	E+T
B	ปิดก้น+ไม่ปลูกข้าว	E
C	เปิดก้น+ปลูกข้าว	E+T+P
D	เปิดก้น+ไม่ปลูกข้าว	E+P

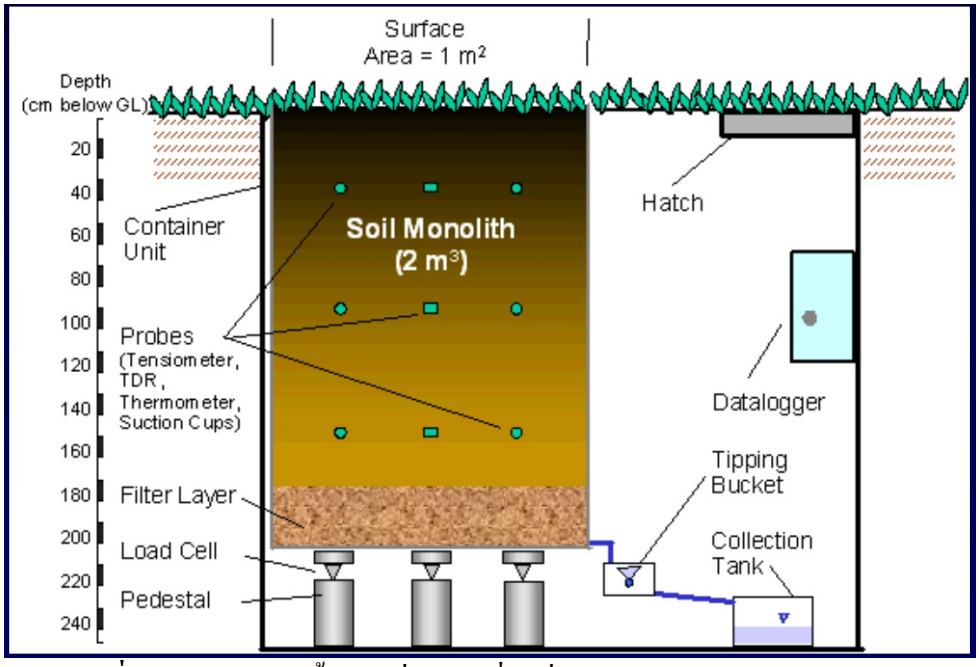
รูปที่ 3.5 ถังวัดการใช้น้ำข้าว (Rice Lysimeter)

จากรูปที่ 3.5เมื่อนำปริมาณน้ำที่หายจากถังต่างๆมาหักลบกันจะทราบค่า E, T และ P กรณีต่างๆได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การคำนวณหา E, T และ P จากถังวัดการใช้น้ำข้าว

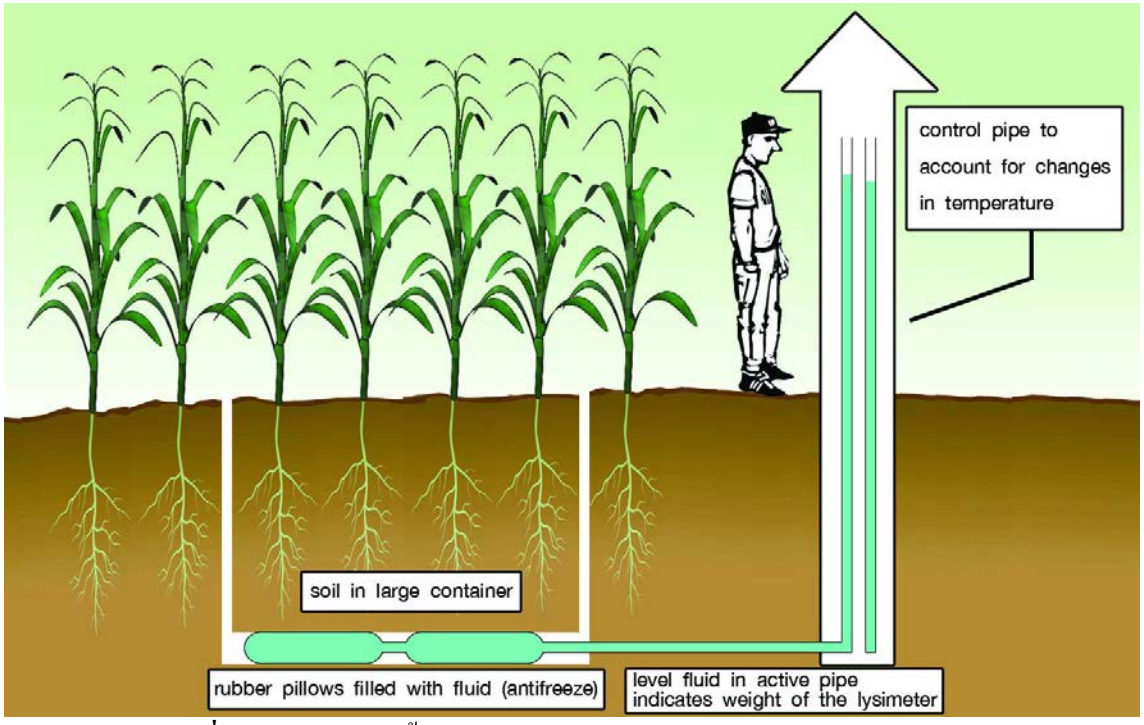
ถัง	ค่าที่ได้	กรณี	ค่าเฉลี่ย
A-B	T_{Closed}	ปิดก้น	
C-D	T_{Open}	เปิดก้น	$T_{Mean}=0.5(T_{Closed}+T_{Open})$
D-B	$P_{No\text{-}rice}$	ไม่ปลูกข้าว	
C-A	P_{Rice}	ปลูกข้าว	$P_{Mean}=0.5(P_{No\text{-}rice}+P_{Rice})$
B	$E_{No\text{-}rice}$	ไม่ปลูกข้าว	
$A - T_{Mean}$	E_{Rice}	ปลูกข้าว	
$C\text{-}T_{Mean}\text{-}P_{Mean}$	E_{Rice}	ปลูกข้าว	$E_{Mean}=0.5(E_{Norice}+E_{Rice})$

ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง (Mechanically Weight Type)ถังวัดการใช้น้ำแบบนี้จะติดตั้งอยู่บน Laod Cells ซึ่งสามารถบอกน้ำหนักของน้ำที่หายไปในช่วงเวลาต่างๆได้ มี Data Logger บันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.6 เป็นแบบที่มีความละเอียดถูกต้องในการวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชสูงกว่าถังวัดการใช้น้ำแบบอื่น สามารถวัดปริมาณน้ำที่หายไปเนื่องจากการระเหยและคายน้ำได้ในช่วงเวลาที่น้อยกว่าวัน เช่นรายชั่วโมง แต่ถังการใช้น้ำแบบนี้จะมีราคาแพงกว่าแบบอื่น



รูปที่ 3.6ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง (Mechanically Weight Type)

ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค (Hydraulic Weighing Lysimeter)ถังวัดการใช้น้ำแบบนี้วัดน้ำหนักของน้ำในถังที่หายโดยดูจากแรงดันของของเหลวในหมอนยางที่วางไว้ใต้ถัง เมื่อมีการสูญเสียน้ำจากถัง น้ำหนักถังจะลดลง มีผลทำให้แรงที่กระทำกับหมอนยางจะลดลง และแรงดันของของเหลวในหมอนยางลดลง ซึ่งอ่านได้จาก Manometer ดังรูปที่ 3.7 วิธีนี้มีข้อดีคือราคาไม่แพง การวัดให้ค่าละเอียดถูกต้องดี แต่ถ้าหมอนยางมีคุณสมบัติไม่คงตัว อาจทำให้การวัดผิดพลาดโดยไม่รู้ตัวได้ ยิ่งกว่านั้นถ้าหมอนยางเสื่อมจนของเหลวซึมผ่านได้ การวัดจะผิดพลาด และตรวจพบได้ยาก



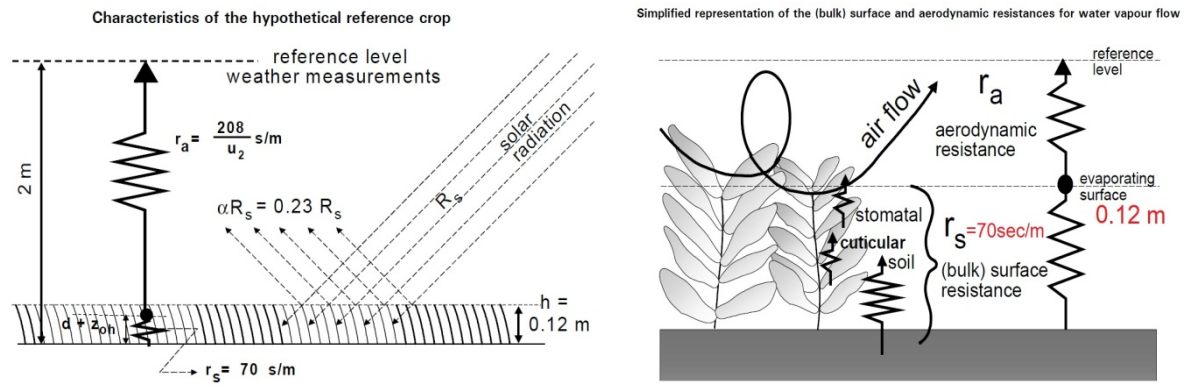
รูปที่ 3.7ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค (Hydraulic Weighing Lysimeter)

3.3.3 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศ (Meteorological Data)

การคำนวณหา ET_C จากข้อมูลภูมิอากาศ หรือข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Data) เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมานานร่วม100 ปี บุคคลที่มีส่วนสำคัญในการหาวิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศคือ H.L.Penman, Blaney, H.F. and W.D. Criddleและ C.W. Thornwaiteซึ่งเริ่มศึกษาวิจัยอย่างจริงจังเพื่อคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศตั้งแต่ช่วงปี 1940-1950 (ASCE, 1973) โดยเริ่มจากการบัญญัติคำว่า Potential Evapotranspiration(ET_P)โดย Penman(1956) และได้นิยาม ET_P ว่าหมายถึง “อัตราการคายน้ำในช่วงเวลาหนึ่งของพืชสีเขียวต้นเตี้ย ปกคลุมพื้นที่เพาะปลูกอย่างทั่วถึง มีความสูงสม่ำเสมอตลอดอายุการเจริญเติบโต และไม่มีการขาดน้ำ(the amount of water transpired in unit time by a short green crop, completely shading the ground, of uniform height and never short of water.)”

สมมติฐานจากนิยามนี้ทำให้ค่า ET_P ไม่ขึ้นกับพืช และความชื้นในดิน ทำให้ค่า ET_Pขึ้นอยู่กับข้อมูลภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวอย่างไรก็ตามมีพืชหลายชนิดมีลักษณะตรงกับข้อความที่ว่า Short Green Crop นักวิทยาศาสตร์จึงตั้งคำถามว่าคำถามว่าควรเลือกพืชอะไรเป็นมาตรฐานเพื่อเป็นตัวแทนของ Short Green Crop ดี ผลจากการศึกษาอย่างจริงจังโดย FAO ได้สรุปว่าไม่ควรใช้ Potential Evapotranspiration (ET_P) อีกต่อเนื่องจากความหมายไม่ค่อยชัดเจน และได้บัญญัติคำใหม่คือ Reference Crop Evapotranspiration ขึ้นมาใช้แทน และใช้ตัวย่อว่า ET_Oซึ่งจะเรียกว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ซึ่ง FAO ได้ให้นิยามไว้ดังนี้

ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_O)คือ“อัตราการระเหยและคายน้ำของพืชสมมติซึ่งมีความสูง 0.12 เมตร มีค่าความต้านทานต่อเคลื่อนของไอน้ำ (Water Vapor Flow) ในช่วงความสูงของพืชคงที่ที่ 70 วินาทีต่อเมตร และค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพืชเท่ากับ 0.23 และพืชสมมตินี้ไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำและปัญหาโรคแมลงรบกวน (the rate of evapotranspiration from a hypothetical reference crop with assumed crop height of 0.12 m, a fixed surface resistance of 70 sec/m and an albedo of 0.23 and this crop is assumed to be free of water stress and diseases.)”เทอมต่างๆในนิยามของพืชสมมติแสดงอยู่ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 คุณสมบัติของพืชอ้างอิงสมมติตามนิยามของ ET_O

จากนิยาม ET_Oค่า r_sหรือ Bulk Surface Resistance of Water Vapor Flow จะหาได้จากสมการ

$$r_s = \frac{r_1}{LAI_{active}} \qquad (3.4)$$

เมื่อ r_1 = Bulk Stomatal Resistance of Well-illiminated Leaf =100 [sec/m]

LAI_{active}= Active(Sunlit) Leaf Area Index [m^2 od Leaf Area/m^2 of Soil Surface]

= 0.5LAI = 0.5*24*Crop Height[m]

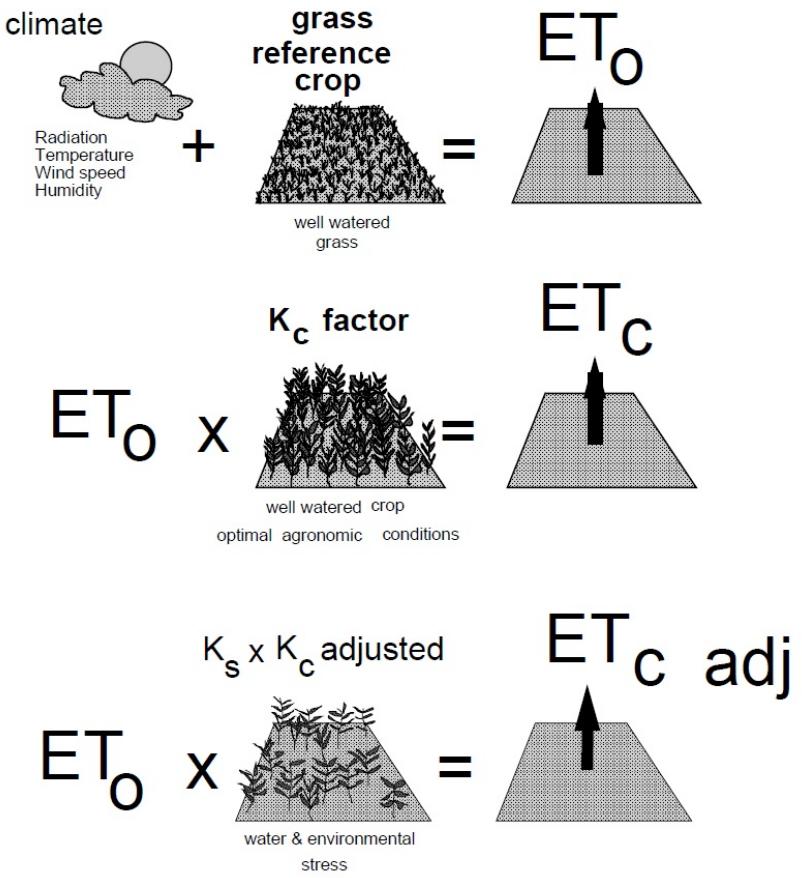
r_s = 100/(0.5*24*0.12)= 70 sec/m

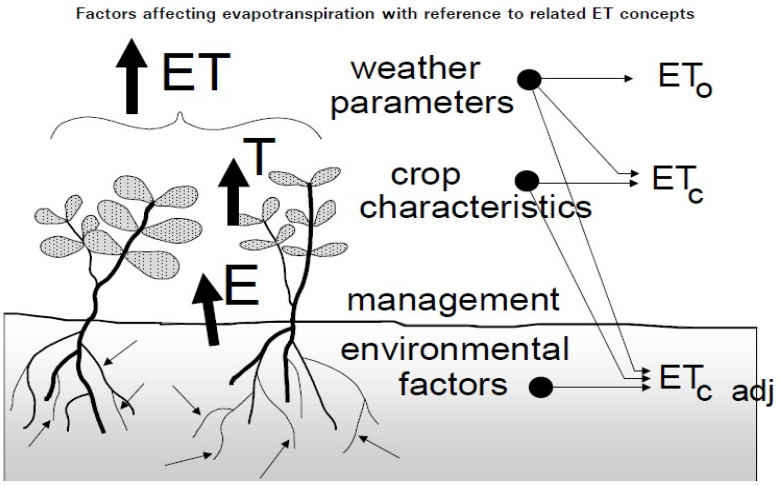
FAO ได้สรุปค่า ET_Oเฉลี่ยสำหรับสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกันไว้ในตารางที่ 3.2 เพื่อแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของภูมิอากาศต่อค่า ET_O

ตารางที่ 3.2 ค่า ET_Oเฉลี่ยสำหรับสภาพภูมิอากาศต่างๆ

Regions		Mean daily temperature (°C)		
		Cool~10°C	Moderate20°C	Warm> 30°C
Tropics and subtropics				
	-Humid and sub-humid	2 - 3	3 - 5	5 - 7
	-Arid and semi-arid	2 - 4	4 - 6	6 - 8
Temperate region				
	-Humid and sub-humid	1 - 2	2 - 4	4 - 7
	-Arid and semi-arid	1 - 3	4 - 7	6 - 9

FAO แนะนำว่าควรใช้สูตร Penman-Monteith ในการคำนวณหาค่า ET_Oจากข้อมูลภูมิอากาศ และเมื่อทราบค่า ET_Oจะสามารถคำนวณหา ET_Cและ $ET_{Cadjusted}$หรือ ET_aได้ดังรูปที่ 3.9





รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่าง ET_O, ET_Cและ $ET_{Cadjust}$และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ปริมาณการใช้น้ำของพืชภายใต้สภาพที่ไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำคือ ET_Cแต่ถ้ามีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำคือ $ET_{C\ adjusted}$หรือ ET_a (Actual Crop Evapotranspiration) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$ET_C = K_C.ET_O \quad (3.5)$$

$$ET_{Cadjusted} = ET_a = K_S.ET_C \quad (3.6)$$

เมื่อ

ET_C= Crop Evapotranspiration (mm/day)

ET_O = Reference Crop Evapotranspiration (mm/day)

$ET_{C\ adjusted} = ET_a$ = Actual Crop Evapotranspiration (mm/day)

K_C = สัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient)ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและอายุการเจริญเติบโตของพืช

K_S = สัมประสิทธิ์ความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ (Water Stress Coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความชื้นในดินเป็นสำคัญ

รายละเอียดเกี่ยวกับ K_Cและ K_Sจะได้กล่าวถึงในภายหลัง

3.3.4 การคำนวณหาค่า ET_Oโดยวิธี FAO Penman-Monteith

FAO ได้เสนอสูตรการคำนวณ ET_O โดยวิธี Penman-Monteithซึ่งได้นำสมการดั่งเดิมของ Penman Monteithมาผสมกับแนวคิดของพืชอ้างอิงสมมติ (Hypothetical Reference Crop) ในรูปที่ 3.8 ซึ่งเกี่ยวข้องกับ Aerodynamic Resistance (r_a) และ (Bulk) Surface Resistance (r_s) และเรียกสูตรนี้ว่า FAO Penman Monteithดังสมการ (3.7) รายละเอียดการพัฒนาสูตรดูได้จากหนังสือ FAO Irrigation and Drainage Paper

No. 56 (FAO, 1988) ซึ่งสามารถ Download หนังสือเล่มนี้ได้จากเวปไซต์ FAO Water (http://www.fao.org/nr/water/infores_pubs.html)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900}{T + 273.16}\right) U2 \ (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \ (1 + 0.34U_2)} \qquad (3.7)$$

เมื่อ

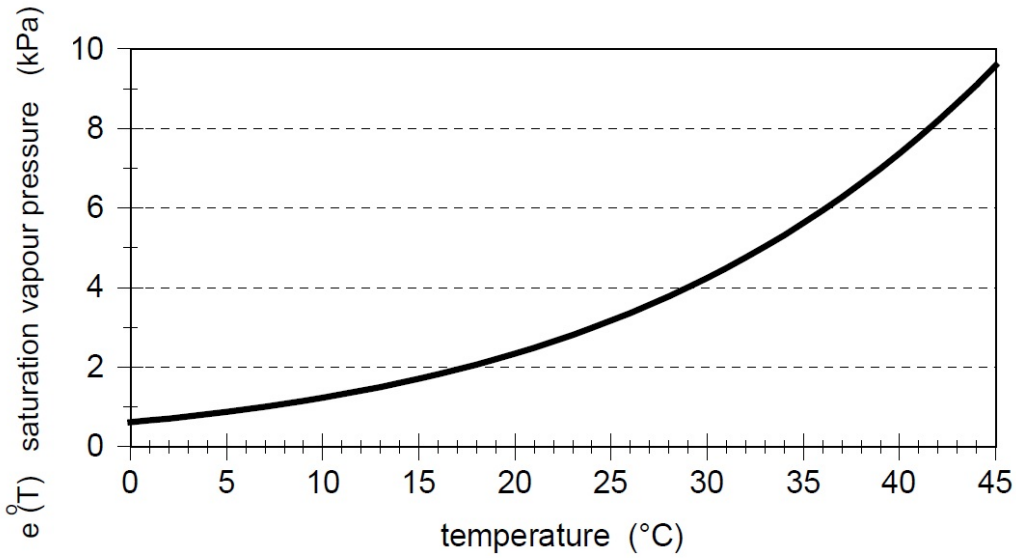
ET_O	=	Reference crop evapotranspiration	(mm/day)
Δ	=	Slope of saturation vapor pressure curve at air temperature	(kPa/°C)
γ	=	Psychrometric constant	(kPa/°C)
R_n	=	Net radiation at crop surface	(MJ/m^2/day)
G	=	Soil heat flux	(MJ/m^2/day)
T_{max}	=	Maximum air temperature	(°C)
T_{min}	=	Minimum air temperature	(°C)
T	=	Average air temperature =$0.5(T_{max}+T_{min})$	(°C)
U_2	=	Windspeed measured at 2 m height	(m/s)
e_S	=	Saturated vapor pressure at air temperature	(kPa)
e_a	=	Actual vapor pressure at air temperature	(kPa)

ในการคำนวณ ETO โดยสมการ (3.7) ต้องทราบข้อมูลดังต่อไปนี้

- ภูมิอากาศ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และรังสีอาทิตย์)
- สถานที่ต้องการคำนวณ (ละติจูด และระดับความสูงของพื้นที่)
- เดือนที่ต้องการคำนวณ

- **Slope of Saturation Vapor Pressure (Δ)**

ค่าความดันไออิ่มตัว (Saturation Vapor Pressure, e_s) มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิอากาศดังรูปที่ (3.10)ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (3.8)



รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง Saturation Vapor Pressure กับอุณหภูมิอากาศ

$$\Delta = \frac{4098 e_s}{(T + 237.3)^2} \quad (3.8)$$

$$e_s = \frac{e°(T_{max}) + e°(T_{min})}{2} \quad (3.9)$$

$$e°(T) = 0.6108 \text{Exp}\left[\frac{17.27T}{T + 237.3}\right] \quad (3.10)$$

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (3.11)$$

- **Actual Vapor Pressure and Vapor Pressure Deficit**

ความดันไอน้ำจริงของอากาศ (Actual Vapor Preesure, e_a) จะสามารถคำนวณได้หลายวิธี ดังนี้

- คำนวณจากความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย(RH_{mean})
- คำนวณจากความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด(RH_{max})และต่ำสุด (RH_{min})
- คำนวณจากอุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง (T_{dew})
- คำนวณจากPsychrometric Data (Dry and Wet Bulb Temperature, T_{dry}, T_{wet})

สมการ (3.12) – (3.15) แสดงการคำนวณหา e_a โดยวิธีต่างๆ

$$e_a = \frac{RH_{mean}}{100} e_s \quad (3.12)$$

$$e_a = \frac{e°(T_{min})\frac{RH_{max}}{100} + e°(T_{max})\frac{RH_{min}}{100}}{2} \quad (3.13)$$

$$e_a = e°(T_{dew}) \quad (3.14)$$

$$e_a = e°(T_{wet}) - \lambda(T_{dry} - T_{wet}) \quad (3.15)$$

เมื่อ γ = Psychrometeric Constant ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

e_s-e_a = Vapor Pressure Deficit, kPa

- **ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับบรรยากาศ (Atmospheric Parameters)**

ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับบรรยากาศที่สำคัญคือ Psychrometric Constant (γ) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์บรรยากาศอื่นๆดังสมการ

$$\gamma = \frac{c_P P}{\varepsilon\lambda} = 0.665x10^{-3}P \quad (3.16)$$

เมื่อ

γ= Psychrometric Constant , kPa/°C

c_P=Specific Heat at Constant Pressure =1.013x10^{-3} MJ/Kg/°C

ε=Ratio of Molecular Weight of Water Vapor to Dry Air= 0.622

λ=Latent Heat of Vaporization = 2.45 MJ/Kg

P=Atmospheric Pressure , kPa

$$P = \left(\frac{293 - 0.0065z}{293}\right)^{5.26} \quad (3.17)$$

Z=Elevation,m(MSL).

- **ความเร็วลม(Wind Speed) ที่ความสูง 2 เมตร**

ความเร็วลมที่ใช้ในสมการ Penman Monteithคือความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร เหนือผิวดิน (u_2) ถ้าความเร็วลมที่วัดด้วย Anemomterที่มีความสูงต่างจาก 2 เมตร ต้องแปลงให้เป็นความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร โดยสมการ

$$u_2 = u_{z'}\left(\frac{4.87}{\ln(67.8z'-5.42)}\right) \qquad (3.18)$$

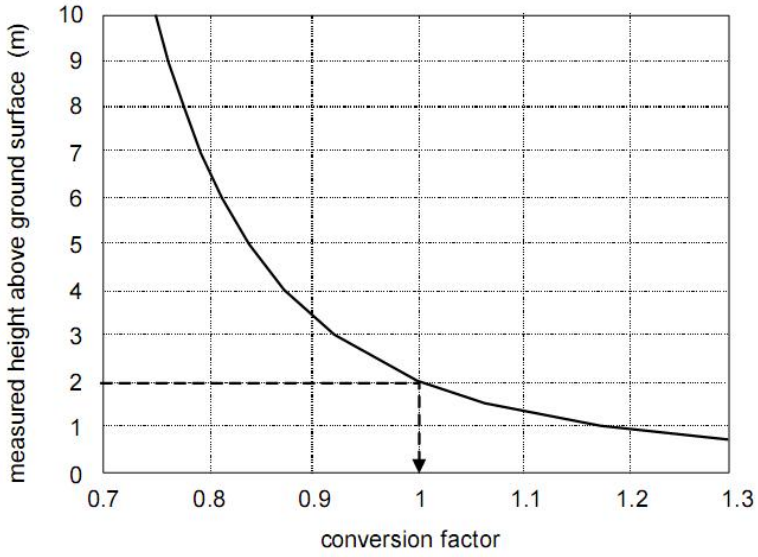
เมื่อ

u_2=ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตรเหนือผิวดิน , m/s

$u_{z'}$=ความเร็วลมที่ความสูง z' เมตรเหนือผิวดิน , m/s

z'=ความสูงของเครื่องวัดความเร็วลมเหนือผิวดินม, m

รูปที่ 3.11 แสดงค่าปรับแก้ความเร็วลม (Conversion Factor) ที่ความสูงต่างๆเป็นความสูง 2 เมตร



รูปที่ 3.11 ค่าปรับแก้ความเร็วลม

- **การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับดิน (Soil Heat Flux)**

การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับดินในแปลงเพาะปลูกมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับรังสีอาทิตย์สุทธิ (R_n) ที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่เพาะปลูกมีพืชปกคลุม ดังนั้นค่า Soil Heat Flux(G) จะถูกนำมาใช้เมื่อช่วงเวลาการคำนวณมากกว่า 24 ชั่วโมงดังสมการ

$$G = c_S\left(\frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t}\right)\Delta D \qquad (3.19)$$

เมื่อ

G=Soil Heat Flux, $MJ/m^2/day$

c_S=Soil Heat Capacity = 2.1 $MJ/m^3/^\circ C$

T_i, T_{i-1} =อุณหภูมิอากาศในวันที่ i และ i-1 ตามลำดับม$^\circ C$

Δt=ช่วงเวลาในการคำนวณ, day

ΔD=Effective Soil Depth ซึ่งมีค่า 0.1-0.2 เมตรในช่วงเวลา 1-3 วัน และมีค่า 2 เมตรหรือมากกว่าในช่วงเวลาเป็นเดือน

กรณีคำนวณรายวันหรือ 10 วัน

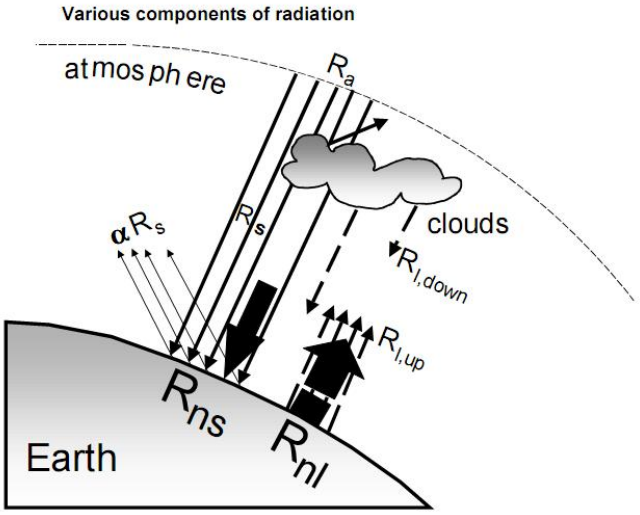
G=0 (3.20)

กรณีคำนวณรายเดือน

$G=0.14(T_i-T_{i-1})$ (3.21)

- **ค่ารังสีสุทธิ (Net Radiation)**

ค่ารังสีสุทธิคือผลต่างของรังสีทั้งคลื่นสั้น (Shortwave) และคลื่นยาว (Longwave) ที่พื้นโลกได้รับ (Incoming) และสูญเสียไปจากโลก (Outgoing) ดังสมการที่ 3.22 ซึ่งรังสีสุทธิจะแปรผันไปตามช่วงเวลาของปี ละติจูดและความสูงของพื้นที่ รูปที่ 3.12 แสดงองค์ประกอบต่างของรังสีที่พื้นโลกได้รับ



รูปที่ 3.12 องค์ประกอบต่างของรังสีที่พื้นโลกได้รับ

$$R_n=R_{ns}-R_{nl} \quad (3.22)$$

เมื่อ

R_n= รังสีสุทธิ (Net Radiation), MJ/m^2/day

R_{ns}= รังสีคลื่นสั้นสุทธิ (Net Shortwave Radiation) หรือรังสีอาทิตย์สุทธิ (Net Solar Radiation), MJ/m^2/day

R_{nl}= รังสีคลื่นยาวสุทธิ (Net Longwave Radiation), MJ/m^2/day

- **รังสีคลื่นสั้นสุทธิหรือรังสีอาทิตย์สุทธิ (Net Solar Radiation)**

รังสีอาทิตย์สุทธิคือผลต่างระหว่างรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีแบบคลื่นสั้นที่พื้นโลกได้รับและรังสีอาทิตย์ที่สะท้อนจากพื้นโลก ซึ่งมีค่าตามสมการ

$$R_{ns}=(1-\alpha)R_S \quad (3.23)$$

เมื่อ

R_{ns}= Net Solar Radiation, MJ/m^2/day

R_S=Solar Radiation, MJ/m^2/day

α=Albedo Reflection Coefficient = 0.23

$$R_S=\left(0.25+\frac{n}{N}\right)R_a \quad (3.24)$$

เมื่อ

n=จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงอาทิตย์จริง (Actual Sunshine Hours)

N=จำนวนชั่วโมงสูงสุดที่ควรได้รับแสงอาทิตย์(Maximum Possible Sunshine Hours)

$$N=\frac{24}{\pi}\omega_S \quad (3.25)$$

เมื่อ ω_S= Sunset Hour Angel ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

R_a=รังสีอาทิตย์ที่บรรยากาศโลกได้รับ (Extraterrestrial Radiation), MJ/m^2/day, ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

- **รังสีอาทิตย์ที่บรรยากาศโลกได้รับ (Extraterrestrial Radiation)**

รังสีอาทิตย์ที่บรรยากาศโลกได้รับในแต่ละวันจะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{SC} d_r \left[\omega_S \sin(\phi)\sin(\delta) + \cos(\phi)\cos(\delta)\sin(\omega_S)\right] \quad (3.26)$$

เมื่อ

G_{SC} = Solar Constant = 0.082 MJ/m^2/day

d_r = Inverse Relative Distance between Earth and Sun ซึ่งเปลี่ยนแปลงในแต่ละวัน

$$d_r = 1 + 0.033\cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (3.27)$$

J=วันที่ของปี วันที่ 1 คือ 1 มกราคม วันที่ 365 หรือ 366 คือวันที่ 31 ธันวาคม

กรณีคำนวณ ETO รายเดือน J คือวันที่ 15 ของเดือน ซึ่งจะคำนวณได้จากสมการ

$$J = \text{Integer}(30.4M - 15) \quad (3.28)$$

M = เดือนที่ M ของปี

ϕ = Latitude , radians

δ = มุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลก (Solar Declination Angel) ซึ่งจะเปลี่ยนไปในแต่ละวัน สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\delta = 0.409\sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (3.29)$$

ω_S= Sunset Hour Angel

$$\omega_S = \text{Arc}\cos\left[\tan(\phi)\tan(\delta)\right] \quad (3.30)$$

หรือ

$$\omega_S = \frac{\pi}{2} - \text{Arc}\tan\left[\frac{-\tan(\phi)\tan(\delta)}{X^{0.5}}\right] \quad (3.31)$$

$$X = 1 - [\tan(\phi)]^2[\tan(\delta)]^2 \quad (3.32)$$

และ X = 0.00001 ถ้า $X \le 0$

- **รังสีคลื่นยาวสุทธิ (Net Longwave Radiation)**

รังสีคลื่นยาวสุทธิ (R_{nl}) จะคำนวณได้จากสมการ

$$R_{nl} = \sigma\left[\frac{T\max, K^4 + T\min, K^4}{2}\right](0.34 - 0.14\sqrt{e_a})\left(1.35\frac{R_S}{R_{SO}} - 0.35\right) \quad (3.33)$$

เมื่อ

R_{nl}= รังสีคลื่นยาวสุทธิ (Net Longwave Radiation), MJ/m^2/day

σ = Stefan-Boltzman Constant = 4.903×10^{-9} MJ/K^4/m^2/day

Tmax,K = Maximum Absolute Temperature During 24 Hour Period [K=°C+273.16]

Tmin,K = Manimum Absolute Temperature During 24 Hour Period [K=°C+273.16]

e_a = Actual Vapor Pressure, kPa

R_S/R_{SO} = Relative Shortwave Radiation (≤ 1.0)

R_S = Measured or Calculated Solar Radiation จากสมการที่ 3.24, MJ/m^2/day

R_{SO} = Calculated Clear Sky Radiation , MJ/m^2/day

$$R_{SO} = \left(0.75 + 2 \times 10^{-5} z\right) R_a \qquad (3.34)$$

z= Station Elevation, m(MSL)

ข้อมูลพารามิเตอร์ภูมิอากาศสำหรับคำนวณ ET_Oซึ่งค่า P, γ, $e^o(T)$, Δ, J, Ra, N,σTk^4และตัวแปลงค่าความเร็วลม แสดงอยู่ในตารางภาคผนวกที่ 3.1 - 3.9

3.3.5 แบบฟอร์มการคำนวณ ET_O

การคำนวณ ET_O โดยวิธี FAO Penman Monteithตามสามการ 3.7 ต้องใช้ข้อมูลและสมการเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของสมการ 3.7 มากถึง 23 สมการ (สมการที่ 3.8-3.34) จึงจำเหมาะที่จำใช้ Speadsheetเช่น EXCEL ช่วยในการคำนวณ โดยจัดทำแบบฟอร์มคำนวณ ET_Oดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แบบฟอร์มการคำนวณ ET_O

Given Data				
Tmean(i-1)	29.2	◦c	Latitude(ϕ)	13.73
Tmax	34.8	◦c	Day	15
Tmin	25.6	◦c	Month(M)	4
Tmean	30.2	◦c	n	8.5
Altitude(z)	2	m		
uz'(m/s)=	xxx	m/s	u_2(m/s)	2
RH_{mean}=	64.5	%		
Calculation 1			Formula	Description
Tmean=	30.2	◦c	0.5(Tmax+Tmin)	
e◦(Tmax)=	5.56	kPa	0.6108Exp[17.27Tmax/(Tmax+237.3)]	Saturation vapor pressure at Tmax
e◦(Tmin)=	3.28	kPa	0.6108Exp[17.27Tmin/(Tmin+237.3)]	Saturation vapor pressure at Tmin
e_s=	4.42	kPa	0.5[e◦(Tmax)+e◦(Tmin)]	pressure
Δ=	0.25	kPa/◦c	$4098e_s/(Tmean+237.3)^2$	Slope of saturation vapor pressure curve
P=	101.28	kPa	$101.3[(293-0.0065z)/293]^{5.256}$	Atmosheric pressure
γ=	0.07	kPa/◦c	$0.665*10^{-3}P$	Psychrometric constant
$(1+0.34u_2)$=	1.68			
$[\Delta+\gamma(1+0.34u_2)]$=	0.37			
$\Delta/[\Delta+\gamma(1+0.34u_2)]$=	0.69			
$\gamma/[\Delta+\gamma(1+0.34u_2)]$=	0.18			
$[900/(Tmean+273.16)]u_2$=	5.94			
$e_a=(RH_{mean}/100)*e_s$=	2.85	kPa		
e_s-e_a=	1.57	kPa		Saturation vapor pressure deficit
Aerodynamic term=	1.71	mm/day	$\{\Delta/[\Delta+\gamma(1+0.34u_2)]\}*900u_2/(T_{mean}+273.16)$	

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) แบบฟอร์มการคำนวณ ET_O

Calculation 2			Formula	
J=	106		Int(30.42M-15.23)	Number of days in year
ϕ=	0.2397		Degree*pi()/180	Latitude
δ=	0.1722		0.409sin(2*PI()J/365-1.39)	Solar declination angle
sin(ϕ)=	0.2374			
sin(δ)=	0.1714			
cos(ϕ)=	0.9714			
cos(δ)=	0.9852			
tan(ϕ)=	0.2444			
tan(δ)=	0.1740			
X=	0.9982		$1-[\tan(\phi)\tan(\delta)]^2$	
ws=	1.6133		Acos(-tan(ϕ)tan(δ))	Sunset hour angle
dr=	0.9917		1+0.033cos(2*pi()J/365)	Inverse relative distance between Earth-Sun
Gsc=	0.0820	$MJ/m^2/min$		Solar constant
ws*sin(ϕ)*sin(δ)=	0.0656			
sin(ws)=	0.9991			
cos(ϕ)*cos(δ)*sin(ws)=	0.9562			
R_a=	38.0877	$MJ/m^2/day$	(24*60/pi())*Gsc*dr*[ws*sin(ϕ)sin(δ)+cos(ϕ)cos(δ)sin(ws)]	Extraterrestrial radiation
N=	12.3249	hrs	24ws/pi()	Daylight hours
Rs=	22.6557	$MJ/m^2/day$	(0.25+0.5n/N)Ra	
α=	0.23			Albedo
Rns=	17.4449	$MJ/m^2/day$	(1-0.23)Rs	Net shortwave radiationb
σ=	4.903E-09			Stefan-Boltzman constant
$Tmax.k^4$=	8,994,504,509			Tmax in kelvin
$Tmin.k^4$=	7,966,908,018			Tmin in kelvin
$Tmean.k^4$=	8,480,706,264			Tmean in kelvin
Rso=	28.5665	$MJ/m^2/day$	$(0.75+2*10^{-5}z)Ra$	Clear-sky radiation
Rs/Rso=	0.7931			Relative shortwave radiation
sqrt(e_a)=	1.6888			
R_{nl}=	3.1541	$MJ/m^2/day$	$\sigma*0.5*(Tmax.k^4+Tmin.k^4)(0.34-0.139Sqrt(e_a))(1.35*R_s/R_{so}-0.35)$	Net longwave radiation
$R_n=R_{ns}-R_{nl}$=	14.2908	$MJ/m^2/day$		Net solar radiation
G=0.14[Tmean(i)-Tmean(i-1)]=	0.1400	$MJ/m^2/day$		Soil heat flux
Radiation term[1]=	3.99	mm/day		
Aerodynamic term[2]=	1.71	mm/day		
ETo=[1]+[2]	5.70	mm/day		

3.3.6การหาค่า ET_O จากอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย

สภาพภูมิอากาศ เช่น รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม มีอิทธิพลต่อการระเหยจากผิวน้ำโดยตรงเช่นเดียวกับการระเหยและการคายน้ำของพืชจากแปลงเพาะปลูก แต่ถึงแม้ว่าสภาพภูมิอากาศเหมือนกันอัตราการระเหยจากผิวน้ำจะแตกต่างจากอัตราการระเหยและการคายน้ำของพืชจากแปลงเพาะปลูก เนื่องความแตกต่างระหว่างผิวน้ำและสภาพแปลงเพาะปลูก แต่จากข้อเท็จจริงดังกล่าวจึงสามารถคำนวณหาค่า ET_O จากอัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย โดยใช้สูตร

$$ET_O = K_P.E_{pan} \quad (3.35)$$

เมื่อ

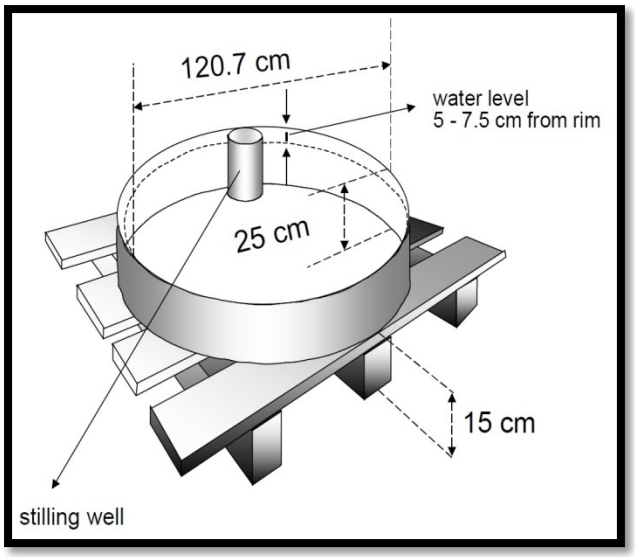
K_p = สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ชนิด และการติดตั้งถาดวัดการระเหย

E_{pan} = อัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหย

ถาดวัดการระเหยที่นิยมใช้มี 2 แบบ คือ ถาดวัดการระเหยแบบ เอ (Class A Pan) และถาดวัดการระเหยแบบโคโลราโด (Colorado Sunken Pan) ดังรูปที่ 3.13 และ 3.14 ถาดวัดการระเหยแบบ เอ เป็นถาดวงกลมติดตั้งอยู่เหนือผิวดินบนโครงไม้ ขณะที่ถาดวัดการระเหยแบบโคโลราโดเป็นถาดสี่เหลี่ยมติดตั้งโดยฝังถาดลงในดินเพื่อให้มีสภาพแวดล้อมคล้ายพื้นที่เพาะปลูกมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือดูแลรักษายากกว่า และถ้าถาดรั่วจะมองไม่เห็น

การติดตั้งถาดวัดการระเหยทำได้ 2 แบบคือ แบบ เอ และ แบบ บี ดังรูปที่ 3.15 การติดตั้งแบบ เอ จะมีหญ้าอยู่ด้านเหนือลมของถาดซึ่งเรียกว่า Green Crop Fetch และถัดไปเป็นพื้นที่โล่ง (Dry Surface) เป็นระยะทางประมาณ 50 เมตรหรือมากกว่า ส่วนการติดตั้งถาดแบบ บี ด้านเหนือลมของถาดเป็นพื้นที่โล่ง:ซึ่งเรียกว่า Dry Surface Fetch และถัดไปเป็นพื้นที่ปลูกหญ้า (Green Crop) เป็นระยะทางประมาณ 50 เมตรหรือมากกว่า

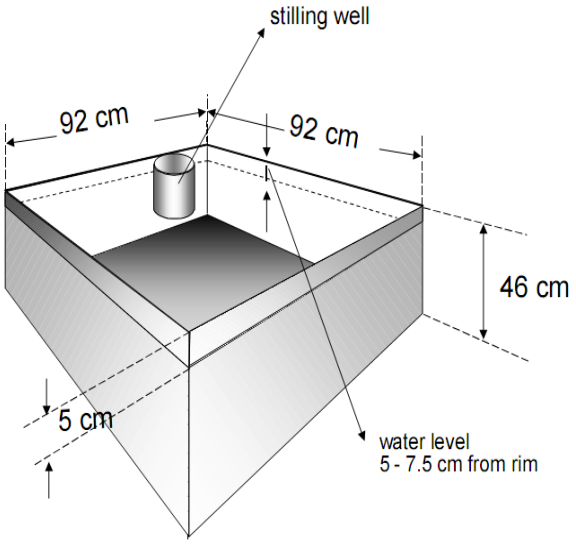
ค่า K_P สำหรับถาดวัดการระเหยแบบ เอ และ แบบโคโลราโด กรณีสภาพภูมิอากาศต่างๆ และการติดตั้งถาดวัดการระเหยทั้งแบบเอ (Green Crop Fetch) และ แบบบี (Dry Surface Fetch) แสดงอยู่ในตารางที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ



ถาดวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 120.7 ซม. สูง 25 ซม. ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีหนา 0.8 มม. ติดตั้งบนโครงไม้สูง 15 ซม. เติมน้ำจนถึงระยะ 5-7.5 ซม. จากขอบบน

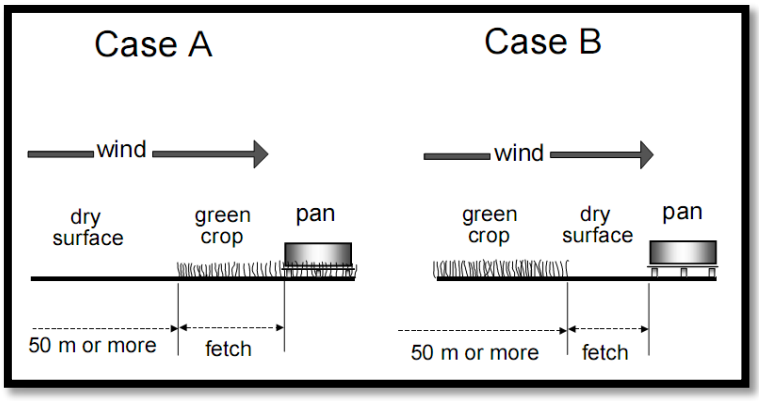
.

รูปที่ 3.13 ถาดวัดการระเหยแบบ เอ (Class A Pan)



ถาดรูปทรงสี่เหลี่ยม กว้าง 92 ซม x ยาว92 ซม. สูง 46 ซม.ทำด้วยเหล็กหนา 3 มม. ฝังดินให้ขอบโผล่เหนือดิน 5 ซม. ทาสีดำด้าน เติมน้ำจนถึงระดับ 5-7.5 ซม.จากขอบบน

รูปที่ 3.14 ถาดวัดการระเหยแบบโคโลราโด (Colorado Sunken Pan)



รูปที่ 3.15 วิธีการติดตั้งถาดวัดการระเหยแบบ เอ (Case A) และ แบบ บี (Case B)

ตารางที่ 3.4สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย (K_p) แบบ เอ (Pan Coefficientsfor Class A Pan) (FAO No.24)

Class A Pan	Case A: Pan Placed in Short Green Cropped Area				Case B: Pan Placed in Dry Fallow Area			
Wind Speed (m/s)	Windward Side Distance of Green Crop(m)	RH_{mean}(%) Low (<40)	Medium (40-70)	High (>70)	Windward Side Distance of Dry Fallow(m)	RH_{mean}(%) Low (<40)	Medium (40-70)	High (>70)
Light (<2)	1	0.55	0.65	0.75	1	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1,000	0.75	0.85	0.85	1,000	0.50	0.60	0.70
Moderate (2-5)	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1,000	0.70	0.80	0.80	1,000	0.45	0.55	0.60
Strong (5-8)	1	0.45	0.50	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1,000	0.65	0.70	0.75	1,000	0.40	0.45	0.55
Very String (>8)	1	0.40	0.45	0.50	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1,000	0.55	0.60	0.65	1,000	0.35	0.40	0.45

ตารางที่ 3.5สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย (K_p) แบบโคโลราโด (Pan Coefficientsfor Colorado Sunken Pan) (FAO No.24)

Colorado Sunken	Case A: Pan Placed in Short Green Cropped Area				Case B: Pan Placed in Dry Fallow Area			
Wind Speed (m/s)	Windward Side Distance of Green Crop(m)	RH_{mean}(%) Low (<40)	Medium (40-70)	High (>70)	Windward Side Distance of Dry Fallow(m)	RH_{mean}(%) Low (<40)	Medium (40-70)	High (>70)
Light (<2)	1	0.75	0.75	0.80	1	1.10	1.10	1.10
	10	1.00	1.00	1.00	10	0.85	0.85	0.85
	≥100	1.10	1.10	1.10	100	0.75	0.75	0.80
					1,000	0.70	0.70	0.75
Moderate (2-5)	1	0.65	0.70	0.70	1	0.95	0.95	0.95
	10	0.85	0.85	0.90	10	0.75	0.75	0.75
	≥100	0.95	0.95	0.95	100	0.65	0.65	0.70
					1,000	0.60	0.60	0.65
Strong (5-8)	1	0.55	0.60	0.65	1	0.80	0.80	0.80
	10	0.75	0.75	0.75	10	0.65	0.65	0.65
	≥100	0.80	0.80	0.80	100	0.55	0.60	0.65
					1,000	0.50	0.55	0.60
Very String (>8)	1	0.50	0.55	0.60	1	0.70	0.75	0.75
	10	0.65	0.70	0.70	10	0.55	0.60	0.65
	≥100	0.70	0.75	0.75	100	0.50	0.55	0.60
					1,000	0.45	0.50	0.55

หมายเหตุ: สำหรับพื้นที่โล่งไม่มีพืช ให้ลดค่า K_p 20% สำหรับกรณีอากาศร้อนและลมพัดแรง และลดค่า K_p5-10% สำหรับกรณีลม อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ปานกลาง

เมื่อนำ ค่า K_pจากตารางที่ 3.4 และ 3.5 มาหาความสัมพันธ์กับความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร (u_2) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (RH_{mean}) และระยะ Fetch(FET) จะได้ความสัมพันธ์สำหรับกรณีต่างๆ ดังสมการ 3.35-3.38

(1) สมการค่า K_P สำหรับถาดวัดการระเหยแบบ เอ ติดตั้งแบบเอ (Green Fetch)

$$K_P = 0.108 - 0.0286u_2 + 0.0422\ln(FET) + 0.1434\ln(RH_{mean}) - 0.000631\,[\ln(FET)^2\ln(RH_{mean})] \quad (3.35)$$

(2) สมการค่า K_P สำหรับถาดวัดการระเหยแบบ เอ ติดตั้งแบบบี (Dry Fetch)

$$K_P = 0.61 + 0.00341\,RH_{mean} - 0.000162\,u_2 RH_{mean} - 0.00000959\,u_2\,FET + 0.00327\,u_2\ln(FET) - 0.00289\,u_2\ln(86.4\,u_2) - 0.0106\ln(86.4\,u_2)\ln(FET) + 0.00063\,[\ln(FET)^2\ln(86.4\,u_2)] \quad (3.36)$$

(3) สมการค่า K_P สำหรับถาดวัดการระเหยแบบโคโลราโด ติดตั้งแบบเอ (Green Fetch)

$$K_P = 0.87 + 0.119\ln(FET) - 0.0157\,[\ln(86.4\,u_2)]^2 - 0.0019\,[\ln(FET)]^2\ln(86.4\,u_2) + 0.013\ln(86.4\,u_2)\ln(RH_{mean}) - 0.000053\ln(86.4\,u_2)\ln(FET)\,RH_{mean} \quad (3.37)$$

(4) สมการค่า K_P สำหรับถาดวัดการระเหยแบบ เอ ติดตั้งแบบเอ (Green Fetch)

$$K_P = 1.145 - 0.080\,u_2 + 0.000903\,(u_2)^2\ln(RH_{mean}) - 0.0964\ln(FET) + 0.0031\,u_2\ln(FET) + 0.0015\,[\ln(FET)]^2\ln(RH_{mean}) \quad (3.38)$$

เมื่อ

K_P = สัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหย (Pan Coefficient)

u_2 = ความเร็วลมที่ความสูง 2 เมตร ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1-8 ม./วินาที

RH_{mean} = ความชื้นสัมพัทธ์ประจำวันเฉลี่ย (%) หรือ $0.5(RH_{max} + RH_{min})$ ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 30-84%

FET = ระยะ FETCH ในการติดตั้งถาดวัดการระเหยอาจเป็นแบบเอ (Green Crop Fetch) หรือ อาจเป็นแบบบี (Dry Surface Fetch) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1-1,000 เมตร

ตัวอย่างที่ 3.1 จงคำนวณหาค่า K_P โดยใช้สมการ 3.35-3.38 กำหนดให้ Fetch = 1,000 ม. , u_2 = 1.9 ม./วินาที และ RH_{mean} = 73% และถ้า E_{pan} = 7.9 มม./วัน จงคำนวณหา ET_O

ชนิดถาด	วิธีการติดตั้ง	K_P	E_{pan}(มม./วัน)	ET_O(มม./วัน)
แบบเอ	แบบเอ	0.83	7.9	6.6
แบบเอ	แบบบี	0.61	7.9	4.8
แบบโคโลราโด	แบบเอ	0.97	7.9	7.7

แบบโคโลราโด	แบบบี	0.69	7.9	5.4

3.4 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration)

FAO เสนอวิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_C) ภายใต้สภาพมาตรฐาน (Standard Conditions) จากค่า ET_O ที่กล่าวถึงในหัวข้อ 3.3 และค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficients, K_C) และได้ให้นิยามคำว่า "สภาพมาตรฐาน" ว่าหมายถึงการปลูกพืชเป็นแปลงใหญ่ มีสภาพแวดล้อมของแปลงเพาะปลูกและความชื้นในดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นโดยใช้แนวคิดของสัมประสิทธิ์พืช จะสามารถคำนวณหา ET_C ได้จากสมการ

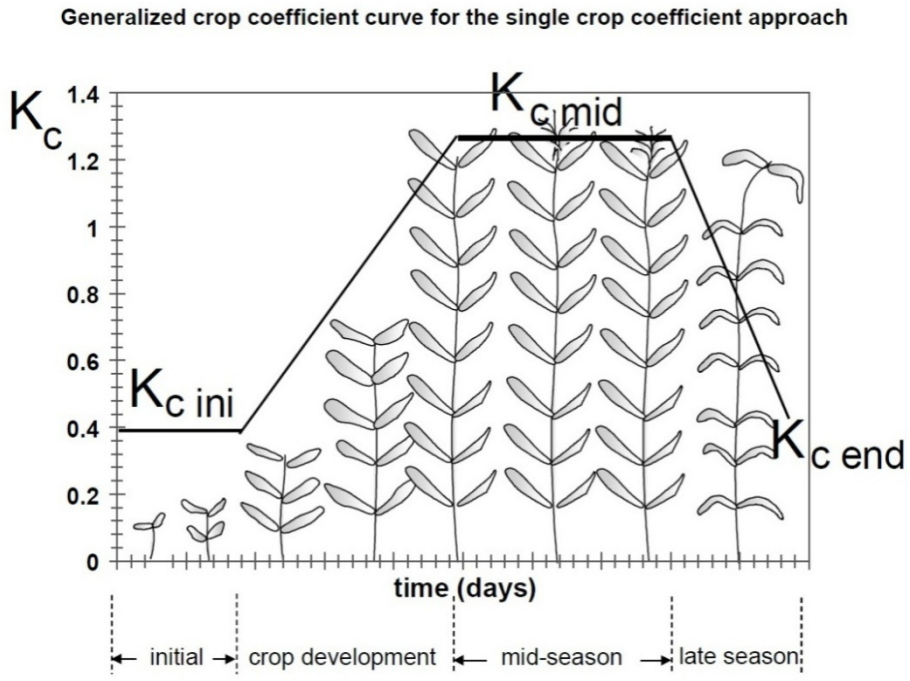
$$ET_C = K_C.ET_O \quad (3.39)$$

เมื่อ

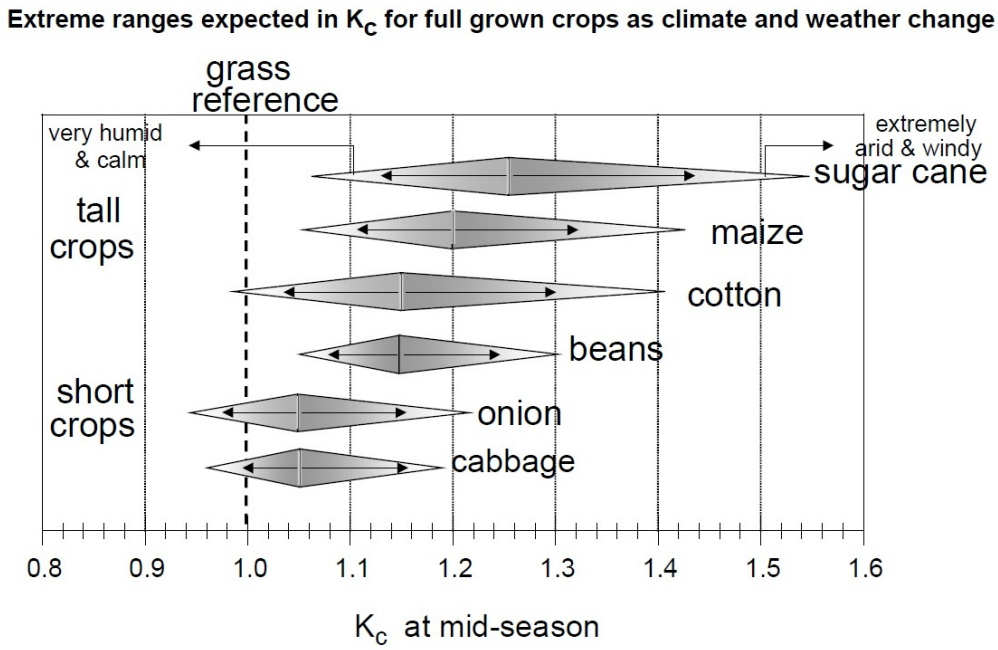
ET_C = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มม./วัน)

K_C = ค่าสัมประสิทธิ์พืชซึ่งจะแปรผันตามชนิดและอายุการเจริญเติบโตของพืชดังรูปที่ 3.16-3.18

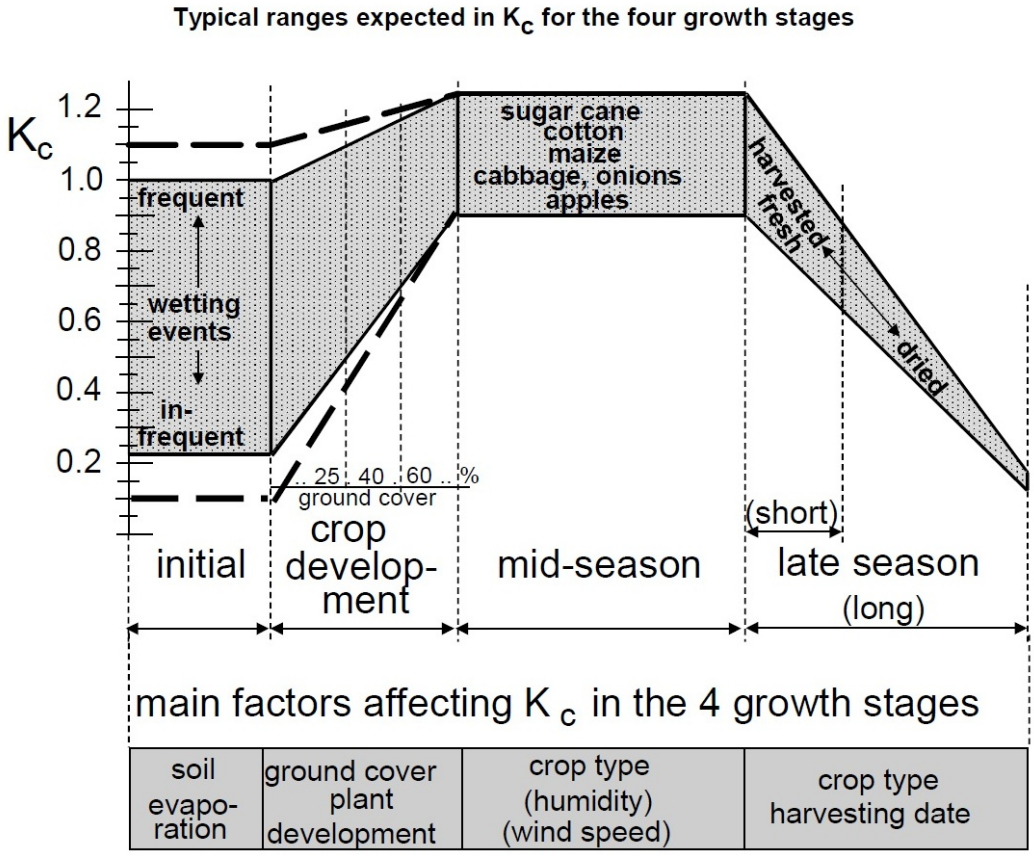
ET_O = ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./วัน)



รูปที่ 3.16 ค่า K_C ที่แตกต่างกันไปใน 4 ช่วงการเจริญเติบโตของพืช



รูปที่ 3.17ค่า K_Cของพืชชนิดต่างๆ ในช่วงที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่



รูปที่ 3.18 ช่วงค่าของ KC ในช่วงเวลาต่างๆ ของพืชชนิดต่างๆ

ค่าสัมประสิทธิ์พืช K_C คือวิธีการคำนวณหา ET_C แบบใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืชตัวเดียวหรือที่เรียกว่า Single Corp Coefficient Approach ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วางแผนและออกแบบระบบชลประทาน การจัดการน้ำ และการกำหนดการให้น้ำแก่พืช และสามารถคำนวณ ETC รายวัน ราย 10 วันและรายเดือนได้ ส่วนการคำนวณ ET_C อีกแบบหนึ่งคือแบบใช้ค่าสัมประสิทธิ์พืช 2 ตัวหรือ Dual Crop Coefficient Approach กรณีนี้จะมีค่าสัมประสิทธิ์พืช 2 ตัว คือ K_{cb} (Basal Crop Coefficient) และ K_e (Soil Water Evaporation Coefficient)

$$K_C = K_{cb} + K_e \tag{3.40}$$

วิธีการคำนวณโดยใช้สัมประสิทธิ์พืช 2 ตัว จะใช้เฉพาะการคำนวณหา ET_C รายวัน และปกติจะใช้กับงานวิจัย ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ผู้สนใจดูรายละเอียดได้ที่หนังสือ FAO(56)

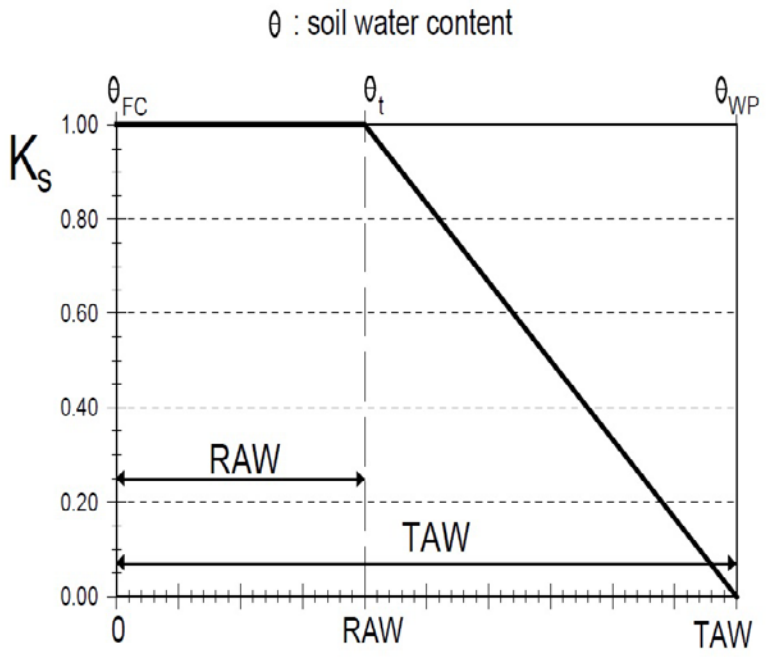
กรณีที่สภาพแวดล้อมในการปลูกพืช ไม่ใช่สภาพมาตรฐานเช่นความชื้นในดินต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤตพืชจะเกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ (Water Stress) หรือกรณีมีปัญหาดินเค็ม หรือศัตรูพืชรบกวนพืชจะเกิดความเครียด และมีผลทำให้พืชลดการใช้น้ำและผลผลิตลดลง ปริมาณการใช้น้ำของพืชภายใต้ความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ จะสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$ET_a = ET_{C\ adjusted} = K_S.ET_C \tag{3.41}$$

เมื่อ

ET_a = ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ขาดน้ำ (Actual Crop Evapotranspiration) หรือ $ET_{C\ adjusted}$ (มม./วัน)

K_S = สัมประสิทธิ์ความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ (Water Stress Coefficient) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ค่า K_S แปรผันเชิงเส้นกับความชื้นในดิน (θ) และจะมีค่ามากกว่า 0 เมื่อความชื้นในดินลดต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤต และมีค่า 1 เมื่อความชื้นในดินเท่ากับค่าความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร(Permanent Wilting Point) ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ (K_S)

จากรูปที่ 3.19 จะสามารถเขียนสมการคำนวณหาค่า K_S ได้ดังนี้

$$K_S = \frac{[TAW - Dr]}{[TAW - RAW]} \quad (3.42)$$

เมื่อ

K_S = Water Stress Coefficient มีค่า 0-1 และจะมีค่ามากกว่า 0 เมื่อความชื้นในดิน (θ) ลดต่ำกว่าค่าความชื้นวิกฤต

TAW = ปริมาณน้ำที่พืชเอาไปใช้ได้ในเขตราก (Total Available Water in Root Zone) (mm.)

Dr = ปริมาณความชื้นในดินที่ลดลง (Soil Moisture Depletion) (mm.)

RAW = ปริมาณน้ำที่ยอมให้พืชเอาไปใช้ได้ (Readily Available Water) (mm)

3.4.1 สัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient)

ในการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืช FAO ได้แบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกเป็น 4 ช่วง คือ ช่วงเริ่มปลูก (Initial Stage) ช่วงการเจริญเติบโตทางลำต้น (Development Stage) ช่วงกลางฤดูหรือช่วงที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ (Mid Season) และช่วงปลายฤดูหรือช่วงที่พืชแก่เต็มที่(Late Seasonหรือ End Season) FAO ได้รวบรวมข้อมูลระยะเวลาของช่วงการเจริญเติบโตต่างๆของพืชคือ Lini, Ldev, Lmid และLlateดังแสดงในตารางที่ 3.6(1) – 3.6(5)

ค่าสัมประสิทธิ์พืช K_C จะแตกต่างกันไปตามชนิดพืช และช่วงอายุการเจริญเติบโต FAO ได้รวบรวมค่า K_C ที่ช่วงการเจริญเติบโตต่างๆ คือ ช่วงเริ่มปลูก (K_{Cini}) ชาวงกลางฤดู (K_{Cmid}) และช่วงปลายฤดู (K_{Cend}) ดังแสดงในตารางที่ 3.7(1) – 3.7(5)

ดังนั้นเมื่อต้องการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชชนิดใด ก็สามารถอ่านค่าช่วงเวลาการเจริญเติบโตและค่า K_C ของพืชนั้น เพื่อนำมาสร้าง กราฟ K_C (K_C Curve) แล้วจึงอ่านค่า K_C ที่ช่วงเวลาต่างๆที่ต้องการเช่น K_C ราย 10 วัน หรือ K_C รายเดือนได้จากกราฟ K_C ที่สร้างขึ้น เช่น ต้องการหา K_C สำหรับถั่วที่ปลูกในฤดูแล้ง เริ่มปลูกปลายเดือนพฤษภาคม จากตารางที่ 3.6(2) และ 3.6(2) จะได้ค่าช่วงเวลาการเจริญเติบโต และค่า K_C ดังแสดงในตารางที่ 3.8

ค่า K_C ในตารางที่ 3.7 เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น วิธีการหาค่า K_C ที่ถูกต้องแม่นยำกว่าจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

- **การหาค่า $K_{C\,ini}$ จากความชื้นในดินและอัตราการระเหยและคายน้ำ**

ค่า $K_{C\,ini}$ จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความชื้นของดินในแปลงเพาะปลูกและอิทธิพลของภูมิอากาศที่มีต่อการระเหยน้ำจากผิวดิน ดังนั้น ค่า $K_{C\,ini}$ จริงอาจแตกต่างจากค่า $_{KC\,ini}$ ที่อ่านจากตารางที่ 3.7 ได้มาก เนื่องจากอิทธิของปัจจัยหลัก 4 ประการคือ (1) ความถี่ที่ดินได้รับน้ำ (2) อิทธิพลของภูมิอากาศที่มีผลต่อการระเหย (3) ความลึกที่น้ำซึมลงไปในดิน และ (4) สัดส่วนของผิวดินที่เปียกน้ำ ดังนั้นถ้าทราบข้อมูลเกี่ยว

ความชื้นในดินและอัตราการระเหยและคายน้ำ จะสามารถประมาณค่า $K_{C\,ini}$ ที่ถูกต้องแม่นยำกว่าโดยใช้สมการที่ 3.43 และข้อมูลจากรูปที่ 3.20 และ 3.21ดังนี้

$$K_{Cini} = K_{Cini(Fig.3.17)} + \frac{(I-10)}{(40-10)}\left[K_{Cini(Fig.3.18)} - K_{Cini(Fig.3.17)}\right] \qquad (3.43)$$

เมื่อ $K_{C\,ini(Fig.3.17)}$ และ $K_{C\,ini(Fig.3.18)}$ คือ $K_{C\,ini}$ จากกราฟรูปที่ 3.20 และ 3.21 ตามลำดับ

I คือความลึกน้ำที่ซึมลงไปในดินเฉลี่ยของพื้นที่แปลงทั้งหมด กรณีที่ให้น้ำแก่พื้นแปลงเพียงบางส่วน ดังรูปที่ 3.23 กรณีนี้สามารถคำนวณหาค่า I ได้จากสมการ 3.44

$$I = Iw.fw \qquad (3.44)$$

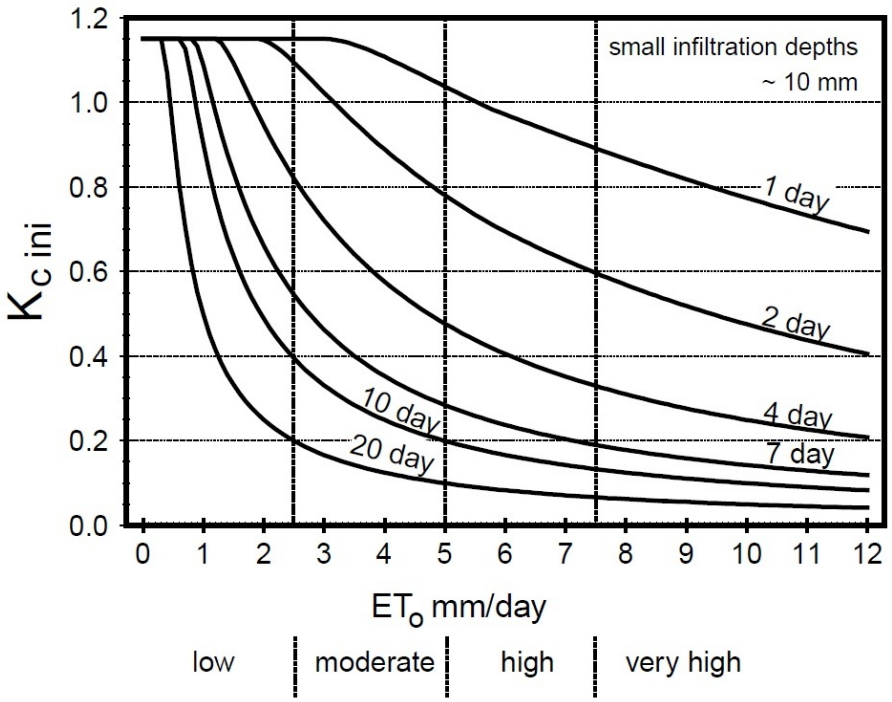
เมื่อ

Iw = ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้ (มม.)

fw = สัดส่วนพื้นที่แปลงที่ได้รับน้ำ

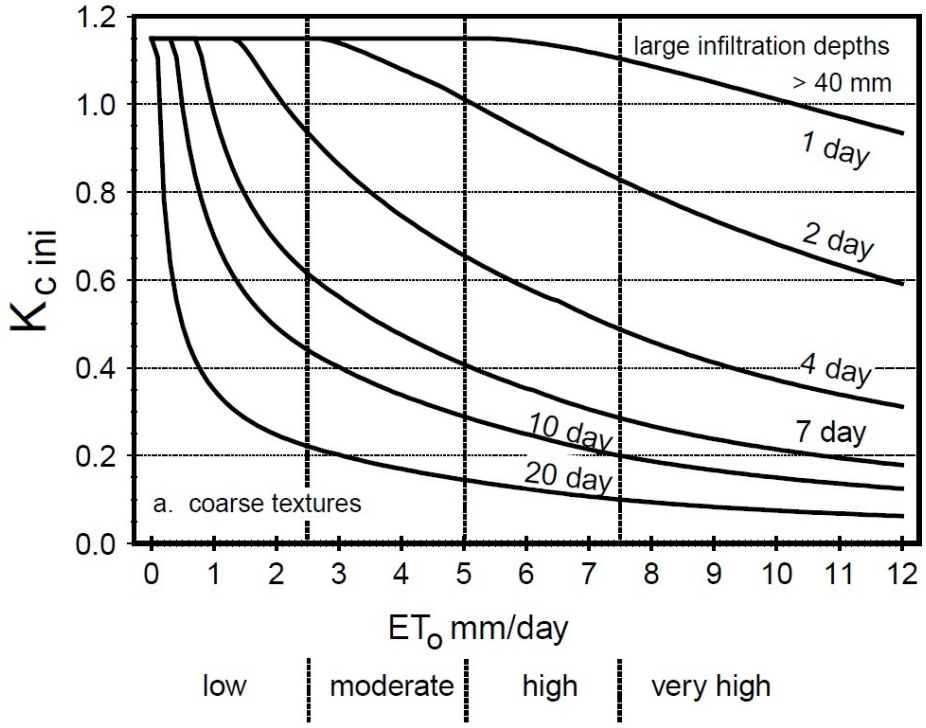
เช่นถ้า Iw = 60 มม. และ fw = 50% I=60*0.5=30 มม.

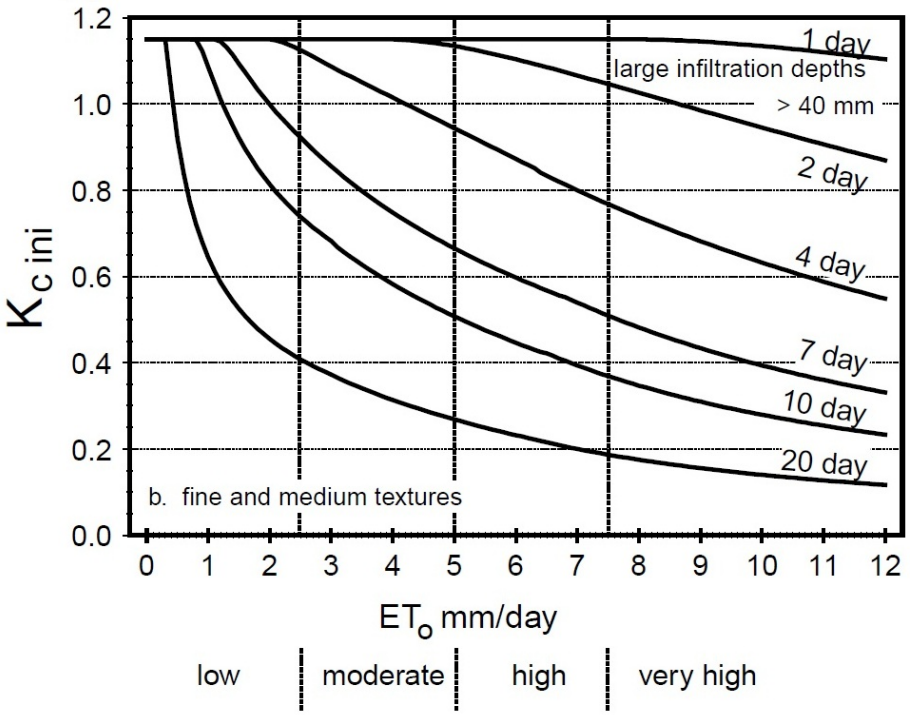
Average $K_{c\ ini}$ as related to the level of ET_o and the interval between irrigations and/or significant rain during the initial growth stage for all soil types when wetting events are light to medium (3-10 mm per event)



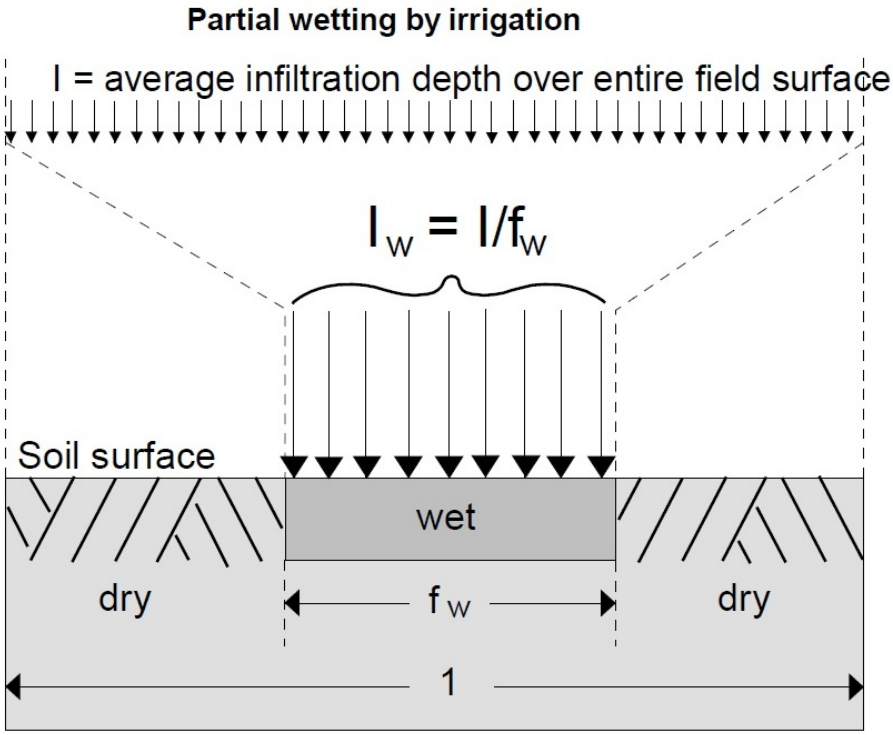
รูปที่ 3.20 ค่า $K_{C\,ini}$ กรณีที่น้ำซึมลงไปในดินน้อย ประมาณ 10 มม.

Average $K_{c\ ini}$ as related to the level of ET_o and the interval between irrigations greater than or equal to 40 mm per wetting event, during the initial growth stage for a) coarse textured soils; b) medium and fine textured soils





รูปที่ 3.21 ค่า $K_{C\ ini}$ กรณีที่น้ำซึมลงไปในดินมาก ประมาณ 40 มม.หรือมากกว่า



รูปที่ 3.22 การหาปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดินกรณีที่ให้น้ำกับพื้นที่แปลงเพียงบางส่วน

ตารางที่ 3.6(1)ระยะเวลาของช่วงการเจริญเติบโตต่างๆของพืช

Lengths of crop development stages* for various planting periods and climatic regions (days)

Crop	Init. (L_{ini})	Dev. (L_{dev})	Mid (L_{mid})	Late (L_{late})	Total	Plant Date	Region
a. Small Vegetables							
Broccoli	35	45	40	15	135	Sept	Calif. Desert, USA
Cabbage	40	60	50	15	165	Sept	Calif. Desert, USA
Carrots	20	30	50/30	20	100	Oct/Jan	Arid climate
	30	40	60	20	150	Feb/Mar	Mediterranean
	30	50	90	30	200	Oct	Calif. Desert, USA
Cauliflower	35	50	40	15	140	Sept	Calif. Desert, USA
Celery	25	40	95	20	180	Oct	(Semi)Arid
	25	40	45	15	125	April	Mediterranean
	30	55	105	20	210	Jan	(Semi)Arid
Crucifers[1]	20	30	20	10	80	April	Mediterranean
	25	35	25	10	95	February	Mediterranean
	30	35	90	40	195	Oct/Nov	Mediterranean
Lettuce	20	30	15	10	75	April	Mediterranean
	30	40	25	10	105	Nov/Jan	Mediterranean
	25	35	30	10	100	Oct/Nov	Arid Region
	35	50	45	10	140	Feb	Mediterranean
Onion (dry)	15	25	70	40	150	April	Mediterranean
	20	35	110	45	210	Oct; Jan.	Arid Region; Calif.
Onion (green)	25	30	10	5	70	April/May	Mediterranean
	20	45	20	10	95	October	Arid Region
	30	55	55	40	180	March	Calif., USA
Onion (seed)	20	45	165	45	275	Sept	Calif. Desert, USA
Spinach	20	20	15/25	5	60/70	Apr; Sep/Oct	Mediterranean
	20	30	40	10	100	November	Arid Region
Radish	5	10	15	5	35	Mar/Apr	Medit.; Europe
	10	10	15	5	40	Winter	Arid Region
b. Vegetables – Solanum Family *(Solanaceae)*							
Egg plant	30	40	40	20	130\14	October	Arid Region
	30	45	40	25	0	May/June	Mediterranean
Sweet peppers	25/30	35	40	20	125	April/June	Europe and Medit.
(bell)	30	40	110	30	210	October	Arid Region
Tomato	30	40	40	25	135	January	Arid Region
	35	40	50	30	155	Apr/May	Calif., USA
	25	40	60	30	155	Jan	Calif. Desert, USA
	35	45	70	30	180	Oct/Nov	Arid Region
	30	40	45	30	145	April/May	Mediterranean
c. Vegetables - Cucumber Family *(Cucurbitaceae)*							
Cantaloupe	30	45	35	10	120	Jan	Calif., USA
	10	60	25	25	120	Aug	Calif., USA
Cucumber	20	30	40	15	105	June/Aug	Arid Region
	25	35	50	20	130	Nov; Feb	Arid Region
Pumpkin,	20	30	30	20	100	Mar, Aug	Mediterranean
Winter squash	25	35	35	25	120	June	Europe
Squash,	25	35	25	15	100	Apr; Dec.	Medit.; Arid Reg.
Zucchini	20	30	25	15	90	May/June	Medit.; Europe

continued...

* Lengths of crop development stages provided in this table are indicative of general conditions, but may vary substantially from region to region, with climate and cropping conditions, and with crop variety. The user is strongly encouraged to obtain appropriate local information.

1 Crucifers include cabbage, cauliflower, broccoli, and Brussel sprouts. The wide range in lengths of seasons is due to varietal and species differences.

ตารางที่ 3.6(2)ระยะเวลาของช่วงการเจริญเติบโตต่างๆของพืช

Crop	Init. (L_{ini})	Dev. (L_{dev})	Mid (L_{mid})	Late (L_{late})	Total	Plant Date	Region
Sweet melons	25	35	40	20	120	May	Mediterranean
	30	30	50	30	140	March	Calif., USA
	15	40	65	15	135	Aug	Calif. Desert, USA
	30	45	65	20	160	Dec/Jan	Arid Region
Water melons	20	30	30	30	110	April	Italy
	10	20	20	30	80	Mat/Aug	Near East (desert)
d. Roots and Tubers							
Beets, table	15	25	20	10	70	Apr/May	Mediterranean
	25	30	25	10	90	Feb/Mar	Mediterranean & Arid
Cassava: year 1	20	40	90	60	210	Rainy	Tropical regions
year 2	150	40	110	60	360	season	
Potato	25	30	30/45	30	115/130	Jan/Nov	(Semi)Arid Climate
	25	30	45	30	130	May	Continental Climate
	30	35	50	30	145	April	Europe
	45	30	70	20	165	Apr/May	Idaho, USA
	30	35	50	25	140	Dec	Calif. Desert, USA
Sweet potato	20	30	60	40	150	April	Mediterranean
	15	30	50	30	125	Rainy seas.	Tropical regions
Sugarbeet	30	45	90	15	180	March	Calif., USA
	25	30	90	10	155	June	Calif., USA
	25	65	100	65	255	Sept	Calif. Desert, USA
	50	40	50	40	180	April	Idaho, USA
	25	35	50	50	160	May	Mediterranean
	45	75	80	30	230	November	Mediterranean
	35	60	70	40	205	November	Arid Regions
e. Legumes (*Leguminosae*)							
Beans (green)	20	30	30	10	90	Feb/Mar	Calif., Mediterranean
	15	25	25	10	75	Aug/Sep	Calif., Egypt, Lebanon
Beans (dry)	20	30	40	20	110	May/June	Continental Climates
	15	25	35	20	95	June	Pakistan, Calif.
	25	25	30	20	100	June	Idaho, USA
Faba bean,	15	25	35	15	90	May	Europe
broad bean	20	30	35	15	100	Mar/Apr	Mediterranean
- dry	90	45	40	60	235	Nov	Europe
- green	90	45	40	0	175	Nov	Europe
Green gram, cowpeas	20	30	30	20	110	March	Mediterranean
Groundnut	25	35	45	25	130	Dry season	West Africa
	35	35	35	35	140	May	High Latitudes
	35	45	35	25	140	May/June	Mediterranean
Lentil	20	30	60	40	150	April	Europe
	25	35	70	40	170	Oct/Nov	Arid Region
Peas	15	25	35	15	90	May	Europe
	20	30	35	15	100	Mar/Apr	Mediterranean
	35	25	30	20	110	April	Idaho, USA
Soybeans	15	15	40	15	85	Dec	Tropics
	20	30/35	60	25	140	May	Central USA
	20	25	75	30	150	June	Japan

continued...

ตารางที่ 3.6(3)ระยะเวลาของช่วงการเจริญเติบโตต่างๆของพืช

Crop	Init. (L_{ini})	Dev. (L_{dev})	Mid (L_{mid})	Late (L_{late})	Total	Plant Date	Region
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)							
Artichoke	40	40	250	30	360	Apr (1st yr)	California
	20	25	250	30	325	May (2nd yr)	(cut in May)
Asparagus	50	30	100	50	230	Feb	Warm Winter
	90	30	200	45	365	Feb	Mediterranean
g. Fibre Crops							
Cotton	30	50	60	55	195	Mar-May	Egypt; Pakistan; Calif.
	45	90	45	45	225	Mar	Calif. Desert, USA
	30	50	60	55	195	Sept	Yemen
	30	50	55	45	180	April	Texas
Flax	25	35	50	40	150	April	Europe
	30	40	100	50	220	October	Arizona
h. Oil Crops							
Castor beans	25	40	65	50	180	March	(Semi)Arid Climates
	20	40	50	25	135	Nov.	Indonesia
Safflower	20	35	45	25	125	April	California, USA
	25	35	55	30	145	Mar	High Latitudes
	35	55	60	40	190	Oct/Nov	Arid Region
Sesame	20	30	40	20	100	June	China
Sunflower	25	35	45	25	130	April/May	Medit.; California
i. Cereals							
Barley/Oats/ Wheat	15	25	50	30	120	November	Central India
	20	25	60	30	135	March/Apr	35-45 °L
	15	30	65	40	150	July	East Africa
	40	30	40	20	130	Apr	
	40	60	60	40	200	Nov	
	20	50	60	30	160	Dec	Calif. Desert, USA
Winter Wheat	20[2]	60[2]	70	30	180	December	Calif., USA
	30	140	40	30	240	November	Mediterranean
	160	75	75	25	335	October	Idaho, USA
Grains (small)	20	30	60	40	150	April	Mediterranean
	25	35	65	40	165	Oct/Nov	Pakistan; Arid Reg.
Maize (grain)	30	50	60	40	180	April	East Africa (alt.)
	25	40	45	30	140	Dec/Jan	Arid Climate
	20	35	40	30	125	June	Nigeria (humid)
	20	35	40	30	125	October	India (dry, cool)
	30	40	50	30	150	April	Spain (spr, sum.); Calif.
	30	40	50	50	170	April	Idaho, USA
Maize (sweet)	20	20	30	10	80	March	Philippines
	20	25	25	10	80	May/June	Mediterranean
	20	30	50/30	10	90	Oct/Dec	Arid Climate
	30	30	30	10[3]	110	April	Idaho, USA
	20	40	70	10	140	Jan	Calif. Desert, USA
Millet	15	25	40	25	105	June	Pakistan
	20	30	55	35	140	April	Central USA

continued...

ตารางที่ 3.6(4)ระยะเวลาของช่วงการเจริญเติบโตต่างๆของพืช

Crop	Init. (L_{ini})	Dev. (L_{dev})	Mid (L_{mid})	Late (L_{late})	Total	Plant Date	Region
Sorghum	20 20	35 35	40 45	30 30	130 140	May/June Mar/April	USA, Pakis., Med. Arid Region
Rice	30 30	30 30	60 80	30 40	150 180	Dec; May May	Tropics; Mediterranean Tropics
j. Forages							
Alfalfa, total season[4]	10	30	var.	var.	var.		last -4°C in spring until first -4°C in fall
Alfalfa[4] 1st cutting cycle	10 10	20 30	20 25	10 10	60 75	Jan Apr (last -4° C)	Calif., USA. Idaho, USA.
Alfalfa[4], other cutting cycles	5 5	10 20	10 10	5 10	30 45	Mar Jun	Calif., USA. Idaho, USA.
Bermuda for seed	10	25	35	35	105	March	Calif. Desert, USA
Bermuda for hay (several cuttings)	10	15	75	35	135	---	Calif. Desert, USA
Grass Pasture[4]	10	20	--	--	--		7 days before last -4°C in spring until 7 days after first -4°C in fall
Sudan, 1st cutting cycle	25	25	15	10	75	Apr	Calif. Desert, USA
Sudan, other cutting cycles	3	15	12	7	37	June	Calif. Desert, USA
k. Sugar Cane							
Sugarcane, virgin	35 50 75	60 70 105	190 220 330	120 140 210	405 480 720		Low Latitudes Tropics Hawaii, USA
Sugarcane, ratoon	25 30 35	70 50 105	135 180 210	50 60 70	280 320 420		Low Latitudes Tropics Hawaii, USA
l. Tropical Fruits and Trees							
Banana, 1st yr	120	90	120	60	390	Mar	Mediterranean
Banana, 2nd yr	120	60	180	5	365	Feb	Mediterranean
Pineapple	60	120	600	10	790		Hawaii, USA
m. Grapes and Berries							
Grapes	20 20 20 30	40 50 50 60	120 75 90 40	60 60 20 80	240 205 180 210	April Mar May April	Low Latitudes Calif., USA High Latitudes Mid Latitudes (wine)
Hops	25	40	80	10	155	April	Idaho, USA
n. Fruit Trees							
Citrus	60	90	120	95	365	Jan	Mediterranean
Deciduous Orchard	20 20 30	70 70 50	90 120 130	30 60 30	210 270 240	March March March	High Latitudes Low Latitudes Calif., USA

ตารางที่ 3.6(5)ระยะเวลาของช่วงการเจริญเติบโตต่างๆของพืช

Crop	Init. (L_{ini})	Dev. (L_{dev})	Mid (L_{mid})	Late (L_{late})	Total	Plant Date	Region
Olives	30	90	60	90	270[5]	March	Mediterranean
Pistachios	20	60	30	40	150	Feb	Mediterranean
Walnuts	20	10	130	30	190	April	Utah, USA
o. Wetlands - Temperate Climate							
Wetlands (Cattails, Bulrush)	10 180	30 60	80 90	20 35	140 365	May November	Utah, USA; killing frost Florida, USA
Wetlands (short veg.)	180	60	90	35	365	November	frost-free climate

ตารางที่ 3.7(1) ค่าสัมประสิทธิ์ KCของพืชชนิดต่างๆ(FAO, 56)

Single (time-averaged) crop coefficients, K_c, and mean maximum plant heights for non stressed, well-managed crops in subhumid climates ($RH_{min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2$ m/s) for use with the FAO Penman-Monteith ET_o.

Crop	$K_{c\ ini}$ [1]	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	Maximum Crop Height (h) (m)
a. Small Vegetables	0.7	1.05	0.95	
Broccoli		1.05	0.95	0.3
Brussel Sprouts		1.05	0.95	0.4
Cabbage		1.05	0.95	0.4
Carrots		1.05	0.95	0.3
Cauliflower		1.05	0.95	0.4
Celery		1.05	1.00	0.6
Garlic		1.00	0.70	0.3
Lettuce		1.00	0.95	0.3
Onions - dry		1.05	0.75	0.4
- green		1.00	1.00	0.3
- seed		1.05	0.80	0.5
Spinach		1.00	0.95	0.3
Radish		0.90	0.85	0.3
b. Vegetables – Solanum Family (*Solanaceae*)	0.6	1.15	0.80	
Egg Plant		1.05	0.90	0.8
Sweet Peppers (bell)		1.05[2]	0.90	0.7
Tomato		1.15[2]	0.70-0.90	0.6
c. Vegetables – Cucumber Family (*Cucurbitaceae*)	0.5	1.00	0.80	
Cantaloupe	0.5	0.85	0.60	0.3
Cucumber – Fresh Market	0.6	1.00[2]	0.75	0.3
– Machine harvest	0.5	1.00	0.90	0.3
Pumpkin, Winter Squash		1.00	0.80	0.4
Squash, Zucchini		0.95	0.75	0.3
Sweet Melons		1.05	0.75	0.4
Watermelon	0.4	1.00	0.75	0.4
d. Roots and Tubers	0.5	1.10	0.95	
Beets, table		1.05	0.95	0.4
Cassava – year 1	0.3	0.80[3]	0.30	1.0
– year 2	0.3	1.10	0.50	1.5
Parsnip	0.5	1.05	0.95	0.4
Potato		1.15	0.75[4]	0.6
Sweet Potato		1.15	0.65	0.4
Turnip (and Rutabaga)		1.10	0.95	0.6
Sugar Beet	0.35	1.20	0.70[5]	0.5

continued...

1 These are general values for $K_{c\ ini}$ under typical irrigation management and soil wetting. For frequent wettings such as with high frequency sprinkle irrigation or daily rainfall, these values may increase substantially and may approach 1.0 to 1.2. $K_{c\ ini}$ is a function of wetting interval and potential evaporation rate during the initial and development periods and is more accurately estimated using Figures 29 and 30, or Equation 7-3 in Annex 7, or using the dual $K_{cb\ ini} + K_e$.

2 Beans, Peas, Legumes, Tomatoes, Peppers and Cucumbers are sometimes grown on stalks reaching 1.5 to 2 meters in height. In such cases, increased K_c values need to be taken. For green beans, peppers and cucumbers, 1.15 can be taken, and for tomatoes, dry beans and peas, 1.20. Under these conditions h should be increased also.

3 The midseason values for cassava assume non-stressed conditions during or following the rainy season. The $K_{c\ end}$ values account for dormancy during the dry season.

4 The $K_{c\ end}$ value for potatoes is about 0.40 for long season potatoes with vine kill.

5 This $K_{c\ end}$ value is for no irrigation during the last month of the growing season. The $K_{c\ end}$ value for sugar beets is higher, up to 1.0, when irrigation or significant rain occurs during the last month.

ตารางที่ 3.7(2) ค่าสัมประสิทธิ์ KC ของพืชชนิดต่างๆ (FAO, 56)

Crop	$K_{c\ ini}$ [1]	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	Maximum Crop Height (h) (m)
e. Legumes (*Leguminosae*)	**0.4**	**1.15**	**0.55**	
Beans, green	0.5	1.05[2]	0.90	0.4
Beans, dry and Pulses	0.4	1.15[2]	0.35	0.4
Chick pea		1.00	0.35	0.4
Fababean (broad bean) – Fresh	0.5	1.15[2]	1.10	0.8
– Dry/Seed	0.5	1.15[2]	0.30	0.8
Grabanzo	0.4	1.15	0.35	0.8
Green Gram and Cowpeas		1.05	0.60-0.35[6]	0.4
Groundnut (Peanut)		1.15	0.60	0.4
Lentil		1.10	0.30	0.5
Peas – Fresh	0.5	1.15[2]	1.10	0.5
– Dry/Seed		1.15	0.30	0.5
Soybeans		1.15	0.50	0.5-1.0
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)	0.5	1.00	0.80	
Artichokes	0.5	1.00	0.95	0.7
Asparagus	0.5	0.95[7]	0.30	0.2-0.8
Mint	0.60	1.15	1.10	0.6-0.8
Strawberries	0.40	0.85	0.75	0.2
g. Fibre Crops	**0.35**			
Cotton		1.15-1.20	0.70-0.50	1.2-1.5
Flax		1.10	0.25	1.2
Sisal[8]		0.4-0.7	0.4-0.7	1.5
h. Oil Crops	**0.35**	**1.15**	**0.35**	
Castorbean (*Ricinus*)		1.15	0.55	0.3
Rapeseed, Canola		1.0-1.15[9]	0.35	0.6
Safflower		1.0-1.15[9]	0.25	0.8
Sesame		1.10	0.25	1.0
Sunflower		1.0-1.15[9]	0.35	2.0
i. Cereals	**0.3**	**1.15**	**0.4**	
Barley		1.15	0.25	1
Oats		1.15	0.25	1
Spring Wheat		1.15	0.25-0.4[10]	1
Winter Wheat - with frozen soils	0.4	1.15	0.25-0.4[10]	1
- with non-frozen soils	0.7	1.15	0.25-0.4[10]	
Maize, Field (grain) *(field corn)*		1.20	0.60,0.35[11]	2
Maize, Sweet *(sweet corn)*		1.15	1.05[12]	1.5
Millet		1.00	0.30	1.5
Sorghum – grain		1.00-1.10	0.55	1-2
– sweet		1.20	1.05	2-4
Rice	1.05	1.20	0.90-0.60	1

continued...

6 The first $K_{c\ end}$ is for harvested fresh. The second value is for harvested dry.

7 The K_c for asparagus usually remains at $K_{c\ ini}$ during harvest of the spears, due to sparse ground cover. The $K_{c\ mid}$ value is for following regrowth of plant vegetation following termination of harvest of spears.

8 K_c for sisal depends on the planting density and water management (e.g., intentional moisture stress).

9 The lower values are for rainfed crops having less dense plant populations.

10 The higher value is for hand-harvested crops.

11 The first $K_{c\ end}$ value is for harvest at high grain moisture. The second $K_{c\ end}$ value is for harvest after complete field drying of the grain (to about 18% moisture, wet mass basis).

12 If harvested fresh for human consumption. Use $K_{c\ end}$ for field maize if the sweet maize is allowed to mature and dry in the field.

ตารางที่ 3.7(3) ค่าสัมประสิทธิ์ KC ของพืชชนิดต่างๆ (FAO, 56)

Crop	$K_{c\ ini}$ [1]	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	Maximum Crop Height (h) (m)
j. Forages				
Alfalfa Hay – averaged cutting effects	0.40	0.95[13]	0.90	0.7
– individual cutting periods	0.40[14]	1.20[14]	1.15[14]	0.7
– for seed	0.40	0.50	0.50	0.7
Bermuda hay – averaged cutting effects	0.55	1.00[13]	0.85	0.35
– Spring crop for seed	0.35	0.90	0.65	0.4
Clover hay, Berseem – averaged cutting effects	0.40	0.90[13]	0.85	0.6
– individual cutting periods	0.40[14]	1.15[14]	1.10[14]	0.6
Rye Grass hay – averaged cutting effects	0.95	1.05	1.00	0.3
Sudan Grass hay (annual) – averaged cutting effects	0.50	0.90[14]	0.85	1.2
– individual cutting periods	0.50[14]	1.15[14]	1.10[14]	1.2
Grazing Pasture - Rotated Grazing	0.40	0.85-1.05	0.85	0.15-0.30
- Extensive Grazing	0.30	0.75	0.75	0.10
Turf grass - cool season[15]	0.90	0.95	0.95	0.10
- warm season[15]	0.80	0.85	0.85	0.10
k. Sugar Cane	0.40	1.25	0.75	3
l. Tropical Fruits and Trees				
Banana – 1st year	0.50	1.10	1.00	3
– 2nd year	1.00	1.20	1.10	4
Cacao	1.00	1.05	1.05	3
Coffee – bare ground cover	0.90	0.95	0.95	2-3
– with weeds	1.05	1.10	1.10	2-3
Date Palms	0.90	0.95	0.95	8
Palm Trees	0.95	1.00	1.00	8
Pineapple[16] – bare soil	0.50	0.30	0.30	0.6-1.2
– with grass cover	0.50	0.50	0.50	0.6-1.2
Rubber Trees	0.95	1.00	1.00	10
Tea – non-shaded	0.95	1.00	1.00	1.5
– shaded[17]	1.10	1.15	1.15	2
m. Grapes and Berries				
Berries (bushes)	0.30	1.05	0.50	1.5
Grapes – Table or Raisin	0.30	0.85	0.45	2
– Wine	0.30	0.70	0.45	1.5-2
Hops	0.3	1.05	0.85	5

continued...

13 This $K_{c\ mid}$ coefficient for hay crops is an overall average $K_{c\ mid}$ coefficient that averages K_c for both before and following cuttings. It is applied to the period following the first development period until the beginning of the last late season period of the growing season.

14 These K_c coefficients for hay crops represent immediately following cutting; at full cover; and immediately before cutting, respectively. The growing season is described as a series of individual cutting periods (Figure 35).

15 Cool season grass varieties include dense stands of bluegrass, ryegrass, and fescue. Warm season varieties include bermuda grass and St. Augustine grass. The 0.95 values for cool season grass represent a 0.06 to 0.08 m mowing height under general turf conditions. Where careful water management is practiced and rapid growth is not required, K_c's for turf can be reduced by 0.10.

16 The pineapple plant has very low transpiration because it closes its stomates during the day and opens them during the night. Therefore, the majority of ET_c from pineapple is evaporation from the soil. The $K_{c\ mid} < K_{c\ ini}$ since $K_{c\ mid}$ occurs during full ground cover so that soil evaporation is less. Values given assume that 50% of the ground surface is covered by black plastic mulch and that irrigation is by sprinkler. For drip irrigation beneath the plastic mulch, K_c's given can be reduced by 0.10.

17 Includes the water requirements of the shade trees.

ตารางที่ 3.7(4) ค่าสัมประสิทธิ์ KC ของพืชชนิดต่างๆ (FAO, 56)

Crop	$K_{c\ ini}$[1]	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	Maximum Crop Height (h) (m)
n. Fruit Trees				
Almonds, no ground cover	0.40	0.90	0.65[18]	5
Apples, Cherries, Pears[19]				
- no ground cover, killing frost	0.45	0.95	0.70[18]	4
- no ground cover, no frosts	0.60	0.95	0.75[18]	4
- active ground cover, killing frost	0.50	1.20	0.95[18]	4
- active ground cover, no frosts	0.80	1.20	0.85[18]	4
Apricots, Peaches, Stone Fruit[19, 20]				
- no ground cover, killing frost	0.45	0.90	0.65[18]	3
- no ground cover, no frosts	0.55	0.90	0.65[18]	3
- active ground cover, killing frost	0.50	1.15	0.90[18]	3
- active ground cover, no frosts	0.80	1.15	0.85[18]	3
Avocado, no ground cover	0.60	0.85	0.75	3
Citrus, no ground cover[21]				
- 70% canopy	0.70	0.65	0.70	4
- 50% canopy	0.65	0.60	0.65	3
- 20% canopy	0.50	0.45	0.55	2
Citrus, with active ground cover or weeds[22]				
- 70% canopy	0.75	0.70	0.75	4
- 50% canopy	0.80	0.80	0.80	3
- 20% canopy	0.85	0.85	0.85	2
Conifer Trees[23]	1.00	1.00	1.00	10
Kiwi	0.40	1.05	1.05	3
Olives (40 to 60% ground coverage by canopy)[24]	0.65	0.70	0.70	3-5
Pistachios, no ground cover	0.40	1.10	0.45	3-5
Walnut Orchard[19]	0.50	1.10	0.65[18]	4-5

continued...

18 These $K_{c\ end}$ values represent K_c prior to leaf drop. After leaf drop, $K_{c\ end} \approx 0.20$ for bare, dry soil or dead ground cover and $K_{c\ end} \approx 0.50$ to 0.80 for actively growing ground cover (consult Chapter 11).

19 Refer to Eq. 94, 97 or 98 and footnotes 21 and 22 for estimating K_c for immature stands.

20 Stone fruit category applies to peaches, apricots, pears, plums and pecans.

21 These K_c values can be calculated from Eq. 98 for $K_{c\ min} = 0.15$ and $K_{c\ full} = 0.75$, 0.70 and 0.75 for the initial, mid season and end of season periods, and $f_{c\ eff} = f_c$ where f_c = fraction of ground covered by tree canopy (e.g., the sun is presumed to be directly overhead). The values listed correspond with those in Doorenbos and Pruitt (1977) and with more recent measurements. The midseason value is lower than initial and ending values due to the effects of stomatal closure during periods of peak ET. For humid and subhumid climates where there is less stomatal control by citrus, values for $K_{c\ ini}$, $K_{c\ mid}$, and $K_{c\ end}$ can be increased by 0.1 - 0.2, following Rogers et al. (1983).

22 These K_c values can be calculated as $K_c = f_c\ K_{c\ ngc} + (1 - f_c)\ K_{c\ cover}$ where $K_{c\ ngc}$ is the K_c of citrus with no active ground cover (calculated as in footnote 21), $K_{c\ cover}$ is the K_c for the active ground cover (0.95), and f_c is defined in footnote 21. The values listed correspond with those in Doorenbos and Pruitt (1977) and with more recent measurements. Alternatively, K_c for citrus with active ground cover can be estimated directly from Eq. 98 by setting $K_{c\ min} = K_{c\ cover}$. For humid and subhumid climates where there is less stomatal control by citrus, values for $K_{c\ ini}$, $K_{c\ mid}$, and $K_{c\ end}$ can be increased by 0.1 - 0.2, following Rogers et al. (1983).

For non-active or only moderately active ground cover (active indicates green and growing ground cover with LAI > about 2 to 3) , K_c should be weighted between K_c for no ground cover and K_c for active ground cover, with the weighting based on the "greenness" and approximate leaf area of the ground cover.

23 Confers exhibit substantial stomatal control due to reduced aerodynamic resistance. The K_c can easily reduce below the values presented, which represent well-watered conditions for large forests.

ตารางที่ 3.7(5) ค่าสัมประสิทธิ์ KC ของพืชชนิดต่างๆ (FAO, 56)

Crop	$K_{c\ ini}$[1]	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$	Maximum Crop Height (h) (m)
o. Wetlands – temperate climate				
Cattails, Bulrushes, killing frost	0.30	1.20	0.30	2
Cattails, Bulrushes, no frost	0.60	1.20	0.60	2
Short Veg., no frost	1.05	1.10	1.10	0.3
Reed Swamp, standing water	1.00	1.20	1.00	1-3
Reed Swamp, moist soil	0.90	1.20	0.70	1-3
p. Special				
Open Water, < 2 m depth or in subhumid climates or tropics		1.05	1.05	
Open Water, > 5 m depth, clear of turbidity, temperate climate		0.65[25]	1.25[25]	

[24] These coefficients represent about 40 to 60% ground cover. Refer to Eq. 98 and footnotes 21 and 22 for estimating K_c for immature stands. In Spain, Pastor and Orgaz (1994) have found the following monthly K_c's for olive orchards having 60% ground cover: 0.50, 0.50, 0.65, 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.45, 0.55, 0.60, 0.65, 0.50 for months January through December. These coefficients can be invoked by using $K_{c\ ini}$ = 0.65, $K_{c\ mid}$ = 0.45, and $K_{c\ end}$ = 0.65, with stage lengths = 30, 90, 60 and 90 days, respectively for initial, development, midseason and late season periods, and using K_c during the winter ("off season") in December to February = 0.50.

[25] These K_c's are for deep water in temperate latitudes where large temperature changes in the water body occur during the year, and initial and peak period evaporation is low as radiation energy is absorbed into the deep water body. During fall and winter periods ($K_{c\ end}$), heat is released from the water body that increases the evaporation above that for grass. Therefore, $K_{c\ mid}$ corresponds to the period when the water body is gaining thermal energy and $K_{c\ end}$ when releasing thermal energy. These K_c's should be used with caution.

Primary sources: $K_{c\ ini}$: Doorenbos and Kassam (1979)
$K_{c\ mid}$ and $K_{c\ end}$: Doorenbos and Pruitt (1977); Pruitt (1986); Wright (1981, 1982), Snyder et al., (1989)

ตารางที่ 3.8 ค่า K_C ของถั่วที่ปลูกในฤดูแล้ง

	Ini.	Dev.	Mid.	Late
ช่วงเวลา (วัน) จากตารางที่ 3.4(2)	25	25	30	20
K_C จากตารางที่ 3.5(2)	0.40		1.15	0.35
$K_{C\ ini}$ จากสมการ	0.15		1.19	
หมายเหตุ: (1) ความสูงของถั่ว=0.4 ม.(2) ค่า KC ในตารางที่ 3.5 เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น				

ถ้ากำหนดในการเพาะปลูกถั่วฤดูแล้ง ET_O ช่วงเริ่มปลูกเท่ากับ 5.3 มม./วัน ให้น้ำหรือฝนตกประมาณ 14 วัน/ครั้ง ปริมาณน้ำที่ซึมลงดินเฉลี่ยประมาณ 10 มม.หรือน้อยกว่า (I=10) ดังนั้น จากสมการที่ 3.43

$K_{C\ ini} = KC_{\ ini(Fig.3.17)} = 0.15$

- การปรับค่า $K_{C\ mid}$ และ $K_{C\ end}$

ในกรณีที่ สภาพภูมิอากาศ คือ RHminมีค่าต่างจาก 45% และ u_2มากหรือน้อยกว่า 2 ม./วินาที จะต้องปรับแก้ค่า KC mid จากตารางที่ 3.7 ด้วยสมการ

$$K_{Cmid} = K_{Cmid(Table3.5)} + \left[0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \right] \quad (3.45)$$

ในทำนองเดียวกันจะสามารถปรับค่า KC end ด้วยสมการเหมือนสมการ 3.40

$$K_{Cend} = K_{Cend(Table3.5)} + \left[0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \right] \quad (3.46)$$

กรณีถั่วฤดูแล้งในตารางที่ 3.8 ถ้ากำหนดให้ RH_{min}=30% และ u_2=2.2 ม./วินาที จะต้องปรับค่า KC mid โดยใช้สมการ 3.45 ดังนี้

$$K_{Cmid} = 1.15 + \left[0.04(2.2 - 2) - 0.004(30 - 45)\left(\frac{0.4}{3}\right)^{0.3} \right] = 1.19$$

เนื่องจาก $K_{C\,end}$ ในตารางที่ 3.8 เท่ากับ 0.35 น้อยกว่า 0.45 จึงไม่จำเป็นต้องปรับค่า

- **การสร้างกราฟ K_C**

เมื่อนำค่า K_C ไปพล๊อตกราฟ จะได้กราฟ K_Cดังรูปที่ 3.23 เมื่อต้องการหาค่า K_Cที่ช่วงเวลาใด เช่น K_Cราย 10 วัน หรือ K_Cรายเดือน จะทำได้โดยวิธี Linear Interpolation ดังสมการ

$$K_{Ci} = K_{Cprev} + \left[\frac{i - \sum L_{prev}}{L_{stage}} \right] \left(K_{Cnext} - K_{Cprev} \right) \quad (3.47)$$

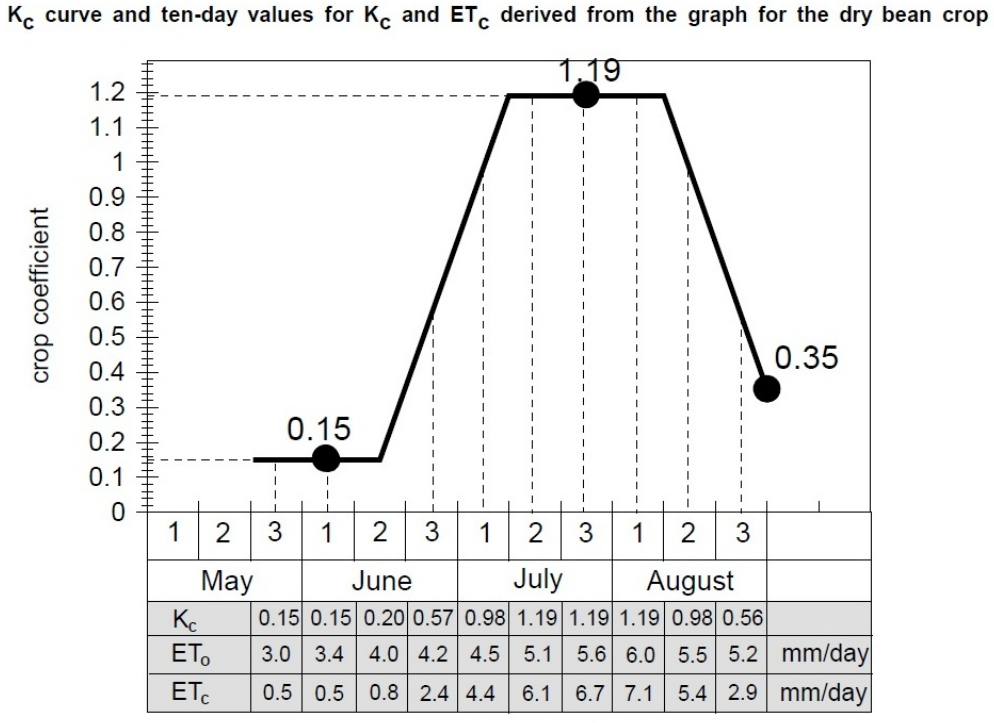
ผลการคำนวณหา K_Cถั่วฤดูแล้งราย 10 วัน โดยสมการ 3.47ได้ค่าดังรูปที่ 3.23

3.4.2 การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (Crop Evapotranspiration)

ภายใต้สภาพที่พืชไม่ขาดน้ำ (Standard Conditions) จะสมารถหาปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_C) ได้จากสมการ 3.39(ET_C=K_C.ET_O) ดังนั้น เมื่อนำ K_Cคูณด้วย ET_Oของช่วงเวลาเดียวกันจะได้ค่า ET_Cราย 10 วัน ของถั่วฤดูแล้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.23

ตารางที่ 3.9 การคำนวณหา K_C ราย 10 วัน

i(day)	Given Kc	Lstage	(Kc next- Kc prev)	slope=(Kc next - Kc prev)/L stage		
0	0.15					
25	0.15	25	0	0		
50	1.19	25	1.04	0.0416		
80	1.19	30	0	0		
100	0.35	20	-0.84	-0.042		
i(day)	Σ(L prev)	slope	Kc prev	Kci	Kci avg	l avg
0	0	0	0.15	0.15		
10				0.15	0.15	5
20				0.15	0.15	15
25	25	0.042	0.15	0.15	0.15	22.5
30				0.36	0.25	27.5
40				0.77	0.57	35
50	50	0	1.19	1.19	0.98	45
60				1.19	1.19	55
70				1.19	1.19	65
80	80	-0.042	1.19	1.19	1.19	75
90				0.77	0.98	85
100			0.35	0.35	0.56	95



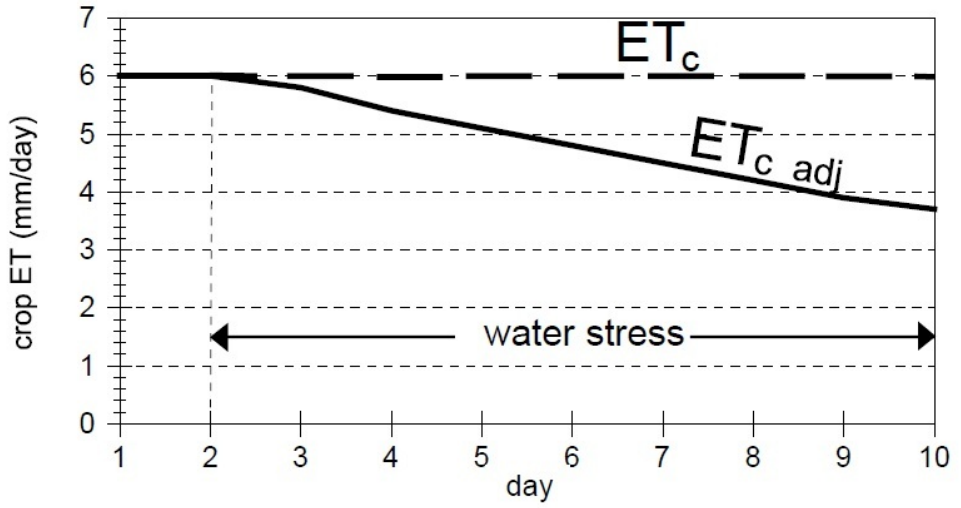
รูปที่ 3.23 กราฟ K_Cของถั่งฤดูแล้ง

3.4.3 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ขาดน้ำ(Actual Crop Evapotranspiration)

เมื่อความชื้นในดินลดลงต่ำกว่าจุดวิกฤติ หรือความชื้นในดินลดลงมากกว่า RAW ค่า KS จะต่ำกว่า 1.00 พืชจะเกิดความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ และมีผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชลดลง ตามค่าสัมประสิทธิ์ความเครียดเนื่องจากเกิดการขาดน้ำ (K_S)ที่ลดลง ดังสมการ 3.41 ($ET_a=ET_{C\ adjusted}=K_S.ET_C$) และ K_Sคำนวณได้โดยสมการ 3.42 ($K_S=[TAW-D_r]/[TAW-RAW]$)

ตัวอย่างการคำนวณหา ET_a เมื่อความชื้นในดินลดลงต่ำกว่าจุดวิกฤติแสดงอยู่ในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10ตัวอย่างการคำนวณหา ET_a



TAW = 1 000 (0.32-0.12) 0.8 = 160 mm
RAW = 0.40 (160) = 64 mm

(1) Day	(2) ET_o	(3) K_c	(4) ET_c	(5) $D_{r,i}$ start	(6) K_s	(7) $ET_{c\ adj}$	(8) $D_{r,i}$ end
	mm/day		mm/day	mm		mm/day	mm
start	-	-	-	-	-	-	55.0
1	5.0	1.2	6.0	55.0	1.00	6.0	61.0
2	5.0	1.2	6.0	61.0	1.00	6.0	67.0
3	5.0	1.2	6.0	67.0	0.97	5.8	72.8
4	5.0	1.2	6.0	72.8	0.91	5.4	78.3
5	5.0	1.2	6.0	78.3	0.85	5.1	83.4
6	5.0	1.2	6.0	83.4	0.80	4.8	88.2
7	5.0	1.2	6.0	88.2	0.75	4.5	92.6
8	5.0	1.2	6.0	92.6	0.70	4.2	96.9
9	5.0	1.2	6.0	96.9	0.66	3.9	100.8
10	5.0	1.2	6.0	100.8	0.62	3.7	104.5

3.5 การตอบสนองของผลิตพืชเนื่องจากการขาดน้ำ (Yield Response to Water)

เมื่อความชื้นในดินลดต่ำกว่าจุดวิกฤติ (Critical Point) พืชจะเกิดความเครียด ปริมาณการใช้น้ำจริง (ET_a) จะลดลงต่ำกว่าค่า ET_Cและมีผลทำให้ผลผลิตพืชลดลง ดังสมการที่ 3.48

$$\left(1-\frac{Y_a}{Y_m}\right)=K_Y\left(1-\frac{ET_a}{ET_C}\right) \qquad (3.48)$$

เมื่อ

Y_a = Actual Yield (ton/rai)

Y_m=Maximum Yield (ton/rai)

K_Y= Yield Response Factorดูตารางที่ 3.9

ET_a=Actual Crop Evapotranspiration (mm/day)

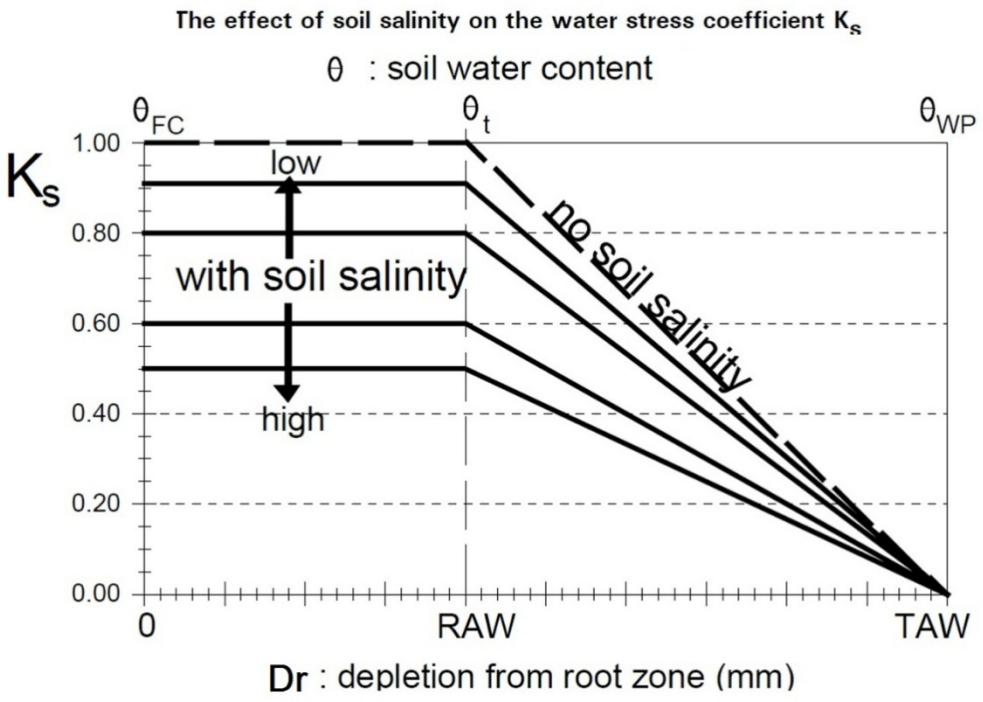
ET_C=Crop Evapotranspiration (mm/day)

ตารางที่ 3.11 Seasonal Yield Response Factor, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33

Crop	Ky	Crop	Ky
Alfalfa	1.1	Potato	1.1
Banana	1.2-1.35	Safflower	0.8
Beans	1.15	Sorghum	0.9
Cabbage	0.95	Soybean	0.85
Citrus	1.1-1.3	Spring Wheat	1.15
Cotton	0.85	Sugarbeet	1.0
Grape	0.85	Sugarcane	1.2
Groundnet	0.70	Sunflower	0.95
Maize	1.25	Tomato	1.05
Onion	1.1	Watermelon	1.1
Peas	1,15	Winter wheat	1.05
Pepper	1.1		

3.6 อิทธิพลของดินเค็มต่อการขาดน้ำ (Effect of Soil Salinity onWater Stress)

ดินเค็มจะมีผลโดยตรงต่อสัมประสิทธิ์ความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ ทำให้ค่า K_Sลดลง ถึงแม้ว่าความชื้นในดินยังสูงกว่าจุดวิกฤติ ดังรูปที่ 3.24 และที่ระดับความชื้นในดินเท่ากัน ดินเค็มจะมีค่า K_Sต่ำกว่ากรณีดินที่ไม่เค็ม ถ้าความเค็มเพิ่ม จะมีผลต่อค่า K_Sเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.24อิทธิพลของดินเค็มต่อการขาดน้ำ

3.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและผลผลิต (Salinity-Yield Relationship)

ผลผลิตและค่าความเค็มมีความสัมพันธ์ ดังสมการ

$$\frac{Y_a}{Y_m}=1-\left(EC_e-EC_{e\,threshold}\right)\frac{b}{100} \qquad \text{เมื่อ } EC_e>EC_{e\,threshold} \qquad (3.50)$$

เมื่อ

EC_e = Mean Electrical Conductivity of Saturation Extract for Root Zone (dS/m)

$EC_{e\,threshold}$ = Threshold EC_e when Crop Yield first Reduces below Ym (dS/m)

b=Reduction in Yield per Increase in EC_e (%/dS/m)

ค่า $EC_{e\,threshold}$และ b แสดงอยู่ในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12(1) ค่า ECe threshold และ ค่า b สำหรับสมการ 3.45

Salt tolerance of common agricultural crops expressed as electrical conductivity of the soil saturation extract at the threshold when crop yield first reduces below the full yield potential ($EC_{e,\ threshold}$) and as the slope (b) of reduction in crop yield with increasing salinity beyond $EC_{e,\ threshold}$.

Crop[1]	$EC_{e,\ threshold}$[2] (dS m^{-1})[3]	b[4] (% / dS m^{-1})	Rating[5]
a. Small vegetables			
Broccoli	2.8	9.2	MS
Brussels sprouts	1.8	9.7	MS
Cabbage	1.0–1.8	9.8-14.0	MS
Carrots	1.0	14.0	S
Cauliflower	1.8	6.2	MS
Celery	1.8-2.5	6.2-13.0	MS
Lettuce	1.3-1.7	12.0	MS
Onions	1.2	16.0	S
Spinach	2.0-3.2	7.7-16.0	MS
Radishes	1.2-2.0	7.6-13.0	MS
b. Vegetables - Solanum Family (*Solanaceae*)			
Egg Plant	-	-	MS
Peppers	1.5-1.7	12.0-14.0	MS
Tomato	0.9-2.5	9.0	MS
c. Vegetables Cucumber Family (*Cucurbitaceae*)			
Cucumber	1.1-2.5	7.0-13.0	MS
Melons	-	-	MS
Pumpkin, winter squash	1.2	13.0	MS
Squash, Zucchini	4.7	10.0	MT
Squash (scallop)	3.2	16.0	MS
Watermelon	-	-	MS
d. Roots and Tubers			
Beets, red	4.0	9.0	MT
Parsnip	-	-	S
Potato	1.7	12.0	MS
Sweet potato	1.5-2.5	10.0	MS
Turnip	0.9	9.0	MS
Sugar beet	7.0	5.9	T
e. Legumes (*Leguminosae*)			
Beans	1.0	19.0	S
Broadbean (faba bean)	1.5-1.6	9.6	MS
Cowpea	4.9	12.0	MT
Groundnut (Peanut)	3.2	29.0	MS
Peas	1.5	14.0	S
Soybeans	5.0	20.0	MT

[1] The data serve only as a guideline - Tolerance vary depending upon climate, soil conditions and cultural practices. Crops are often less tolerant during germination and seedling stage.

[2] $EC_{e,\ threshold}$ means average root zone salinity at which yield starts to decline

[3] Root zone salinity is measured by electrical conductivity of the saturation extract of the soil, reported in deciSiemens per metre (dS m^{-1}) at 25°C

[4] b is the percentage reduction in crop yield per 1 dS/m increase in EC_e beyond EC_e threshold

[5] Ratings are: T = Tolerant, MT = Moderately Tolerant, MS = Moderately Sensitive and S = Sensitive

ตารางที่ 3.12(2) ค่า ECe threshold และ ค่า b สำหรับสมการ 3.45

Crop	$EC_{e,\ threshold}$ (dS m^{-1})	b (% / dS m^{-1})	Rating
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)			
Artichokes	-	-	MT
Asparagus	4.1	2.0	T
Mint	-	-	-
Strawberries	1.0-1.5	11.0-33.0	S
g. Fibre crops			
Cotton	7.7	5.2	T
Flax	1.7	12.0	MS
h. Oil crops			
Casterbean	-	-	MS
Safflower	-	-	MT
Sunflower	-	-	MS
i. Cereals			
Barley	8.0	5.0	T
Oats	-	-	MT
Maize	1.7	12.0	MS
Maize, sweet (sweet corn)	1.7	12.0	MS
Millet	-	-	MS
Sorghum	6.8	16.0	MT
Rice[6]	3.0	12.0	S
Wheat (*Triticum aestivum*)	6.0	7.1	MT
Wheat, semidwarf (*T. aestivum*)	8.6	3.0	T
Wheat, durum (*Triticum turgidum*)	5.7-5.9	3.8-5.5	T
j. Forages			
Alfalfa	2.0	7.3	MS
Barley (forage)	6.0	7.1	MT
Bermuda	6.9	6.4	T
Clover, Berseem	1.5	5.7	MS
Clover (alsike, ladino, red, strawberry)	1.5	12.0	MS
Cowpea (forage)	2.5	11.0	MS
Fescue	3.9	5.3-6.2	MT
Foxtail	1.5	9.6	MS
Hardinggrass	4.6	7.6	MT
Lovegrass	2.0	8.4	MS
Maize (forage)	1.8	7.4	MS
Orchardgrass	1.5	6.2	MS
Rye-grass (perennial)	5.6	7.6	MT
Sesbania	2.3	7.0	MS
Sphaerophysa	2.2	7.0	MS
Sudangrass	2.8	4.3	MT
Trefoil, narrowleaf birdsfoot	5.0	10.0	MT
Trefoil, big	2.3	19.0	MS
Vetch, common	3.0	11.0	MS
Wheatgrass, tall	7.5	4.2	T
Wheatgrass, fairway crested	7.5	6.9	T
Wheatgrass, standard crested	3.5	4.0	MT
Wildrye, beardless	2.7	6.0	MT
k. Sugar cane	1.7	5.9	MS

[6] Because paddy rice is grown under flooded conditions, values refer to the electrical conductivity of the soil water while the plants are submerged

ตารางที่ 3.12(3) ค่า ECe threshold และ ค่า b สำหรับสมการ 3.45

Crop	$EC_{e,\ threshold}$ (dS m^{-1})	b (% / dS m^{-1})	Rating
I. Tropical Fruits and Trees			
Banana	-	-	MS
Coffee	-	-	-
Date Palms	4.0	3.6	T
Palm trees	-	-	T
Pineapple (multi-year crop)	-	-	MT
Tea	-	-	-
m. Grapes and berries			
Blackberry	1.5	22.0	S
Boysenberry	1.5	22.0	S
Grapes	1.5	9.6	MS
Hops	-	-	-
n. Fruit trees			
Almonds	1.5	19.0	S
Avocado	-	-	S
Citrus (Grapefruit)	1.8	16.0	S
Citrus (Orange)	1.7	16.0	S
Citrus (Lemon)	-	-	S
Citrus (Lime)	-	-	S
Citrus (Pummelo)	-	-	S
Citrus (Tangerine)	-	-	S
Conifer trees	-	-	MS/MT
Deciduous orchard			
- Apples	-	-	S
- Peaches	1.7	21.0	S
- Cherries	-	-	S
- Pear	-	-	S
- Apricot	1.6	24.0	S
- Plum, prune	1.5	18.0	S
- Pomegranate	-	-	MT
Olives	-	-	MT

Primary sources :
Ayers and Westcot, 1985. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 29. Water quality for agriculture ; Rhoades, Kandiah and Mashali, 1992. FAO Irrigation and Drainage Paper N° 48. The use of saline waters for crop productions.

3.6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและสัมประสิทธิ์ความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ(Salinity-Water Stress Relationship)

จากสมการ 3.48, 3.50 และสมการ 3.41($ET_a=K_S.ET_C$) จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค็มและสัมประสิทธิ์ความเครียด ได้ดังสมการ

กรณีที่ไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ (D_r< RAW)

$$K_S = 1 - \frac{b}{K_Y 100}\left(EC_e - EC_{e\,threshold}\right) \qquad (3.51)$$

กรณีที่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ (D_r> RAW)

$$K_S = 1 - \frac{b}{K_Y 100}\left(EC_e - EC_{e\,threshold}\right)\left(\frac{TAW - D_r}{TAW - RAW}\right) \qquad (3.52)$$

3.6.3 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ปลูกในดินเค็ม

ในการปลูกถั่วบนดินร่วนปนตะกอนทราย ทำการให้น้ำในช่วงกลางฤดู (Mid Season) โดยใช้น้ำชลประทานซึ่งมีความเค็ม (EC_w) เท่ากับ 1 dS/m กำหนดให้มีการชะล้างเกลือโดยใช้ Leaching Fraction (LF) เท่ากับ 15% จากตารางที่ 3.12(1) ค่า $EC_{e\ threshold}$ และ b สำหรับถั่ว เท่ากับ 1 dS/m และ19%/dS/m ตามลำดับ และจากตารางที่ 3.11ค่า K_Y รายฤดูกาลสำหรับถั่วเท่ากับ 1.15

จงคำนวณเปรียบเทียบค่าปริมาณการใช้น้ำของพืช เมื่อความชื้นในดินอยู่ที่ระดับต่างๆ ทั้งกรณีมีปัญหาดินเค็ม และไม่มีปัญหาดินเค็ม

กำหนดให้ TAW=110 มม. และ RAW=44 มม. (p=0.44)

วิธีทำ

$$LF=\frac{EC_w}{EC_d}=\frac{EC_w}{(5EC_e-EC_w)}=0.15$$

$0.15(5EC_e\text{-}EC_w) = EC_w$

$0.75EC_e - 0.15EC_w = EC_w$

$0.75EC_e = 1.15EC_w$

ECe = 1.15/0.75 = 1.53 dS/m ..... use 1.5 dS/m

$$K_S=\left(1-\frac{b}{K_Y x100}(EC_e-EC_{e\,threshold})\right)=1-\frac{19}{1.15x100}(1.5-1.0)=0.92$$

K_Sกรณีขาดน้ำแต่ไม่มีปัญหาดินเค็ม

$$K_S=\left(\frac{TAW-D_r}{TAW-RAW}\right)=\left(\frac{110-D_r}{110-44}\right)=\frac{110-D_r}{66}$$

K_Sกรณีขาดน้ำและมีปัญหาดินเค็ม

$$K_S=\left(1-\frac{b}{K_Y x100}(EC_e-EC_{e\,threshold})\right)\left(\frac{TAW-D_r}{TAW-RAW}\right)$$

$$K_S=0.92\left(\frac{110-D_r}{66}\right)$$

ผลการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชกรณีมีปัญหาดินเค็มและไม่มีปัญหาดินเค็ม แสดงอยู่ในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13ตัวอย่างการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชกรณีมีปัญหาดินเค็มและไม่มีปัญหาดินเค็ม

The effect on crop evapotranspiration for various soil water depletions in the root zone (D_r) are:

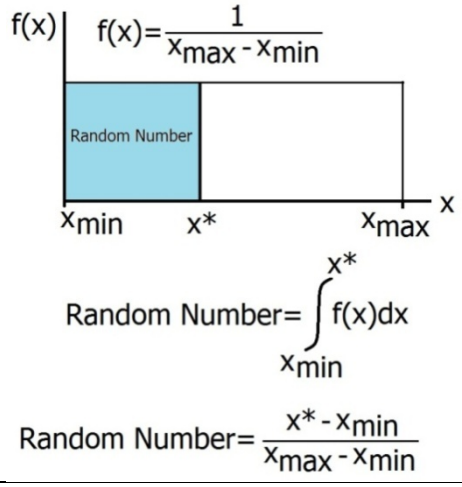
D_r (mm)	K_s no soil salinity Equation 3.38		K_s with soil salinity Equation 3.47 (EC_e = 1.5 dS m^{-1})		Additional reduction in potential ET_c due to salinity
0	1.00	no reduction in ET_c	0.92	8% reduction in ET_c	8%
35	1.00	no reduction in ET_c	0.92	8% reduction in ET_c	8%
40	1.00	no reduction in ET_c	0.92	8% reduction	8%
44	1.00	no reduction in ET_c	0.92	8% reduction	8%
50	0.91	9% reduction	0.83	17% reduction	8%
60	0.76	24% reduction	0.69	31% reduction	7%
70	0.61	39% reduction	0.56	44% reduction	5%
80	0.45	55% reduction	0.42	58% reduction	3%
90	0.30	70% reduction	0.28	72% reduction	2%
100	0.15	85% reduction	0.14	86% reduction	1%
110	0.00	ET_c = 0	0.00	ET_c = 0	--

3.7 เอกสารอ้างอิง

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and M.Smith(2000), Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirem,ents, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, 300p.

3.8 แบบฝึกหัด

(1) จงคำนวณหา Reference Crop Evapotranspiration (ET_O) โดยวิธี Penman-Monteith จากข้อมูลสมมติ โดยให้นิสิตแต่ละคนทำการสุ่มข้อมูลภูมิอากาศสำหรับการคำนวณโดยใช้ตัวเลขสุ่ม (Random Number) ตามวิธีดังรูปที่ 1 ช่วงพิสัยข้อมูลภูมิอากาศสำหรับการสุ่มค่าเพื่อการคำนวณ ET_O แสดงอยู่ในตารางที่ 1



Random Number มีค่า 0 - 1

X_{min} = ค่าต่ำสุดของ FC หรือ PWP

X_{max}= ค่าต่ำสุดของ FC หรือ PWP

X* = ค่า FC หรือ PWP ที่สุ่มได้

รูปที่ 1

ตารางที่ 1 ช่วงพิสัยข้อมูลภูมิอากาศสำหรับการสุ่มค่าเพื่อการคำนวณ ET_O

Random Number =				
Data (X)	***หน่วย***	***X_{min}***	***X_{max}***	***Sampling value(X*)***
Month (M)		1	12	
Latitude	˚N	13˚ 0'	15˚ 0'	
Altitude (Land elevation)	m.(MSL)	1	50	
Average daily maximum temperature(T_{max}) for the month	˚C	28	35	
Average daily minimum temperature(T_{min}) for the month	˚C	20	25	
Average daily temperature (T_{mean}) for the previous month	˚C	25	30	
Average daily relative humidity (RH_{mean}) for the month	%	60	85	
Average daily wind speed (u_2)	m/s	1.0	2.5	
Average sunshine hours (n) for the month	hours	7.5	10.5	

(2) จงคำนวณหาความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirements) รายเดือน จากข้อมูลภูมิอากาศและพืชที่กำหนดให้ในตารางที่ 2-6 แต่ละกลุ่มเลือกคำนวณหาความต้องการน้ำของพืชจากตารางที่กำหนดให้ 1 ตาราง ข้อมูลเกี่ยวกับ K_c ให้ดูจากตารางค่า K_c ของ FAO

ตารางที่ 2 สำหรับกลุ่ม 1 ซึ่งกำหนดให้ปลูกอ้อยปลูกใหม่ (Sugarcane-Virgin) วันที่ 1 มีนาคม

Station Name :	KamphengSean	Province :		Nakhon Pathom
Latitude(N) :	14.00	Longitude(E) :		99.9
Altitude(m) :	7.46	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	24.6	69	1.2	8.1
February	27.0	67	1.7	8.3
March	29.1	66	2.1	8.4
April	30.6	67	2.0	8.4
May	29.9	71	1.6	7.0
June	29.0	73	1.6	5.1
July	28.7	73	1.8	5.3
August	28.5	75	1.9	4.4
September	28.1	77	1.1	5.2
October	27.1	78	1.2	6.1
November	25.3	76	1.8	7.4
December	23.3	71	1.8	8.1

ตารางที่ 3 สำหรับกลุ่ม 2 ซึ่งกำหนดให้ปลูกอ้อยตอ (Sugarcane-Ratoon) วันที่ 1 กุมภาพันธ์				
Station Name :	Lampang	Province :		Lampang
Latitude(N) :	18.30	Longitude(E) :		99.30
Altitude(m) :	314.95	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	22.6	66	1.3	8.3
February	25.3	60	1.6	8.5
March	28.6	56	1.5	8.3
April	30.5	58	1.4	8.3
May	29.3	68	1.2	7.2
June	28.0	74	1.0	4.9
July	27.7	75	0.9	4.2
August	27.5	76	0.8	4.3
September	27.2	76	0.8	5.6
October	26.3	75	0.9	6.2
November	24.3	71	1.0	7.0
December	21.5	68	1.1	8.0

ตารางที่ 4 สำหรับกลุ่ม 3 ซึ่งกำหนดให้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Maize) วันที่ 1 เมษายน

Station Name :	U Thong	Province :		Suphanburi
Latitude(N) :	14.30	Longitude(E) :		99.80
Altitude(m) :	5.88	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	24.9	67	1.6	7.9
February	27.3	64	1.9	8.0
March	29.5	62	2.7	8.1
April	30.9	64	2.4	8.2
May	30.3	69	2.4	6.9
June	29.5	73	2.9	4.5
July	29.2	72	3.0	4.5
August	28.9	73	2.9	3.8
September	28.3	77	1.6	5.1
October	27.3	79	1.6	6.3
November	25.7	74	2.3	7.5
December	24.1	69	2.3	7.8

ตารางที่ 5 สำหรับกลุ่ม 4 ซึ่งกำหนดให้ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus) วันที่ 1 กุมภาพันธ์				
Station Name :	Tak Fa	Province :		Nakorn Sawan
Latitude(N) :	15.30	Longitude(E) :		100.50
Altitude(m) :	86.67	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	25.7	60	0.7	8.1
February	28.0	61	1.0	8.2
March	30.0	63	1.2	8.0
April	31.1	64	1.2	8.2
May	30.1	69	1.0	7.0
June	29.1	72	0.9	5.2
July	28.5	73	0.8	5.1
August	28.2	74	0.7	4.5
September	27.8	77	0.4	4.9
October	27.4	74	0.8	6.2
November	26.2	66	1.0	7.5
December	24.9	61	1.1	8.1

ตารางที่ 6 สำหรับกลุ่ม 5 ซึ่งกำหนดให้กล่ำปลี (Cabbage) วันที่ 1 กันยายน				
Station Name :	NongPhlub	Province :		Prachuap Khiri Khun
Latitude(N) :	12.60	Longitude(E) :		99.70
Altitude(m) :	106.2	Elev. of Wind Vane(m) :		10.15
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	24.5	70	1.6	7.9
February	26.2	69	1.8	8.2
March	27.9	68	2.0	8.3
April	29.2	69	1.8	7.6
May	28.7	74	1.7	5.5
June	27.9	75	1.7	3.6
July	27.8	74	1.6	4.1
August	27.6	76	1.5	3.2
September	27.3	76	1.2	4.1
October	26.5	79	1.0	4.7
November	25.1	77	1.4	6.0
December	23.7	71	1.6	7.7

(3) กำหนดให้โครงการชลประทานแห่งหนึ่ง มีพื้นที่ 100,000 ไร่ มีการปลูกพืช 5 ชนิด คืออ้อยปลูกใหม่ อ้อยตอ ข้าวโพดหน่อไม้ฝรั่งและกล่ำปลี โดยมีข้อมูลการเพาะปลูกและการชลประทานดังตารางที่ 7 จง คำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานรายเดือนของโครงการชลประทานดังกล่าว ในหน่วย มม./เดือน และ ลูกบาศก์เมตร/เดือน

ตารางที่ 7 ข้อมูลการเพาะปลูกและการชลประทาน		
พืช	พื้นที่ (%)	ประสิทธิภาพการชลประทาน (%)
1.อ้อยปลูกใหม่	30	75
2.อ้อยตอ	30	75
3.ข้าวโพด	20	70
4.หน่อไม้ฝรั่ง	10	85
5.กล่ำปลี	10	90

หมายเหตุ: 1. ให้แต่ละกลุ่มใช้ข้อมูลการคำนวณความต้องการน้ำของพืชของกลุ่มอื่นประกอบ

2. สมมติว่าไม่มีฝนตก

3.9 ภาคผนวก

ภาคผนวก Annex
Meteorological tables

A3.1 Atmospheric pressure (P) for different elevations above sea level (z)
A3.2 Psychrometric constant (γ) for different elevations above sea level (z)
A3.3 Saturation vapour pressure ($e^o(T)$) for different temperatures (T)
A3.4 Slope of vapour pressure curve (Δ) for different temperatures (T)
A3.5 Number of the day in the year (J)
A3.6 Daily extraterrestrial radiation (R_a) for different latitudes
A3.7 Mean daylight hours (N) for different latitudes
A3.8 σT_K^4 (Stefan-Boltzmann law) at different temperatures (T)
A3.9 Conversion factors to convert wind speed measured at given height to wind speed measured at standard height of 2 m above ground surface

TABLE A3.1
Atmospheric pressure (P) for different altitudes (z)

$$P = 101.3\left(\frac{293 - 0.0065\,z}{293}\right)^{5.26}$$

Z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)	z (m)	P (kPa)
0	101.3	1000	90.0	2000	79.8	3000	70.5
50	100.7	1050	89.5	2050	79.3	3050	70.1
100	100.1	1100	89.0	2100	78.8	3100	69.6
150	99.5	1150	88.4	2150	78.3	3150	69.2
200	99.0	1200	87.9	2200	77.9	3200	68.8
250	98.4	1250	87.4	2250	77.4	3250	68.3
300	97.8	1300	86.8	2300	76.9	3300	67.9
350	97.2	1350	86.3	2350	76.4	3350	67.5
400	96.7	1400	85.8	2400	76.0	3400	67.1
450	96.1	1450	85.3	2450	75.5	3450	66.6
500	95.5	1500	84.8	2500	75.0	3500	66.2
550	95.0	1550	84.3	2550	74.6	3550	65.8
600	94.4	1600	83.8	2600	74.1	3600	65.4
650	93.8	1650	83.3	2650	73.7	3650	65.0
700	93.3	1700	82.8	2700	73.2	3700	64.6
750	92.7	1750	82.3	2750	72.7	3750	64.1
800	92.2	1800	81.8	2800	72.3	3800	63.7
850	91.6	1850	81.3	2850	71.8	3850	63.3
900	91.1	1900	80.8	2900	71.4	3900	62.9
950	90.6	1950	80.3	2950	71.0	3950	62.5
1000	90.0	2000	79.8	3000	70.5	4000	62.1

Sources: FAO Irrigation and Drainage Papers No.56

TABLE A3.2
Psychrometric constant (γ) for different altitudes (z)

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0.665 \times 10^{-3} P$$

Z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C	z (m)	γ kPa/°C
0	0.067	1000	0.060	2000	0.053	3000	0.047
100	0.067	1100	0.059	2100	0.052	3100	0.046
200	0.066	1200	0.058	2200	0.052	3200	0.046
300	0.065	1300	0.058	2300	0.051	3300	0.045
400	0.064	1400	0.057	2400	0.051	3400	0.045
500	0.064	1500	0.056	2500	0.050	3500	0.044
600	0.063	1600	0.056	2600	0.049	3600	0.043
700	0.062	1700	0.055	2700	0.049	3700	0.043
800	0.061	1800	0.054	2800	0.048	3800	0.042
900	0.061	1900	0.054	2900	0.047	3900	0.042
1000	0.060	2000	0.053	3000	0.047	4000	0.041

Based on λ= 2.45 MJ kg^{-1} at 20°C.

TABLE A3.3
Saturation vapour pressure ($e^o(T)$) for different temperatures (T)

$$e^{o}(T) = 0.6108 \exp\left[\frac{17.27\,T}{T + 237.3}\right]$$

T °C	e_s kPa	T °C	$e^o(T)$ kPa	T °C	$e^o(T)$ kPa	T °C	e_s kPa
1.0	0.657	13.0	1.498	25.0	3.168	37.0	6.275
1.5	0.681	13.5	1.547	25.5	3.263	37.5	6.448
2.0	0.706	14.0	1.599	26.0	3.361	38.0	6.625
2.5	0.731	14.5	1.651	26.5	3.462	38.5	6.806
3.0	0.758	15.0	1.705	27.0	3.565	39.0	6.991
3.5	0.785	15.5	1.761	27.5	3.671	39.5	7.181
4.0	0.813	16.0	1.818	28.0	3.780	40.0	7.376
4.5	0.842	16.5	1.877	28.5	3.891	40.5	7.574
5.0	0.872	17.0	1.938	29.0	4.006	41.0	7.778
5.5	0.903	17.5	2.000	29.5	4.123	41.5	7.986
6.0	0.935	18.0	2.064	30.0	4.243	42.0	8.199
6.5	0.968	18.5	2.130	30.5	4.366	42.5	8.417
7.0	1.002	19.0	2.197	31.0	4.493	43.0	8.640
7.5	1.037	19.5	2.267	31.5	4.622	43.5	8.867
8.0	1.073	20.0	2.338	32.0	4.755	44.0	9.101
8.5	1.110	20.5	2.412	32.5	4.891	44.5	9.339
9.0	1.148	21.0	2.487	33.0	5.030	45.0	9.582
9.5	1.187	21.5	2.564	33.5	5.173	45.5	9.832
10.0	1.228	22.0	2.644	34.0	5.319	46.0	10.086
10.5	1.270	22.5	2.726	34.5	5.469	46.5	10.347
11.0	1.313	23.0	2.809	35.0	5.623	47.0	10.613
11.5	1.357	23.5	2.896	35.5	5.780	47.5	10.885
12.0	1.403	24.0	2.984	36.0	5.941	48.0	11.163
12.5	1.449	24.5	3.075	36.5	6.106	48.5	11.447

TABLE A3.4
Slope of vapour pressure curve (Δ) for different temperatures (T)

$$\Delta = \frac{4098\left[0.6108\exp\left(\frac{17.27\,T}{T+237.3}\right)\right]}{(T+237.3)^2}$$

T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C	T °C	Δ kPa/°C
1.0	0.047	13.0	0.098	25.0	0.189	37.0	0.342
1.5	0.049	13.5	0.101	25.5	0.194	37.5	0.350
2.0	0.050	14.0	0.104	26.0	0.199	38.0	0.358
2.5	0.052	14.5	0.107	26.5	0.204	38.5	0.367
3.0	0.054	15.0	0.110	27.0	0.209	39.0	0.375
3.5	0.055	15.5	0.113	27.5	0.215	39.5	0.384
4.0	0.057	16.0	0.116	28.0	0.220	40.0	0.393
4.5	0.059	16.5	0.119	28.5	0.226	40.5	0.402
5.0	0.061	17.0	0.123	29.0	0.231	41.0	0.412
5.5	0.063	17.5	0.126	29.5	0.237	41.5	0.421
6.0	0.065	18.0	0.130	30.0	0.243	42.0	0.431
6.5	0.067	18.5	0.133	30.5	0.249	42.5	0.441
7.0	0.069	19.0	0.137	31.0	0.256	43.0	0.451
7.5	0.071	19.5	0.141	31.5	0.262	43.5	0.461
8.0	0.073	20.0	0.145	32.0	0.269	44.0	0.471
8.5	0.075	20.5	0.149	32.5	0.275	44.5	0.482
9.0	0.078	21.0	0.153	33.0	0.282	45.0	0.493
9.5	0.080	21.5	0.157	33.5	0.289	45.5	0.504
10.0	0.082	22.0	0.161	34.0	0.296	46.0	0.515
10.5	0.085	22.5	0.165	34.5	0.303	46.5	0.526
11.0	0.087	23.0	0.170	35.0	0.311	47.0	0.538
11.5	0.090	23.5	0.174	35.5	0.318	47.5	0.550
12.0	0.092	24.0	0.179	36.0	0.326	48.0	0.562
12.5	0.095	24.5	0.184	36.5	0.334	48.5	0.574

TABLE A3.5
Number of the day in the year (J)

Day	January	February	March*	April*	May*	June*
1	1	32	60	91	121	152
2	2	33	61	92	122	153
3	3	34	62	93	123	154
4	4	35	63	94	124	155
5	5	36	64	95	125	156
6	6	37	65	96	126	157
7	7	38	66	97	127	158
8	8	39	67	98	128	159
9	9	40	68	99	129	160
10	10	41	69	100	130	161
11	11	42	70	101	131	162
12	12	43	71	102	132	163
13	13	44	72	103	133	164
14	14	45	73	104	134	165
15	15	46	74	105	135	166
16	16	47	75	106	136	167
17	17	48	76	107	137	168
18	18	49	77	108	138	169
19	19	50	78	109	139	170
20	20	51	79	110	140	171
21	21	52	80	111	141	172
22	22	53	81	112	142	173
23	23	54	82	113	143	174
24	24	55	83	114	144	175
25	25	56	84	115	145	176
26	26	57	85	116	146	177
27	27	58	86	117	147	178
28	28	59	87	118	148	179
29	29	(60)	88	119	149	180
30	30	-	89	120	150	181
31	31	-	90	-	151	-

TABAE 2.□ add 1 if leap year

J can be determined for each day (D) of month (M) by
J = **INTEGER**(275 M/9 – 30 + D) – 2
IF (M < 3) **THEN** J = J + 2
also, **IF** (leap year and (M > 2)) **THEN** J = J + 1
For ten-day calculations, compute J for day D = 5, 15 and 25
For monthly calculations, J at the middle of the month is approximately given by
J = **INTEGER**(30.4 M – 15)

TABLE A3.5 (continued)
Number of the day in the year (J)

Day	July*	August*	September*	October*	November*	December*
1	182	213	244	274	305	335
2	183	214	245	275	306	336
3	184	215	246	276	307	337
4	185	216	247	277	308	338
5	186	217	248	278	309	339
6	187	218	249	279	310	340
7	188	219	250	280	311	341
8	189	220	251	281	312	342
9	190	221	252	282	313	343
10	191	222	253	283	314	344
11	192	223	254	284	315	345
12	193	224	255	285	316	346
13	194	225	256	286	317	347
14	195	226	257	287	318	348
15	196	227	258	288	319	349
16	197	228	259	289	320	350
17	198	229	260	290	321	351
18	199	230	261	291	322	352
19	200	231	262	292	323	353
20	201	232	263	293	324	354
21	202	233	264	294	325	355
22	203	234	265	295	326	356
23	204	235	266	296	327	357
24	205	236	267	297	328	358
25	206	237	268	298	329	359
26	207	238	269	299	330	360
27	208	239	270	300	331	361
28	209	240	271	301	332	362
29	210	241	272	302	333	363
30	211	242	273	303	334	364
31	212	243	-	304	-	365

* add 1 if leap year

TABLE A3.6 **Daily extraterrestrial radiation (R_a) for different latitudes for the 15th day of the month** [1]

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\sin(\omega_s)]$$

(values in MJ m_{-2} day^{-1})[2]

Northern Hemisphere												Lat.	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	deg.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.0	2.6	10.4	23.0	35.2	42.5	39.4	28.0	14.9	4.9	0.1	0.0	70	41.4	28.6	15.8	4.9	0.2	0.0	0.0	2.2	10.7	23.5	37.3	45.3
0.1	3.7	11.7	23.9	35.3	42.0	38.9	28.6	16.1	6.0	0.7	0.0	68	41.0	29.3	16.9	6.0	0.8	0.0	0.0	3.2	11.9	24.4	37.4	44.7
0.6	4.8	12.9	24.8	35.6	41.4	38.8	29.3	17.3	7.2	1.5	0.1	66	40.9	30.0	18.1	7.2	1.5	0.1	0.5	4.2	13.1	25.4	37.6	44.1
1.4	5.9	14.1	25.8	35.9	41.2	38.8	30.0	18.4	8.5	2.4	0.6	64	41.0	30.8	19.3	8.4	2.4	0.6	1.2	5.3	14.4	26.3	38.0	43.9
2.3	7.1	15.4	26.6	36.3	41.2	39.0	30.6	19.5	9.7	3.4	1.3	62	41.2	31.5	20.4	9.6	3.4	1.2	2.0	6.4	15.5	27.2	38.3	43.9
3.3	8.3	16.6	27.5	36.6	41.2	39.2	31.3	20.6	10.9	4.4	2.2	60	41.5	32.3	21.5	10.8	4.4	2.0	2.9	7.6	16.7	28.1	38.7	43.9
4.3	9.6	17.7	28.4	37.0	41.3	39.4	32.0	21.7	12.1	5.5	3.1	58	41.7	33.0	22.6	12.0	5.5	2.9	3.9	8.7	17.9	28.9	39.1	44.0
5.4	10.8	18.9	29.2	37.4	41.4	39.6	32.6	22.7	13.3	6.7	4.2	56	42.0	33.7	23.6	13.2	6.6	3.9	4.9	9.9	19.0	29.8	39.5	44.1
6.5	12.0	20.0	30.0	37.8	41.5	39.8	33.2	23.7	14.5	7.8	5.2	54	42.2	34.3	24.6	14.4	7.7	4.9	6.0	11.1	20.1	30.6	39.9	44.3
7.7	13.2	21.1	30.8	38.2	41.6	40.1	33.8	24.7	15.7	9.0	6.4	52	42.5	35.0	25.6	15.6	8.8	6.0	7.1	12.2	21.2	31.4	40.2	44.4
8.9	14.4	22.2	31.5	38.5	41.7	40.2	34.4	25.7	16.9	10.2	7.5	50	42.7	35.6	26.6	16.7	10.0	7.1	8.2	13.4	22.2	32.1	40.6	44.5
10.1	15.7	23.3	32.2	38.8	41.8	40.4	34.9	26.6	18.1	11.4	8.7	48	42.9	36.2	27.5	17.9	11.1	8.2	9.3	14.6	23.3	32.8	40.9	44.5
11.3	16.9	24.3	32.9	39.1	41.9	40.6	35.4	27.5	19.2	12.6	9.9	46	43.0	36.7	28.4	19.0	12.3	9.3	10.4	15.7	24.3	33.5	41.1	44.6
12.5	18.0	25.3	33.5	39.3	41.9	40.7	35.9	28.4	20.3	13.9	11.1	44	43.2	37.2	29.3	20.1	13.5	10.5	11.6	16.8	25.2	34.1	41.4	44.6
13.8	19.2	26.3	34.1	39.5	41.9	40.8	36.3	29.2	21.4	15.1	12.4	42	43.3	37.7	30.1	21.2	14.6	11.6	12.8	18.0	26.2	34.7	41.6	44.6
15.0	20.4	27.2	34.7	39.7	41.9	40.8	36.7	30.0	22.5	16.3	13.6	40	43.4	38.1	30.9	22.3	15.8	12.8	13.9	19.1	27.1	35.3	41.8	44.6
16.2	21.5	28.1	35.2	39.9	41.8	40.8	37.0	30.7	23.6	17.5	14.8	38	43.4	38.5	31.7	23.3	16.9	13.9	15.1	20.2	28.0	35.8	41.9	44.5
17.5	22.6	29.0	35.7	40.0	41.7	40.8	37.4	31.5	24.6	18.7	16.1	36	43.4	38.9	32.4	24.3	18.1	15.1	16.2	21.2	28.8	36.3	42.0	44.4
18.7	23.7	29.9	36.1	40.0	41.6	40.8	37.6	32.1	25.6	19.9	17.3	34	43.4	39.2	33.0	25.3	19.2	16.2	17.4	22.3	29.6	36.7	42.0	44.3
19.9	24.8	30.7	36.5	40.0	41.4	40.7	37.9	32.8	26.6	21.1	18.5	32	43.3	39.4	33.7	26.3	20.3	17.4	18.5	23.3	30.4	37.1	42.0	44.1
21.1	25.8	31.4	36.8	40.0	41.2	40.6	38.0	33.4	27.6	22.2	19.8	30	43.1	39.6	34.3	27.2	21.4	18.5	19.6	24.3	31.1	37.5	42.0	43.9
22.3	26.8	32.2	37.1	40.0	40.9	40.4	38.2	33.9	28.5	23.3	21.0	28	43.0	39.8	34.8	28.1	22.5	19.7	20.7	25.3	31.8	37.8	41.9	43.6
23.4	27.8	32.8	37.4	39.9	40.6	40.2	38.3	34.5	29.3	24.5	22.2	26	42.8	39.9	35.3	29.0	23.5	20.8	21.8	26.3	32.5	38.0	41.8	43.3
24.6	28.8	33.5	37.6	39.7	40.3	39.9	38.3	34.9	30.2	25.5	23.3	24	42.5	40.0	35.8	29.8	24.6	21.9	22.9	27.2	33.1	38.3	41.7	43.0
25.7	29.7	34.1	37.8	39.5	40.0	39.6	38.4	35.4	31.0	26.6	24.5	22	42.2	40.1	36.2	30.6	25.6	23.0	24.0	28.1	33.7	38.4	41.4	42.6
26.8	30.6	34.7	37.9	39.3	39.5	39.3	38.3	35.8	31.8	27.7	25.6	20	41.9	40.0	36.6	31.3	26.6	24.1	25.0	28.9	34.2	38.6	41.2	42.1
27.9	31.5	35.2	38.0	39.0	39.1	38.9	38.2	36.1	32.5	28.7	26.8	18	41.5	40.0	37.0	32.1	27.5	25.1	26.0	29.8	34.7	38.7	40.9	41.7
28.9	32.3	35.7	38.1	38.7	38.6	38.5	38.1	36.4	33.2	29.6	27.9	16	41.1	39.9	37.2	32.8	28.5	26.2	27.0	30.6	35.2	38.7	40.6	41.2
29.9	33.1	36.1	38.1	38.4	38.1	38.1	38.0	36.7	33.9	30.6	28.9	14	40.6	39.7	37.5	33.4	29.4	27.2	27.9	31.3	35.6	38.7	40.2	40.6
30.9	33.8	36.5	38.0	38.0	37.6	37.6	37.8	36.9	34.5	31.5	30.0	12	40.1	39.6	37.7	34.0	30.2	28.1	28.9	32.1	36.0	38.6	39.8	40.0
31.9	34.5	36.9	37.9	37.6	37.0	37.1	37.5	37.1	35.1	32.4	31.0	10	39.5	39.3	37.8	34.6	31.1	29.1	29.8	32.8	36.3	38.5	39.3	39.4
32.8	35.2	37.2	37.8	37.1	36.3	36.5	37.2	37.2	35.6	33.3	32.0	8	38.9	39.0	37.9	35.1	31.9	30.0	30.7	33.4	36.6	38.4	38.8	38.7
33.7	35.8	37.4	37.6	36.6	35.7	35.9	36.9	37.3	36.1	34.1	32.9	6	38.3	38.7	38.0	35.6	32.7	30.9	31.5	34.0	36.8	38.2	38.2	38.0
34.6	36.4	37.6	37.4	36.0	35.0	35.3	36.5	37.3	36.6	34.9	33.9	4	37.6	38.3	38.0	36.0	33.4	31.8	32.3	34.6	37.0	38.0	37.6	37.2
35.4	37.0	37.8	37.1	35.4	34.2	34.6	36.1	37.3	37.0	35.6	34.8	2	36.9	37.9	38.0	36.4	34.1	32.6	33.1	35.2	37.1	37.7	37.0	36.4
36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6	0	36.2	37.5	37.9	36.8	34.8	33.4	33.9	35.7	37.2	37.4	36.3	35.6

[1] Values for R_a on the 15th day of the month provide a good estimate (error < 1 %) of R_a averaged over all days within the month. Only for high latitudes greater than 55° (N or S) during winter months deviations may be more than 1%.

[2] Values can be converted to equivalent values in mm/day by dividing by Lambda = 2.45.

TABLE A3.7 Mean daylight hours (N) for different latitudes for the 15th of the month[1]

$$N = \frac{24}{\pi}\omega_s$$

Northern Hemisphere												Lat.	Southern Hemisphere											
Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	deg.	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0.0	6.6	11.0	15.6	21.3	24.0	24.0	17.6	12.8	8.3	2.3	0.0	70	24.0	17.4	13.0	8.4	2.7	0.0	0.0	6.4	11.2	15.7	21.7	24.0
2.1	7.3	11.1	15.3	19.7	24.0	22.3	17.0	12.7	8.7	4.1	0.0	68	21.9	16.7	12.9	8.7	4.3	0.0	1.7	7.0	11.3	15.3	19.9	24.0
3.9	7.8	11.2	14.9	18.7	22.0	20.3	16.4	12.7	9.0	5.2	1.9	66	20.1	16.2	12.8	9.1	5.3	2.0	3.7	7.6	11.3	15.0	18.8	22.1
5.0	8.2	11.2	14.7	17.9	20.3	19.2	16.0	12.6	9.3	6.0	3.7	64	19.0	15.8	12.8	9.3	6.1	3.7	4.8	8.0	11.4	14.7	18.0	20.3
5.7	8.5	11.3	14.4	17.3	19.2	18.4	15.7	12.6	9.5	6.6	4.8	62	18.3	15.5	12.7	9.6	6.7	4.8	5.6	8.3	11.4	14.5	17.4	19.2
6.4	8.8	11.4	14.2	16.8	18.4	17.7	15.3	12.5	9.7	7.1	5.6	60	17.6	15.2	12.6	9.8	7.2	5.6	6.3	8.7	11.5	14.3	16.9	18.4
6.9	9.1	11.4	14.1	16.4	17.8	17.2	15.1	12.5	9.9	7.5	6.2	58	17.1	14.9	12.6	9.9	7.6	6.2	6.8	8.9	11.5	14.1	16.5	17.8
7.3	9.3	11.5	13.9	16.0	17.3	16.8	14.8	12.4	10.1	7.9	6.7	56	16.7	14.7	12.5	10.1	8.0	6.7	7.2	9.2	11.6	13.9	16.1	17.3
7.7	9.5	11.5	13.8	15.7	16.8	16.4	14.6	12.4	10.2	8.2	7.1	54	16.3	14.5	12.5	10.2	8.3	7.2	7.6	9.4	11.6	13.8	15.8	16.9
8.0	9.7	11.5	13.6	15.4	16.5	16.0	14.4	12.4	10.3	8.5	7.5	52	16.0	14.3	12.5	10.4	8.6	7.5	8.0	9.6	11.6	13.7	15.5	16.5
8.3	9.8	11.6	13.5	15.2	16.1	15.7	14.3	12.3	10.4	8.7	7.9	50	15.7	14.2	12.4	10.5	8.8	7.9	8.3	9.7	11.7	13.6	15.3	16.1
8.6	10.0	11.6	13.4	15.0	15.8	15.5	14.1	12.3	10.6	9.0	8.2	48	15.4	14.0	12.4	10.6	9.0	8.2	8.5	9.9	11.7	13.4	15.0	15.8
8.8	10.1	11.6	13.3	14.8	15.5	15.2	14.0	12.3	10.7	9.2	8.5	46	15.2	13.9	12.4	10.7	9.2	8.5	8.8	10.0	11.7	13.3	14.8	15.5
9.1	10.3	11.6	13.2	14.6	15.3	15.0	13.8	12.3	10.7	9.4	8.7	44	14.9	13.7	12.4	10.8	9.4	8.7	9.0	10.2	11.7	13.3	14.6	15.3
9.3	10.4	11.7	13.2	14.4	15.0	14.8	13.7	12.3	10.8	9.6	9.0	42	14.7	13.6	12.3	10.8	9.6	9.0	9.2	10.3	11.7	13.2	14.4	15.0
9.5	10.5	11.7	13.1	14.2	14.8	14.6	13.6	12.2	10.9	9.7	9.2	40	14.5	13.5	12.3	10.9	9.8	9.2	9.4	10.4	11.8	13.1	14.3	14.8
9.6	10.6	11.7	13.0	14.1	14.6	14.4	13.5	12.2	11.0	9.9	9.4	38	14.4	13.4	12.3	11.0	9.9	9.4	9.6	10.5	11.8	13.0	14.1	14.6
9.8	10.7	11.7	12.9	13.9	14.4	14.2	13.4	12.2	11.1	10.1	9.6	36	14.2	13.3	12.3	11.1	10.1	9.6	9.8	10.6	11.8	12.9	13.9	14.4
10.0	10.8	11.8	12.9	13.8	14.3	14.1	13.3	12.2	11.1	10.2	9.7	34	14.0	13.2	12.2	11.1	10.2	9.7	9.9	10.7	11.8	12.9	13.8	14.3
10.1	10.9	11.8	12.8	13.6	14.1	13.9	13.2	12.2	11.2	10.3	9.9	32	13.9	13.1	12.2	11.2	10.4	9.9	10.1	10.8	11.8	12.8	13.7	14.1
10.3	11.0	11.8	12.7	13.5	13.9	13.8	13.1	12.2	11.3	10.5	10.1	30	13.7	13.0	12.2	11.3	10.5	10.1	10.2	10.9	11.8	12.7	13.5	13.9
10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	28	13.6	13.0	12.2	11.3	10.6	10.2	10.4	11.0	11.8	12.7	13.4	13.8
10.5	11.1	11.8	12.6	13.3	13.6	13.5	12.9	12.1	11.4	10.7	10.4	26	13.5	12.9	12.2	11.4	10.7	10.4	10.5	11.1	11.9	12.6	13.3	13.6
10.7	11.2	11.8	12.6	13.2	13.5	13.3	12.8	12.1	11.4	10.8	10.5	24	13.3	12.8	12.2	11.4	10.8	10.5	10.7	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5
10.8	11.3	11.9	12.5	13.1	13.3	13.2	12.8	12.1	11.5	10.9	10.7	22	13.2	12.7	12.1	11.5	10.9	10.7	10.8	11.2	11.9	12.5	13.1	13.3
10.9	11.3	11.9	12.5	12.9	13.2	13.1	12.7	12.1	11.5	11.0	10.8	20	13.1	12.7	12.1	11.5	11.1	10.8	10.9	11.3	11.9	12.5	13.0	13.2
11.0	11.4	11.9	12.4	12.8	13.1	13.0	12.6	12.1	11.6	11.1	10.9	18	13.0	12.6	12.1	11.6	11.2	10.9	11.0	11.4	11.9	12.4	12.9	13.1
11.1	11.5	11.9	12.4	12.7	12.9	12.9	12.5	12.1	11.6	11.2	11.1	16	12.9	12.5	12.1	11.6	11.3	11.1	11.1	11.5	11.9	12.4	12.8	12.9
11.3	11.6	11.9	12.3	12.6	12.8	12.8	12.5	12.1	11.7	11.3	11.2	14	12.7	12.4	12.1	11.7	11.4	11.2	11.2	11.5	11.9	12.3	12.7	12.8
11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	12	12.6	12.4	12.1	11.7	11.4	11.3	11.4	11.6	11.9	12.3	12.6	12.7
11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	10	12.5	12.3	12.1	11.8	11.5	11.4	11.5	11.7	11.9	12.2	12.5	12.6
11.6	11.7	11.9	12.2	12.4	12.5	12.4	12.3	12.0	11.8	11.6	11.5	8	12.4	12.3	12.1	11.8	11.6	11.5	11.6	11.7	12.0	12.2	12.4	12.5
11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	6	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.7	11.7	11.8	12.0	12.1	12.3	12.3
11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	4	12.2	12.1	12.0	11.9	11.8	11.8	11.8	11.9	12.0	12.1	12.2	12.2
11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	2	12.1	12.1	12.0	12.0	11.9	11.9	11.9	11.9	12.0	12.0	12.1	12.1
12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0

[1] Values for N on the 15th day of the month provide a good estimate (error < 1 %) of N averaged over all days within the month. Only for high latitudes greater than 55° (N or S) during winter months deviations may be more than 1%.

TABLE A3.8
σT_K^4 (Stefan-Boltzmann law) at different temperatures (T)

With $\sigma = 4.903\ 10^{-9}$ MJ K^{-4} m^{-2} day^{-1}
and $T_K = T[°C] + 273.16$

T (°C)	σT_K^4 (MJ m^{-2} d^{-1})	T (°C)	σT_K^4 (MJ m^{-2} d^{-1})	T (°C)	σT_K^4 (MJ m^{-2} d^{-1})
1.0	27.70	17.0	34.75	33.0	43.08
1.5	27.90	17.5	34.99	33.5	43.36
2.0	28.11	18.0	35.24	34.0	43.64
2.5	28.31	18.5	35.48	34.5	43.93
3.0	28.52	19.0	35.72	35.0	44.21
3.5	28.72	19.5	35.97	35.5	44.50
4.0	28.93	20.0	36.21	36.0	44.79
4.5	29.14	20.5	36.46	36.5	45.08
5.0	29.35	21.0	36.71	37.0	45.37
5.5	29.56	21.5	36.96	37.5	45.67
6.0	29.78	22.0	37.21	38.0	45.96
6.5	29.99	22.5	37.47	38.5	46.26
7.0	30.21	23.0	37.72	39.0	46.56
7.5	30.42	23.5	37.98	39.5	46.85
8.0	30.64	24.0	38.23	40.0	47.15
8.5	30.86	24.5	38.49	40.5	47.46
9.0	31.08	25.0	38.75	41.0	47.76
9.5	31.30	25.5	39.01	41.5	48.06
10.0	31.52	26.0	39.27	42.0	48.37
10.5	31.74	26.5	39.53	42.5	48.68
11.0	31.97	27.0	39.80	43.0	48.99
11.5	32.19	27.5	40.06	43.5	49.30
12.0	32.42	28.0	40.33	44.0	49.61
12.5	32.65	28.5	40.60	44.5	49.92
13.0	32.88	29.0	40.87	45.0	50.24
13.5	33.11	29.5	41.14	45.5	50.56
14.0	33.34	30.0	41.41	46.0	50.87
14.5	33.57	30.5	41.69	46.5	51.19
15.0	33.81	31.0	41.96	47.0	51.51
15.5	34.04	31.5	42.24	47.5	51.84
16.0	34.28	32.0	42.52	48.0	52.16
16.5	34.52	32.5	42.80	48.5	52.49

TABLE A3.9
Conversion factors to convert wind speed measured at given height (over grass) to wind speed measured at standard height of 2 m above ground surface

$$\text{conversion factor} = \frac{4.87}{\ln(67.8\ z' - 5.42)}$$

z height (m)	con-version factor	z height (m)	con-version factor	z height (m)	con-version factor	z height (m)	con-version factor
-	-	2.2	0.980	4.2	0.865	6.0	0.812
-	-	2.4	0.963	4.4	0.857	6.5	0.802
-	-	2.6	0.947	4.6	0.851	7.0	0.792
-	-	2.8	0.933	4.8	0.844	7.5	0.783
1.0	1.178	3.0	0.921	5.0	0.838	8.0	0.775
1.2	1.125	3.2	0.910	5.2	0.833	8.5	0.767
1.4	1.084	3.4	0.899	5.4	0.827	9.0	0.760
1.6	1.051	3.6	0.889	5.6	0.822	9.5	0.754
1.8	1.023	3.8	0.881	5.8	0.817	10.0	0.748
2.0	1.000	4.0	0.872	6.0	0.812	10.5	0.742

บทที่ 4 ความต้องการน้ำชลประทาน (Irrigation Water Requirements)

4.1 คำนำ

ในการศึกษาเรื่อง “ความต้องการน้ำชลประทาน” ขั้นแรกขอให้สมมติว่าตัวเองเป็น “ผู้ดูแลพืช” หน้าที่คือ จะต้องดูแลต้นพืช ตั้งแต่การตระเตรียมดิน การหว่านเมล็ดพันธุ์ พืชงอก เจริญเติบโต จนกระทั่งออกดอก-ออกผล และเก็บเกี่ยว โดยสมมติว่าสิ่งที่พืชต้องการคือน้ำ เรื่องปุ๋ยจะไม่พูดถึงในที่นี้ เพื่อให้บรรลุหน้าที่ที่ว่านี้ ผู้ดูแลต้นพืชจะต้องคอยถามตัวเองอยู่เสมอว่า เมื่อไหร่ควรจะให้น้ำแก่พืช และให้ปริมาณเท่าใดซึ่งถือว่าเป็นหัวใจของการชลประทาน ถ้าให้น้ำแก่พืชไม่ทันเวลา ให้ไม่พอ หรือให้มากเกินไป ย่อมเกิดผลเสียหาย พืชอาจเหี่ยว ไม่โต หรืออาจตายได้

อย่างไรก็ตามถ้าเพียงแต่รู้ว่า “เมื่อไหร่จึงควรให้น้ำแก่พืช และให้ปริมาณเท่าใด” ยังไม่พอ ขั้นต่อไปที่จะต้องรู้คือ “จะไปเอาน้ำจากที่ไหนมาให้พืชได้ทันเวลาและความต้องการของพืช”ในขั้นนี้จะต้องมีการศึกษาและวางแผนล่วงหน้า เช่น ถ้าต้องการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ 1,000 ไร่ จะต้องใช้น้ำเป็นปริมาณเท่าใด หรือถ้ามีน้ำปริมาณจำกัด สมมติมีเพียง1 แสนลูกบาศก์เมตร ควรจะปลูกข้าวโพดในพื้นที่เท่าใด ดังนั้นในการวางแผนการชลประทาน สิ่งที่ควรจะรู้ ได้แก่

- ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirements, CWR หรือ ET_C)
- ปริมาณการรั่วซึมน้ำในแปลงนา (Percolation in Paddy Field)
- ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมอื่นๆ เช่น การเตรียมแปลง (Land Preparation Requirements) การชะล้างเกลือ (Leaching Requirements)
- ปริมาณฝนการใช้ (Effective Rainfall, R_e) และ
- ประสิทธิภาพของการชลประทาน (Irrigation Efficiency, E_i)

เมื่อทราบข้อมูลความต้องการน้ำของพืชและข้อมูลอื่นๆตามที่กล่าวมานี้ จะสามารถคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานได้ ดังจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

4.2 สูตรการคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน (Formula for Calculation of Irrigation Water Requirements)

ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน(Irrigation Water Requirements) จะสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$IWR = 100\frac{ET_C - R_e + P + LR}{E_i} \quad (4.1)$$

เมื่อ

IWR = ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน (มม./วัน)

ET_C = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มม./วัน)

R_e = ปริมาณฝนใช้การ (มม./วัน)

P = ปริมาณการรั่วซึมน้ำในแปลงนา (มม./วัน) ซึ่งจะนำมาพิจารณาเฉพาะการคำนวณความต้องการน้ำชลประทานสำหรับข้าวเท่านั้น

LR = ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการชะล้างเกลือในเขตราก (Leaching Requirements)

E_i = ประสิทธิภาพการชลประทาน (%)

นอกจากนี้ ในช่วงเตรียมแปลง จะมีความต้องการน้ำเพื่อการเตรียมแปลง ซึ่งสามารถคำนวณแยกจากปริมาณความต้องการน้ำชลประทานปกติ แล้วนำมารวมกับ IWR ที่คำนวณได้จากสมการ 4.1 เพื่อหาปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมดที่ต้องส่งให้พื้นที่เพาะปลูก

เมื่อทราบปริมาณความต้องการน้ำชลประทานในหน่วยของ มม./วัน จะสามารถแปลงเป็นปริมาณความต้องการน้ำชลประทานในหน่วยของลูกบาศก์เมตร หรือคำนวณหาอัตราการส่งน้ำชลประทานให้พื้นที่เพาะปลูก ขนาดความจุคลองส่งน้ำ หรือขนาดเครื่องสูบน้ำ ในหน่วยของลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ได้ เมื่อทราบขนาดพื้นที่เพาะปลูก ความถี่ในการให้น้ำ และ แผนการส่งน้ำหรือสูบน้ำดังสมการ

$$IWR_V = 1.6 \times IWR \times IF \times A \quad (4.2)$$

เมื่อ

IWR_V = ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน ($ม.^3$)

IWR = ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน (มม./วัน)

IF = ความถี่ในการให้น้ำชลประทาน (วัน)

A = พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)

$$Q=\frac{IWR_V}{3600T}=\frac{IWR \times IF \times A}{2,250T} \qquad (4.3)$$

เมื่อ

Q = อัตราการส่งน้ำชลประทาน (ม.^{3}/วินาที)

T = จำนวนชั่วโมงในการส่งน้ำ (Irrigation Period) ต่อรอบความถี่การชลประทาน

4.3ปริมาณความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirements)

ปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน หรือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_C)หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชใช้ในกระบวนการคายน้ำ และรวมทั้งปริมาณน้ำที่ระเหยไปจากผิวดินหรือผิวน้ำรอบ ๆ ต้นพืช ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชที่ปลูก ระยะการเจริญเติบโต และสภาพภูมิอากาศ ค่า ET ที่นำมาคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน คือค่า ET_Cตามสภาพมาตรฐาน (Standard Conditions) หรือพืชไม่มีความเครียดเนื่องจากการขาดน้ำ ตามที่ได้กล่าวถึงในรายละเอียดในบทที่ 3

4.4 ปริมาณการรั่วซึมน้ำในแปลงนา (Percolation in Paddy Field)

ในการปลูกข้าวแบบให้น้ำท่วมขัง จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมน้ำในแปลงนาซึ่งเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ปริมาณการรั่วซึมจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับดินในแปลงนาและวิธีการเตรียมแปลง ดินเหนียวจะมีอัตราการรั่วซึมต่ำกว่าดินร่วนและดินทราย เนื่องจากดินทรายมีอัตราการรั่วซึมสูงมาก ดังนั้นปกติจึงไม่นิยมทำนาในดินทราย การเตรียมแปลงดีทำให้เกิดชั้นดินทึบน้ำใต้เขตราก (Hard Pan) ซึ่งช่วยลดการรั่วซึมได้มาก อัตราการรั่วซึมน้ำ(Percolation rate, P)ของดินชนิดต่างๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 อัตราการรั่วซึมน้ำในแปลงนาของดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	อัตราการรั่วซึมเฉลี่ย (mm/day)
ดินเหนียว (Clay)	1.0-1.5
ดินร่วน (Loam)	1.5-2.5
ดินทราย (Sand)	2.5-8.0

4.5 ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมอื่นๆ(Other Water Requirements)

ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อกิจกรรมอื่นๆ ได้แก่ ปริมาณน้ำเพื่อการตกกล้า ปริมาณน้ำเพื่อการเตรียมแปลง และปริมาณน้ำเพื่อการชะล้างเกลือ

4.5.1 ปริมาณน้ำเพื่อการเตรียมแปลง (Land Preparation Requirements)

สำหรับการปลูกข้าว การเตรียมแปลงถือว่าเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้น้ำเป็นจำนวนมาก บางกรณีปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้ในการเตรียมแปลงจะมีปริมาณมากกว่าปริมาณทั้งหมดที่จะต้องส่งให้ข้าวหลังการหว่านหรือปักดำ ดังนั้น ปริมาณน้ำส่วนนี้จึงมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการจัดส่งน้ำเพื่อการปลูกข้าว

วัตถุประสงค์หลักในการเตรียมแปลงคือ

- เพื่อกำจัดวัชพืช
- เพื่อทำให้ดินนิ่ม สะดวกแก่การปักดำ
- เพื่อให้สามารถผสมอินทรียวัตถุ เช่น ซังข้าว หญ้า หรือวัชพืชอื่น ๆ ลงไปในดิน
- เพื่อลดการรั่วซึมน้ำในแปลงนา
- เพื่อให้สามารถปรับพื้นที่ให้ราบเรียบ สะดวกแก่การส่งน้ำและระบายน้ำ

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง จะประกอบไปด้วย4 ส่วนด้วยกัน คือ

(1)ปริมาณน้ำที่จะทำให้ดินอิ่มตัวปริมาณน้ำส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับความพรุน(Porosity, n) ของดินในแปลง ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ(θ) และระยะความลึกของดินที่ต้องการให้อิ่มตัว(D) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$D_S = \frac{(n-\theta)}{100} D \qquad (4.4)$$

เมื่อ

D_S=ความลึกของน้ำที่ทำให้ดินอิ่มตัว(Soaking Requirement)(มม.)

n=% ความพรุนของดิน (Porosity) ดังแสดงในตารางที่ 2.3 บทที่ 2

θ = ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำมีหน่วยเป็น % โดยปริมาตร

D= ระยะความลึกของดินที่ต้องการให้อิ่มตัว(มม.)

(2)ปริมาณน้ำที่ต้องการให้ท่วมขังในแปลงนา (Standing Water Depth, D_{st}) โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 3-5 ซม.

(3) ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหย (E) ในแปลงนาที่มีน้ำท่วมขัง

(4)ปริมาณน้ำที่รั่วซึมในแปลงนา (P) ในระหว่างที่น้ำขัง

ดังนั้น ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องใช้เพื่อการเตรียมแปลงจะคำนวณได้จากสมการ

$$LP = D_s + D_{st} + E + P \qquad (4.5)$$

ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องใช้เพื่อการเตรียมแปลงที่ได้จากสมการ 4.5 นั้นเป็นปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับพื้นที่เตรียมแปลง เพื่อทำให้ดินอิ่มตัวพร้อมกันหรือในวันเดียวกัน ถ้าพื้นที่ที่จะเตรียมแปลงมีมาก จะไม่สามารถส่งน้ำเพื่อทำให้ดินอิ่มตัวทั่วถึงกันหมดภายในวันเดียวได้ เช่น พื้นที่รับน้ำทั้งหมดจากอาคารควบคุมปากคูส่งน้ำ หรือประตูควบคุมน้ำปากคลอง แปลงแรกจะได้รับน้ำก่อนแปลงสุดท้ายช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่แปลงแรก ๆ จะมีน้ำสูญเสียเนื่องจากการระเหย (E) และการรั่วซึม (P) มากกว่าพื้นที่ที่ได้รับน้ำในช่วงหลัง เพราะจะต้องมีน้ำขังอยู่ในแปลงหลังการเตรียมดิน ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงในพื้นที่ที่ไม่สามารถจัดส่งน้ำให้ดินอิ่มตัวทั่วพื้นที่ในวันเดียวได้ จะคำนวณหาได้จากสมการ

$$LP = D_S + D_{st} + 0.5(E + P) \qquad (4.6)$$

ตัวอย่างที่ 4.1 จงหาปริมาณน้ำชลประทานที่จะต้องส่งเพื่อการเตรียมแปลงของพื้นที่ปลูกข้าวโดยดินในแปลงนาเป็นดินเหนียวและมีความต้องการที่จะให้ดินอิ่มตัวจนถึงระยะความลึก 120 ซม และมีข้อมูลอื่นๆ ดังนี้

- ความชื้นก่อนการให้น้ำ(θ)ที่ระยะลึก 0-30 ซม. เท่ากับ 17% โดย นน. ดินแห้ง
- ความชื้นก่อนการให้น้ำ(θ)ที่ระยะลึก 30-120 ซม.เท่ากับ 35% โดย นน. ดินแห้ง
- ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (A_s) เท่ากับ 1.25
- ความพรุนของดิน (n) เท่ากับ 53%
- ปริมาณน้ำที่ท่วมขังในแปลงนา (D_{st}) 5ซม.
- ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหย (E) เท่ากับ4 มม./วัน
- ปริมาณการรั่วซึมของน้ำในแปลงนา (P) เท่ากับ2 มม./วัน
- ช่วงระยะเวลาการเตรียมแปลง 42 วัน

วิธีทำ

$$D_S = \frac{(n - \theta.A_S)D}{100}$$

$$D_S(\text{0-30 cm}) = \frac{(53 - 17x1.25)}{100} x300 = 95\text{mm}.$$

D_S(30-120 cm) = $\frac{(53-35x1.25)\times 900}{100}$ = 83mm.

D_S = 95 + 83 = 178 mm.

D_{st} = 50 mm.

E = 4 mm./day x 42 days = 168 mm.

P = 2 mm./day x 42 days= 84 mm.

LP = 178 + 50 + $\frac{168+84}{2}$ = 354 mm.

LP = 345 mm./42 day= 8.43 mm/day

ในการปลูกข้าวนาดำจะต้องมีการตกกล้าเตรียมไว้เพื่อการปักดำหลังจากเตรียมแปลงเสร็จ ช่วงระยะเวลาในการเพาะกล้าจะอยู่ประมาณ 20-40 วัน ก่อนการปักดำ ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของต้นกล้าจะประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำที่ต้นกล้าใช้ในการระเหยและการคายน้ำ รวมปริมาณการรั่วซึมน้ำในแปลงกล้า การตกกล้านี้จะเป็นกิจกรรมที่ดำเนินควบคู่ไปกับการเตรียมแปลงปักดำ เนื่องจากการตกกล้ากระทำในพื้นที่น้อย ประมาณ 4% ของพืชที่ปักดำ ปริมาณที่จะต้องส่งให้แปลงกล้าจึงไม่มากนัก ปกติจึงคิดรวมเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งของปริมาณน้ำเพื่อการเตรียมแปลง

4.5.2 ความต้องการน้ำเพื่อการชะล้างเกลือ (Leaching Requirements)

ความต้องการน้ำเพื่อการชะล้างเกลือในเขตราก คือปริมาณน้ำที่ให้เพิ่มเติมจากความต้องการน้ำของพืชเพื่อควบคุมความเค็มของเกลือในเขตรากไม่ให้เป็นอันตรายต่อพืช

แหล่งเกลือที่เป็นสาเหตุของความเค็มอาจมาจากเกลือที่อยู่ในดิน หรือเกลือที่อยู่ในน้ำชลประทาน พืชแต่ละชนิดมีความสามารถทนความเค็มต่างกัน ดังนั้นในการควบคุมความเค็มให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับพืช จะต้องคำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการชะล้างเกลือออกจากเขตราก และต้องมีระบบระบายน้ำใต้ดินเพื่อระบายน้ำส่วนเกินที่มีสารละลายเกลือออกจากพื้นที่เพาะปลูกมิฉะนั้นเกลือจะยังคงสะสมอยู่ในพื้นที่เพาะปลูก ปริมาณน้ำเพื่อการชะล้างเกลือขึ้นอยู่กับค่าความนำไฟฟ้า(Electrical Conductivity, EC) ของน้ำชลประทาน ค่าความนำไฟฟ้าของน้ำที่ระบายออกจากเขตราก และปริมาณน้ำชลประทานที่ให้ สัดส่วนปริมาณน้ำที่ต้องเผื่อเพื่อการชะล้างเกลือสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$LF=\frac{D_d}{D_i}=\frac{EC_i}{EC_d} \qquad (4.7)$$

เมื่อ

LF = สัดส่วนปริมาณน้ำเพื่อการชะล้างเกลือต่อปริมาณน้ำชลประทานที่ให้(Leaching Fraction)

D_d = ปริมาณน้ำที่ระบายออกจากเขตราก (มม.)

D_i = ปริมาณน้ำชลประทานที่ให้(มม.)

EC_d = ค่า EC ของน้ำที่ระบายออกจากเขตราก (dS/m)

EC_i = ค่า EC ของน้ำชลประทานที่ให้(dS/m)

$$D_i = ET_C + D_d \quad (4.8)$$

แทนค่า D_iลงในสมการที่ 4.7จะได้

$$LF = \frac{D_d}{ET_C + D_d}$$

$$1 + \frac{ET_C}{D_d} = \frac{1}{LF}$$

$$LR = D_d = ET_C\left(\frac{LF}{1-LF}\right) \quad (4.9)$$

เมื่อ

LR= ปริมาณน้ำเพื่อการชะล้างเกลือ(Leaching Requirement) (มม.)

ET_C = ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มม.)

ค่า LF จะคำนวณได้จากสมการ 4.ปปเมื่อทราบค่า EC_iและค่า EC_dจากสมการ

$$EC_d = 5EC_{e\ threshold} - EC_i \quad (4.10)$$

เมื่อ

$EC_{e\ threshold}$ = ค่า EC_eต่ำสุดที่เริ่มมีผลกระทบต่อผลผลิตพืช ดังแสดงในตารางที่ 3.10 บทที่ 3

4.6ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall)

ฝนใช้การหมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ตกลงพื้นที่เพาะปลูกที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือหมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ทดแทนความต้องการน้ำชลประทานที่แปลงเพาะปลูก ซึ่งจะต้องให้แก่พืชในวันที่มีฝนตกนั้นตามความหมายนี้ ฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกอาจไม่ได้เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมด ฝนที่เป็นประโยชน์หรือฝนใช้การคือ ฝนส่วนที่ซึมลงดินและถูกเก็บไว้ในเขตราก เพื่อให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ในภายหลัง หรือในกรณีที่เป็นนาข้าว ฝนใช้การคือส่วนของฝนที่ขังอยู่ในแปลงนาในระดับที่ไม่มากเกินไป จนเป็นอันตรายต่อต้นข้าว เช่น สมมติว่าในวันที่ 20 กรกฎาคม ถึงกำหนดที่จะต้องให้น้ำแก่ข้าวโพดจำนวน 100 มม. ถ้าฝนตกในวันที่ 19 จำนวน 30 มม. ฝนดังกล่าวนี้คือฝนใช้การ ในทางตรงกันข้าม ถ้าฝนตกในวันที่ 21 กรกฎาคม ซึ่งเพิ่งให้น้ำเสร็จ ฝน 30 มม.ก็จะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชเลย จะเห็นได้ว่าปริมาณฝนใช้การที่แท้จริงนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น ความชื้นของดินหรือระดับน้ำในแปลงนา

ก่อนฝนตก อัตราและปริมาณของฝนที่ตก อัตราการดูดซึมน้ำของดิน ความสามารถเก็บน้ำของดินในเขตราก ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เพาะปลูก ชนิดและอัตราการใช้น้ำของพืช เป็นต้น

วิธีการคำนวณฝนใช้การมีหลายวิธี ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณฝนใช้การที่ FAO ได้เสนอแนะไว้ในโปรแกรม CROPWAT และวิธีการที่ได้จากการศึกษาในประเทศไทย

4.6.1 วิธีการคำนวณฝนใช้การในโปรแกรม CROPWAT

โปรแกรม CROPWAT ได้กล่าวถึงวิธีการคำนวณหาฝนใช้การ 4 วิธี คือ Fixed Percentage, Dependable Rainfall, Empirical Formula และUSDA-SCS ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

(1) วิธีกำหนดฝนใช้การเป็น % ของฝนที่ตก (Fixed Percentage)

$$R_e = a.R \qquad (4.11)$$

เมื่อ

R = ปริมาณฝนที่ตก (มม.)

R_e = ปริมาณฝนใช้การ (มม.)

a = %ฝนที่เป็นฝนใช้การ ปกติจะพิจารณาว่าฝนที่ตกจะมีการสูญเสียประมาณ 10-30%

ดังนั้น a จะมีค่าประมาณ 0.7-0.9

(2) วิธี Dependable Rainfall ของ FAO/AGLW

วิธีนี้เหมาะกับภูมิอากาศแบบแห้งแล้งละกึ่งชุ่มชื้น โดยปริมาณฝนที่ใช้ในการคำนวณฝนใช้การจะเป็นฝนที่ความน่าจะเป็นแบบมากกว่า(Exceedence Probability) เท่ากับ 80%หรือ

$$P(Rain > R) = 80\% \qquad (4.12)$$

สมการฝนใช้ที่คำนวณจากฝนรายเดือน

$$R_e = 0.6R_{month} - 10 \quad \text{เมื่อ } R_{month} < 70 \text{ mm.} \qquad (4.13)$$

$$R_e = 0.8R_{month} - 24 \quad \text{เมื่อ } R_{month} > 70 \text{ mm.} \qquad (4.14)$$

เมื่อ R_{month} คือฝนรายเดือนเป็น มม.

สมการฝนใช้ที่คำนวณจากฝนรายสิบวัน

$$R_e = 0.6R_{dec} - 10/3 \quad \text{เมื่อ } R_{dec} < 70/3 \text{ mm.} \qquad (4.15)$$

$$R_e = 0.8R_{dec} - 24/3 \quad \text{เมื่อ } R_{dec} > 70/3 \text{ mm.} \qquad (4.16)$$

เมื่อ R_{dec} คือฝนรายสิบวันเป็น มม.

(3) วิธีใช้สูตร Empirical

กรณีฝนรายเดือน

$R_e = aR_{month} - b$ เมื่อ $R_{month} < z$ mm. (4.17)

$R_e = aR_{month} - b$ เมื่อ $R_{month} > z$ mm. (4.18)

กรณีฝนรายสิบวัน

$R_e = aR_{dec} - b/3$ เมื่อ $R_{dec} < z/3$ mm. (4.19)

$R_e = aR_{dec} - b/3$ เมื่อ $R_{dec} > z/3$ mm. (4.20)

ค่าสัมประสิทธิ์ a, b, c, d และ z จะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่ สามารถหาได้โดยวิธีทดลองเชิง Empirical

(4) วิธีของ US. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (USDA-SCS)

กรณีฝนรายเดือน (R_{month})

$R_e = R_{month}(125 - 0.2_{Rmonth})/125$ เมื่อ $R_{month} < 250$ mm. (4.21)

$R_e = 125 + 0.1R_{month}$ เมื่อ $R_{month} > 250$ mm. (4.22)

กรณีฝนรายสิบวัน (R_{dec})

$R_e = R_{dec}(125 - 0.6_{dec})/125$ เมื่อ $R_{dec} < 250/3$ mm. (4.23)

$R_e = 125/3 + 0.1R_{dec}$ เมื่อ $R_{dec} > 250/3$ mm. (4.24)

การคำนวณฝนใช้การตามวิธี USDA-SCS ยังได้พิจารณาว่าฝนใช้การรายเดือนจะต้องมีค่าไม่เกินค่า ETC และความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตรากยังมีผลต่อค่าฝนใช้การ ดังนั้นเมื่อนำค่า ET_C และความสามารถอุ้มน้ำของดินมาร่วมพิจารณา จะสามารถหาค่าฝนใช้การได้จากตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณฝนใช้การสำหรับพืชอื่นที่ไม่ใช่ข้าวกรณีที่ดินในเขตรากมีความสามารถอุ้มน้ำได้ 75 มม.

ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)	ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_C) รายเดือน (มม.)									
	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
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
ความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตราก (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 ฝนใช้การเฉลี่ยประจำเดือนต้องไม่มากกว่าปริมาณฝนเฉลี่ยหรืออัตราการใช้น้ำของพืชในเดือนเดียวกัน ในกรณีที่ฝนเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่าค่าต่ำสุดของฝนใช้การ ในตารางข้างบนให้ถือว่าฝนดังกล่าวเป็นฝนใช้การทั้งหมด

ตัวอย่างที่ 4.2 ในการปลูกพืชไร่ในฤดูแล้งในเขตโครงการชลประทานแห่งหนึ่ง ถ้ามีถ้าฝนตก 60 มม./เดือน ปริมาณการใช้น้ำของพืช (ET_C) เท่ากับ 125 มม./เดือนจงคำนวณหาฝนใช้การถ้าดินในเขตรากสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ (ก) 75 มม. (ข) 50 มม. (ค) 100 มม.

วิธีทำ

(ก) จากตารางที่ 4.2ถ้าฝนตก 60 มม./เดือนปริมาณการใช้น้ำของพืช 125 มม./เดือนดินอุ้มน้ำได้ 75 มม. จะได้ฝนใช้การ= 43 มม.

(ข) จากข้อ (ก) ถ้าดินในเขตรากอุ้มน้ำไว้ได้ 50 มม. จากตัวเลขในบรรทัดสุดท้ายของตารางที่ 4.2 จะได้ตัวคูณปรับแก้ = 0.93ดังนั้น ฝนใช้การ = 0.93x43 = 40 มม.

(ค) เมื่อดินในเขตรากอุ้มเก็บน้ำไว้ได้ 100 มม. ตัวคูณปรับแก้จากตารางที่ 4.2 จะเท่ากับ 1.02ดังนั้น ฝนใช้การ = 1.02x43 = 44 มม.

หมายเหตุการหาปริมาณฝนใช้การสำหรับพืชไร่ตามวิถีของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา(USDA) เป็นค่าโดยประมาณสำหรับพืชไร่ทั่วไปเท่านั้นในกรณีที่ทราบรายละเอียดพื้นที่เพาะปลูก ดินและพืชอาจพิจารณาเลือกใช้ค่าอื่นนอกเหนือจากค่าในตารางก็ได้ เช่น สมมติว่าในตัวอย่างที่4.2 ดินในแปลงนามีความสามารถอุ้มน้ำไว้ได้ 50 มม. และในเดือนดังกล่าวมีฝนตกหลายครั้ง และเมื่อพิจารณาจากข้อเท็จจริงที่ว่า ฝนที่ตกในแปลงนาส่วนใหญ่จะซึมลงไปเก็บในดินในเขตรากดังนั้น อาจเลือกใช้ฝนใช้การเท่ากับ.50 มม. จากฝนทั้งหมด 60 มม. ก็ได้ ในทางตรงกันข้าม ถ้าเป็นการปลูกพืชในพื้นที่ที่มีความลาดเทสูง ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ และฝน 60 มม. ที่ตกลงมานั้นเป็นฝนที่ตกหนักในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ก็อาจลดฝนใช้การให้เหลือเพียง 30 หรือ 35 มม. ก็ได้

4.6.2ฝนใช้การสำหรับประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย ได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อหาฝนใช้การสำหรับข้าวและพืชไร่ในเชิง Empirical ในทำนองเดียวกับที่ FAO เสนอแนะ สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรีโดยมีรูปแบบสมการดังนี้

$R_e = R$ เมื่อ $R \leq R^*$ (4.25)

$R_e = AR+B$ เมื่อ $R > R^*$ (4.26)

เมื่อ

R = ปริมาณฝนรายเดือน (มม.)

Re = ปริมาณฝนใช้การรายเดือน (มม.)

ค่าสัมประสิทธิ์ A, B และ R^*แสดงอยู่ในตารางที่ 4.3

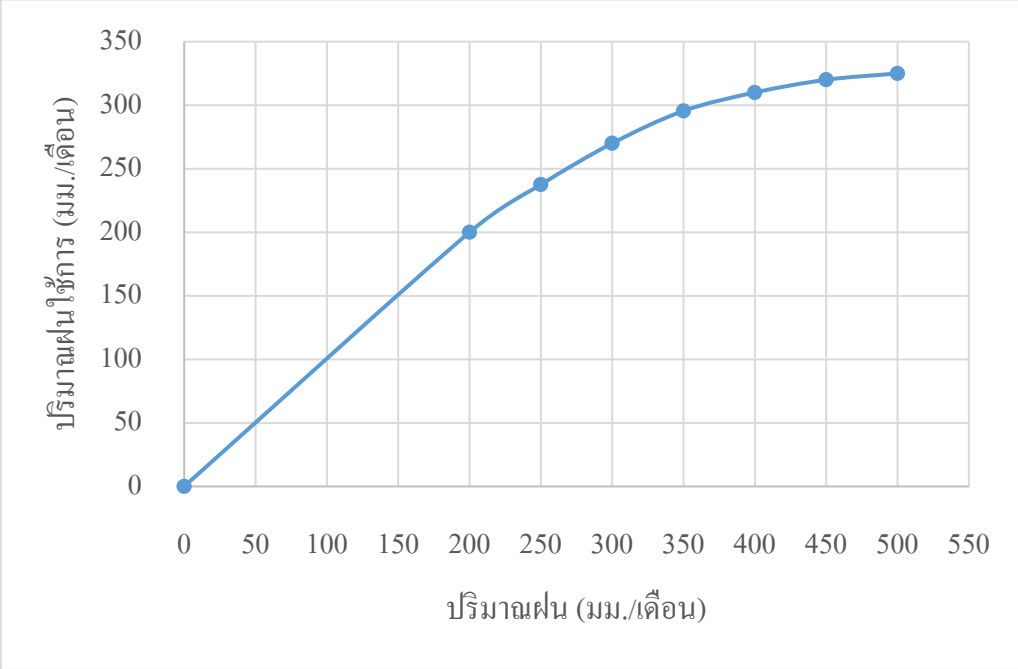
ตารางที่ 4.3ค่าสัมประสิทธิ์สมการฝนใช้การรายเดือนสำหรับข้าวและพืชไร่ (อ้อย)
สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี(วัชระ. 2537)

เดือน	ฝนใช้กาสำหรับข้าว			ฝนใช้กาสำหรับพืชไร่ (อ้อย)		
	R^*(mm)	A	B	R^*(mm)	A	B
พย.-เมย.	59	0.55	26.10	29	0.78	6.38
พค.	53	0.44	29.68	25	0.63	9.25
มิย.	55	0.46	29.70	27	0.70	8.10
กค.	60	0.75	15.00	26	0.65	9.10

สค.	50	0.56	22.00	25	0.64	9.00
กย.	42	0.39	25.62	22	0.42	12.76
ตค.	30	0.25	22.50	18	0.27	13.14

เนื่องจากว่าวิธีการให้น้ำและการใช้น้ำของข้าวนั้นแตกต่างจากพืชอื่น เช่นพืชไร่ ผัก และพืชสวน มาก เพราะแปลงนาข้าวส่วนใหญ่มีคันดินล้อมรอบ ฝนที่ตกลงในนาถ้ามีปริมาณไม่มากจนเกินไป ก็จะถูกกักเก็บไว้ได้ทั้งหมด นอกจากนั้นข้าวยังมีความต้องการน้ำชลประทานสูงเพราะ จะต้องเผื่อไว้สำหรับการรั่วซึมในแปลงนาซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ด้วย โดยปกติความต้องการน้ำในแปลงนาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 150-300 มิลลิเมตรต่อเดือน ดังนั้น อาจถือว่าฝนที่ตกด้วยอัตราปกติ และแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดเดือนในขนาดไม่เกินความต้องการน้ำสำหรับเดือนนั้น ๆ เป็นฝนใช้การได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามข้อกำหนดดังกล่าวนี้จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อระดับน้ำในแปลงนาไม่สูงจนเกินไปในขณะที่ฝนตก เพราะเมื่อมีฝนตกมาเพิ่มระดับน้ำอาจจะสูงจนล้นคันนา จนทำให้ไม่สามารถใช้น้ำฝนให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้ นี่เป็นสาเหตุหนึ่งที่แนะนำให้เกษตรกรรักษาระดับน้ำในแปลงนาให้ต่ำเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย บริษัทวิศวกรที่ปรึกษา (Engineering Consultants, Inc.) ได้แนะนำการคำนวณปริมาณฝนใช้การสำหรับข้าวเป็น % ของฝนที่ตก ดังรูปที่ 4.1 ข้อแนะนำดังกล่าวถือว่าฝนที่ตกไม่เกิน 200 มม./เดือน ถือเป็นฝนใช้การ 100%ฝนที่เกิน 200 มม. %ฝนใช้การจะลดลงตามส่วน ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.1 ฝนใช้การสำหรับนาข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (Engineering Consultants, Inc.)

ตารางที่4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างฝนและฝนใช้การ สำหรับนาข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

ปริมาณฝนรายเดือน	ปริมาณฝนใช้การ		% ฝนใช้การเมื่อฝนตกเพิ่มขึ้น 50 มม.
(มม./เดือน)	(มม./เดือน)	(%)	(%)
200	200.0	100.0	75.0
250	237.5	95.5	65.0
300	270.0	90.0	45.0
350	295.5	83.6	35.0
400	310.0	77.5	20.0
450	320.0	71.1	10.0
500	325.0	65.0	

หมายเหตุฝนใช้การสำหรับนาข้าวอาจมีค่ามากกว่าความต้องการน้ำชลประทานที่แปลงนาได้ ทั้งนี้ เพราะคันนาทำให้สามารถเก็บกักฝนที่ตกลงในแปลงไว้ใช้ในเดือนถัดไปได้ ซึ่งต่างจากพืชไร่ที่พิจารณาว่าฝนส่วนที่เกินความต้องการน้ำของพืช จะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ตัวอย่างที่ 4.3 จงคำนวณปริมาณฝนใช้การสำหรับนาข้าวในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ ซึ่งมีฝนตกในเดือนกรกฎคม สิงหาคม และกันยายน เท่ากับ 172.6 , 222.6 , และ 391.0มม. ตามลำดับ

วิธีทำ

จากตารางที่ 4.4 ฝนใช้การสำหรับนาข้าวของ Engineering Consultants, Inc

เดือน	ฝน (มม.)		วิธีการคำนวณ	ฝนใช้การ (มม.)
กรกฎาคม	176.2	<200 มม.	100%(176.2)	176.2
สิงหาคม	222.6	>200 มม.	200 + 75%(222.6 - 200)	217.0
กันยายน	391.0	>200 มม.	292.5 + 35%(391-350)	306.9

สำหรับภาคกลางของประเทศไทย บริษัท Acres International Ltd. ได้เสนอแนะการคำนวณปริมาณฝนใช้การไว้ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนประจำเดือนและปริมาณฝนใช้การสำหรับนาข้าวในภาคกลาง

ปริมาณฝนราย เดือน(มม.)	ปริมาณฝนใช้การ (มม.)							
	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3			
	ตค.	เดือนอื่น	ตค.	เดือนอื่น	สค.	กย.	ตค.	เดือนอื่น
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	164	215	120	300

กรณีที่ 1 ได้แก่สภาพการทำนาในปัจจุบันซึ่งสามารถเก็บน้ำฝนไว้ในแปลงนาได้น้อยมาก
กรณีที่ 2 ได้แก่สภาพการทำนาในปัจจุบันแต่ปริมาณน้ำฝนที่เก็บไว้ในแปลงนามีความสำคัญต่อการเพาะปลูก
กรณีที่ 3 ในอนาคตถ้ามีการปรับปรุงสภาพแปลงนาให้สามารถเก็บน้ำฝนไว้ให้พืชใช้ได้มากขึ้น

4.7 ประสิทธิภาพของการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

ประสิทธิภาพของการชลประทานหมายถึง ความมีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ(Conveyance) แจกจ่ายน้ำไปยังแปลงเพาะปลูก(Distribution) และการให้น้ำกับพืช(Application)ในด้านการจัดการน้ำ ประสิทธิภาพการชลประทานเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นว่าควรทำการปรับปรุงวิธีการส่งน้ำให้พืช ตลอดจนโครงสร้างขั้นพื้นฐาน(Infrastructure)ในการส่งน้ำและควบคุมน้ำเช่น ระบบคลองและคูส่งน้ำหรือไม่ ในด้านการออกแบบประสิทธิภาพของการชลประทานหมายถึงเกณฑ์ความปลอดภัย (Safety Factor) ที่จะต้องเผื่อไว้ในการออกแบบขนาดคลอง คูส่งน้ำ และอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ เนื่องจากการสูญเสียน้ำชลประทานในระบบส่งน้ำเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เพียงแต่จะสูญเสียมากหรือน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจถึงองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำชลประทาน หรือประสิทธิภาพของการชลประทานเพื่อจะได้ช่วยในการ

ตัดสินใจเลือกค่าประสิทธิภาพชองการชลประทานที่เหมาะสมในการออกแบบระบบใหม่ หรือช่วยในการพิจารณาแก้ไขปรับปรุงระบบชลประทานที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

4.7.1 การสูญเสียน้ำในระบบชลประทาน

การสูญเสียน้ำชลประทานเกิดขึ้นได้ 2 ทาง คือ

(1) การสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำและระบบแจกจ่ายน้ำในระหว่างการส่งน้ำจากแหล่งน้ำไปยังแปลงเพาะปลูก เนื่องจากการระเหย การรั่วซึม และการรั่วไหลออกตามจุดอ่อนของระบบ

(2)การสูญเสียน้ำในแปลงเพาะปลูกขณะเกษตรกรให้น้ำแก่พืชในลักษณะของการรั่วซึมเลยเขตรากพืช(Deep Percolation, DP) และการไหลเลยท้ายแปลง(Runoff, RO)

น้ำชลประทานที่สูญเสียไปในขบวนการต่างๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการสูญเสียน้ำซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น กระระเหย การรั่วซึม ในระบบส่งน้ำและระบบกระจายน้ำ แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียในส่วนนี้สามารถทำให้ลดน้อยลงได้ถ้าได้รับการออกแบบก่อสร้าง และบริหารงานส่งน้ำชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการสูญเสียน้ำส่วนที่สองซึ่งได้แก่การไหลซึมเลยเขตรากพืช(สำหรับพืชไร่) การไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก ตลอดจนการใช้น้ำอย่างฟุ่มเฟือยเกินความต้องการน้ำของพืชถือเป็นการสูญเสียน้ำที่พอจะหลีกเลี่ยงได้ ถ้าหากผู้เกี่ยวข้องมีความรู้ความชำนาญพอและรู้จักคุณค่าของน้ำชลประทาน

4.7.2 องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการชลประทาน

ประสิทธิภาพของการชลประทานจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) คุณสมบัติของดินโดยทั่วๆ ไปดินเนื้อหยาบซึ่งมีอัตราการดูดซึมน้ำสูง เมื่อให้น้ำชลประทานแบบผิวดิน ย่อมจะเกิดการสูญเสียน้ำโดยการไหลซึมเลยเขตราก(DP) มาก ในทางกลับกันดินเนื้อละเอียดซึ่งมีอัตราการดูดซึมน้ำต่ำเมื่อให้น้ำแบบเดียวกันจะเกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลง(RO)มากกว่า ซึ่งการสูญเสียน้ำในลักษณะนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของการชลประทานในแปลงเพาะปลูกและประสิทธิภาพของการชลประทานของระบบด้วย และการผันแปรของอัตราการรั่วซึมน้ำของดินย่อมทำให้ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำต่ำ อัตราการรั่วซึมน้ำของดินในระบบที่ส่งน้ำแบบหมุนเวียนย่อมจะผันแปรตลอดฤดู และในแต่ละฤดู ในแต่ละปี ค่านี้ก็แตกต่างกัน

(2) สภาพภูมิประเทศ การส่งน้ำในสภาพภูมิประเทศที่ราบเรียบย่อมทำได้ง่ายสะดวก และมีประสิทธิภาพมากกว่าการส่งน้ำในสภาพภูมิประเทศที่ลาดชันหรือเป็นคลื่น เพราะสภาพภูมิประเทศแบบหลังจะทำให้ต้องวางแนวคลองหรือคูน้ำยาวออกไปตามสภาพพื้นที่ ซึ่งการระเหยและรั่วซึมย่อมจะมากขึ้น

ตามไปด้วย นอกจากนี้การใช้น้ำในแปลงเพาะปลูกที่ไม่ราบเรียบหรือมีความลาดชันสูง ย่อมจะสิ้นเปลืองน้ำมากกว่าถ้าต้องการให้ทุกจุดในแปลงได้รับน้ำตามที่ต้องการ

(3) สภาพลมฟ้าอากาศสภาพลมฟ้าอากาศจะมีผลต่อการสูญเสียน้ำในรูปของการระเหยในคลอง คูส่งน้ำ และในแปลงเพาะปลูก ซึ่งย่อมจะมีผลต่อประสิทธิภาพของการชลประทานด้วย แต่ก็เป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้

(4)ปริมาณน้ำชลประทานที่จะให้กับพืชสำหรับวิธีการให้น้ำชลประทานแบบท่วมเป็นผืน ก็มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของการชลประทานเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะถ้าความลึกของน้ำที่ให้น้อยจะทำให้น้ำไม่แผ่กระจายไปทั่วแปลง หัวแปลงจะได้รับน้ำมากเกินไป และเกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตราก จึงควรจะได้มีการศึกษาเทคนิคการให้น้ำผิวดินสำหรับดินแต่ละแห่งโดยเฉพาะว่าความลึกของน้ำที่เหมาะสมหรือไม่

(5) วิธีการให้น้ำชลประทานโดยทั่วไปแล้วการให้น้ำชลประทานทุกวิธีจะมีประสิทธิภาพสูงในสภาพดิน ภูมิประเทศและลมฟ้าอากาศเหมาะสม อย่างไปก็ตามในสภาพบางอย่างวิธีการให้น้ำชลประทานบางแบบ อาจมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีอื่น เช่นในที่ราบลมแรงและปลูกพืชต้นชิด การให้น้ำชลประทานแบบท่วมเป็นผืนย่อมจะให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบฉีดฝอย แต่การปลูกพืชชนิดเดียวกันนี้ในที่ลาดชนและลงสงบ การให้น้ำชลประทานแบบฉีดฝอยย่อมจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ดังนั้น เพื่อให้ได้ระบบการให้น้ำชลประทานที่มีประสิทธิภาพสูงจึงจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการชลประทานให้เหมาะสมด้วย

(6) ความสมบูรณ์ของการออกแบบและก่อสร้างระบบส่งน้ำนอกจากวิธีการให้น้ำชลประทานแล้วประสิทธิภาพยังขึ้นอยู่กับระบบส่งน้ำว่าได้รับการออกแบบและก่อสร้างไว้อย่างถูกต้องมีอาคารและเครื่องมือควบคุมน้ำสมบูรณ์เพียงใด อย่างไรก็ตามจะทราบว่าระบบส่งน้ำที่ออกแบบและก่อสร้างไว้นั้นถูกต้องสมบูรณ์เพียงใด ก็ต่อเมื่อระบบนี้ได้ถูกนำไปใช้งาน มีการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบ และมีการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงแล้ว

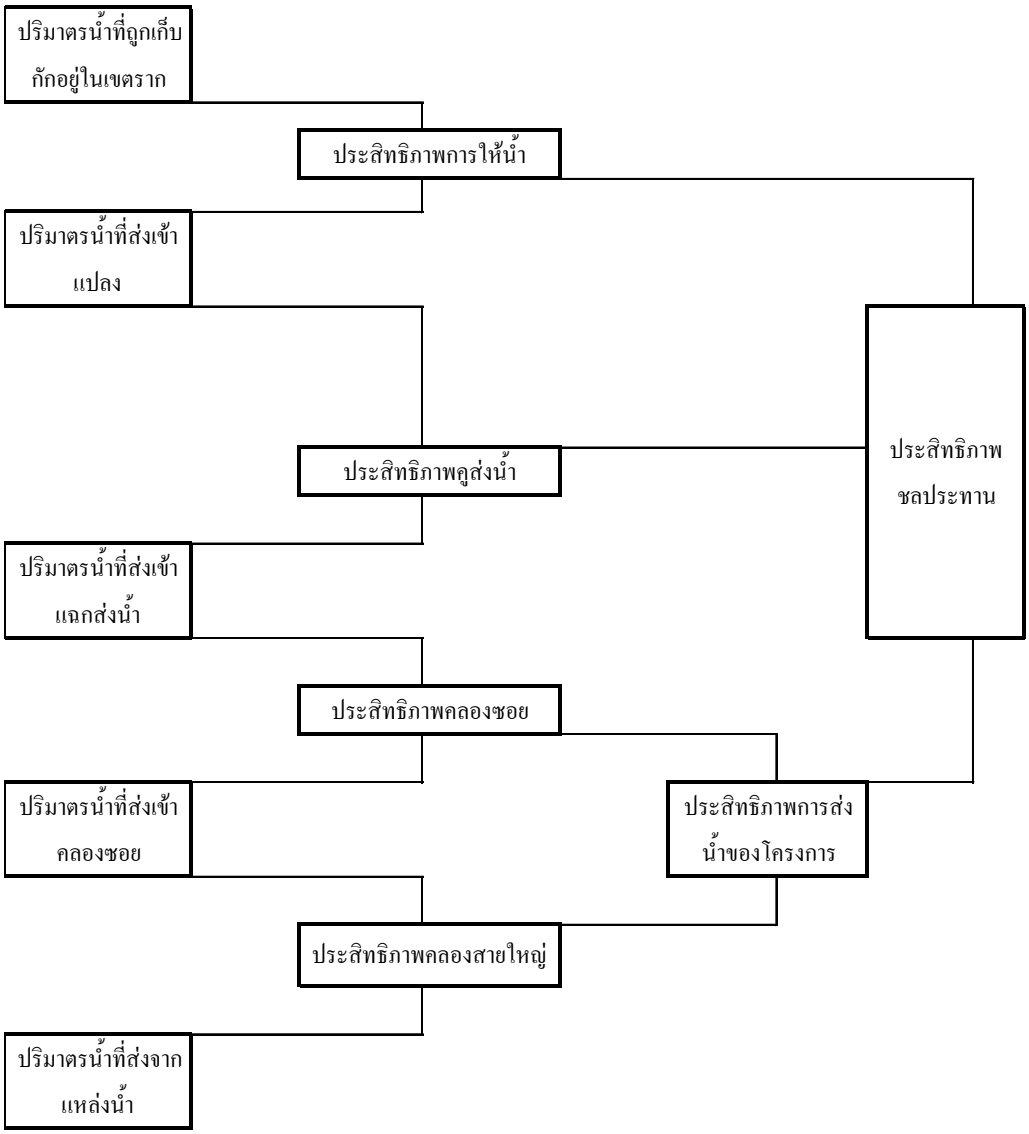
(7) ความชำนาญของผู้ใช้น้ำและส่งน้ำการใช้น้ำอย่างประหยัดและถูกต้องเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากต่อประสิทธิภาพของระบบชลประทาน ถึงแม้ว่าองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวแล้วจะดีและเหมาะสมเพียงใดก็ตาม ถ้าผู้ใช้น้ำและส่งน้ำไม่ได้ทำตามแผนที่วางไว้ใช้น้ำอย่างไม่ประหยัดและถูกต้องตามความต้องการของพืช ระบบนั้นก็จะไม่มีประสิทธิภาพตามที่คาดหวังไว้

4.7.3 การหาค่าประสิทธิภาพของการชลประทาน

ประสิทธิภาพของการชลประทานคือตัวชี้วัดความสามารถในการทำงานของระบบส่งน้ำ ระบบแจกจ่ายน้ำตลอดจนการใช้น้ำของโครงการ เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ให้ดีขึ้น ดังนั้นการ

ควบคุมการส่งน้ำในทุกส่วนของระบบให้ได้ผลดี จำเป็นจะต้องมีการวัดประสิทธิภาพของการชลประทานในส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่แหล่งน้ำจนแปลงเพาะปลูก แล้วนำผลการตรวจวัดค่าประสิทธิภาพของการชลประทานไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนและออกแบบชลประทานอื่น ๆ ต่อไป หรือนำมาใช้ในการคำนวณหาปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งให้พื้นที่ต่างๆ

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของการชลประทาน หมายถึง อัตราส่วนที่เกิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างปริมาณน้ำสุทธิที่ต้องการต่อปริมาณน้ำที่ส่งให้ทั้งหมด ณ ตำแหน่งที่พิจารณา ซึ่งสามารถคิดแยกเป็น 3 ส่วน คือ ประสิทธิภาพการให้น้ำในแปลงเพาะปลูก ประสิทธิภาพการกระจายน้ำของระบบคูส่งน้ำ และประสิทธิภาพการส่งน้ำของระบบคลองส่งน้ำ เพื่อจะได้ทราบว่าส่วนไหนมีประสิทธิภาพมากน้อยเท่าใด ดังแสดงขั้นตอนการคำนวณประสิทธิภาพของส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2ขั้นตอนการคำนวณหาประสิทธิภาพของการชลประทานของส่วนต่างๆ

(1) ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (Water Application Efficiency, E_a)

ประสิทธิภาพในการให้น้ำในแปลงเพาะปลูกหมายถึงอัตราส่วนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ระหว่างปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากพืชในขณะทำการใช้น้ำ(สำหรับพืชที่ไม่ใช่ข้าว) ต่อปริมาณน้ำที่แปลงเพาะปลูกได้รับ ซึ่งค่าประสิทธิภาพการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับสภาพดินในแปลง วิธีการให้น้ำชลประทานตลอดจนความรู้ความชำนาญของเกษตรกรเป็นสำคัญ

$$E_a = 100\frac{W_n}{W_p} \qquad (4.27)$$

เมื่อ

E_a= ประสิทธิภาพในการให้น้ำ(%)

W_n= ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช(Net Irrigation Water Requirement) ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากในขณะที่ทำการให้น้ำสำหรับพืชที่ไม่ใช่ข้าว หรือปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในแปลงในขณะที่ทำการให้น้ำสำหรับข้าว

W_p=ปริมาณน้ำทั้งหมดที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ(Irrigation Water Supply to Plot)

(2)ประสิทธิภาพการกระจายน้ำของคูส่งน้ำ (Farm Ditch Distribution Efficiency, E_b)

ในกรณีที่พื้นที่เพาะปลูกมีขนาดใหญ่ จะต้องมีระบบคูส่งน้ำในระดับแปลงนา การสูญเสียน้ำในระบบคูส่งน้ำจะอยู่ในความรับผิดชอบของเกษตรกร ประสิทธิภาพของคูน้ำจะหาได้จากสมการ

$$E_b = 100\frac{W_p}{W_f} \qquad (4.28)$$

เมื่อ

E_b= ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ(%)

W_p= ปริมาณที่แปลงเพาะปลูกได้รับ

W_f= ปริมาณน้ำที่ส่งให้คูส่งน้ำ (Irrigation Water Supply to Farm Ditch)

ในกรณีที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำจากคลองโดยตรงจะถือว่า $W_p = W_f$

(3)ประสิทธิภาพในการส่งน้ำของระบบคลอง(Conveyance Efficiency, E_c)

เนื่องจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่ส่งจากแหล่งน้ำไปตามระบบคลองและคูส่งน้ำไปสู่แปลงเพาะปลูกจะมีการสูญเสียเนื่องจากการระเหย การรั่วซึม และถูกพืชที่ขึ้นอยู่ตามริมคลองใช้ การจะบอกว่าคลองส่งน้ำทำหน้าที่ได้สมบูรณ์เพียงใดจะบอกได้ด้วยประสิทธิภาพในการส่งน้ำ

$$E_c = 100\frac{W_f}{W_r} \qquad (4.29)$$

เมื่อ

E_c = ประสิทธิภาพในการส่งน้ำ(%)

W_f = ปริมาณน้ำที่ส่งให้คูส่งน้ำ

W_r = ปริมาณที่ผันไปจากแหล่งน้ำ (Irrigation Water Supply from Water Resources)

เมื่อทราบประสิทธิภาพของแต่ละส่วน กล่าวคือ ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (E_a) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (E_b) และประสิทธิภาพในการส่งน้ำ (E_c) แล้วจะสามารถหาประสิทธิภาพรวมของโครงการชลประทานได้จากสมการ

$$E_i = E_a.E_b.E_c \qquad (4.30)$$

เมื่อ

E_i = ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการ(%)

ค่าประสิทธิภาพการชลประทานของส่วนต่างๆของระบบชลประทาน แสดงอยู่ในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการให้น้ำ(E_a) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ(E_b) และประสิทธิภาพในการส่งน้ำ(E_c)ซึ่งแบ่งตามขนาดของพื้นที่ ลักษณะของดิน และวิธีการใช้น้ำแบบต่าง ๆ

ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (Application Efficiency, E_a)	**(%)**
สำหรับการให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation)สำหรับดินชนิดต่างๆ	
ดินทราย	55
ดินร่วน	70
ดินเหนียว	60
การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาด (Graded Border)	60-75
การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างหรือเป็นผืนราบ (Basin and Level Border)	60-80
การให้น้ำแบบท่วมจากคูตามเส้นขอบเนิน (Contour Ditch)	50-55
การให้น้ำแบบร่องคู(Furrow)	55-70
การให้น้ำแบบร่องคูเล็ก (Corrugation)	50-70
การให้น้ำใต้ผิวดิน	< 60
การให้แบบฉีดฝอย (Sprinkler)	
อากาศร้อนและแห้ง	60
อากาศอบอุ่นปานกลาง	70
อากาศชุ่มชื่นและเย็น	80
สำหรับนาข้าว	
ระยะการเตรียมแปลง	75
ระยะการเจริญเติบโตของต้นข้าว	65
ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ(Field Canal Efficiency, E_b)	**(%)**

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

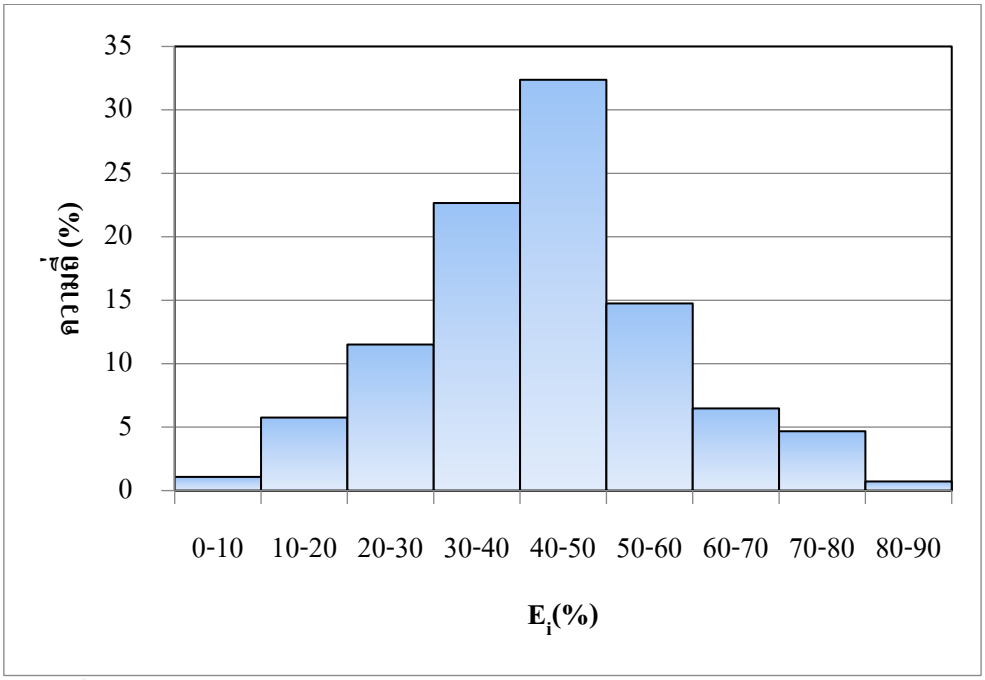
วราวุธ(2548) ได้จัดทำตารางสรุปค่าประสิทธิภาพการชลประทานในเกณฑ์สูง เกณฑ์ต่ำ และเกณฑ์เฉลี่ย ไว้ในตารางที่ 4.7 และรวบรวมค่าประสิทธิภาพการชลประทานที่มีผู้ประเมินไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพการชลประทานในประเทศไทยที่มีการประเมินไว้ ส่วนใหญ่มีค่า 40-50%

ตารางที่ 4.7เกณฑ์ประสิทธิภาพการชลประทาน

	เกณฑ์ต่ำ	เกณฑ์สูง	เกณฑ์เฉลี่ย
ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (Application Efficiency, E_a)	50	80	65
แบบผิวดิน	50	80	65
แบบใต้ผิวดิน		ไม่เกิน 60	
แบบฉีดฝอย (Sprinkler)	60	80	70

แปลงนาข้าว	65	75	70
ประสิทธิภาพคูส่งน้ำ (Field Canal Efficiency, E_b)	70	90	80
ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Conveyance Efficiency, E_c)	65	90	78
ประสิทธิภาพการชลประทาน(Irrigation Efficiency, E_i)	23	65	44

ที่มา : สรุปจาก Doorenbos and Pruitt(1977) and Ilaco/Empire M&T(1979)



รูปที่ 4.3 การแจกแจงประสิทธิภาพการชลประทานในประเทศไทย (วราวุธ. 2548)

4.8 การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทาน(Calculation of Irrigation Water Requirements)

การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานในระบบส่งน้ำสำหรับการวางแผนการส่งน้ำ จะต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับสภาพดิน ภูมิอากาศ พืชที่ปลูก วิธีการให้น้ำ วิธีการส่งน้ำและสมรรถนะของระบบส่งน้ำของโครงการ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานโดยใช้สูตรที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.2

ความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณ ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของข้อมูล ดังต่อไปนี้

(1)รูปแบบการปลูกพืช(Cropping Pattern) ซึ่งแสดงถึงชนิดของพืชที่ปลูก ช่วงที่ปลูก ตลอดจนพื้นที่ที่ปลูกพืชแต่ละชนิด

(2) คุณสมบัติของพืช เช่น ความลึกของเขตราก จุดวิกฤต(Critical Point) ปริมาณความต้องการน้ำของพืชรายวันเดือนหรือฤดูกาล หรือปริมาณความต้องการน้ำสูงสุด

(3) สภาพภูมิอากาศ เช่น อุณหภูมิ การระเหย รังสีอาทิตย์ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ เพื่อใช้ในการประเมินความต้องการน้ำของพืชและการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยในระบบส่งน้ำและปริมาณฝนใช้การที่จะนำมาหักลบหาความต้องการน้ำชลประทาน

(4) คุณสมบัติดิน ได้แก่ความชื้นในดิน ความสามารถอุ้มน้ำของดิน การดูดซึมน้ำและการรั่วซึม

(5) ปริมาณความต้องการน้ำเพื่อกิจการอื่นๆ เช่น การเตรียมแปลงตกกล้าการชะล้างเกลือ

(6) ประสิทธิภาพในการให้น้ำ ประสิทธิภาพระบบคูส่งน้ำและประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ

เนื่องจากปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำ การสูญเสียน้ำ และปริมาณฝนใช้การในแปลงเพาะปลูกพืชข้าวและพืชที่ไม่ใช่ข้าวต่างกันออกไป ดังรูปที่ 4.4ดังนั้น การหาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับการปลูกข้าวและพืชที่ไม่ใช่ข้าวจึงมักพิจารณาแยกออกจากกัน และนำมารวมกันเป็นความต้องการน้ำชลประทานของโครงการทีหลัง

จากรูปที่ 4.4(ก)จะสามารถเขียนสมาการสมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูกพืชที่ไม่ใช่ข้าว ได้ดังนี้

$$W_p + R_e + G_c = ET_C + P + RO + \Delta S_w \qquad (4.31)$$

เมื่อ

W_p= ปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมดที่ให้กับแปลงเพาะปลูก

R_e= ปริมาณฝนใช้การ

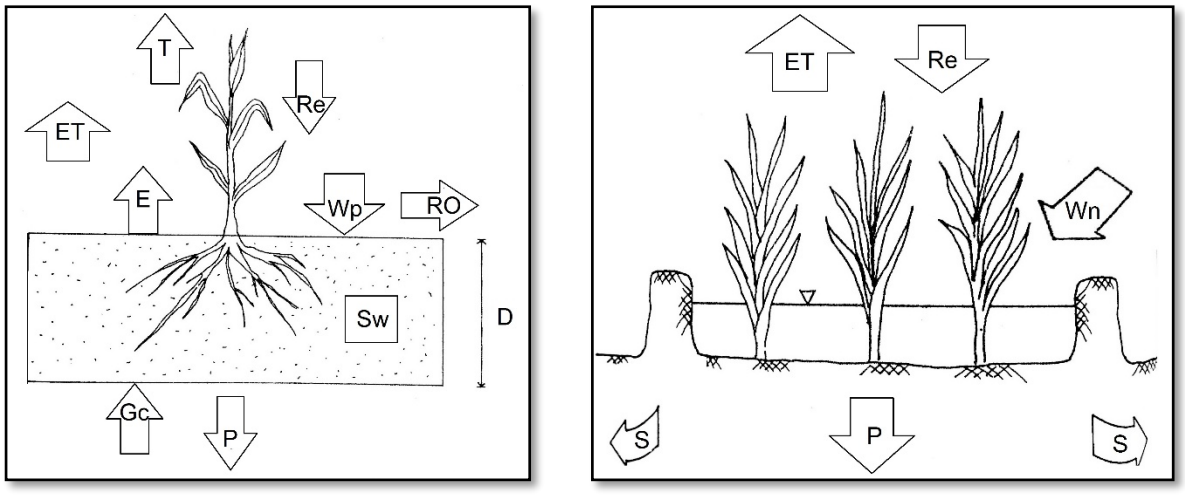
G_C= ปริมาณน้ำใต้ดินที่ซึมเข้าสู่เขตรากพืช

ET_C= ปริมาณการใช้น้ำของพืช

P= ปริมาณน้ำที่ไหลซึมเลยเขตราก

RO.=ปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง

ΔS_w= ปริมาณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน



(ก) แปลงพืชที่ไม่ใช่ข้าว (ข) แปลงข้าว

รูปที่ 4.4สมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูก

การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานของแปลงพืชที่ไม่ใช่ข้าวตามวิธีในสมการที่ 4.31 เป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้องแน่นอนแต่ในทางปฏิบัติการคำนวณค่าความต้องการน้ำชลประทานเพื่อการวางแผนการส่งน้ำจะใช้วิธีการคำนวณเป็นช่วงๆ เช่น รายสัปดาห์ หรือรายเดือน ดังนั้น จะถือว่าค่า ΔS_w เป็นศูนย์ และโดยทั่ว ๆ ไปจะไม่ทราบปริมาณน้ำใต้ดิน(G_C) มีประโยชน์ต่อพืช ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลเลยเขตราก (P) และปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง (RO) จะนำไปคิดรวมในประสิทธิภาพในการให้น้ำ ดังนั้นสมการ 4.31 จะสามารถเขียนใหม่ในรูปของปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ ได้ดังนี้

$$W_n = W_p - P - RO = ET_C - R_e \quad (4.32)$$

เมื่อ

W_n= ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ

จากรูปที่ 4.4(ข)จะสามารถเขียนสมการสมดุลน้ำในแปลงเพาะปลูกข้าว ได้ดังนี้

$$W_n + R_e = ET_C + P + S \quad (4.33)$$

เมื่อ

S = การรั่วซึมทางด้านข้าง(Seepage)

ปกติ S มีค่าไม่มากนัก จึงมักรวมเทอม P และ S เข้าด้วยกัน เป็น PS และรวมเรียกว่าการรั่วซึมในแปลงนา ดังนั้นสมการ 4.33 สามารถเขียนในรูป W_n ได้ดังนี้

$$W_n = ET_C + PS - R_e \quad (4.34)$$

ตัวอย่างที่ 4.4 จงคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานที่แปลงเพาะปลูกและที่คูส่งน้ำ จากข้อมูลที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้

- แปลงเพาะปลูกดังกล่าวมีพื้นที่ 250 ไร่ รับน้ำจากคูน้ำสายหนึ่ง
- พืชที่ปลูกคือไร่ มีค่า ET_C = 125 มม./เดือน
- ปริมาณฝนใช้การ(R_e) = 43 มม./เดือน
- ประสิทธิภาพในการให้น้ำ(E_a) = 55%
- และประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ(E_b) = 80%

วิธีทำ

คำนวณปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ จากสมการที่ 4.27

$W_n = ET_C - R_e = 125 - 43 = 82$ มม./เดือน

คำนวณปริมาณความต้องการน้ำชลประทานที่แปลงเพาะปลูก จากสมาการที่ 4.ปป

$$W_p = 100\frac{W_n}{E_a} = 100\ (82/55) = 149 \text{ มม./เดือน}$$

= 149 มม. / 30 วัน = 4.97 มม./วัน

$$= \frac{4.97}{54} = 0.092 \text{ ลิตร/วินาที/ไร่}$$ (หมายเหตุ 1 ลิตร/วินาที/ไร่ = 54 มม./วัน)

= 0.092 x 250 = 23 ลิตร/วินาที

คำนวณปริมาณความต้องการน้ำชลประทานที่คูส่งน้ำ จากสมการที่ 4.28

$$W_f = 100\frac{W_p}{E_b} = 100\ (4.97/80) = 6.21 \text{ มม./วัน}$$

= (6.21/54) x 250 = 29 ลิตร/วินาที

ในกรณีที่มีการปลูกพืชหลายอย่างในพื้นที่เพาะปลูก จะต้องคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของพืชแต่ละอย่างในแต่ละช่วงเวลา และเมื่อรวมปริมาณความต้องการน้ำชลประทานที่ต้องส่งไปให้พืชแต่ละชนิดเข้าด้วยกัน จะได้ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานทั้งหมดที่จะต้องส่งให้พื้นที่เพาะปลูก

ตัวอย่างที่ 4.5 จงหาปริมาณน้ำความต้องการน้ำชลประทานที่จะต้องส่งให้คูส่งน้ำสายหนึ่ง จากข้อมูลดังต่อไปนี้

- แปลงเพาะปลูกดังกล่าวมีพื้นที่ 300 ไร่ รับน้ำจากคูน้ำสายหนึ่ง
- พืชที่ปลูกคือข้าว มีค่า ET_C = 170มม./เดือน

- ปริมาณฝน(R) ที่ตกในพื้นที่เพาะปลูก = 100 มม./เดือน
- ปริมาณการรั่วซึมในแปลงนา(PS) =2 มม./วัน
- ประสิทธิภาพการให้น้ำ(E_a) =55%
- ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ(E_b) = 80%

วิธีทำ

จากตารางที่ 4.5 สมมติให้สภาพแปลงนาเป็นในกรณีที่ 1 และไม่ใช่เดือนตุลาคม

เมื่อ R = 100 มม./เดือน จะได้ Re = 80 มม./เดือน

คำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ(W_n)จากสมการที่ 4.34

$W_n = ET_C + PS - R_e = 170 + 2 \times 30 - 80 = 150$ มม./เดือน

= 150มม./30 วัน = 5 มม./วัน

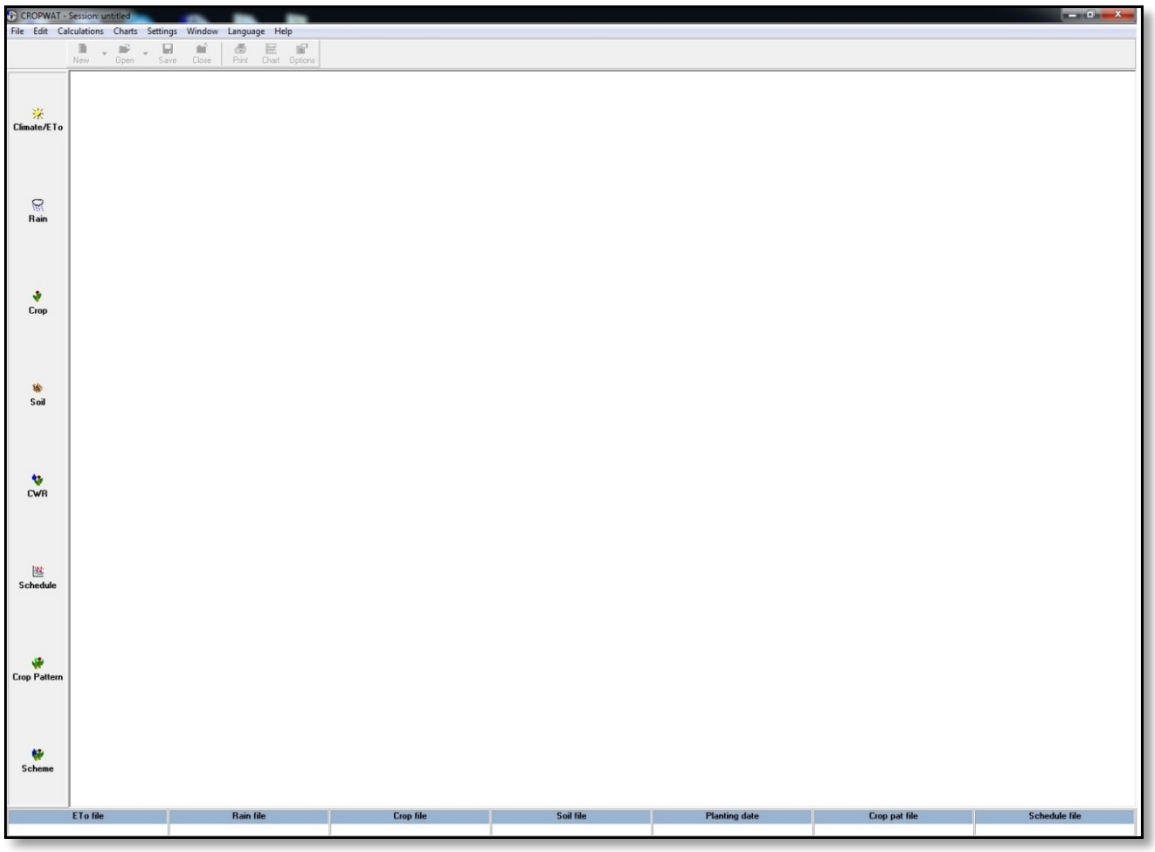
= (5/54) x 300 ไร่ = 28 ลิตร/วินาที

คำนวณปริมาณน้ำชลประทานที่จะต้องส่งให้คูส่งน้ำ จาก

$$W_f = \frac{W_n}{(E_a/100)(E_b/100)} = 28/(0.55 \times 0.80) = 63 \text{ ลิตร/วินาที}$$

4.9 การหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานโดยโปรแกรม CROPWAT

โปรมแกรม CROPWAT 8.0 ประกอบด้วย 8 เมนูหลัก มี 5 เมนูสำหรับการป้อนข้อมูล(Data Input Menu) และ 3 เมนูสำหรับการคำนวณ(Calculation Menu) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เมนูหลักของ CROPWAT 8.0

4.9.1 เมนูสำหรับการป้อนข้อมูล(Data Input Menu)

เมนูสำหรับการป้อนข้อมูล ได้แก่

(1) **Climate/ETo**สำหรับป้อนข้อมูล ET_Oหรือข้อมูลภูมิอากาศเพื่อคำนวณ ET_O โดยวิธี Penman-Monteith

(2) **Rain**สำหรับป้อนข้อมูลฝน และคำนวณฝนใช้การ โดยวิธีที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.6.1

(3) **Crop**สำหรับป้อนข้อมูลพืช เช่นช่วงเวลาการเจริญเติบโต K_Cและวันที่ปลูกพืช

(4) **Soil**สำหรับป้อนข้อมูลดิน เช่น Field Capacity, Permanent Wilting Point, Depletion Fraction(p) สำหรับใช้คำนวณเพื่อกำหนดการให้น้ำแก่พืช(Irrigation Scheduling)

(5) **Crop pattern**สำหรับป้อนข้อมูลรูปแบบการปลูกพืช เพื่อใช้ในการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของโครงการ (Scheme Water Supply)

4.9.2 เมนูสำหรับการคำนวณ(Calculation Menu)

เมนูสำหรับการคำนวณ ได้แก่

(6) **CWR**สำหรับการคำนวณความต้องการน้ำของพืชตามสมการ $ET_C = K_C.ET_O$

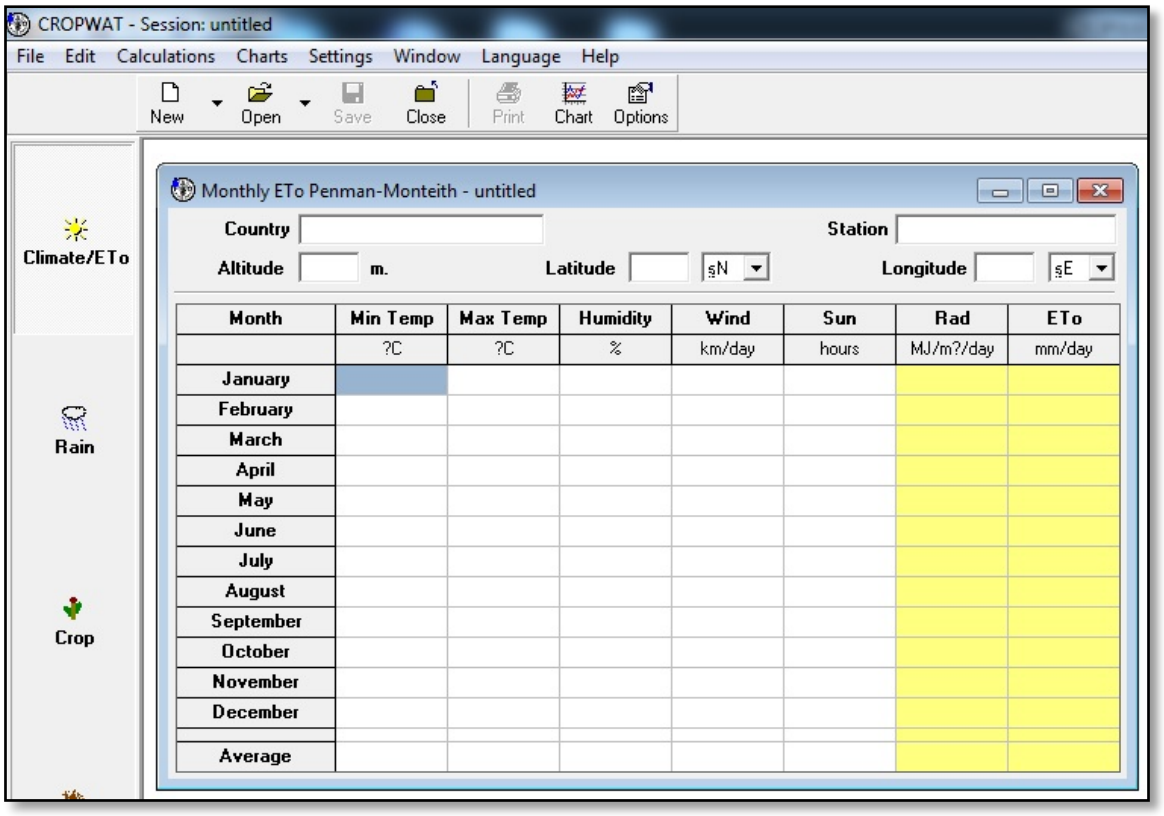
(7) **Schedules**สำหรับการคำนวณตารางการให้น้ำชลประทาน(Irrigation Schedule) ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในโปรแกรม ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกทางเลือกในการกำหนดการให้น้ำได้

(8) **Scheme**สำหรับการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของโครงการจากรูปแบบการปลูกพืชที่กำหนดไว้ในเมนูที่ 5 (Crop pattern)

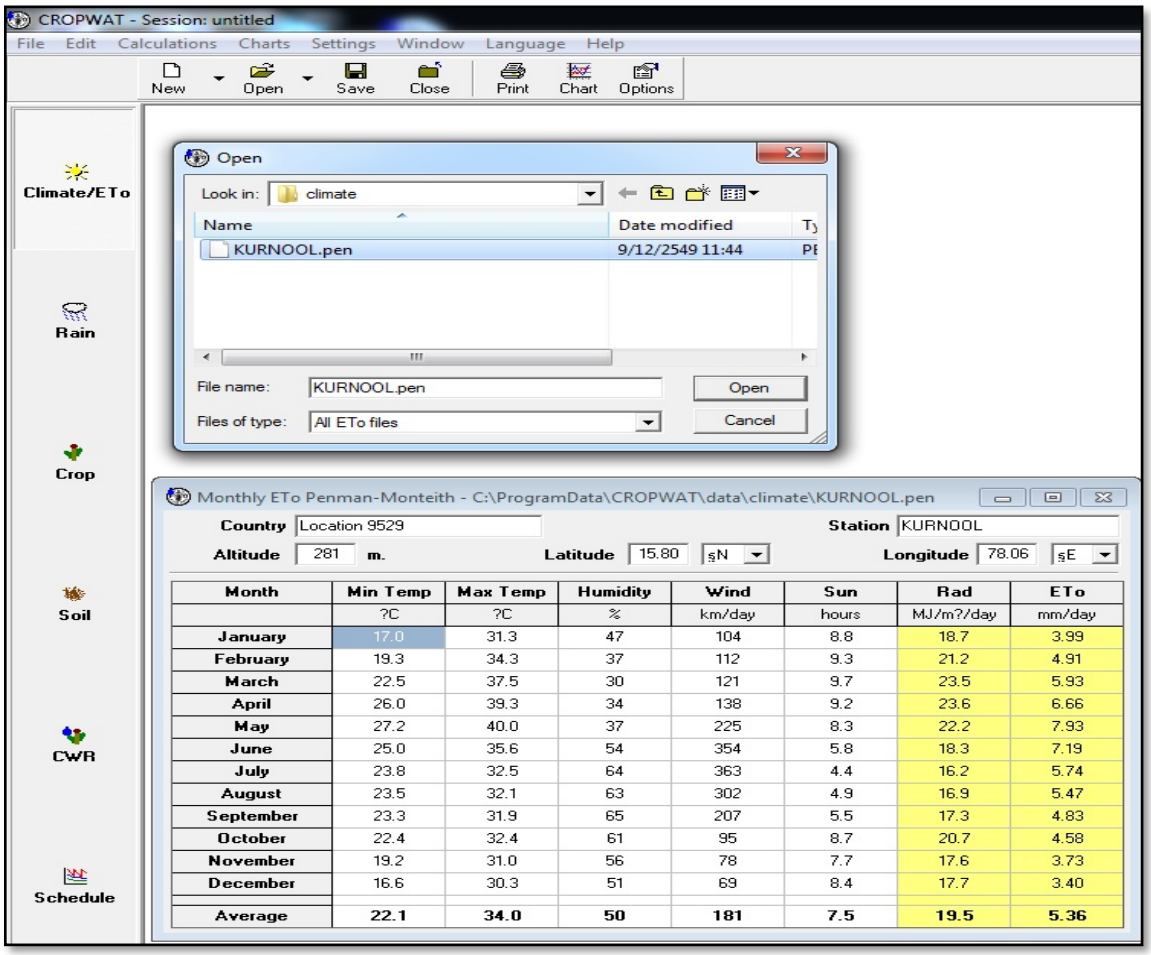
4.9.3 วิธีการใช้งานโปรแกรม CROPWAT เบื้องต้น

คำแนะนำในการใช้โปรแกรม CROPWAT 8.0 เบื้องต้น คือ

- เมื่อเปิดโปรแกรมให้เข้า Setup เพื่อจัดการ Folder เก็บข้อมูลและรูปแบบข้อมูลที่จะใช้
- Click ที่ Icon (เมนู) ด้านซ้ายมือเช่น Climate/ETo, Rain, Crop, Soil จะปรากฏตารางสำหรับการกรอกข้อมูลใหม่ดังรูปที่ 4.6 แต่ถ้ามีไฟล์ข้อมูลอยู่แล้วให้เลือกไฟล์ข้อมูลโดยเข้า File + Open Data Files ข้อมูลจะถูก Load เข้าตารางพร้อมแสดงผลการคำนวณ ดังรูปที่ 4.7 -4.12

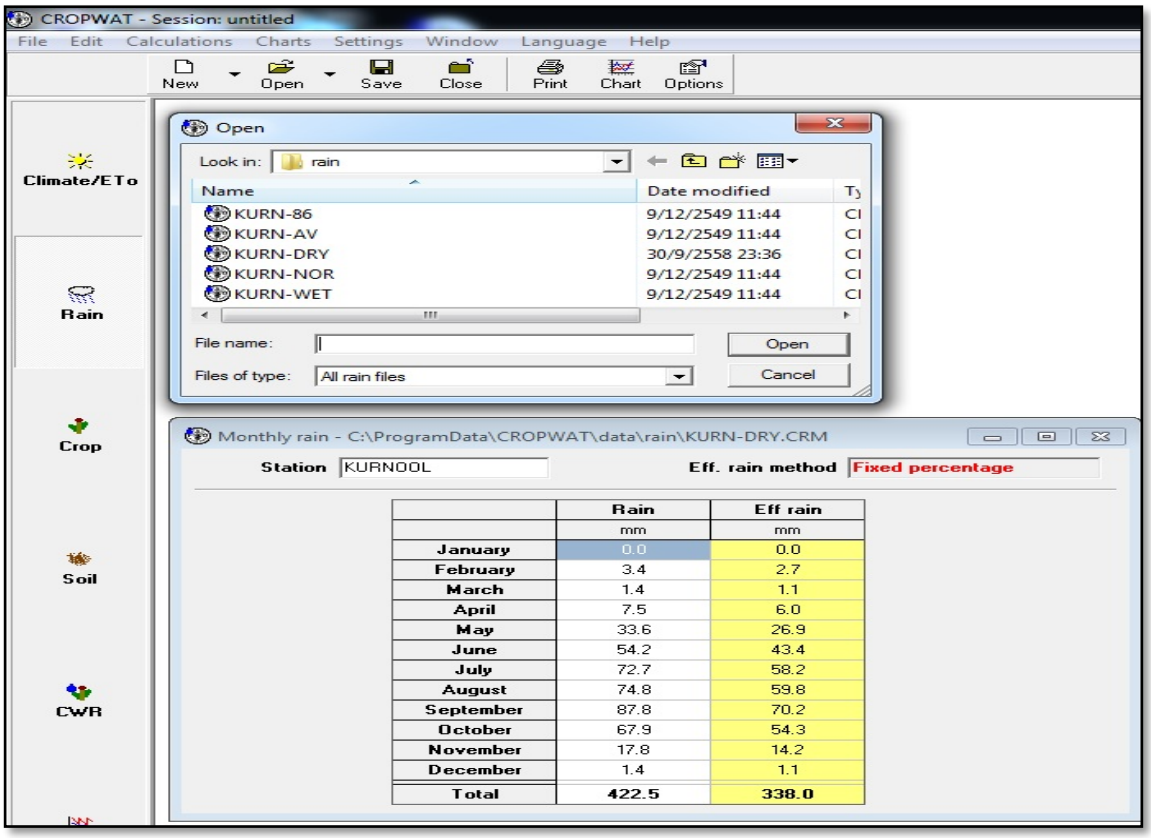


รูปที่ 4.6 ตารางสำหรับป้อนข้อมูลภูมิอากาศเพื่อคำนวณ EToเมื่อคลิ๊กที่ Climate/ETo



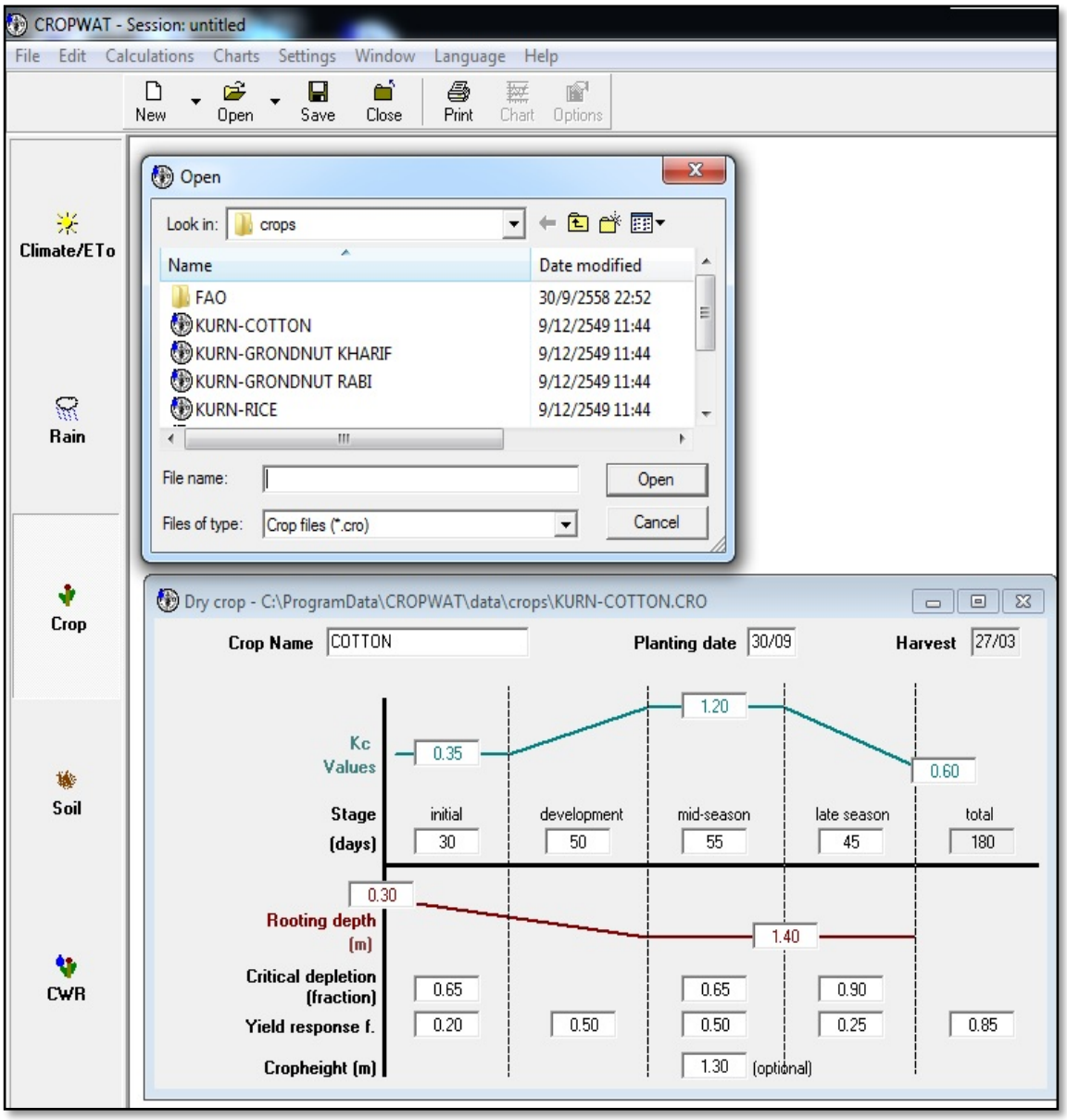
Month	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo
	?C	?C	%	km/day	hours	MJ/m?/day	mm/day
January	17.0	31.3	47	104	8.8	18.7	3.99
February	19.3	34.3	37	112	9.3	21.2	4.91
March	22.5	37.5	30	121	9.7	23.5	5.93
April	26.0	39.3	34	138	9.2	23.6	6.66
May	27.2	40.0	37	225	8.3	22.2	7.93
June	25.0	35.6	54	354	5.8	18.3	7.19
July	23.8	32.5	64	363	4.4	16.2	5.74
August	23.5	32.1	63	302	4.9	16.9	5.47
September	23.3	31.9	65	207	5.5	17.3	4.83
October	22.4	32.4	61	95	8.7	20.7	4.58
November	19.2	31.0	56	78	7.7	17.6	3.73
December	16.6	30.3	51	69	8.4	17.7	3.40
Average	22.1	34.0	50	181	7.5	19.5	5.36

รูปที่ 4.7 การเลือกไฟล์ข้อมูลภูมิอากาศและผลการคำนวณ ETo

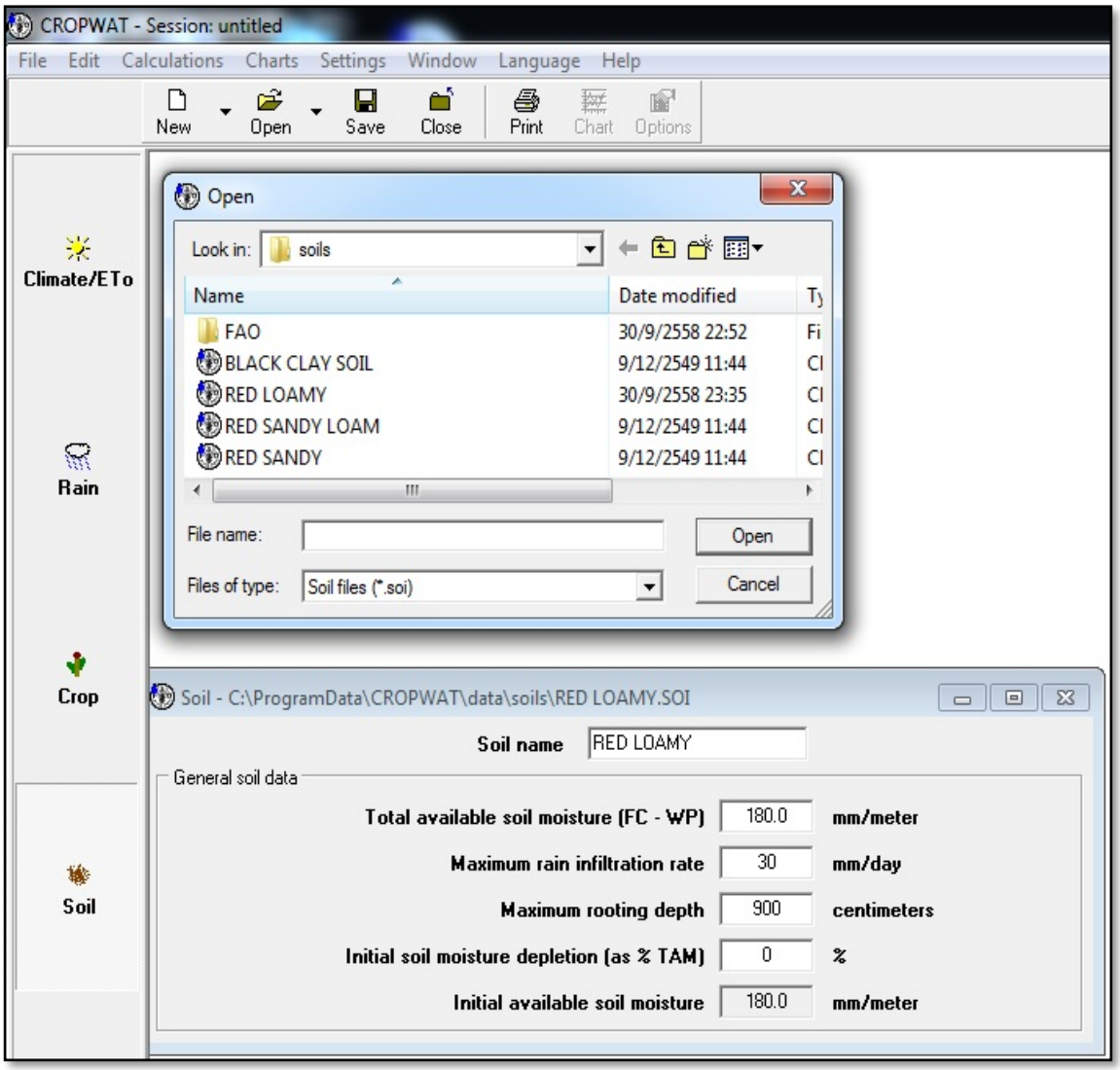


	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	0.0	0.0
February	3.4	2.7
March	1.4	1.1
April	7.5	6.0
May	33.6	26.9
June	54.2	43.4
July	72.7	58.2
August	74.8	59.8
September	87.8	70.2
October	67.9	54.3
November	17.8	14.2
December	1.4	1.1
Total	422.5	338.0

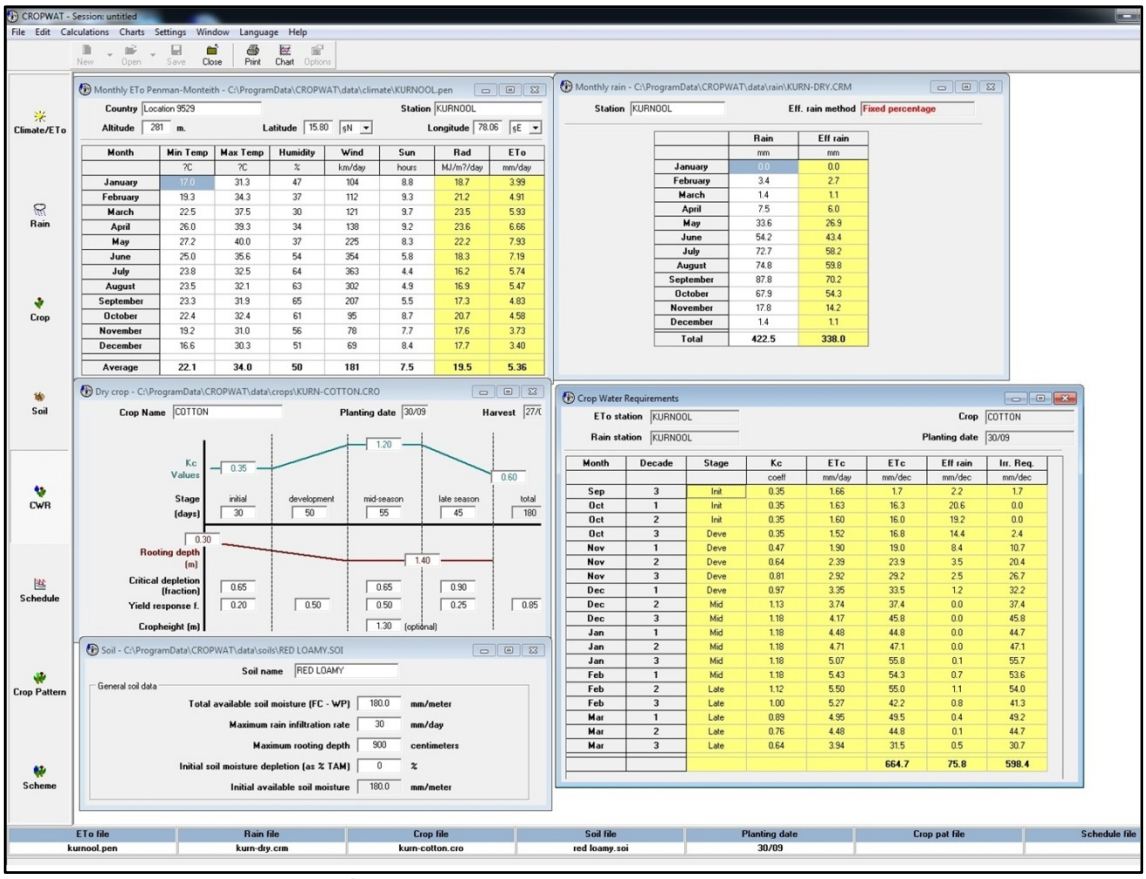
รูปที่ 4.8 การเลือกไฟล์ข้อมูลฝนและผลการคำนวณฝนใช้การ



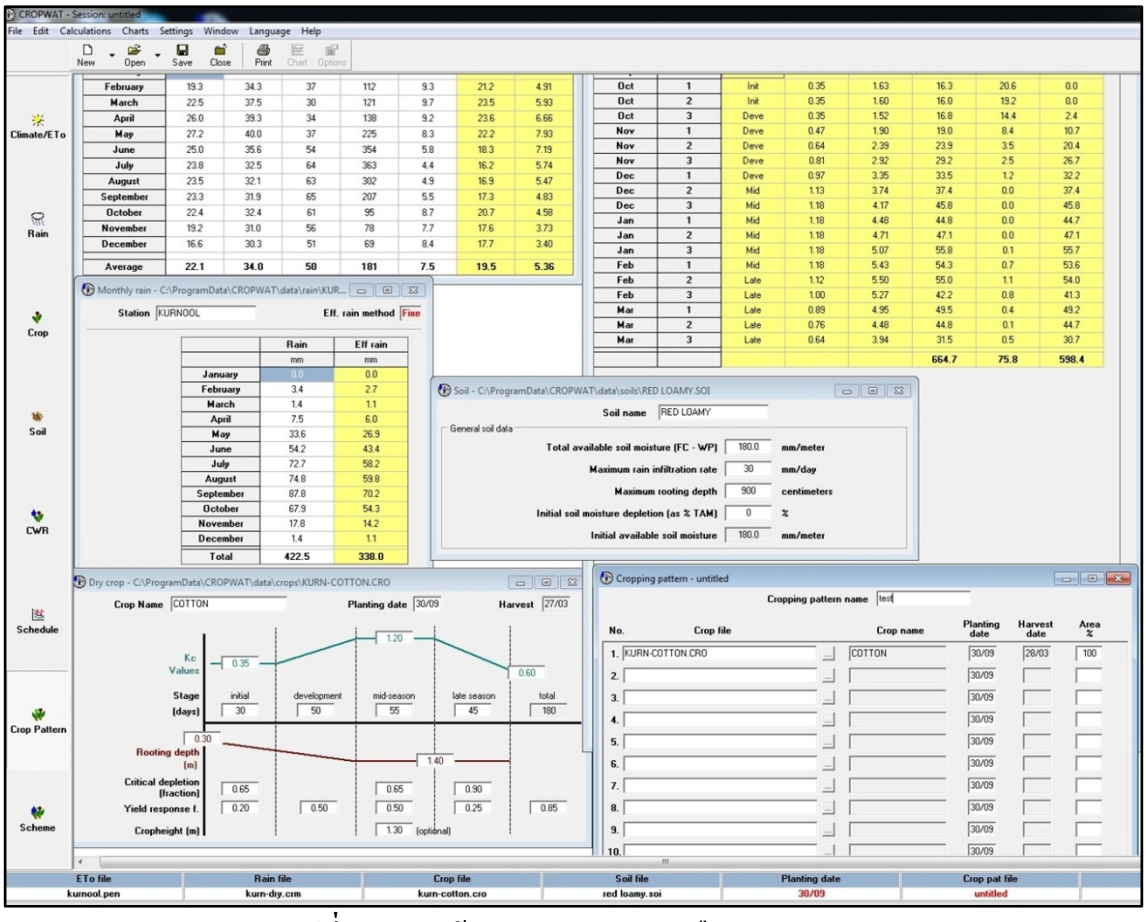
รูปที่ 4.9 การเลือกไฟล์ข้อมูลพืช



รูปที่ 4.10 การเลือกไฟล์ข้อมูลดิน



รูปที่ 4.11 ผลการคำนวณ Crop Water Requirement



รูปที่ 4.12 การป้อนรูปแบบการปลูกพืช (Crop Pattern)

4.10 เอกสารอ้างอิง

ฉลอง เกิดพิทักษ์(2526). การจัดการน้ำในลุ่มน้ำของประเทศไทย. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์.กทม.

วราวุธ วุฒิวณิชย์(2525).การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2548). ประสิทธิภาพการชลประทานในประเทศไทย. การประชุมวิชาการ เรื่องน้ำของประเทศไทยครั้งที่ 1. 22 เมย. 2548

วัชระ เสือดี (2537). การพัฒนาโปรแกรมติดตามผลและประเมินผลการใช้น้ำโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท . บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาตร์. 445น.

วิบูลย์ บุญยธโรกุล(2526). หลักการชลประทาน.โรงพิมพ์เอเชีย กทม.

4.11 แบบฝึกหัด

(1) ให้แต่ละกลุ่มคำนวณความต้องการน้ำชลประทานรายเดือนโดยใช้ Program CROPWAT 8.0 จากข้อมูลภูมิอากาศใน ข้อ 1 ของแบบฝึกหัดในบทที่ 3 และระบบการปลูกพืชในข้อ 2 ของแบบฝึกหัดในบทที่ 3 และข้อมูลฝนในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลฝนรายเดือน

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4	Group 5
	KamphengSean	Lampang	U Thong	Tak Fa	NongPhlub
January	15	30	21	26	32
February	25	50	32	43	56
March	37	65	48	56	69
April	65	86	76	79	89
May	73	95	89	91	97
June	82	105	115	120	135
July	105	128	137	145	165
August	153	186	195	198	201
September	180	201	210	206	225
October	175	196	195	201	215
November	50	65	76	79	89
December	20	35	48	52	62
Total	980	1,242	1,242	1,296	1,435
Effective rainfall method	Fixed percentage (80%)	Dependable rainfall (FAO)	Default Empirical Formula	USDA	Rainfall not considered in irrigation calculation

(2) จงคำนวณหาความต้องการน้ำของพืช (Crop Water Requirements) รายเดือน จากข้อมูลภูมิอากาศและพืชที่กำหนดให้ในตารางที่ 1-5 แต่ละกลุ่มเลือกคำนวณหาความต้องการน้ำของพืชจากตารางที่กำหนดให้ 1 ตาราง ข้อมูลเกี่ยวกับ K_c ให้ดูจากตารางค่า K_c ของ FAO

ตารางที่ 1 สำหรับกลุ่ม 1 ซึ่งกำหนดให้ปลูกอ้อยปลูกใหม่ (Sugarcane-Virgin) วันที่ 1 มีนาคม

Station Name :	KamphengSean	Province :		Nakhon Pathom
Latitude(N) :	14.00	Longitude(E) :		99.9
Altitude(m) :	7.46	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	24.6	69	1.2	8.1
February	27.0	67	1.7	8.3
March	29.1	66	2.1	8.4
April	30.6	67	2.0	8.4
May	29.9	71	1.6	7.0
June	29.0	73	1.6	5.1
July	28.7	73	1.8	5.3
August	28.5	75	1.9	4.4
September	28.1	77	1.1	5.2
October	27.1	78	1.2	6.1
November	25.3	76	1.8	7.4
December	23.3	71	1.8	8.1

ตารางที่ 2 สำหรับกลุ่ม 2 ซึ่งกำหนดให้ปลูกอ้อยตอ (Sugarcane-Ratoon) วันที่ 1 กุมภาพันธ์				
Station Name :	Lampang	Province :		Lampang
Latitude(N) :	18.30	Longitude(E) :		99.30
Altitude(m) :	314.95	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	22.6	66	1.3	8.3
February	25.3	60	1.6	8.5
March	28.6	56	1.5	8.3
April	30.5	58	1.4	8.3
May	29.3	68	1.2	7.2
June	28.0	74	1.0	4.9
July	27.7	75	0.9	4.2
August	27.5	76	0.8	4.3
September	27.2	76	0.8	5.6
October	26.3	75	0.9	6.2
November	24.3	71	1.0	7.0
December	21.5	68	1.1	8.0

ตารางที่ 3 สำหรับกลุ่ม 3 ซึ่งกำหนดให้ปลูกข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (Maize) วันที่ 1 เมษายน				
Station Name :	U Thong	Province :		Suphanburi
Latitude(N) :	14.30	Longitude(E) :		99.80
Altitude(m) :	5.88	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	24.9	67	1.6	7.9
February	27.3	64	1.9	8.0
March	29.5	62	2.7	8.1
April	30.9	64	2.4	8.2
May	30.3	69	2.4	6.9
June	29.5	73	2.9	4.5
July	29.2	72	3.0	4.5
August	28.9	73	2.9	3.8
September	28.3	77	1.6	5.1
October	27.3	79	1.6	6.3
November	25.7	74	2.3	7.5
December	24.1	69	2.3	7.8

ตารางที่ 4 สำหรับกลุ่ม 4 ซึ่งกำหนดให้ปลูกหน่อไม้ฝรั่ง (Asparagus) วันที่ 1 กุมภาพันธ์				
Station Name :	Tak Fa	Province :		Nakorn Sawan
Latitude(N) :	15.30	Longitude(E) :		100.50
Altitude(m) :	86.67	Elev. of Wind Vane(m) :		11
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	25.7	60	0.7	8.1
February	28.0	61	1.0	8.2
March	30.0	63	1.2	8.0
April	31.1	64	1.2	8.2
May	30.1	69	1.0	7.0
June	29.1	72	0.9	5.2
July	28.5	73	0.8	5.1
August	28.2	74	0.7	4.5
September	27.8	77	0.4	4.9
October	27.4	74	0.8	6.2
November	26.2	66	1.0	7.5
December	24.9	61	1.1	8.1

ตารางที่ 5 สำหรับกลุ่ม 5 ซึ่งกำหนดให้กล่ำปลี (Cabbage) วันที่ 1 กันยายน				
Station Name :	NongPhlub	Province :		Prachuap Khiri Khun
Latitude(N) :	12.60	Longitude(E) :		99.70
Altitude(m) :	106.2	Elev. of Wind Vane(m) :		10.15
Month	Mean Temp.	Humidity	Wind Speed	Sunshine Hours
	(celcius)	(%)	(m/s)	(hrs)
January	24.5	70	1.6	7.9
February	26.2	69	1.8	8.2
March	27.9	68	2.0	8.3
April	29.2	69	1.8	7.6
May	28.7	74	1.7	5.5
June	27.9	75	1.7	3.6
July	27.8	74	1.6	4.1
August	27.6	76	1.5	3.2
September	27.3	76	1.2	4.1
October	26.5	79	1.0	4.7
November	25.1	77	1.4	6.0
December	23.7	71	1.6	7.7

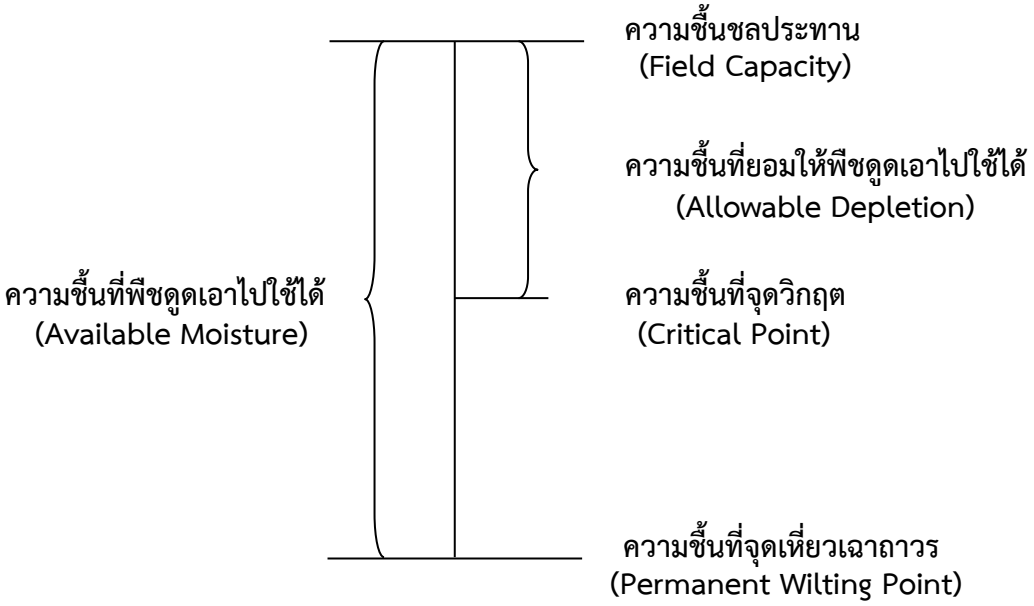
(2) กำหนดให้โครงการชลประทานแห่งหนึ่ง มีพื้นที่ 100,000 ไร่ มีการปลูกพืช 5 ชนิด คืออ้อยปลูกใหม่ อ้อยตอ ข้าวโพดหน่อไม้ฝรั่งและกล่ำปลี โดยมีข้อมูลการเพาะปลูกและประสิทธิภาพการชลประทานดังตารางที่ 6 จงคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานรายเดือนของโครงการชลประทานดังกล่าว ในหน่วย มม./เดือน และลูกบาศก์เมตร/เดือน

ตารางที่ 6 ข้อมูลการเพาะปลูกและประสิทธิภาพการชลประทาน		
พืช	พื้นที่ (%)	ประสิทธิภาพการชลประทาน (%)
1.อ้อยปลูกใหม่	30	75
2.อ้อยตอ	30	75
3.ข้าวโพด	20	70
4.หน่อไม้ฝรั่ง	10	85
5.กล่ำปลี	10	90

หมายเหตุ: 1. ให้แต่ละกลุ่มใช้ข้อมูลการคำนวณความต้องการน้ำของพืชของกลุ่มอื่นประกอบ

บทที่ 5 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช (Irrigation Scheduling)

5.1. หัวใจของการชลประทานระดับไร่นา



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

5.2. คุณสมบัติของดินเกี่ยวข้องกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

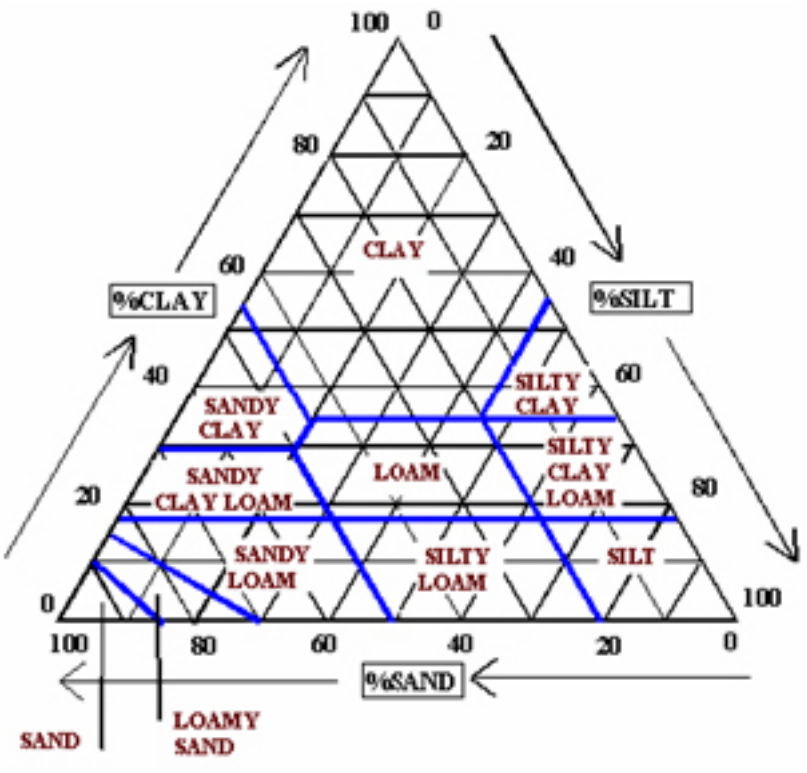
5.2.1 เนื้อดิน (Soil Texture)เนื้อดินหมายถึงคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวกับเม็ดดินซึ่งดินในการเกษตรประกอบไปด้วยเม็ดดิน 3 ชนิด คือ

1) เม็ดทราย (Sand) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.05 – 2.00 มม.

2) เม็ดตะกอนทราย (Silt) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 0.002 – 0.05 มม.

3) เม็ดดินเหนียว (Clay) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.002 มม.

การแยกเม็ดดินทั้ง 3 ชนิด ออกจากกันทำได้โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Hydrometer Method



รูปที่ 2 กราฟแสดงการแบ่งแยกประเภทเนื้อดินตามสัดส่วนของเม็ดทราย เม็ดตะกอนทราย และเม็ดดินเหนียว ตามมาตรฐานของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา

ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินกลุ่มที่สำคัญ มีดังต่อไปนี้

1) **ดินทราย (Sand)** ประกอบด้วยทรายมากกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ จึงมีลักษณะหลวงตัวและแยกกันเป็นเม็ด ๆ ทรายแต่ละเม็ด

สามารถมองเห็นและสัมผัสได้โดยง่าย เมื่อใช้มือบีบขณะแห้งแล้วคลายออก ทรายจะร่วงหล่นแยกออกจากกัน ถ้าบีบกดเมื่อเปียกชื้น ทรายจะจับเป็นก้อน แต่จะแตกเมื่อจับต้อง

2) **ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)**ประกอบด้วยทรายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่มีตะกอนและดินเหนียวปนอยู่พอที่จะทำให้จับตัวกันเป็นก้อนได้บ้าง ทรายแต่ละเม็ดจะสามารถมองเห็นและสัมผัสได้ ถ้าบีบไว้ในมือ เมื่อชื้นจะจับตัวเป็นก้อนแข็งและไม่แตกเมื่อใช้นิ้วกดเบา ๆ

3) **ดินร่วน (Loam)** มีส่วนผสมของทราย ตะกอนทราย และดินเหนียวในอัตราส่วนอย่างละพอ ๆ กัน มีลักษณะอ่อนนิ่มเมื่อจับ แต่พอจะสังเกตได้ว่า มีความหยาบกระด้างของทรายอยู่บ้าง เมื่อเปียกจะเหนียวเล็กน้อย ถ้าทำให้แน่นในเมื่อขณะที่แห้งจะเป็นก้อนไม่แตก เมื่อใช้นิ้วกดเบา ๆ แต่ถ้าทำให้แน่นในขณะที่ดินเปียกจะเป็นก้อนแข็งไม่แตก

4) **ดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt Loam)** ประกอบด้วยตะกอนทรายมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ มีทรายละเอียดปนอยู่เป็นจำนวนปานกลาง และมีดินเหนียวปนอยู่จำนวนเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อแห้งมักจะจับตัวเป็นก้อน แต่ก้อนดินเหล่านี้สามารถจะทำให้แตกได้ง่าย เมื่อบดขยี้จะรู้สึกอ่อนนุ่ม เหมือน

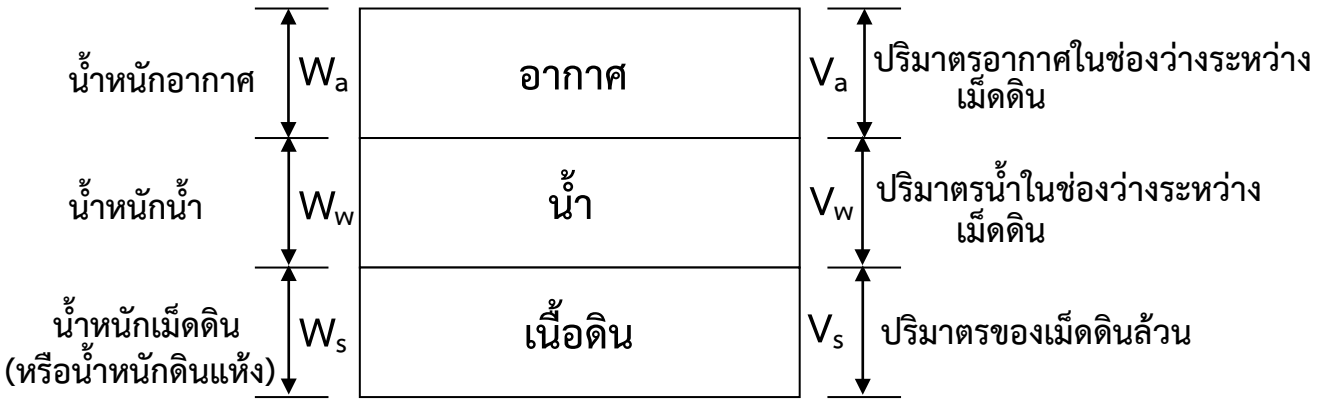
แป้ง ไม่ว่าจะแห้งหรือเปียก ดินมักจะจับตัวเป็นก้อน ซึ่งหยิบจับได้โดยไม่แตกหัก

5) **ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)** เป็นดินที่มีเนื้อละเอียดเป็นก้อนหรือแผ่น ซึ่งมักจะแข็งเมื่อแห้ง เมื่อใช้นิ้วบี้ดูจะเป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งแตกได้ง่าย เนื้อดินเปียกจะจับตัวเป็นก้อน ซึ่งจะต้องจับเบา ๆ เมื่อตกจะไม่แตกเป็นผงและจะกลายเป็นก้อนที่อัดตัวแน่น

6) **ดินเหนียว (Clay)** เป็นดินที่มีเนื้อละเอียด ซึ่งส่วนมากเมื่อแห้งมักจะจับตัวเป็นแผ่นหรือก้อนแข็ง เมื่อทำให้เปียกจะปั้นเป็นก้อนได้ และมักจะมีลักษณะเหนียว เมื่อใช้นิ้วบี้ดู จะเป็นแผ่นยืดหยุ่น

5.2.2 ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (Appearent specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (A_S) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของดินแห้งต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าดินทั้งก้อนซึ่งรวมถึงช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วย



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเม็ดดิน น้ำ และอากาศในก้อนดิน

จากรูป เพราะฉะนั้น $A_s = \frac{W_s}{\square_w V}$

เมื่อ A_s = ความถ่วงจำเพาะปรากฏ

W_s = น้ำหนักของดินแห้ง

V = ปริมาตรของดินทั้งก้อน ซึ่งเท่ากับ ปริมาตรของอากาศ (V_a) + ปริมาตรน้ำ (V_w) + ปริมาตรของเม็ดดิน (V_s)

$\square_w$ = ความหนาแน่นของน้ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 กรัม ต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร หรือ 62.4 ปอนด์ ต่อ ลูกบาศก์ฟุต

ตารางที่ 1 ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน (A_s)

เนื้อดิน	**ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (A_s)**
ดินทราย (Sandy)	1.55 – 1.80 (เฉลี่ย 1.65)
ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)	1.40 – 1.50 (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)

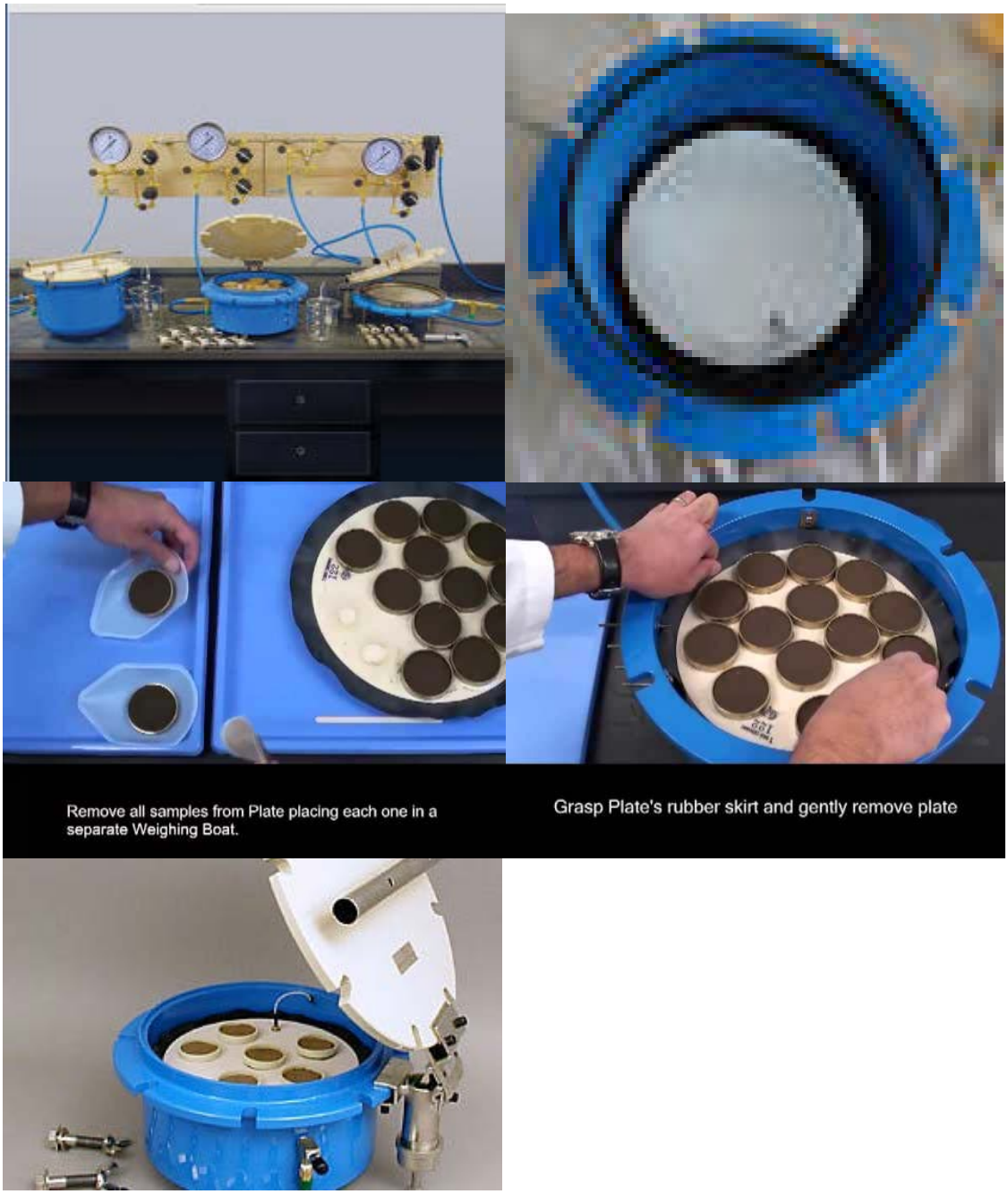
5.2.3 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (Water holding capacity of soil)

ความชื้นชลประทานหมายถึง ความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อแรงดึงความชื้นภายในดินมีค่าอยู่ระหว่าง 1/10 ถึง 1/3 บรรยากาศ (1/10 บรรยากาศสำหรับดินทราย และ 1/3 บรรยากาศสำหรับดินเหนียว)

ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร คือความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน เมื่อดินมีแรงดึงความชื้นเท่ากับ 15 บรรยากาศ จากนิยามดังกล่าวจะสามารถหาค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉา ได้โดยใช้เครื่องแยกความชื้นออกจากดิน (Soil Moisture Extractor)

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 แต่ถ้า

ต้องการรู้ความสามารถอุ้มน้ำของดินที่แรงดึงความชื้นอื่น ๆ นอกจาก 1/10 หรือ 1/3 หรือ 15 บรรยากาศ



รูปที่ 5 เครื่องแยกความชื้นจากดิน (Soil Moisture Extractor)

ตารางที่ 2 ค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรของดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	**ความชื้นชลประทาน % โดยน้ำหนักดินแห้ง**	**ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร % โดยน้ำหนักดินแห้ง**
ดินทราย (Sandy)	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 – 22 (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)

ตารางที่ 3 ความชื้นที่พืชนำเอาไปใช้ประโยชน์ในดินชนิดต่าง ๆ

เนื้อดิน	**ความชื้นที่พืชนำเอาไปใช้ได้เป็น มม. ต่อดินลึก 1 ซม.**
ดินเนื้อหยาบมาก – ดินทรายเนื้อหยาบมาก	0.35 – 0.65
ดินเนื้อหยาบ – ดินทรายหยาบ, ดินทรายละเอียด และดินทรายปนดินร่วน	0.65 – 1.00
ดินเนื้อหยาบปานกลาง – ดินร่วนปนทราย และดินร่วนปนทรายละเอียด	1.0 – 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
ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงมาก	1.70 – 2.50

5.2.4 ความชื้นที่จุดวิกฤต (Critical Point)

จุดวิกฤต หมายถึงจำนวนความชื้นที่พืชนำเอาไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดินในระดับที่เริ่มจะกระทบกระเทือนต่อผลผลิต

-ในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งที่พืชได้รับส่วนใหญ่เป็นน้ำชลประทาน จากการศึกษาพบว่าควรจะให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ถ้าหากหลังการให้น้ำทุกครั้งมีความชื้นที่ Field capacity ดินจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้อยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ตลอดเวลา

- ในเขตชุ่มชื้นที่มีน้ำที่พืชใช้ส่วนใหญ่อาจมาจากฝน ดังนั้นการให้น้ำจึงทำกันเฉพาะในช่วงที่ขาดฝน และถ้าหากต้องการจะใช้น้ำฝนให้มากที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดน้ำชลประทานแล้วก็จะต้องจัดที่ไว้สำหรับเก็บน้ำฝนให้มากที่สุด นั่นก็คือ ยอมให้ความชื้นในดินลดลงมาใกล้ขีดเหี่ยวเฉาที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่กระทบกระเทือนต่อผลิตผล

5.3 ช่วงวิกฤตต่อการขาดน้ำของพืช

มีช่วงเวลาหนึ่งในช่วงการเจริญเติบโตของพืชซึ่งเรียกว่าช่วงวิกฤต (Critical Period) ซึ่งเมื่อเกิดการขาดน้ำแล้วจะทำให้ปริมาณผลผลิตลดลงมากที่สุด หรือทำให้คุณภาพผลผลิตลดลง หรือทั้งปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลง

การขาดน้ำในช่วงวิกฤตจะมีผลต่อข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และธัญพืชต่าง ๆ ด้วยเหมือนกัน ถ้าพืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอในระยะเริ่มต้นของการเจริญเติบโต ช่วงวิกฤตของข้าวสาลีคือ

1) เมื่อพืชงอกอย่างสมบูรณ์แล้วและเริ่มขยายตัวโตขึ้น การขาดน้ำในช่วงนี้จะลดจำนวนรวงและจำนวน เมล็ดต่อรวง
2) ช่วงที่เริ่มออกดอก การขาดน้ำจะลดจำนวนเมล็ดต่อรวง
3) ในช่วงเริ่มต้นออกเมล็ด การขาดน้ำประกอบกับลมที่ร้อนและแห้งแล้งจะทำให้การให้เมล็ดไม่ดีหรือเมล็ดลีบ

5.4 องค์ประกอบอื่น ๆ กับการกำหนดการให้น้ำ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทุกอย่างแล้วอาจแบ่งการกำหนดการให้น้ำเป็น

1) ต้องการการให้น้ำบ่อยครั้ง จึงจะให้ผลผลิตสูง
2) ไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้ง

1) กลุ่มที่ต้องการให้น้ำบ่อยครั้ง มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูกดังนี้คือ

(ก) พืช

1. มีรากตื้น ไม่หนาแน่น และอัตราการแผ่ขยายต่ำ

2. การเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ไม่มีฝน หรือช่วงที่มีการระเหยและคายน้ำมาก

3. ผลผลิตที่ต้องการเป็น ลำต้น ใบ ดอก หรือ ผลสด

(ข) ดิน

1. ชั้นดินตื้น โครงสร้างของดินไม่ดีทำให้รากแผ่ขยายออกไปได้แคบและตื้น

2. อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินต่ำ การระบายน้ำในดินไม่ดี และมีการถ่ายเทอากาศไม่ดี

3. มีโรคที่เป็นอันตรายต่อรากพืชอยู่ในดิน

4. ดินระบายน้ำออกมาให้พืชได้น้อยเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ

5. เป็นดินเค็ม และ/หรือน้ำชลประทานมีเกลือละลายอยู่เป็นปริมาณมาก

6. มีปุ๋ยอยู่ในดินเป็นปริมาณมากหรือปุ๋ยส่วนใหญ่อยู่ในดินชั้นบน

7. ดินมีอุณหภูมิสูงมาก และพืชมีรากตื้น

(ค) ภูมิอากาศ

1. มีลักษณะที่ทำให้อัตราการระเหยและการคายน้ำสูง

(ง) การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกพืชตอนต้นฤดูแล้ง

2. ต้องการผลผลิตสูง ถึงแม้ว่าจะทำให้การเก็บเกี่ยวล่าช้าไปบ้างก็ยอม

3. ราคาของผลผลิตขึ้นอยู่กับน้ำหนักสด หรือขนาดของส่วนที่เก็บเกี่ยว

2) กลุ่มที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนัก มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศ และการจัดเพาะปลูกดังนี้คือ

(ก) พืช

1. มีรากลึก แผ่กระจายอย่างหนาแน่น และมีอัตราการแผ่ขยายของรากสูง

2. พืชมีความต้านทานต่อการขาดน้ำสูง

3. การเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในฤดูฝน หรือในช่วงที่มีการระเหยและการคายน้ำน้อย

4. ผลผลิตที่ต้องการเป็นเมล็ดหรือผลแห้ง

(ข) ดิน

1. ชั้นดินลึก โครงสร้างดี

2. อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินพอเหมาะ การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในดินดี

3. ดินระบายน้ำออกมาให้พืชได้มากเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ

4. ดินและน้ำชลประทานมีเกลืออยู่น้อย

5. มีปุ๋ยอยู่ในดินไม่มากนักและแผ่กระจายอยู่ตลอดความลึกของชั้นดิน

6. น้ำใต้ดินอยู่ในระดับที่พืชสามารถดูดมาใช้ได้บ้าง

(ค) ภูมิอากาศ

1. มีอัตราการระเหยการคายน้ำต่ำ

2. มีฝนตกในฤดูกาลเพาะปลูก

(ง) การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกและเจริญเติบโตในฤดูฝน และ/หรือในช่วงที่มีการระเหยและการคายน้ำน้อย

2. ปลูกและเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนถึงฤดูแล้ง

3. ต้องการให้ผลผลิตแก่หรือสุกเร็วเพราะว่าตลาดกำลังต้องการ ถึงแม้ว่าคุณภาพและปริมาณจะด้อยกว่าปกติก็ยอม

5.5 วิธีกำหนดการให้น้ำ

การกำหนดการให้น้ำอาจพิจารณาได้จากลักษณะอาการของพืชที่ปลูก คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับจำนวนความชื้นของดิน การคำนวณจากการใช้น้ำของพืช

5.5.1 การกำหนดให้น้ำแก่พืชโดยการวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก (Gravimetric Sampling)

(1) ความชื้นในดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง จะหาได้จากสมการ

$$P_W = 100\frac{W_W}{W_S}$$

เมื่อ P_W = ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง

W_W = น้ำหนักของน้ำในดิน

W_S = น้ำหนักของดินแห้ง

(2) ความชื้นในดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จะหาได้จากสมการ

$$P_V = 100\frac{V_W}{V}$$

เมื่อ P_V = ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

V_W = ปริมาตรของน้ำในดิน

V = ปริมาตรของดินทั้งก้อน

(3) ความชื้นในดินในรูปของความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน

ถ้าทำการเก็บตัวอย่างดินในแปลงเป็นรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 1 เมตร จากนั้นทำการแยกน้ำออกจากดินให้หมด แล้วนำไปเทลงในหลอดแก้วรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตรเท่านั้น ถ้าได้น้ำในหลอดแก้วเท่ากับ 15 เซนติเมตร จะบอกได้ว่าดินมีความชื้น 15 เซนติเมตรต่อความลึกของดิน 2 เมตร หรือดินมีความชื้น 1.5 มิลลิเมตร ต่อเซนติเมตร ความจริงแล้ว การพูดถึงความชื้นในดินแบบนี้ก็คล้าย ๆ กับที่กล่าวถึงในข้อ (2) ซึ่งจะพิสูจน์ให้เห็นจริงได้ด้วยรูป

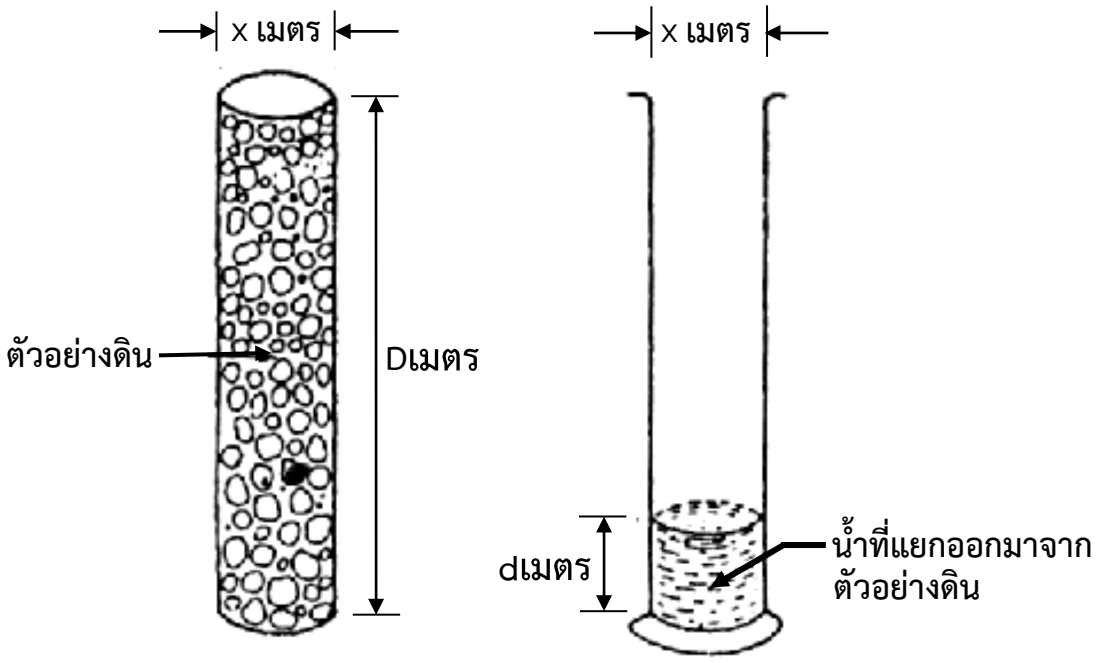
จากรูป

ความลึกของน้ำที่แยกออกจากดิน = d เมตร

∴ ปริมาตรของน้ำที่แยกออกจากดิน (V_W) = $\frac{\pi(X)^2}{4} \times d$ ลบ.ม.

ความสูงของแท่งตัวอย่างดิน = D เมตร

∴ ปริมาตรของแท่งดินตัวอย่าง (v) = $\frac{\pi(X)^2}{4} \times D$ ลบ.ม.



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในรูปความลึกของน้ำต่อความลึกของดินกับเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

จากสมการที่ 3

$$P_V = 100\frac{V_W}{V}$$

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

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

หรือ $\frac{d}{D} = \frac{P_V}{100}$

และ $P_V = P_W \times A_S$

ดังนั้น $\frac{d}{D} = \frac{P_W \times A_S}{100}$

หรือ $d = \frac{P_W \times A_S \times D}{100}$

ในการชลประทานระดับแปลงนา

ประสิทธิภาพของการชลประทานบนแปลงเพาะปลูกเป็นเปอร์เซ็นต์

$$= 100 \times \frac{\text{ปริมาณน้ำสุทธิจะต้องให้แก่พืช}}{\text{ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช}}$$

การวัดจำนวนความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนักเป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้องดี แต่ก็มีข้อเสียที่ทำให้ไม่สามารถใช้ได้ทั่ว ๆ ไปอยู่หลายอย่าง คือ

(1) ต้องใช้เวลาและแรงงานมาก กล่าวคือ ต้องออกไปเก็บตัวอย่างดินนำมาเข้าเตาอบ และคอยจนดินแห้งซึ่งจะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง จึงจะได้คำตอบที่ต้องการ

(2) ต้องการเครื่องมือหลายชิ้น เช่น สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดิน กระป๋องเก็บตัวอย่าง เครื่องชั่งน้ำหนักและเตาอบ เครื่องมือเหล่านี้บางชิ้นมีใช้เฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น

(3) ความละเอียดถูกต้องขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการเก็บตัวอย่าง จำนวนตัวอย่าง ความสม่ำเสมอของเนื้อดินในพื้นที่เพาะปลูก และความชำนาญของผู้เก็บตัวอย่าง

5.5.2 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน (Feel and Appearance)

ตารางที่ 4 ลักษณะและความรู้สึกของดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่าง ๆ

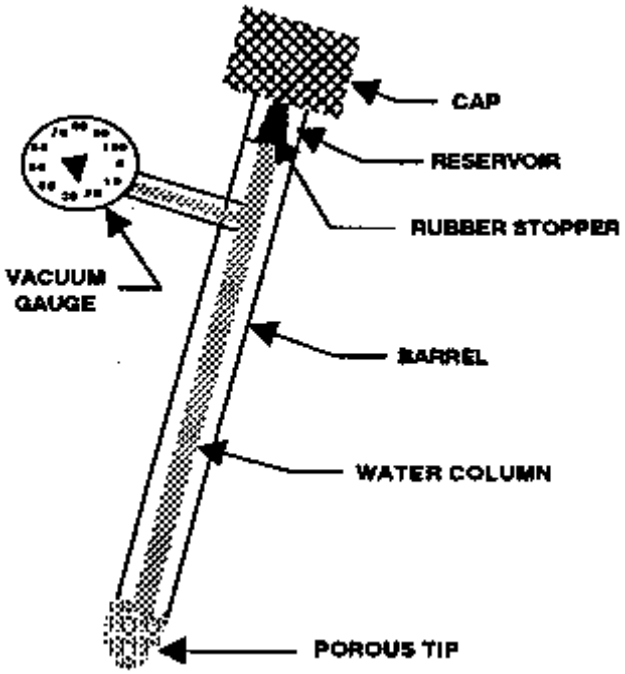
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	ลักษณะและความรู้สึกสัมผัส			
	ดินเนื้อหยาบ	ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ	ดินเนื้อปานกลาง	ดินเนื้อละเอียดและละเอียดมาก
6 เปอร์เซนต์	แห้ง ร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้ง ร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้งเป็นผง หรือเกาะกันเป็นก้อน แต่บี้ให้แตกเป็นผงได้ง่าย	แห้ง แข็ง มีรอยแตกร้าว บางทีมีก้อนร่วนเล็ก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

5.5.3 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่นิยมใช้กันทั่ว ๆ ไปได้แก่

- Tensiometer
- Electrical Resistance Instrument
- Neutron Moisture Mater

1) Tensiometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดแรงดึงความชื้นของดินที่อยู่ในสภาวะสมดุลย์กับน้ำในกระเปาะพรุน เมื่อรู้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดินและจำนวนความชื้นในดินตงบริเวณจุดที่ตั้งTensiometer ก็จะทราบค่าจำนวนความชื้นในดิน ณ จุดนั้น



รูปที่ 7Tensiometer

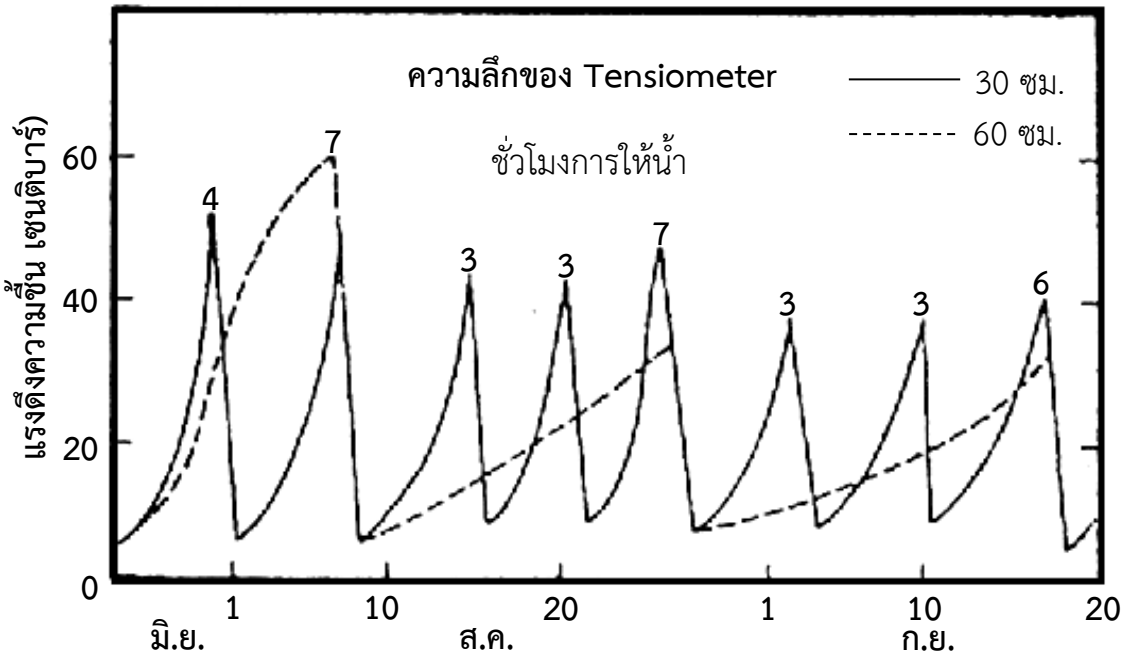
ตารางที่ 5 ระดับความชื้นของดินที่ควรจะให้น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด สำหรับพืชที่ปลูกในดินที่ลึกและมีการระบายน้ำดี

พืช	แรงดึงความชื้น (บาร์)
พืชผัก	
ถั่วต้น	0.75 – 2.00
กะหล่ำปลี	0.80 – 0.70
ถั่วเถา	0.30 – 0.50
ผักขึ้นไช่ฝรั่ง	0.20 – 0.30
หญ้า	0.30 – 1.00
ผักกาดหอม	0.40 – 0.60
ยาสูบ	0.30 – 0.80
อ้อย	0.23 – 0.30
ข้าวโพดหวาน	0.80 – 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 (ช่วงแตกหน่อ)	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

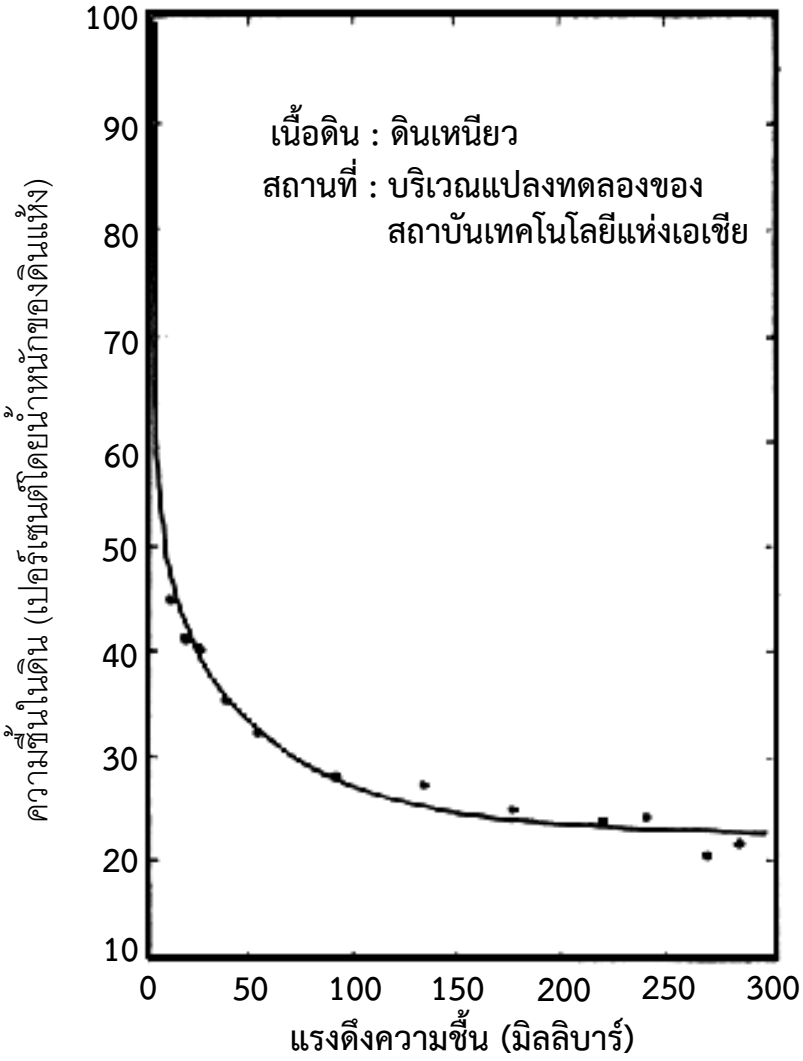
ตารางที่ 5 ระดับความชื้นของดินที่ควรจะให้น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด สำหรับพืชที่ปลูกในดินที่ลึกและมีการระบายน้ำดี(ต่อ)

พืช	แรงดึงความชื้น (บาร์)
องุ่น (ช่วงเริ่มโต)	0.40 – 0.50
องุ่น (ช่วงโตเต็มที่)	1.00
สตรอเบอร์รี่	0.20 – 0.30
แคนตาลูป	0.35 – 0.40
มะเขือเทศ	0.60 – 1.50
กล้วย	0.30 – 1.50
ธัญพืช	
ข้าวโพด (ช่วงแตกใบ)	1.50
ข้าวโพด (ช่วงเมล็ดแก่)	8.00 – 12.00
ธัญพืช (ช่วงแตกใบ)	0.40 – 0.50
ธัญพืช (ช่วงเมล็ดแก่)	8.00 – 12.00
พืชเมล็ดพันธุ์	
แครอท (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

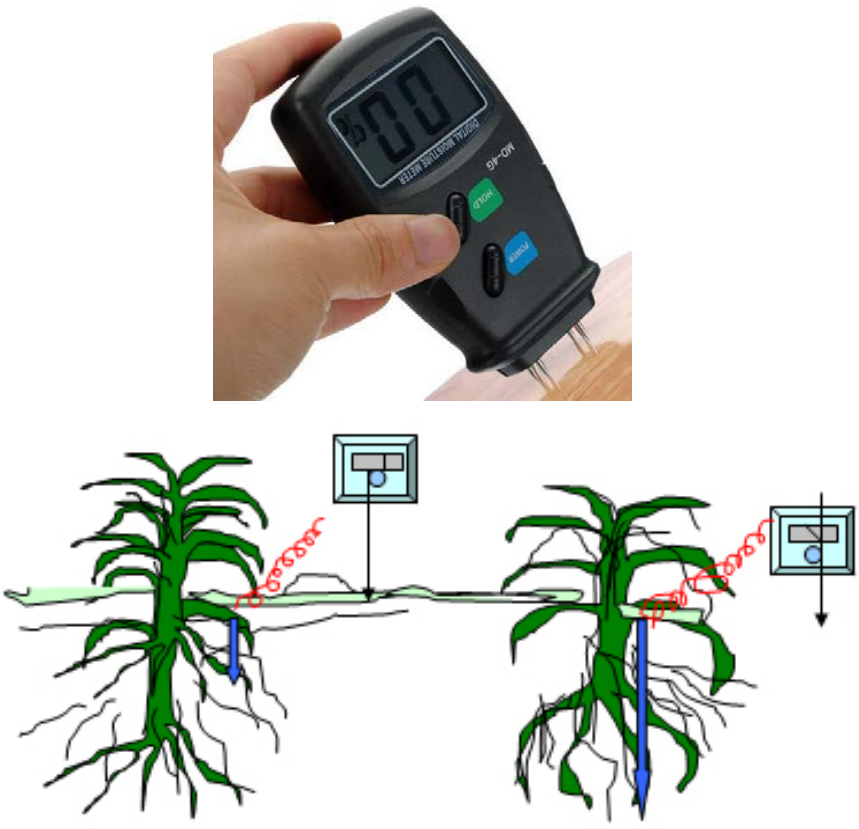


รูปที่ 8 การกำหนดการให้น้ำ โดยสังเกตจาก Tensiometerซึ่งฝังไว้ที่ระยะ 30 ซม. และ 60 ซม.เมื่อดินที่ 30 ซม. ซึ่งมีรากอยู่หนาแน่นแห้ง แต่ที่ระดับ 60 ซม. ยังเปียกอยู่ก็ให้น้ำแต่น้อย (3-4 ชั่วโมง) เมื่อทั้งระดับ 30 ซม. และ 60 ซม. แห้งก็เพิ่มเวลาให้น้ำให้มากขึ้น (7 ชั่วโมง) เพื่อให้ดินเปียกตลอดความลึก



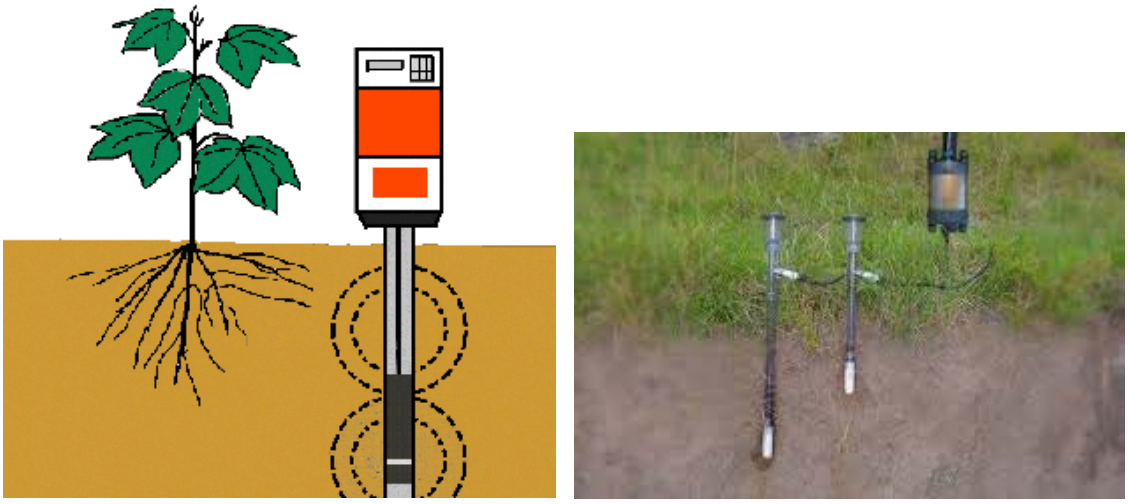
รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นกับความชื้นในดินของ Tensiometer

2) Electrical Resistance Instrument เป็นเครื่องมือวัดความชื้นในดินแบบวัดแรงต้านไฟฟ้าของวัสดุพรุนซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้าซึ่งสามารถแปลงค่าความต้านทานเป็นความชื้นในดินเรียกว่า Soil Moisture Meter และก้อนความต้านทาน (Resistance Block หรือ Bouyoucos Block) ดังแสดงในรูป ลักษณะของก้อนความต้านทานจะประกอบไปด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว แล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุพรุน เช่น ปูนพลาสเตอร์ ไนล่อน หรือ ไฟเบอร์กลาส ซึ่งปัจจุบันใช้เครื่องมือทางด้านวงจรไฟฟ้าจะสะดวกกว่า



รูปที่ 10 Electrical Resistance Instrument

3) Neutron Moisture Meter เครื่องวัดความชื้นแบบวัดการแผ่กระจายของนิวตรอน Neutron Moisture Meter เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดการใช้น้ำที่มีประสิทธิภาพยิ่ง เพราะสามารถวัดความชื้นในดินได้สะดวกรวดเร็ว มีความคล่องตัวและแม่นยำสูงเครื่องมือชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ๆ 3 ส่วน คือสารกัมมันตภาพรังสี ซึ่งทำหน้าที่ เป็นตัวกระจายนิวตรอนเครื่องมือตรวจจับนิวตรอนช้า และเครื่องนับจำนวนนิวตรอนช้า ปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องมือดังกล่าวมากมายหลายแบบ แต่การทำงานของเครื่องมืออาศัยหลักเดียวกัน



รูปที่ 11 Neutron Moisture Meter

5.5.4 การกำหนดการให้น้ำแก่พืชโดยพิจารณาจากการให้น้ำของพืช

การคำนวณเพื่อต้องการทราบว่าเมื่อไรต้องให้น้ำแก่พืช หรือการกำหนดเวลาการให้น้ำแก่พืชได้นั้น จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่สำคัญดังต่อไปนี้

(1) ความสามารถอุ้มน้ำให้พืชใช้ได้ของดิน

(2) ความลึกของรากพืช

(3) อัตราการใช้น้ำของพืช

1) **ความสามารถอุ้มน้ำของดิน** ดังได้กล่าวมาแล้วว่าดินเปรียบเสมือนถังน้ำ หรือที่เก็บน้ำโดยธรรมชาติให้แก่รากพืช ดินแต่ละชนิดก็มีความสามารถอุ้มน้ำให้พืชใช้ได้แตกต่างกัน พอจะกล่าวแยกเป็นสามกลุ่มใหญ่ ๆ คือ

เนื้อดิน	**สามารถอุ้มน้ำให้พืชใช้ได้**
ดินเนื้อหยาบ	1 มม. ต่อความลึกราก 1 ซม.
ดินเนื้อปานกลาง	1.2 มม. ต่อความลึกราก 1 ซม.
ดินเนื้อละเอียด	1.44 มม. ต่อความลึกราก 1 ซม.

2) **ความลึกของรากพืช** เป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดความลึกของดินที่จะให้น้ำ และใช้คำนวณหาปริมาณน้ำทั้งหมดที่ดินจะเก็บไว้ให้พืชใช้ได้สูงสุด

ตารางที่ 6 ความลึกของรากพืชโตเต็มที่อายุเก็บเกี่ยวและปริมาณน้ำที่พืชใช้

พืช	ความลึกของรากใช้การ ซม.	อายุจากวันปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว	อัตราการใช้น้ำ มม./วัน	ปริมาณน้ำที่ใช้ $ม.^3$/ไร่
ข้าวโพดหวาน	60 – 120	10 – 12 สัปดาห์	4.5	510
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	75 – 150	16 สัปดาห์	6.5	610
อ้อย	120 – 200	10 – 18 สัปดาห์	4 – 6.9	1,400 – 2,000
ถั่วเหลือง	60 – 120	14 – 16 สัปดาห์	2 - 4	300 – 600
ถั่วลิสง	50 – 100	15 – 16 สัปดาห์	3 - 4	400 – 600
ฝ้าย	100 – 150	21 – 26 สัปดาห์	3	500 – 800
ยาสูบ	60 – 80	13 – 17 สัปดาห์	3 - 4	400 – 600
มะเขือเทศ	40 – 100	9 – 11 สัปดาห์	4 - 6	300 – 650

3) **อัตราการใช้น้ำของพืช** พืชแต่ละชนิดมีความต้องการใช้น้ำไม่เท่ากันทุกระยะของการเจริญเติบโตในระยะเริ่มแรกของการเจริญ พืชจะใช้น้ำเป็นปริมาณน้อยและใช้มากที่สุดเมื่อถึงระยะออกดอก การเกิดเป็นเมล็ดหรือติดผล และต้องการน้ำน้อยที่สุด

จะรู้ได้อย่างไรว่าควรให้น้ำครั้งละเท่าใด

เมื่อรู้ว่าถึงกำหนดเวลาให้น้ำแก่พืชแล้ว และอยากจะรู้ว่า ควรให้น้ำครั้งละเท่าใดนั้นก็จะพิจารณาได้เป็น 2 แนวทางคือ

1) พิจารณาจากความสามารถอุ้มน้ำของดิน ว่าน้ำพร่องลงไปมากน้อยเพียงใด ปกติก่อนให้น้ำจะยอมให้พร่องลงได้ประมาณ 50% ของความสามารถอุ้มน้ำได้เต็มที่ในเขตรากพืช ดังนั้น ปริมาณน้ำที่เราจะต้องให้จริง จะมีค่าดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ยอมให้พืชใช้ (มม.)}}{\text{ประสิทธิภาพของการให้น้ำ (\%)}} \times 100$$

ตารางที่ 7 คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่เกี่ยวกับความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ (ความสามารถอุ้มน้ำของดิน)

เนื้อดิน	ความถ่วงจำเพาะปรากฏ As	ความชื้นชลประทาน % นน.ดิน แห้ง FC	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร % นน.ดิน แห้ง PW P	ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้		
				% นน.ดินแห้ P_W = FC-PWP	% โดยปริมาตร $P_V = P_W A_S$	มม. ต่อ ซม. ความลึกของน้ำ (มม.) ต่อความลึกของดิน 1 ซม. $d = \frac{P_W \cdot A_S \cdot D}{100}$
ดินทราย	1.65	9	4	5	8	0.8
	(1.55 – 1.80)	(6 - 12)	(2 - 6)	(4 - 6)	(6 - 10)	(0.6 – 1.0)
ดินร่วนปนทราย	1.5	14	6	8	12	1.2
	(1.40 – 1.60)	(10 - 18)	(4 - 8)	(6 - 10)	(9 - 15)	(0.9 – 1.5)
ดินร่วน	1.40	22	10	12	17	1.7
	(1.35 – 1.50)	(18 - 26)	(8 - 12)	(10 - 14)	(14 - 20)	(1.4 – 2.0)
ดินร่วนปนดินเหนียว	1.35	27	13	14	19	1.9
	(1.30 – 1.40)	(23 - 31)	(11 – 15)	(12 - 16)	(16 - 22)	(1.6 – 2.2)
ดินเหนียวปนตะกอนทราย	1.30	31	15	16	21	2.1
	(1.25 – 1.35)	(27 - 35)	(13 - 17)	(14 – 18)	(18 - 23)	(1.8 – 2.3)
ดินเหนียว	1.25	35	17	18	23	2.3
	(1.20 – 1.30)	(31 - 39)	(15 - 19)	(16 - 20)	(20 - 35)	(2.0 – 3.5)

ตัวอย่างการกำหนดการให้น้ำ

ตัวอย่าง1 ในการเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินมีข้อมูลดังต่อไปนี้

ขนาดวงแหวน เส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 เซนติเมตร สูง 6 เซนติเมตร น้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 40 กรัม

น้ำหนักดินแห้งหลังอบรวมน้ำหนักวงแหวนและกระป๋องเก็บตัวอย่าง 240 กรัม

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

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

น้ำหนักดินแห้ง (W_S) = 240 – 40 = 200 กรัม

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

∴ ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (A_S) $= \frac{W_S}{\gamma_W V}$

$= \frac{200}{1 \times 142.5}$

= 1.40

หรือ ความหนาแน่นของดิน (D_B) = 1.40 กรัม ต่อ ลบ.ซม.

ตัวอย่างที่ 2 ในการหาความในดินในแปลงเพาะปลูกแปลงหนึ่งซึ่งเนื้อดินเป็นดินร่วน โดยใช้สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดิน ปรากฏว่ามีข้อมูลดังต่อไปนี้

น้ำหนักของกระป๋องเก็บตัวอย่าง = 17 กรัม

น้ำหนักดินเปียกรวมน้ำหนักกระป๋อง = 125 กรัม

น้ำหนักดินแห้งรวมน้ำหนักกระป๋อง = 105 กรัม

วิธีทำ น้ำหนักดินแห้ง (W_S) = 125 – 17 = 108 กรัม

น้ำหนักของน้ำในดิน (W_W) = 125 – 105 = 20 กรัม

ความชื่นในดิน = 20 x 100 = 18.5 โดยน้ำหนักของดินแห้ง

ดังนั้น P_W = 18.5%

จากตารางที่ 1 ความถ่วงจำเพาะ (A_S) ของดินร่วน = 1.40

ความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (P_V)

$= P_W \times A_S$

$= 18.5 \times 1.40$

$= 25.9\%$

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

$= \frac{P_V}{100}$

$= \frac{25.9}{100}$

$= 0.259$

หมายความว่าในดินลึก 1 เมตร จะมีความชื้น = 0.259 เมตร

ตัวอย่างที่ 3 จงหาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity)

ความชื้นของดินก่อนการให้น้ำ = 8.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง

ความชื้นที่ Field Capacity = 21.0 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักดินแห้ง

ความลึกของเขตราก = 90 เซนติเมตร

ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน = 1.20

วิธีทำ ความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินมีความชื้นที่ชลประทาน (Field Capacity)

= 21.0 – 8.5 = 11.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง

ดังนั้น P_w = 11.5%

D = 0.90 เมตร

A_S = 1.20

จากสมการ d = $\frac{P_W \cdot A_S \cdot D}{100}$

= $\frac{11.5 \times 1.20 \times 0.90}{100}$

= 0.1242 เมตร

= 12.42 เซนติเมตร

ดังนั้น จะต้องให้น้ำแก่ดิน 12.42 เซนติเมตร ดินจึงมีความชื้นที่ความชื้นชลประทานตลอดความลึกของเขตราก 0.90 เมตร

ตัวอย่างที่ 4 จากการตรวจสอบความชื้นในเขตรากพืชของแปลงปลูกอ้อย ซึ่งมีเนื้อที่ 100 ไร่ พบว่ามีความชื้นอยู่เพียง 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง และจากการวิเคราะห์ดินในแปลงพบว่าเนื้อดินเป็นแบบดินร่วน ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏเท่ากับ 1.45 ค่าความชื้นชลประทานและความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร เท่ากับ 20 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้งตามลำดับกำหนดว่ารากต้นอ้อย 60 เซนติเมตร ความชื้นที่จุดวิกฤตมีค่าเท่ากับ 40 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ ถามว่าถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำแก่พืชได้หรือยัง ถ้าถึงเวลาที่ต้องให้น้ำได้แล้ว ถามว่า จะต้องสูบน้ำจากแม่น้ำเพื่อส่งให้กับแปลงปลูกอ้อยทั้ง 100 ไร่ เป็นเวลานานเท่าใดถ้าประสิทธิภาพในการชลประทานบนแปลงเพาะปลูกเท่ากับ 70% และประสิทธิภาพในการส่งน้ำเท่ากับ 60% และปั๊มมีอัตราการสูบน้ำได้ 200 ม.^{3}/ซม.

วิธีทำ

(1) ตรวจสอบดูว่าถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำได้หรือยังโดยพิจารณาดูว่าความชื้นในดินซึ่งเท่ากับ 14เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของดินแห้งลดลงถึงจุดวิกฤตหรือยัง ถ้าถึงจุดวิกฤตก็แสดงว่าควรให้น้ำได้

ความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ = 20 – 10 = 10% โดยน้ำหนักของดินแห้ง

ความชื้นที่จุดวิกฤต = 40% ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้

หรือ ความชื้นที่จุดวิกฤต = 10 + 0.4 (10)% โดยน้ำหนักของดินแห้ง

= 14% โดยน้ำหนักดินแห้ง

ตอบ ถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำได้แล้วเพราะความชื้นในแปลงปลูกอ้อยลดลงถึงจุดวิกฤตพอดี

(2) หาจำนวนน้ำที่จะต้องสูบขึ้นจากแม่น้ำเพื่อส่งให้กับแปลงปลูกอ้อย

ความชื้นที่จะต้องให้แก่ต้นอ้อย = ความชื้นชลประทาน

= 6% โดยน้ำหนักดินแห้ง

A_S = 1.45

D = 60 เซนติเมตร

ความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่อ้อย = $\frac{6}{100} \times 1.45 \times 60$ ซม.

= 5.22

ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องหามาให้แก่ข้าวโพด = $\frac{5.22}{100} \times 100 \times 1600$ ลบ.เมตร

= 8352 ลบ.เมตร

ปริมาณน้ำที่จะต้องสูบจากแม่น้ำ $\frac{8352}{0.6 \times 0.7}$ = 19885.7 ลบ.เมตร

จะต้องสูบน้ำนาน $\frac{19885.7}{200}$ = 99.4 ชั่วโมง

ตอบ จะต้องสูบน้ำจากแม่น้ำเป็นเวลา 100 ชั่วโมง จึงจะพอกับความต้องการของอ้อยในพื้นที่ 100 ไร่

ตัวอย่างที่ 5 การคำนวณหาว่าเมื่อไรควรให้น้ำแก่พืช

บ่อสูบ D21 พื้นที่ดินมีลักษณะส่วนใหญ่เป็นดินร่วน คือ เนื้อปานกลาง พื้นที่ปลูกเป็นถั่วเหลือง และฝ้ายถั่วเหลืองปลูกได้ 4 สัปดาห์แล้ว สำหรับฝ้ายปลูกได้ 6 สัปดาห์ อยากทราบว่าเมื่อให้ถั่วเหลืองและฝ้ายเต็มที่แล้ว เมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม จะต้องให้น้ำครั้งต่อไปเมื่อไร

วิธีการคำนวณ สำหรับถั่วเหลืองการดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นแรก พิจารณาลักษณะเนื้อดินเพื่อหาข้อมูลความสามารถในการอุ้มน้ำให้พืชใช้ได้ สำหรับในพื้นที่ที่บ่อสูบ D 21 เนื้อดินส่วนใหญ่เป็นดินร่วน

จากตาราง ดินร่วนอุ้มน้ำให้พืชใช้ได้ 1.2 มม. ต่อรากลึก 1 ซม.

ขั้นที่ 2 พิจารณาความลึกของรากถั่วเหลือง สัปดาห์ 4 มีรากลึกประมาณ 50 ซม.

ขั้นที่ 3 คำนวณความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตรากของถั่วเหลือง

ความสามารถอุ้มน้ำได้ทั้งหมด = จากขั้นที่ (1) x ขั้นที่ (2)

= 1.2 x 50 = 60 มม.

ขั้นที่ 4 กำหนดให้พืชใช้น้ำจากดินที่อุ้มไว้ได้ทั้งหมดเพียงครึ่งเดียว (ให้น้ำพร่องน้ำได้ 50% ของน้ำที่เป็นประโยชน์ทั้งหมด)

ยอมให้พืชเอาน้ำไปใช้ได้ = ขั้นที่ (3) ÷ 2

$$= \frac{60}{2} = 30 \text{ มม.}$$

ขั้นที่ 5 หาอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยสูงสุดของถั่วเหลือง จากตารางที่ 1 คือ 4 มม./วัน

ขั้นที่ 6 หาว่าถั่วเหลืองใช้น้ำได้กี่วันจึงพอดี ต้องให้ใหม่

จำนวนวันที่ใช้ได้ = ขั้นที่ (4) ÷ ขั้นที่ (5)

$$= \frac{30}{4} = 7.5 \text{ วัน}$$

ตอบ ฉะนั้น เพื่อความสะดวกในการให้น้ำ สำหรับถั่วเหลืองอาจจะให้น้ำทุก ๆ 7 วัน หรือสัปดาห์ละครั้งก็ได้ ดังนั้น ต้องให้น้ำครั้งต่อไปวันที่ 15 พฤษภาคม

วิธีการคำนวณ สำหรับฝ้าย

ขั้นแรก จากตาราง ดินร่วนอุ้มน้ำให้พืชใช้ได้ 1.2 มม./ซม.

ขั้นที่ 2 ฝ้ายสัปดาห์ที่ 6 รากลึก 90 ซม.

ขั้นที่ 3 สามารถอุ้มน้ำได้ทั้งหมด = ขั้นที่ (1) x ขั้นที่ (2)

= 1.2 x 90 = 108 มม.

ขั้นที่ 4 ยอมให้พืชเอาไปใช้ได้ = ขั้นที่ (3) ÷ 2

$= \frac{108}{2}$ = 54 มม.

ขั้นที่ 5 จากตารางอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยสูงสุดคือ 3 มม./วัน

ขั้นที่ 6 จำนวนวันที่ใช้น้ำได้ = ขั้นที่ (4) ÷ ขั้นที่ (5)

$= \frac{54}{3}$ = 18 วัน

ตอบ ฉะนั้น เพื่อความสะดวกในการกำหนดการให้น้ำสำหรับฝ้าย อาจจะให้น้ำทุก ๆ 14 วัน หรือ 2 สัปดาห์ ให้น้ำครั้ง เป็นต้น ดังนั้น จะต้องให้น้ำครั้งต่อไปวันที่ 22 พฤษภาคม

ถ้าจะรู้ได้อย่างไรว่าควรให้น้ำครั้งละเท่าใด

เมื่อรู้ว่าถึงกำหนดเวลาให้น้ำแก่พืชแล้ว และอยากจะรู้ว่าควรให้น้ำครั้งละเท่าใดนั้นก็จะพิจารณาได้เป็น 2 แนวทางคือ

1. พิจารณาจากความสามารถอุ้มน้ำของดิน ว่าน้ำพร่องลงไปมากน้อยเพียงใด ปกติก่อนให้น้ำจะยอมให้พร่องลงได้ประมาณ 50% ของความสามารถอุ้มน้ำได้เต็มที่ในเขตรากพืช ฉะนั้น เมื่อถึงกำหนดการให้น้ำเราก็ให้น้ำเท่ากับจำนวนที่น้ำพร่องลงไป เช่น ดังตัวอย่างที่ 1 ที่ได้คำนวณแล้วว่ายอมให้ถั่วเหลืองใช้น้ำจากดินได้ 50% เท่ากับ 30 มม. แต่การคิดปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้พืชเราจะต้องเผื่อน้ำที่มีการสูญเสียไว้ด้วย เช่น ไหลซึมลงเกินเขตรากพืชและไหลออกไปจากแปลงไป การสูญเสียทั้งสองอย่างนี้บางทีเราก็เรียกว่า ประสิทธิภาพการให้น้ำ เช่น มีการสูญเสียน้ำไปร้อยละ 35 ของน้ำที่จะต้องเติมให้ดิน หรือสูญเสีย 35% เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพของการให้น้ำก็จะเป็น 100 – 35 = 65% เป็นต้น
   ดังนั้น ปริมาณน้ำที่เราจะต้องให้จริง จะมีค่าดังนี้

$$\text{ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ยอมให้พืชใช้ (มม.)}}{\text{ประสิทธิภาพของการให้น้ำ (\%)}} \times 100$$

จากตัวอย่างที่ 5 แทนค่าในสมการจะได้

$$\text{ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้} = \frac{30}{65} \times 100 = 46 \text{ มม.}$$

หรือถ้าต้องการคิดเป็นปริมาตรว่า กี่ลูกบาศก์เมตรต่อพื้นที่ 1 ไร่ ก็สามารถคำนวณได้โดยคูณด้วย 1.6 ดังนี้

ปริมาตรน้ำที่ต้องส่งให้ = 1.6 x ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ (มม.)

= 1.6 x 46 = 73.6 ม.^{3}/ไร่

หรือเราคิดเพียง 70 ม.^{3}/ไร่/สัปดาห์

2. พิจารณาจากปริมาณน้ำที่พืชใช้สูงสุดเฉลี่ยในช่วงนั้น แต่ถ้าเราไม่มั่นใจก็จะใช้จากการประเมินค่าสูงสุดที่พืชใช้ เช่น พืชไร่ที่ปลูกฤดูแล้ง ใช้น้ำวันละ 5 มม. รวมการสูญเสียต่าง ๆ แล้วสำหรับพืชไร่ที่ปลูกฤดูฝนใช้น้ำวันละประมาณ 5 มม. รวมการสูญเสียต่าง ๆ แล้ว ถ้าเรากำหนดให้น้ำแก่พืช 7 วัน ให้น้ำครั้ง เราก็สามารถคำนวณได้ว่าจะต้องให้น้ำครั้งละเท่าไร โดย

ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ = อัตราการใช้น้ำของพืช (มม./วัน) x จำนวนวันที่ให้ครั้งหนึ่ง

ปลูกฤดูแล้ง

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้ = 6 x 7 = 42 มม. **ตอบ**

หรือคิดเป็นปริมาณต่อไร่ได้คือ

ปริมาตรน้ำที่ต้องส่งให้ = 1.6 x 42 = 67.2 ม.^{3}/ไร่

หรือใช้ 70 มม.^{3}/ไร่/สัปดาห์ เป็นต้น **ตอบ**

สำหรับพืชไร่ที่ปลูกฤดูฝน

ปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้ = 5 x 7 = 35 มม. **ตอบ**

หรือคิดเป็นปริมาณต่อไร่ได้คือ

ปริมาตรน้ำที่ต้องส่งให้ = 1.6 x 35 = 56 ม.^{3}/ไร่

หรือใช้ 60 มม.^{3}/ไร่/สัปดาห์ เป็นต้น **ตอบ**

สำหรับข้าวปลูกในฤดูแล้ง ใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 9 มม.

ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ = 9 x 7 = 63 มม. **ตอบ**

หรือคิดเป็นปริมาณต่อไร่ได้คือ

ปริมาตรน้ำที่ต้องส่งให้ = 1.6 x 63 = 100.8 ม.^{3}/ไร่

หรือใช้ 100 มม.^{3}/ไร่/สัปดาห์ เป็นต้น **ตอบ**

สำหรับข้าวปลูกในฤดูฝนข้าวใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 7.5

ปริมาณน้ำที่ต้องส่งให้ = 7.5 x 7 = 52.5 มม. **ตอบ**

หรือคิดเป็นปริมาณต่อไร่ได้คือ

ปริมาตรน้ำที่ต้องส่งให้ = 1.6 x 52.5 = 84 ม.^{3}/ไร่

หรือใช้ 80 มม.^{3}/ไร่/สัปดาห์ เป็นต้น **ตอบ**

บทที่ 6 วิธีการให้น้ำชลประทาน (Irrigation Methods)

6.1 ความหมายและขอบเขตการศึกษา

วิธีการให้น้ำชลประทาน เป็นวิธีการควบคุมบังคับน้ำชลประทานที่แปลงปลูกพืชด้วยวิธีต่าง ๆ เพื่อให้ดินมีโอกาสดูดซับน้ำไว้ได้ในปริมาณความลึกของน้ำที่พืชต้องการ และปริมาณความลึกของน้ำที่ดินดูซับไว้ได้ดังนี้ จะต้องมีความสม่ำเสมอเท่าเทียมกันตลอดทั่วทั้งแปลง โดยมีการสูญเสียน้ำชลประทานน้อยที่สุด

การพิจารณาในเรื่องวิธีการให้น้ำชลประทานขึ้นอยู่กับเกณฑ์ที่สำคัญ 3 ประการ คือ

- ความพอเพียง (Adequacy) ของน้ำตามที่พืชต้องการ
- ความสม่ำเสมอ (Uniformity) ของการแผ่กระจายน้ำ
- ประสิทธิภาพ (Efficiency) ของการให้น้ำชลประทานนั้น

วิธีการให้น้ำชลประทานมีหลายรูปแบบ และนิยมแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ คือ

1. วิธีการให้น้ำชลประทานแบบปล่อยท่วมบนผิวดิน (Flooding surface irrigation method) เช่น แบบไหล

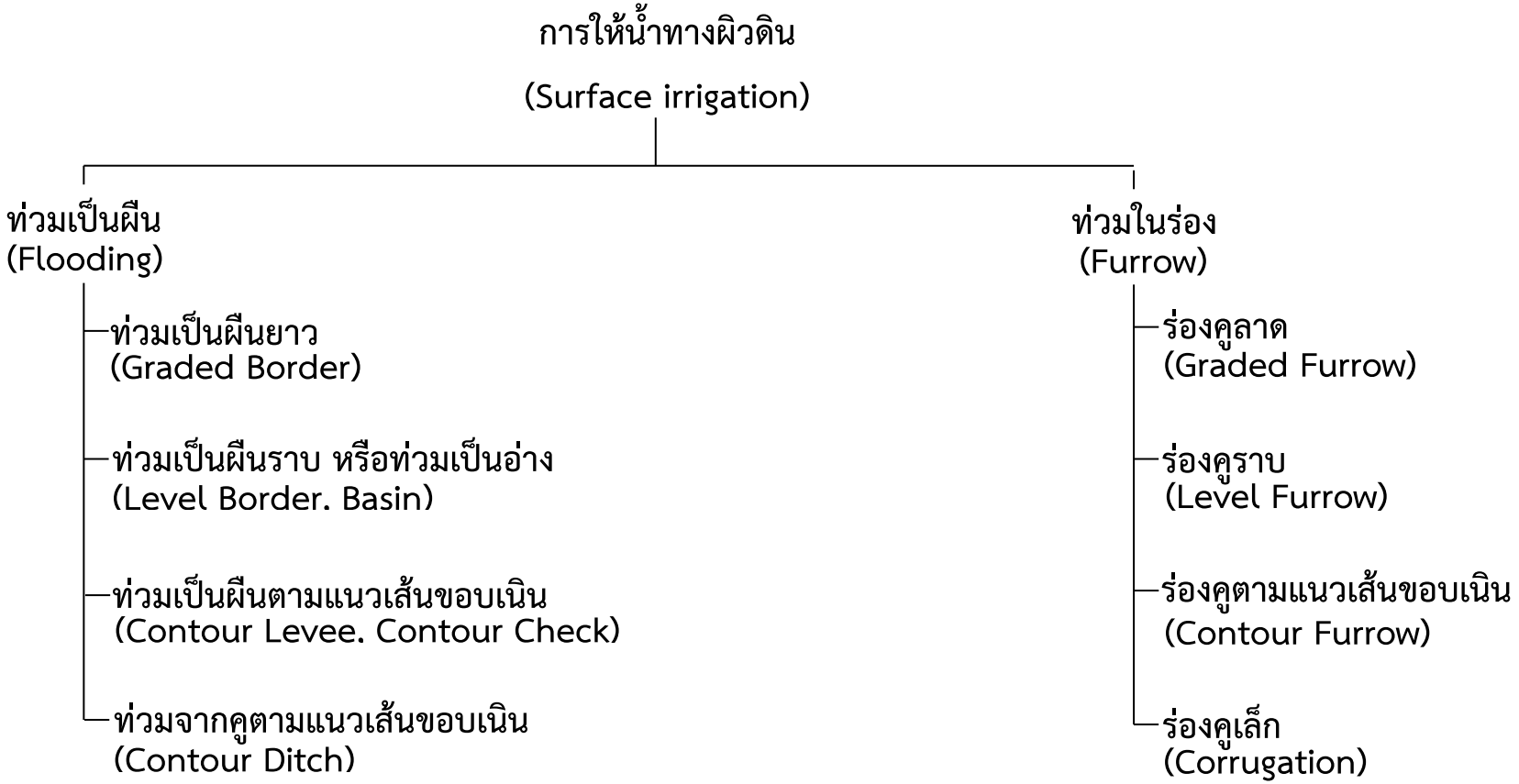
ท่วมเป็นผืนยาว (Border irrigation), แบบขังท่วมเป็นอ่างกักน้ำ (Basin irrigation)

2. วิธีการให้น้ำชลประทานโดยให้ดินดูดซึมทางใต้ผิวดิน (Sub-surface irrigation method) เช่น แบบร่องคู (Furrow irrigation)
3. วิธีการให้น้ำชลประทานเหนือผิวดิน (Over-surface irrigation method) เช่น แบบฉีดฝอย (Sprinkler irrigation), แบบน้ำหยด (Trickle or Drip irrigation) เป็นต้น

วิธีการให้น้ำนั้นมักจะเรียกตามลักษณะอาการที่ให้น้ำแก่พืชซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

1. การให้น้ำทางผิวดิน (Surface irrigation)
2. การให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler irrigation)
3. การให้น้ำแบบน้ำหยด (Trickle or Drip irrigation)
4. การให้น้ำแบบใต้ผิวดิน (Sub-surface irrigation)

6.2 การให้น้ำทางผิวดิน (Surface irrigation)



ข้อดีและข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดิน (Surface irrigation)

การให้น้ำทางผิวดินนี้รู้จักกันมานานหลายศตวรรษแล้ว ปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปเพราะการให้น้ำแบบนี้มีข้อดีหลายอย่าง ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

1) สามารถใช้ได้กับดินและพืชทุกชนิด
2) มีความคล่องตัวสูง
3) ค่าลงทุนถูกเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบอื่น ๆ เนื่องจากว่าการให้น้ำแบบนี้ให้น้ำไหลไปบนผิวดินโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก
4) ไว้วางใจได้
5) เมื่อมีการออกแบบและให้น้ำที่เหมาะสม

สำหรับข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดินก็มี

1) ต้องการการปรับพื้นที่ให้เรียบร้อยและมีความลาดเทสม่ำเสมอ
2) อาจเกิดการกัดเซาะ (Erosion) ขึ้นได้ในกรณีที่มีความลาดเทของพื้นที่ชันมาก
3) คันดินและคูส่งน้ำอาจเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร
4) อาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้นได้ง่าย

5) ต้องการผู้ที่มีความรู้ในวิธีการให้น้ำดีพอสมควรจึงจะสามารถให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพได้

6) ส่วนมากต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก

6.2.1 วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border Method)

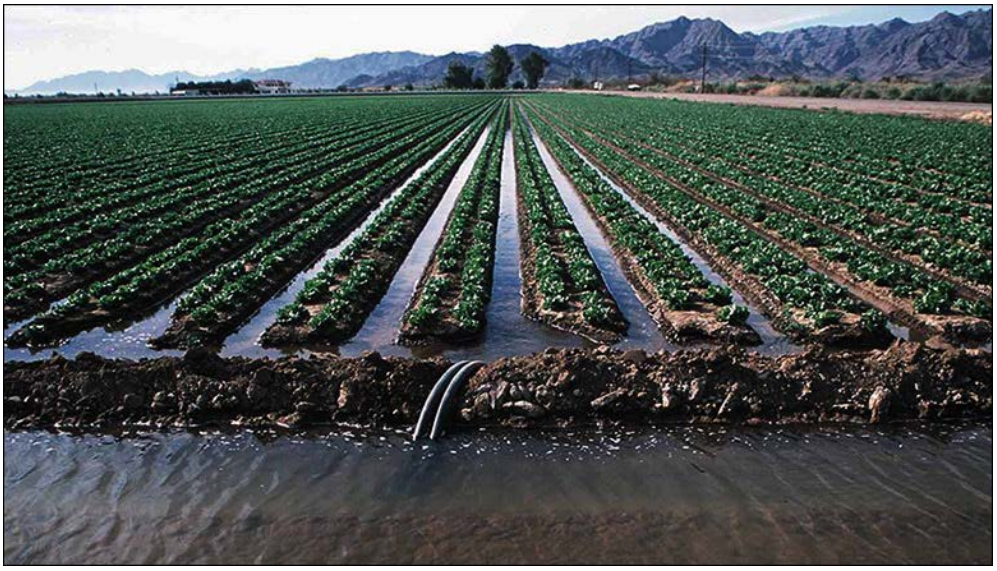
การให้น้ำโดยวิธีนี้ทำโดยเปิดให้น้ำเข้าไปท่วมผิวดินในแปลงโดยมีคันดินขนาดเล็กสองคันซึ่งมีแนวตรงและขนานกันคอยควบคุมให้น้ำท่วมอยู่ในพื้นที่ที่ต้องการให้น้ำ พื้นที่ระหว่างคันดินจะมีความลาดเทไปในแนวเดียวกับคันดิน และไม่มีหรือมีความลาดเทในแนวตั้งฉากกับคันดินน้อยมาก

ตารางที่ 1 ขนาดมาตรฐานสำหรับออกแบบการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน (Graded border method) สำหรับพืชที่รากลึก

ชนิดดิน	อัตราการซึม	ความลาดเท	อัตราการให้น้ำต่อความกว้าง 1 ม.	ความลึกของน้ำที่จะให้	ขนาดของแปลง	
					กว้าง	ยาว
	มม./ซม.	%	ลิตร/วินาที	มม.	เมตร	เมตร
ดินทราย (Sand)	25	0.2 - 0.4	10 – 15	100	12 – 30	60 – 90
		0.4 - 0.6	8 – 10	100	9 – 20	60 – 90
		0.6 – 1.0	5 – 8	100	6 – 9	75
ดินทรายปนดินร่วน (Loamy sand)	18 – 25	0.2 - 0.4	7 – 10	125	12 – 30	75 – 150
		0.4 - 0.6	5 – 8	125	9 – 12	75 – 150
		0.6 – 1.0	3 – 6	125	6 – 9	75
ดินร่วนปนทราย (Sandy loam)	12 – 18	0.2 - 0.4	5 – 7	150	12 – 30	90 – 250
		0.4 - 0.6	4 – 6	160	6 – 12	90 – 180
		0.6 – 1.0	2 – 4	160	6	90
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay loam)	6 – 8	0.2 - 0.4	3 – 4	175	12 – 30	180 – 300
		0.4 - 0.6	2 – 3	175	6 – 12	90 – 180
		0.6 – 1.0	1 – 2	175	6	90
ดินเหนียว (Clay)	2.5 – 6	0.2 - 0.3	2 – 4	200	12 – 30	350

ตารางที่ 2 ขนาดมาตรฐานสำหรับออกแบบการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน (Graded border method) สำหรับพืชที่รากตื้น

ชนิดดิน	ความลึกของดิน	ความลาดเท	อัตราการให้น้ำต่อความกว้าง 1 ม.	ความลึกของน้ำที่จะให้	ขนาดของแปลง	
					กว้าง	ยาว
	เมตร	%	ลิตร/วินาที	มม.	เมตร	เมตร
ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay loam)	0.6	0.15 - 0.6	6–8	50 - 100	5 – 18	90 – 180
	บนชั้นดินที่	0.6 - 1.5	4–6	50 - 100	5 – 6	90 – 180
	โปร่งมาก	1.5–4.0	2–4	50 - 100	5 – 6	90
ดินเหนียว (Clay)	0.6	0.15 - 0.6	3–4	100 - 150	5 – 18	180 – 300
	บนชั้นดินที่	0.6 - 1.5	2–3	100 - 150	5 – 6	180 – 300
	โปร่งมาก	1.5–4.0	1–2	100 - 150	5 – 6	180
ดินร่วน(Loam)	0.15 – 0.45 บนชั้นดินดาน	1.0 – 4.0	1 – 4	25 – 75	5 – 6	90 – 130



รูปที่ 1 Surface irrigation (Border irrigation)

การเลือกใช้ การให้น้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกต้นชิดกัน หรือพืชที่ปลูกโดยการหว่านเมล็ดยกเว้นพืชที่จะต้องมีน้ำขังอยู่ในแปลง

ข้อดี

1) การให้น้ำวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง
2) ต้องการแรงงานในการให้น้ำไม่มากนัก
3) ความกว้างของแปลงอาจจะออกแบบให้มีขนาดพอเหมาะกับเครื่องจักรกลเกษตรได้
4) ถ้าหากจำเป็นจะต้องมีการระบายน้ำออกจากแปลงก็จะสามารถระบายออกได้รวดเร็ว

ข้อเสีย

1) พื้นที่จะต้องเรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอ
2) ค่าปรับพื้นที่สำหรับพื้นที่บางแห่งอาจจะสูงมากจนไม่สามารถที่จะให้น้ำวิธีนี้ได้
3) อัตราการส่งน้ำที่ได้รับจากโครงการชลประทานจะต้องมากพอ
4) พืชต้นเล็ก ๆ อาจจะได้รับความเสียหายในขณะที่ให้น้ำ
5) ดินบางชนิดอาจเกิดการแตกระแหงหลังจากมีน้ำท่วมผิวดินแล้ว
6) ไม่สามารถให้น้ำครั้งละน้อย ๆ (น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6.2.2 วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนราบ (Level Border Method)

การให้น้ำวิธีนี้จะให้น้ำท่วมแปลงเพาะปลูกซึ่งราบหรือค่อนข้างราบและมีคันดินล้อมรอบอยู่ อัตราการให้น้ำจะต้องสูงเพื่อให้น้ำแผ่ออกไปท่วมทั่วทั้งแปลงในระยะเวลาอันสั้น วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนราบ (Level Border) นี้บางครั้งเรียกว่าท่วมเป็นอ่าง (Basin)

การเลือกใช้ การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีอัตราการซึมขนาดปานกลางจนถึงขนาดต่ำ

ข้อดี

1) สามารถปลูกพืชได้หลายชนิดโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ วางผัง หรือวิธีการให้น้ำต่างไปจากเดิมมากนัก
2) แปลงดังกล่าวสามารถใช้ชะล้างเกลือในดินโดยไม่ต้องมีการก่อสร้างเพิ่มเติม หรือเปลี่ยนแปลงวิธีการให้น้ำแต่อย่างใด
3) ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลออกจากพื้นที่เพาะปลูกทางด้านท้ายแปลง (Run off)
4) สามารถใช้ฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5) ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญก็สามารถให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพได้
6) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

ข้อเสีย

1) ต้องการอัตราการให้น้ำสูงมาก สูงกว่าแบบให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว
2) จะต้องปรับพื้นที่ให้ราบและสม่ำเสมอกันตลอดทั้งแปลง
3) คันดินที่ล้อมรอบต้องสูงพอที่จะไม่ให้น้ำล้นออกจากแปลง

4) บนพื้นที่ที่มีความลาดเทมากจะต้องทำแปลงเป็นขั้นบันได และอาจจำเป็นต้องมีอาคารชลประทานอื่นอีก

5) ในเขตที่มีฝนตกชุกจะต้องมีการจัดระบบระบายน้ำฝนออกจากแปลงให้ทันเวลาด้วย

6) ในพื้นที่ที่มีลมพัดเร็วกว่า 25 ถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

7) จะต้องคอยควบคุมระดับดินในแปลงให้อยู่ในแนวราบอยู่เสมอ

รูปที่ 2 การให้น้ำท่วมเป็นผืนราบ (Level Border)

6.2.3 วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Levee Method)

การให้น้ำวิธีนี้ดัดแปลงมาจากแบบท่วมเป็นผืนราบ (Level Border) โดยการเปลี่ยนแนวคันดินให้มาอยู่.ในแนวเส้นขอบเนิน (Contour Lines) การให้น้ำแก่แปลงจะต้องให้ด้วยอัตราที่มากกว่าอัตราการซึมผ่านผิวดินโดยให้น้ำนั้นแผ่กระจายออกไปปกคลุมพื้นที่ในแปลงทั้งหมดในระยะเวลาอันสั้น และปล่อยให้น้ำซึมลงไปในดินจนกระทั้งได้ความลึกตามที่ต้องการ ถ้าหากเป็นพืชที่ไม่ใช่ข้าวก็จะระบายน้ำออกหลังจากที่ให้น้ำตามที่ต้องการแล้ว

การเลือกใช้ การที่จะเลือกใช้การให้น้ำวิธีนี้ให้ได้ผลดีนั้น พื้นที่ควรจะเป็นดินที่มีเนื้อดินขนาดปานกลางถึงดินที่มีเนื้อละเอียด และมีอัตราการซึมผ่านผิวดินเฉลี่ยไม่เกิน 12 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับข้าวซึ่งจะต้องมีน้ำขังอยู่ตลอดเวลาดินควรจะมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ไม่เกิน 4 มิลลิเมตรต่อวันหรือมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ใต้ระดับเขตราก พื้นที่ควรจะเรียบสม่ำเสมอและมีความลาดเทไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้าหากมีความลาดเทไม่เกิน 0.5 เปอร์เซ็นต์จะได้ขนาดแปลงที่ดีกว่า

ข้อดี

1) สามารถให้น้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง
2) ถึงแม้ว่าจะต้องมีการระบายน้ำส่วนที่เกินออกจากแปลง แต่ก็สามารถนำมาใช้ในแปลงถัดมาที่อยู่ต่ำกว่าได้
3) สามารถจะใช้น้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยลดความต้องการน้ำชลประทานลงได้มาก
4) สามารถติดตั้งระบบระบายน้ำผิวดินโดยไม่ต้องลงทุนเพิ่มขึ้นอีกมาก เพราะอาจจะใช้คูส่งน้ำเป็นคูระบายน้ำได้ด้วย
5) ต้องการแรงงานในการให้น้ำไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำทางผิวดินวิธีอื่น ๆ
6) การให้น้ำและควบคุมน้ำทำได้ไม่ยาก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการให้น้ำดี
7) ถ้าหากว่ามีการปรับพื้นที่ไม่มากนัก ค่าลงทุนครั้งแรกจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่น ๆ
8) มีอาคารชลประทานน้อยพอ ๆ กับวิธีอื่น ๆ

ข้อเสีย

1) วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับดินที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ขนาดปานกลางถึงดินที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูง
2) ไม่สามารถให้น้ำครั้งละน้อย ๆ (น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3) ต้องการอัตราการให้น้ำสูง
4) น้ำชลประทานจะต้องมีคุณภาพดี
5) ต้องการการปรับพื้นที่บ้างเพื่อให้สามารถให้น้ำได้อย่างสม่ำเสมอ
6) ไม่เหมาะสำหรับพืชที่จะเสียหายเมื่อมีน้ำท่วมราก
7) ต้นพืชและคันดินอาจจะได้รับความเสียหายจากคลื่น
8) การระบายน้ำที่เหลือจากแปลงหนึ่งไปเข้าอีกแปลงหนึ่งอาจก่อให้เกิดการแพร่ขยายโรคพืช และวัชพืชบางชนิดได้ง่าย

รูปที่ 3 การให้น้ำท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Levee)

6.2.4 วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน(Contour Ditch Method)

วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน เป็นการให้น้ำท่วมผิวดินแบบที่มีการควบคุมแบบหนึ่ง โดยการให้น้ำไหลล้นจากร่องน้ำเล็ก ๆ ซึ่งอยู่ในแนวขนานกับเส้นขอบเนิน

การเลือกใช้การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกต้นชิดกันทุกชนิด พืชที่ปลูกแล้วไม่ต้องมีการพรวนดินหรือยกร่องอีก ยกเว้นข้าว ซึ่งจะต้องให้มีน้ำขังอยู่เกือบตลอดเวลา

ข้อดี

1) ค่าลงทุนต่ำ
2) ต้องการการปรับพื้นที่บ้างเล็กน้อยในกรณีที่ผิวดินไม่เรียบ
3) สำหรับพืชที่ปลูกตลอดปี คูให้น้ำเหล้านี้อาจจะกลบเสียก่อนทำการเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวก็จะสะดวกขึ้น

ข้อเสีย

1) โดยทั่ว ๆ ไปแล้วประสิทธิภาพในการให้น้ำค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าให้น้ำอย่างระมัดระวังอาจจะให้ประสิทธิภาพสูง 50 ถึง 65 เปอร์เซ็นต์
2) ถ้าหากอัตราการส่งน้ำที่ได้รับจากคูส่งน้ำน้อย การให้น้ำจะทำได้ยากขึ้น
3) ระยะระหว่างคูให้น้ำอาจจะแตกต่างกันได้มากในกรณีที่ความลาดเทของพื้นที่ไม่สม่ำเสมอ
4) ในกรณีที่คูเข้ามาชิดกันและแนวไม่ขนานกัน การใช้เครื่องเก็บเกี่ยวจะยากขึ้น
5) พืชต้นเล็ก ๆ อาจจะได้รับความเสียหายถ้าดินนั้นแตกระแหงหลังจากให้น้ำ

รูปที่ 4 วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Ditch Method)

6.2.5 วิธีให้น้ำแบบร่องคูลาด (Graded Furrow Method)

การให้น้ำแบบร่องคูลาดนี้ จะให้น้ำแก่พืชทางร่องน้ำเล็ก ๆ ซึ่งมีความลาดเทสม่ำเสมอและมีแนวตรงโดยปลูกพืชเป็นแถวบนคันดินซึ่งมีร่องขนาบอยู่ทั้งสองข้าง ขนาดและรูปร่างของร่องคูขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน พืชที่ปลูก เครื่องมือที่ใช้ในการยกร่อง และระยะระหว่างพืชที่ปลูก

การเลือกใช้การให้น้ำวิธีนี้สามารถใช้กับพืชที่ปลูกเป็นแถวได้ทุกชนิดรวมทั้งพืชสวนด้วย และใช้ได้กับดินเกือบทุกชนิดรวมทั้งพืชสวนด้วย และใช้ได้กับดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทรายที่มีอัตราการซึมสูงมาก

ข้อดี

1) สามารถใช้ได้กับวิธีการส่งน้ำทุกแบบ โดยการจัดจำนวนร่องคูที่จะให้น้ำแต่ละครั้งให้พอเหมาะกับอัตราส่งน้ำที่ได้รับ
2) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง ถ้าหากมีการออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง
3) ในกรณีที่ต้องมีการระบายน้ำฝนออกจากพื้นที่เพาะปลูก ก็สามารถจะระบายได้อย่างรวดเร็ว

ข้อเสีย

1) ต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก
2) จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้น้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ ขณะที่ให้น้ำ จึงจะทำให้พืชได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของร่อง และมีการสูญเสียน้ำน้อย
3) พื้นที่จะต้องมีความลาดเทสม่ำเสมอ
4) ต้องมีการรวบรวมน้ำที่ไหลเลยท้ายร่องออกไป โดยนำมาใช้อีกหรือระบายออกไปให้พ้นจากบริเวณนั้น
5) วิธีนี้ไม่เหมาะกับการให้น้ำครั้งละน้อย ๆ เพื่อให้เมล็ดงอก หรือพืชรากตื้นที่ปลูกบนดินมีอัตราการซึมสูง

รูปที่ 5 วิธีให้น้ำแบบร่องคูลาด (Graded Furrow Method)

6.2.6 วิธีให้น้ำแบบร่องคูราบ (Level Furrow Method)

การให้น้ำแก่พืชโดยวิธีนี้ก็คล้ายคลึงกันกับวิธีให้น้ำแบบร่องคูลาด กล่าวคือ เป็นการให้น้ำในร่องแล้วให้น้ำไหลซึมเข้าไปในดินทั้งทางราบและทางดิ่งไปสู่รากพืช แต่วิธีนี้ร่องที่ให้น้ำไหลนั้นไม่มีความลาดเท คืออยู่ในแนวราบ

การเลือกใช้ การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีอัตราการซึมเฉลี่ยน้อยกว่า 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ดี พื้นที่ควรจะเรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอพืชที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้ควรจะเป็นพืชที่ปลูกเป็นแถว สำหรับพืชหว่านเมล็ดก็อาจจะให้น้ำโดยวิธีนี้ได้ ถ้าหากมีการยกร่องและให้น้ำเสียก่อน

ข้อดี

1) สามารถใช้ได้กับวิธีการส่งน้ำทุกแบบ
2) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง ถ้าหากมีการออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง
3) ไม่มีการสูญเสียน้ำโดยการไหลออกนอกแปลงที่ให้น้ำ
4) ถ้าหากไม่มีลมแรงพอที่จะมีผลต่อการไหลของน้ำในร่องคูส่งน้ำและอาคารส่งน้ำอื่น ๆ อาจจะลดลงได้โดยจัดให้อยู่ในระยะทุก ๆ สองเท่าของความยาวของร่องคูที่ได้ออกแบบไว้ เพราะว่าร่องคูได้ทั้งสองด้าน
5) สามารถใช้ฝนที่ตกลงบนพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
6) ไม่จำเป็นต้องมีการจัดระบบระบายน้ำทางด้านท้ายร่องคูอีก เพราะน้ำจะเฉลี่ยซึมลงไปในดินจนหมดไม่มีการขังอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งโดยเฉพาะ
7) การชะล้างเกลือออกจากดินจะทำได้ง่าย

ข้อเสีย

1) ถ้าหากลมในบริเวณนั้นมีความเร็วเกินกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของน้ำ จะทำให้น้ำไหลไปตลอดความยาวของร่องคูได้ยาก ถ้ามีปัญหาดังกล่าวนี้ควรจะให้ทิศทางของร่องคูนั้นตั้งฉากกับทิศทาง

ของลมที่พัดเป็นประจำ และถ้าหากจำเป็นจะต้องให้ร่องคูขนานกับทิศทางการพัดของลม การให้น้ำควรจะทำจากทางด้านเหนือลม

2) ขนาดของร่องคูจะต้องใหญ่พอ ขนาดดังกล่าวนี้ควรจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของน้ำที่จะให้แก่พืชในร่องนั้น

3) ถ้าจะให้การให้น้ำโดยวิธีนี้มีประสิทธิภาพดี จะต้องคอยควบคุมระดับดินและรูปทรงของร่องคูให้คงสภาพตามที่ออกแบบไว้อยู่เสมอ

รูปที่ 6 วิธีให้น้ำแบบร่องคูราบ (Level Furrow Method)

6.2.7 วิธีให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Furrow Method)

การให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินนั้นคล้ายคลึงกับการให้น้ำทางร่องคูลาด (Graded Furrow) กล่าวคือเป็นการให้น้ำทางร่องที่มีความลาดเท แต่ร่องตามแนวเส้นขอบเนินนี้จะราบกว่าและทิศทางของร่องจะเกือบขนานไปกับเส้นขอบเนิน ความลาดเทของร่องคูนั้นจะไม่มากนัก คือมีเพียงเพื่อให้น้ำไหลไปยังปลายของร่องได้เท่านั้น คูส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับร่องเพื่อจ่ายน้ำให้แต่ละร่อง รูปร่างลักษณะของร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน

การเลือกใช้การให้น้ำวิธีนี้สามารถใช้ได้กับพื้นที่ที่มีความลาดเททั่ว ๆ ไป ยกเว้นพื้นที่ที่เป็นดินทรายหรือดินที่มีการแตกระแหงเมื่อแห้งเพราะว่าหลังร่องซึ่งใช้ปลูกพืชถ้าเป็นดินทรายอาจพังและมีน้ำล้นข้ามได้ง่ายซึ่งถ้าเกิดการพังต่อเนื่องกันไปตามความลาดเทและก่อให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงขึ้นได้ ดินที่แตกระแหงก็จะทำให้เกิดช่องซึ่งทำให้น้ำในร่องที่สูงกว่าไหลลงมารวมกับร่องที่อยู่ต่ำกว่า และอาจก่อให้เกิดความเสียหายเช่นเดียวกับดินทรายได้ การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ความลาดเทสม่ำเสมอทั้งสองด้านของพื้นที่ เพราะว่าจะสามารถให้ร่องยาวได้มากและลดจำนวนร่องสั้น ๆ ลง

ข้อดี

1) ในกรณีที่พื้นที่มีความลาดเทชันมาก การให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินจะเกิดการกัดเซาะน้อยกว่าการให้น้ำทางร่องคูลาด
2) มีความสม่ำเสมอในการให้น้ำดี เพราะว่าสามารถใช้อัตราให้น้ำขนาดใหญ่กับร่องซึ่งเกือบจะอยู่ในแนวราบ ทำให้น้ำไหลไปถึงปลายร่องในเวลาอันรวดเร็ว
3) มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง ถ้าหากได้รับการวางผังและให้น้ำอย่างถูกต้อง

ข้อเสีย

1) จะต้องคอยตรวจตราอยู่เสมอว่าจะไม่มีน้ำล้นข้าม หรือไหลข้ามมาจากร่องที่อยู่สูงกว่าไปสู่ร่องที่ต่ำกว่าในขณะที่ให้น้ำ
2) ในพื้นที่ที่มีฝนตกชุก น้ำฝนอาจก่อให้เกิดการไหลล้มข้ามร่องและเกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงได้
3) ความยาวของร่องจะต้องไม่มากนักเพื่อที่จะได้ระบายน้ำที่เหลือออกไปโดยไม่เกิดอันตราย
4) ต้องการร่องระบายน้ำที่มีการป้องกันอย่างดี เพื่อที่จะระบายน้ำที่เหลือออกไปได้โดยไม่เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงขึ้น

5) สำหรับพืชบางชนิด การซ่อมแซมร่องจะต้องทำด้วยมือ เพราะว่าเมื่อพืชโตแล้วจะไม่สามารถใช้เครื่องจักรกลได้อีก
6) จะต้องมีการป้องกันการกัดเซาะในคูส่งน้ำด้วย เพราะคูส่งน้ำก็มีความลาดเทมาก
7) ต้องใช้เวลาในการวางแนวร่องคูมาก นอกจากนั้น การปลูกและการพรวนดินจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง
8) เครื่องมือที่ใช้ในการปลูก พรวนดิน และเก็บเกี่ยวจะต้องเลี้ยวบนพื้นที่เพาะปลูกตรงร่องที่ไปสิ้นสุดอยู่ตรงกลางของพื้นที่

รูปที่ 7วิธีให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Furrow Method)

6.2.8 วิธีให้น้ำทางร่องคูเล็ก (Corrugation Method)

การให้น้ำทางร่องคูเล็กเป็นการให้น้ำแก่พืชโดยให้น้ำท่วมผิวดินเพียงบางส่วน โดยการให้น้ำไหลไปในร่องน้ำเล็ก ๆ และตื้น ซึ่งอยู่ห่างจากกันเป็นระยะทางเท่า ๆ กัน การให้น้ำวิธีนี้ต่างกับร่องคูแบบอื่น ๆ ตรงที่ว่าขนาดของร่องน้ำนั้นเล็กและตื้น ระยะระหว่างร่องน้ำต้องไม่มากเกินกว่าที่น้ำจากร่องน้ำทั้งสองจะไหลซึมมาพบกันได้เมื่อการให้น้ำได้สิ้นสุดลงแล้ว

การเลือกใช้ การให้น้ำวิธีเหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทสม่ำเสมอระหว่าง 1 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์และมีฝนตกไม่มากนัก สำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทไม่สม่ำเสมอก็อาจจะใช้ได้เหมือนกัน แต่ควรจะให้ร่องคูเล็กนี้มีความลาดเทเท่ากันตลอดและจะต้องไม่มีการไหลล้นข้ามร่องไม่ว่าจะเป็นน้ำฝนหรือน้ำชลประทานการใช้วิธีให้น้ำแบบนี้ในเขตที่มีฝนตกชุกมักจะก่อให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงได้เสมอ

ข้อดี

1) สามารถใช้ได้กับอัตราการส่งน้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เพราะว่าสามารถจัดจำนวนร่องที่จะให้น้ำครั้งหนึ่ง ๆ ให้พอเหมาะกับอัตราการส่งน้ำที่ได้รับได้
2) ไม่ต้องการการปรับพื้นที่มากนัก ดังนั้นเมื่อได้มีการเปิดพื้นที่แล้วก็จะสามารถเพาะปลูกและให้น้ำได้อย่างรวดเร็ว

3) ถ้าใช้กับพื้นที่ที่ได้รับการปรับให้เรียบและมีความลาดเท สม่ำเสมอแล้ว ก็จะให้ประสิทธิภาพสูงถ้าออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง

ข้อเสีย

1) ต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก เพราะว่าจะต้องมีการลดอัตราการให้น้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อให้การให้น้ำนั้นสม่ำเสมอและมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลเลยท้ายร่องออกไปน้อยที่สุด
2) เนื่องจากร่องคูมีขนาดเล็กและตื้น ดังนั้นจะต้องมีการตบแต่งทุกปี บางครั้งอาจจะต้องทำหลายครั้งตลอดปีซึ่งทำให้ต้องสิ้นเปลืองมากขึ้น
3) วิธีนี้ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่ค่อนข้างราบ โดยปกติแล้วจะไม่ใช้กับพื้นที่ที่มีความลาดเทน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์
4) ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีความลาดเทมากและอยู่ในเขตที่มีฝนตกชุก เพราะอาจทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงขึ้นได้

รูปที่ 8 การให้น้ำทางร่องคูเล็ก (Corrugation Method)

6.2.9 การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation)

การให้น้ำทางใต้ผิวดินเป็นการให้น้ำแก่พืชโดยการยกระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาให้สูงพอที่น้ำจะไหลซึมขึ้นมาสู่ระดับเขตรากได้ วิธีเพิ่มระดับน้ำใต้ดินอาจจะทำได้สองแบบ คือโดยการให้น้ำในคู และโดยการให้น้ำไหลเข้าไปในท่อซึ่งฝังไว้ใต้ดิน ความลึกของระดับน้ำใต้ดินในขณะที่ให้น้ำนั้นจะอยู่ระหว่าง 30 ถึง 60 เซนติเมตรทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของดินและความลึกของรากพืชที่ปลูก น้ำใต้ดินจะไหลไปสู่จุดต่าง ๆ ในเขตรากโดยการดูดซับ (Capillary Action)

การเลือกใช้ การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอ และมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้มากพอที่จะให้น้ำไหลทั้งในแนวราบและในแนวดิ่งได้รวดเร็ว และจะต้องมีชั้นดินที่น้ำซึม

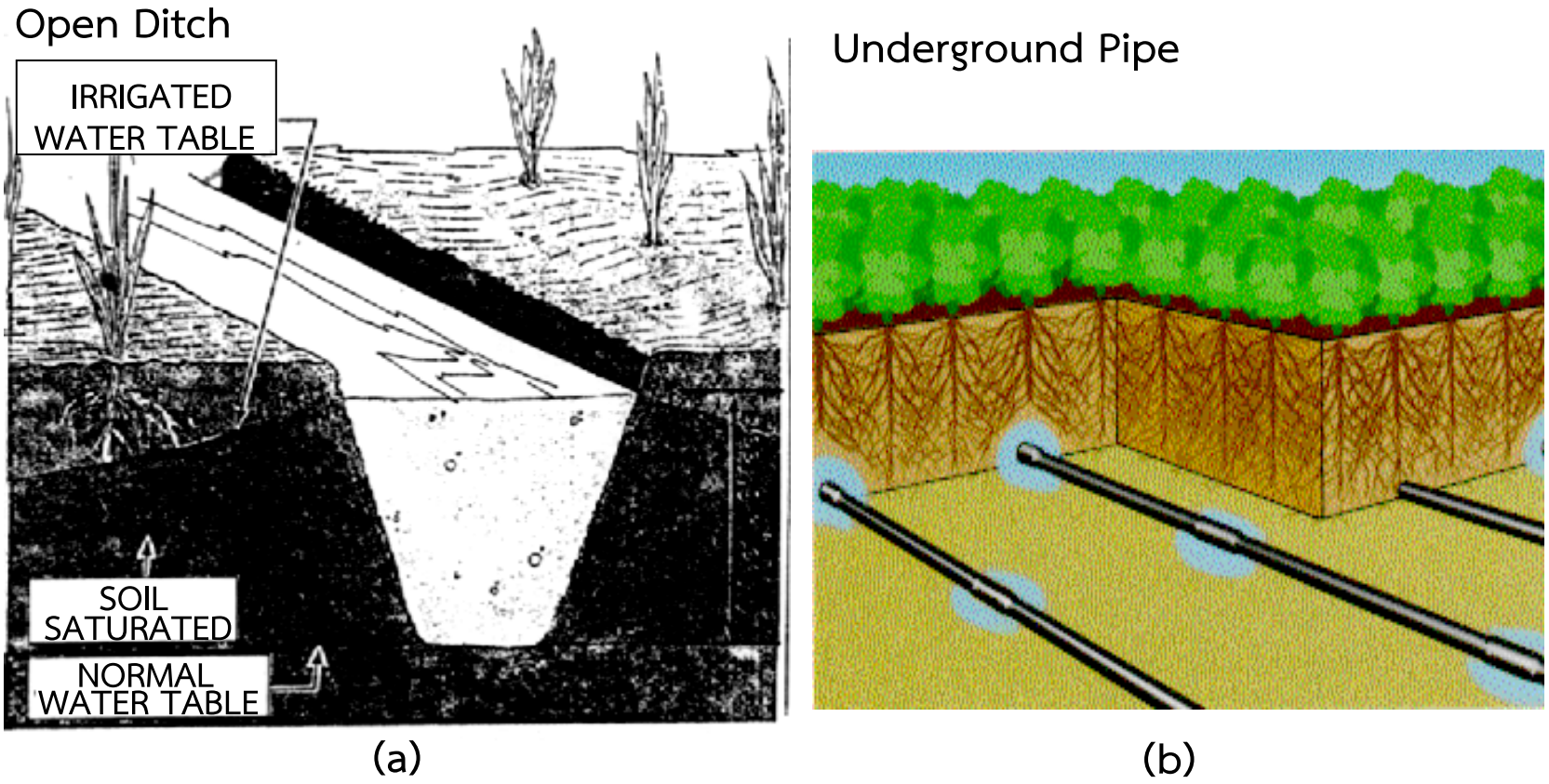
ผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เขตราก ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำใต้ดินได้โดยมีการสูญเสียน้ำไม่มากนัก พื้นที่ควรจะเรียบและเกือบอยู่ในแนวราบ พืชที่ให้น้ำโดยวิธีนี้ได้ก็มีพวกผัก พืชไร่ หญ้าเลี้ยงสัตว์ และไม้ดอกต่าง ๆ แต่ไม่เหมาะกับพืชสวนหรือพืชยืนต้นอื่น ๆ

ข้อดี

1) การให้น้ำแบบนี้สามารถใช้ได้กับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินสูง แต่มีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้น้อย ซึ่งไม่เหมาะกับการให้น้ำทางผิวดิน
2) สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่อายุต่าง ๆ ได้
3) มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยน้อยมาก
4) การแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชเนื่องจากถูกน้ำพัดพาไปน้อย
5) ระบบให้น้ำทางใต้ดินอาจใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ด้วย
6) ต้องการแรงงานในการให้น้ำน้อย
7) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

ข้อเสีย

1) เนื่องจากวิธีนี้ต้องการให้มีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เขตราก และดินจะต้องมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีพอสมควร ดังนั้นจึงใช้ได้กับพื้นที่เพียงบางแห่งเท่านั้น
2) โดยปกติแล้วพื้นที่ที่อยู่ข้างเคียงจะต้องให้น้ำวิธีนี้เหมือนกัน มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้นได้
3) น้ำชลประทานจะต้องมีคุณภาพดี มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาเรื่องการสะสมของเกลือบนผิวดินและในเขตรากขึ้นได้
4) ในกรณีที่น้ำชลประทานมีเกลืออยู่บ้าง ก็จะต้องมีการชะล้างเกลือออกจากดินเป็นประจำ
5) การงอกของเมล็ดอาจจะไม่สม่ำเสมอถ้าหากไม่สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้ไหลซึมขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอได้
6) สามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด พวกพืชที่มีรากลึกเช่นพืชสวนและพืชยืนต้นไม่เหมาะที่จะให้น้ำโดย วิธีนี้
7) ปุ๋ยที่ให้แก่พืชแผ่กระจายไปทั่วเขตรากได้ช้ากว่าแบบให้น้ำทางผิวดินหรือแบบฉีดฝอย



รูปที่ 9 การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation)

6.2.10 การให้น้ำแบบหยด (Drip or Trickle Irrigation)

การให้น้ำแบบหยดเป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลาย ๆ จุดบนผิวดินหรือในเขตรากพืช โดยอัตราที่ให้นั้นไม่มากพอที่จะทำให้ดินในเขตรากนั้นเปียกชุ่มเป็นบริเวณกว้าง แต่จะทำให้ดินมีแรงดึงความชื้นต่ำอยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วผิวดินจะเปียกแต่ตรงจุดที่ให้น้ำเท่านั้น น้ำที่ให้แก่พืชอาจจะอยู่ในรูปของเมล็ดน้ำเล็ก ๆ ซึ่งฉีดจากหัวฉีดขนาดเล็กที่ต้องการแรงดันไม่มากนัก หรือเป็นหยดน้ำหรือสายน้ำเล็ก ๆ ที่ไหลจากท่อพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 ถึง 2 มิลลิเมตร หัวฉีดหรือท่อพลาสติกจะวางไว้ในบริเวณโคนต้นพืช โดยมีท่อพลาสติกหรือสายยางขนาดใหญ่ซึ่งนำน้ำจากท่อประธานเป็นท่อจ่ายน้ำให้อีกทีหนึ่ง จำนวนหัวฉีดหรือท่อพลาสติกจะขึ้นอยู่กับอายุและความต้องการน้ำของพืช เนื่องจากว่าท่อหรือหัวฉีดซึ่งทำหน้าที่จ่ายน้ำมีขนาดเล็กมาก น้ำที่ใช้จึงต้องปราศจากตะกอนขนาดที่จะมาอุดตันหัวฉีดหรือท่อพลาสติกได้ บางครั้งอาจจะต้องให้น้ำผ่านเครื่องกรองเสียก่อน

การเลือกใช้ การให้น้ำแบบนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับพื้นที่ที่น้ำสำหรับให้แก่พืชมีจำนวนจำกัดหรือมีราคาแพง สามารถใช้ได้ดีกับดินเกือบทุกชนิดแต่จะดีมากถ้าดินนั้นมีการไหลซึมทางด้านข้างดีพอสมควร เพราะจะได้รัศมีทางราบของปริมาตรดินที่เปียกชื้นกว้างกว่า ซึ่งเป็นผลให้สามารถลดจำนวนหัวจ่ายน้ำ (Emitter) ลงได้

เนื่องจากว่าการให้น้ำแบบนี้มีระยะเวลาในการให้น้ำยาวนานแต่ไม่ทำให้ดินเปียกชุ่มเป็นบริเวณกว้าง จึงเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับพืชที่มีรากตื้นและต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา เช่น พวกพืชผักต่าง ๆ อย่างไรก็ตามการให้น้ำแบบนี้ใช้ได้ดีกับพืชยืนต้นเหมือนกัน แต่เนื่องจากว่าค่าลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูง ส่วนใหญ่จึงมักเลือกใช้กับพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงเช่นกัน พวกไม้ผลต่าง ๆ เป็นต้น

ข้อดี

1) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงมาก เพราะว่าสามารถควบคุมน้ำได้ทุกขั้นตอน และมีการสูญเสียโดยการระเหยน้อย ดังนั้นผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำที่ใช้จึงมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น ๆ
2) ค่าใช้จ่ายในการให้น้ำน้อยเพราะไม่ต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก และไม่ต้องการแรงดันที่หัวจ่ายน้ำ (Emitter) มากเหมือนแบบฉีดฝอย
3) สามารถใช้ระบบให้น้ำแบบนี้ให้ปุ๋ยและสารเคมีอื่น ๆ แก่พืชพร้อม ๆ กับการให้น้ำได้ด้วย โดยการผสมปุ๋ยหรือสารเคมีเข้ากับน้ำทางท่อดูดของเครื่องสูบน้ำ หรืออัดเข้าทางต้นท่อของระบบ

4) ไม่มีปัญหาโรคพืชหรือแมลงที่เกี่ยวเนื่องจากการเปียกชื้นของใบเหมือนในการให้น้ำแบบฉีดฝอย
5) ลดปัญหาเรื่องการแพร่กระจายของพืชลงเนื่องจากว่าน้ำที่ให้แก่พืชจะเปียกผิวดินเป็นบริเวณแคบ ๆ เท่านั้น
6) ไม่มีปัญหาเรื่องลมแรงเหมือนในการให้น้ำแบบฉีดฝอย
7) เนื่องจากว่าอัตราการให้น้ำไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ดินและพืช ดังนั้นอาจทำการให้น้ำได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องคอยดูแล ระยะเวลาให้น้ำที่ยาวนานเช่นนี้จะมีผลให้ไม่ต้องใช้ระบบส่งน้ำขนาดใหญ่ หรือต้องการเครื่องสูบน้ำแรงม้าสูง
8) เนื่องจากการให้ปุ๋ยและสารเคมีโดยการผสมไปกับน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกันกับการให้น้ำดังนั้น ค่าใช้จ่ายสำหรับปุ๋ยและสารเคมีก็จะลดลงด้วย
9) ยกเว้นหัวจ่ายน้ำซึ่งมักจะมีปัญหาเรื่องอุดตันแล้ว ระบบชลประทานแบบนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนานพอสมควร
10) สามารถติดตั้งให้ทำการให้น้ำแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก เช่น ให้น้ำตามกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ หรือให้น้ำเมื่อความชื้นของดินในเขตรากลดลงถึงระดับหนึ่ง เป็นต้น

11) ไม่มีปัญหาเรื่องอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน เพราะอัตราการให้น้ำจะไม่มากพอที่จะทำให้ดินเปียกชุ่มเป็นบริเวณกว้างอยู่แล้ว

12) เนื่องจากปริมาณน้ำที่ให้และที่สูญเสียไปโดยการระเหยน้อย ดังนั้นการสะสมของเกลือที่ติดมากับน้ำในเขตรากจึงไม่มากเหมือนแบบอื่น ๆ ที่ใช้น้ำจากแหล่งเดียวกัน

ข้อเสีย

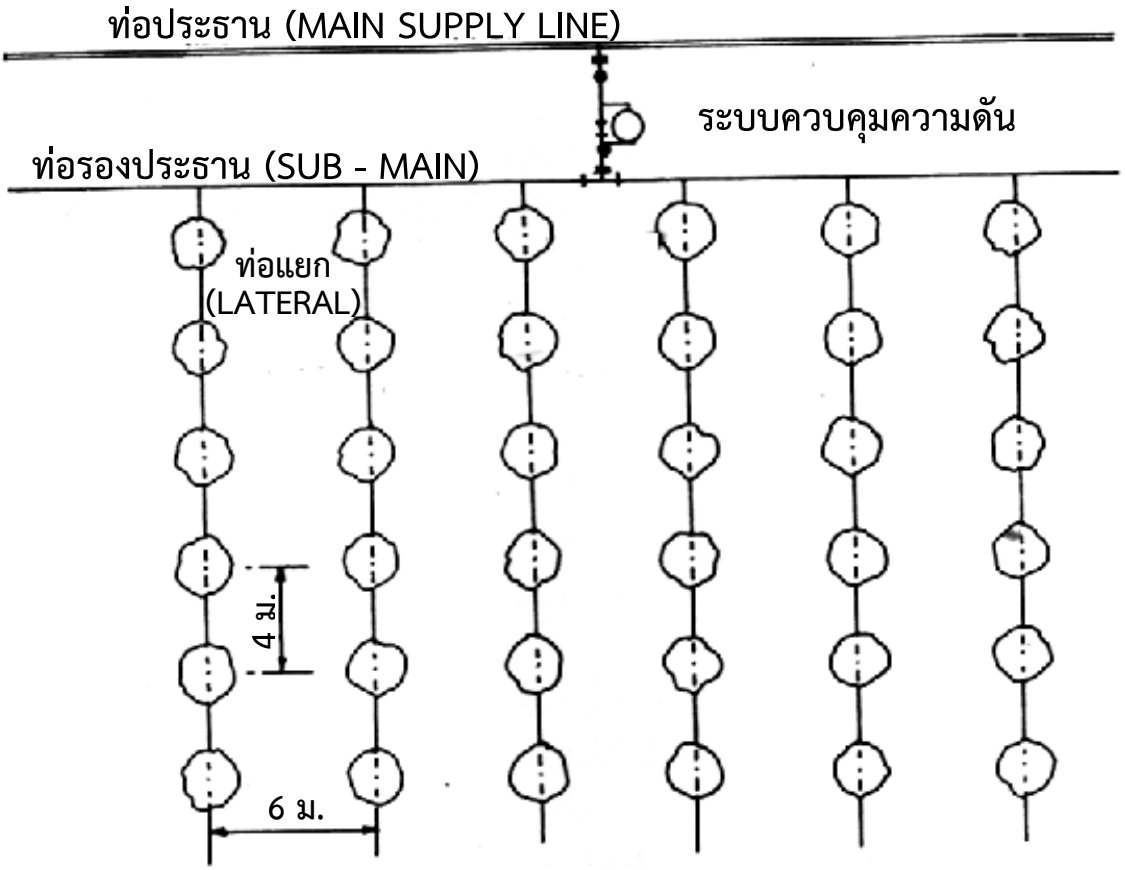
1) มีปัญหาเรื่องการอุดตันที่หัวจ่ายน้ำมาก สำหรับการอุดตันที่เนื่องมาจากตะกอนทรายในน้ำชลประทานนั่นอาจแก้ไขได้โดยการกรองน้ำเสียก่อน สาเหตุอื่นอาจเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำ หรือเนื่องมาจากการสะสมตัวของสารเคมีในน้ำ การอุดตันดังกล่าวนี้ถ้ามีระยะเวลายาวนานก่อนตรวจพบ พืชอาจได้รับความเสียหายได้

2) เนื่องจากว่าบริเวณที่เปียกชื้นไม่กว้างขวางนัก ความเข้มข้นของเกลือซึ่งมักจะเกิดขึ้นในบริเวณรอบ ๆ นอกของส่วนที่เปียกชื้นจึงมักจะสูงและอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีฝนไม่มากพอที่จะชะล้างเกลือออกไปให้เลยเขตราก กรณีดังกล่าวนี้อาจป้องกันได้โดยการให้น้ำในระหว่างฤดูฝนด้วยเพื่อป้องกันมิให้สารละลายของ

เกลือไหลย้อนมาหารากพืช หรืออาจจะต้องมีการชะล้างเกลือออกจากดินเป็นครั้งคราวด้วย

3) เนื่องจากว่าการให้น้ำแบบนี้ดินจะเปียกชื้นแต่เพียงบางส่วนของเขตรากเท่านั้น การแผ่ขยายของรากส่วนใหญ่จึงถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณนี้ ดังนั้น ถ้าหากหัวจ่ายน้ำเกิดการอุดตัน โอกาสที่พืชจะได้รับความเสียหายรุนแรงจึงมีมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น

4) ค่าลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูงเพราะต้องมีอุปกรณ์หลายอย่าง โดยทั่ว ๆ ไปราคาจะพอ ๆ กับระบบชลประทานแบบฉีดฝอย แต่จะแพงกว่าแบบผิวดิน ยกเว้นในกรณีที่การให้น้ำทางผิวดินนั้นต้องการการปรับพื้นที่มาก



ตัวอย่างระบบให้น้ำแบบหยดในส่วนผลไม้

รูปที่ 10 การให้น้ำแบบหยด (DRIP IRRIGATION)

บทที่ 7 การส่งน้ำชลประทาน (Irrigation Water Delivery)

7.1 ความหมาย “ การส่งน้ำ”

หมายถึงการนำน้ำจากแหล่งน้ำ ให้ไหลผ่านไปตามระบบส่งน้ำซึ่งอาจจะเป็นคลองส่งน้ำ หรือท่อส่งน้ำเพื่อให้ไปถึงยังพื้นที่เพาะปลูกหรือบริเวณที่ต้องการ

ส่วนคำว่า **การจัดสรรน้ำชลประทาน(Water Allocation)** หมายถึง การดำเนินการเพื่อแบ่งปันน้ำไปให้แก่ผู้ใช้น้ำ เพื่อให้ได้ปริมาณที่เหมาะสมสอดคล้องกับปริมาณน้ำที่มีอยู่และปริมาณน้ำที่ผู้ใช้น้ำต้องการ

7.2 หลักของการส่งน้ำชลประทาน การส่งน้ำที่ถูกต้อง เหมาะสม ควรประกอบด้วยหลักการ ดังนี้

1. ส่งในปริมาณที่พอดีและเหมาะกับขีดความสามารถของระบบส่งน้ำ (คลองหรือท่อ)และอาคารควบคุมในคลองหรือระบบท่อ เช่น คลองหรือท่อมีความสามารถรับน้ำได้ 1.0 ลบ.ม./วินาที ก็จะต้องส่งให้ไม่เกิน 1.0 ลบ.ม. ต่อ วินาทีหรือไม่ต่ำกว่า 1.0 ลบ.ม.ต่อวินาที มากเกินไปจนระดับน้ำในคลองไม่สามารถไหลออกจากคลองเข้าสู่พื้นที่ข้างคลองได้

2. ส่งน้ำให้สอดคล้องกับเวลาที่ผู้ใช้น้ำมีความต้องการ เช่น พื้นที่ของนาย ก. ต้องการน้ำวันพฤหัสบดี ต้องส่งไปให้ถึง วัน พฤหัสบดี หรือ หากพื้นที่ นายก. ต้องการรับน้ำนาน 1 วัน ต้องส่งน้ำให้อยู่ในคลองบริเวณที่นาย ก. จะนำน้ำไปใช้ได้ เป็นเวลานาน 1 วัน

3.ส่งน้ำให้ในปริมาณที่พอดีกับความต้องการของผู้ใช้

4. ส่งน้ำด้วยวิธีที่เหมาะสมกับความรู้ ความเข้าใจ ความชำนาญของผู้ใช้น้ำ และผู้ส่งน้ำ

5. ส่งน้ำให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำต้นทุน ที่มีอยู่ คำว่าน้ำต้นทุน ในที่นี้หมายถึงปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแหล่งน้ำและพร้อมจะแจกจ่ายไปให้ใช้ได้

ความประพฤติ ที่จะช่วยให้ชีวิตมีความสุข

1.ไม่โลภ - อยู่อย่างพอเพียง
2.ไม่เสียดาย – เรื่องในอดีต ไม่ต้องเก็บมาคิด
3. อยู่กับปัจจุบัน – ทำ ณ วินาทีปัจจุบันให้ดีที่สุด
4. มองโลกในแง่ดี - เชื่อว่าพรุ่งนี้จะดีกว่าวันนี้
5. ถ่อมตน ไม่ยกตน - ความทุกข์จะลดลง
6. ทำความดีให้มากขึ้น เช่น ช่วยตัวเองให้มากขึ้น ช่วยคนอื่นให้มากขึ้น เชื่อเรื่องกฎแห่งกรรม

7.3 วิธีการส่งน้ำชลประทาน

ตามวิทยาการทางการชลประทาน ทั่วโลก มีวิธีการส่งน้ำอยู่หลายวิธี ดังนี้

-ส่งน้ำแบบตลอดเวลา

-ส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้

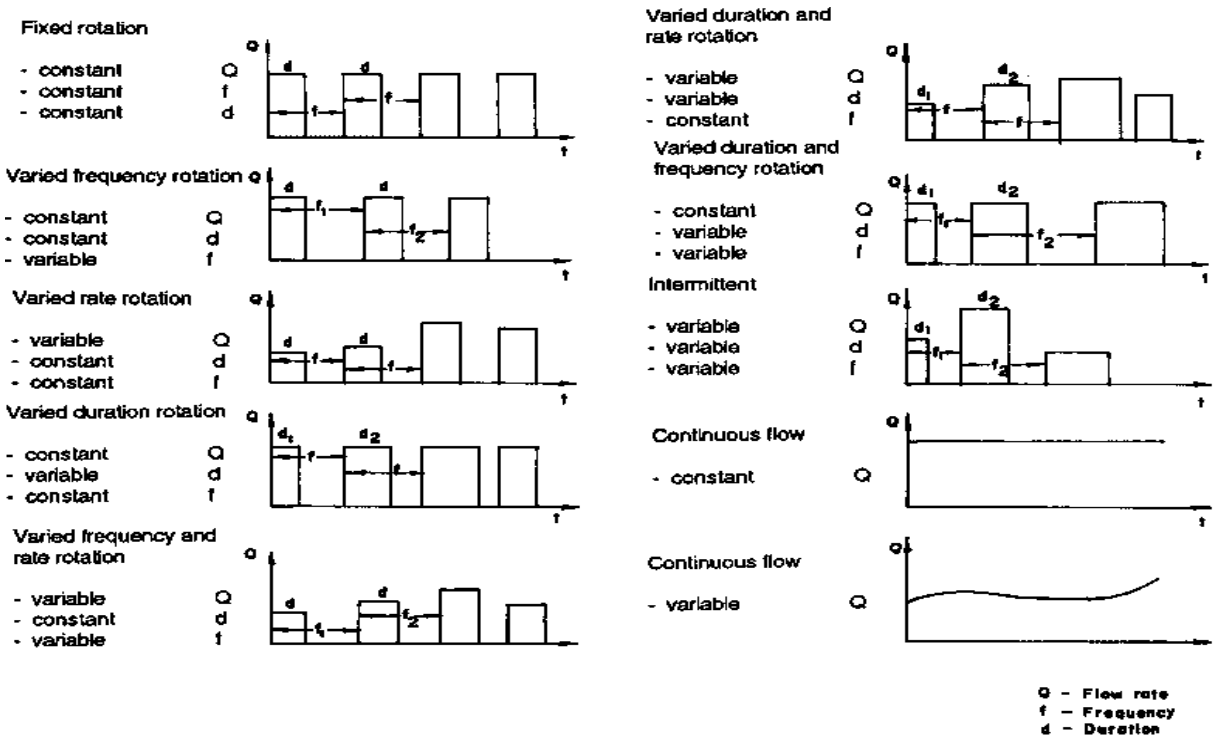
-ส่งน้ำแบบหมุนเวียนหรือเป็นรอบเวร

-ส่งน้ำตามความต้องการแบบมีอัตราจำกัด

-ส่งน้ำแบบจำกัดช่วงเวลารับน้ำ

-ส่งน้ำแบบสามารถปรับเปลี่ยนความถี่(รอบเวร)ระหว่างผู้รับน้ำกับผู้ส่งน้ำ

ภาพที่ 1 แสดงวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆพร้อมลักษณะของอัตราการไหล(Q)ในคลองส่งน้ำ ระยะเวลา(t) ในแต่ละวิธีการส่งน้ำ



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Q กับ เวลา สำหรับวิธีการส่งน้ำแบบต่าง ๆ

จากภาพที่ 1 มีวิธีการส่งน้ำและลักษณะของอัตราการไหลในคลอง(Discharge Q) ความถี่หรือรอบเวร (Frequency f)และช่วงเวลาที่ได้รับน้ำ(Duration, d) ดังนี้คือ

1.หมุนเวียนแบบมีรอบเวรคงที่(Fixed Rotation) อัตราการไหลในคลองคงที่ ระยะห่างของรอบเวรคงที่และช่วงเวลารับน้ำคงที่

2.หมุนเวียนแบบรอบเวรไม่คงที่(Varied Frequency Rotation) อัตราการไหลในคลองคงที่ ระยะห่างของรอบเวรไม่คงที่แต่ช่วงเวลารับน้ำคงที่

3.หมุนเวียนแบบปรับเปลี่ยนอัตราการไหล(Varied Rate Rotation) อัตราการไหลคงที่ ระยะห่างของรอบเวรคงที่แต่มีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหล

4.หมุนเวียนแบบช่วงเวลาได้รับน้ำไม่คงที่(Varied Duration Rotation) อัตราการไหลในคลองคงที่ระยะห่างของรอบเวรคงที่ แต่ช่วงเวลาที่ได้น้ำปรับเปลี่ยนไป ไม่คงที่

5.หมุนเวียนแบบรอบเวรไม่คงที่ อัตราการไหลไม่คงที่แต่ช่วงเวลาที่ได้น้ำคงที่(Varied Frequency and Rate Rotation)

6.หมุนเวียนแบบช่วงเวลาที่ได้น้ำและอัตราการไหลไม่คงที่แต่ระยะห่างของแต่ละรอบเวรคงที่ (Varied Duration and Rate Rotation)

7.หมุนเวียนแบบช่วงเวลาที่ได้รับน้ำและระยะห่างระหว่างรอบเวรไม่คงที่ แต่อัตราการไหลคงที่ (Varied Duration and Frequency Rotation)

8.หมุนเวียนแบบไม่คงที่ทั้งหมด (Intermittent) ช่วงเวลาที่ได้รับน้ำ ระยะห่างระหว่างรอบเวรและอัตราการไหลไม่คงที่

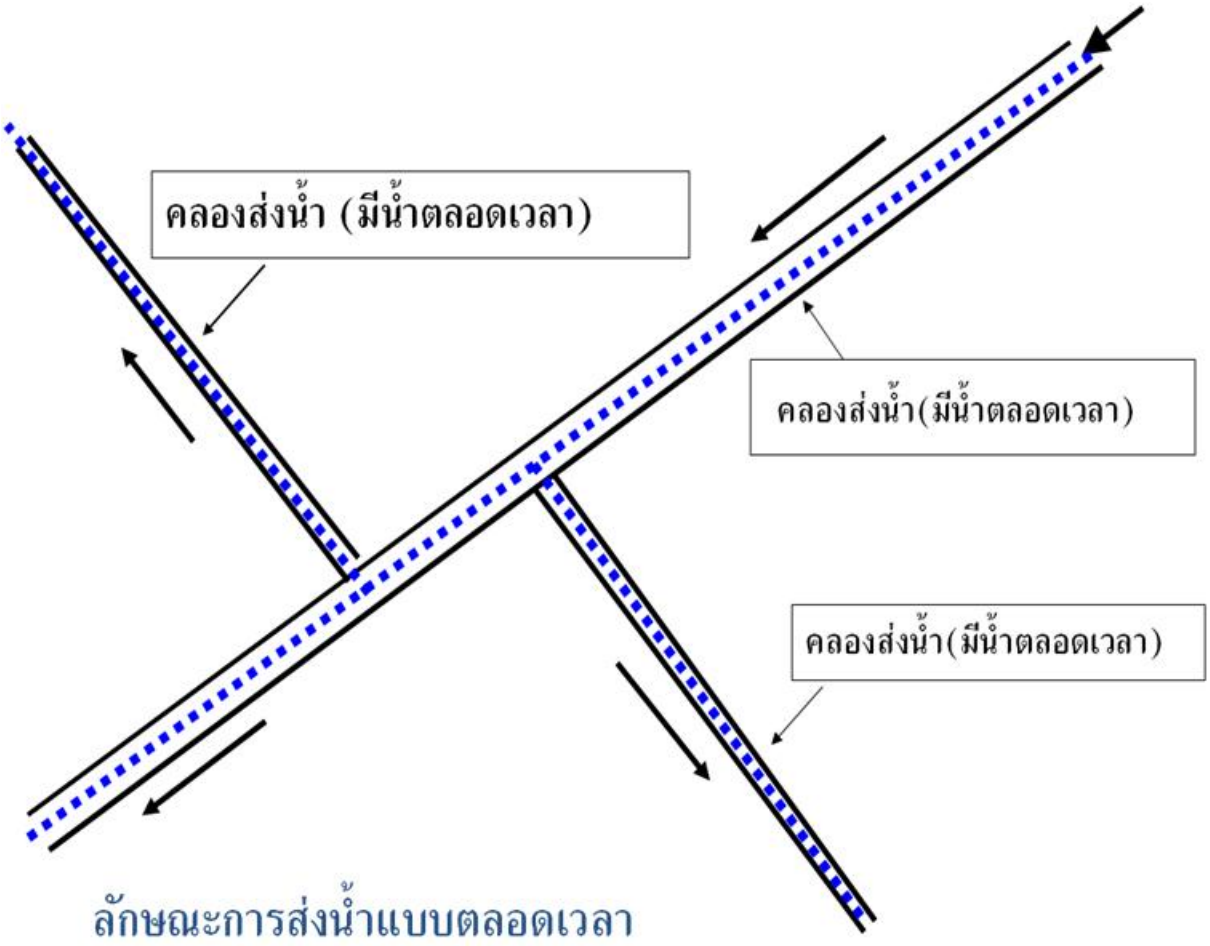
9.แบบตลอดเวลาและอัตราการไหลคงที่ ไม่มีการกำหนดรอบเวร มีช่วงเวลาที่ได้น้ำตลอดเวลา

10.แบบตลอดเวลาแต่อัตราการไหลไม่คงที่

สำหรับวิธีการส่งน้ำชลประทาน ของประเทศไทยที่ปฏิบัติอยู่มี 3 วิธีคือ

- การส่งน้ำแบบตลอดเวลา
- การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้ (วิธีนี้ไม่ค่อยพบมากนักในระบบชลประทานของประเทศไทย ยกเว้นการชลประทานที่ส่งน้ำผ่านทางระบบท่อ)
- การส่งน้ำแบบหมุนเวียน หรือ เป็นรอบเวร

7.3.1 การส่งน้ำแบบตลอดเวลา (Continuous water delivery) หมายถึง การส่งน้ำ ผ่านเข้าสู่ระบบคลองหรือคูส่งน้ำสายใด ๆ อย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาที่มีการเพาะปลูก ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะการไหลของน้ำในคลองเมื่อส่งน้ำแบบตลอดเวลา

ข้อดี – ข้อเสีย ของการส่งน้ำแบบตลอดเวลา

ข้อดี

1. เป็นวิธีที่เข้าใจง่าย ขั้นตอนไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน
2. ใช้แรงงานดูแล ควบคุมการส่งน้ำ น้อย
3. ขนาดของคลองส่งน้ำ มีขนาดเล็กลงตามขนาดพื้นที่รับน้ำ จากต้นคลอง ไปยังปลายคลอง
4. ค่าลงทุนก่อสร้างระบบส่งน้ำน้อยกว่า
5. สูญเสียที่ดินเพื่อใช้เป็นที่ก่อสร้างระบบส่งน้ำ น้อยลง

ข้อเสีย

1. เกิดการสูญเสียน้ำในระบบคลอง คูส่งน้ำมาก <u>เนื่องจากมีน้ำขังอยู่ตลอดเวลา</u>
2. ไม่เหมาะสำหรับโครงการชลประทานที่มีน้ำต้นทุน น้อย (มีน้ำอยู่ในคลองตลอดเวลา เกิดการใช้น้ำที่ฟุ่มเฟือย และสูญเสียน้ำง่าย)

ขนาดของคลองส่งน้ำ ที่ส่งแบบตลอดเวลา สามารถคำนวณด้วยสมการ ดังนี้

$$Q = \frac{A \times D_m}{54000 E_i}$$

เมื่อ

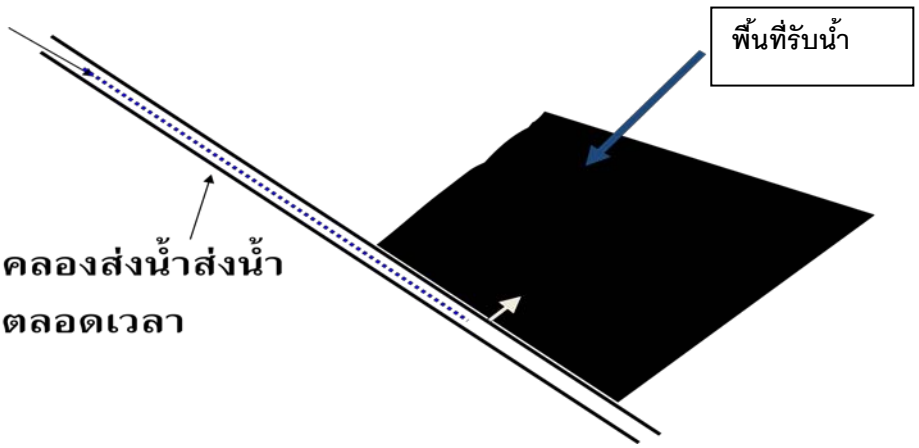
Q = ปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้ (ลบ.ม./วินาที)

A = พื้นที่ที่จะส่งน้ำให้ (ไร่)

D_m = ค่าการใช้น้ำของพืชสูงสุด (มม./วัน)

E_i = ประสิทธิภาพการชลประทาน (ทศนิยม)

ตัวอย่าง การหาปริมาณน้ำที่ต้องส่งผ่านคลองส่งน้ำ เมื่อส่งน้ำแบบตลอดเวลา มีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ 300 ไร่ ทำการปลูกข้าว ซึ่งมีค่าการใช้น้ำสูงสุดเท่ากับ 8 ม.ม./วัน ประสิทธิภาพการชลประทานของคลองส่งน้ำนี้เท่ากับ 80 % จงคำนวณว่าอัตราการไหล หรือปริมาณน้ำที่จะต้องส่งผ่านคลองสายนี้เป็นเท่าไร เมื่อส่งน้ำแบบตลอดเวลา



วิธีทำ จากข้อมูลที่กำหนด

Dm = 8 มม./วัน A = 300 ไร่

Ei = 80 % = 0.80

แทนค่าในสูตร

$$Q = \frac{300 \times 8}{54000 x 0.80}$$

ได้ Q = 0.055 ลบ.ม./วินาที = 55.5 ลิตร/วินาที

7.3.2 การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้ (On Demand water delivery)

หมายถึง การจัดการให้น้ำผ่านไปตามคลองส่งน้ำ จนถึงแปลงเพาะปลูก โดยส่งให้ในช่วงเวลาและปริมาณ ซึ่ง เป็นไปตามที่ ผู้ใช้น้ำขอมา

ข้อดี ข้อเสีย ของการส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้

ข้อดี

1. ผู้ใช้น้ำได้รับความสะดวกในการใช้น้ำ

2. ประสิทธิภาพการใช้น้ำจะสูง (ส่วนใหญ่วิธีนี้ผู้ใช้น้ำจะต้องชำระค่าน้ำ ทำให้เกิดการใช้น้ำอย่างประหยัด)

ข้อเสีย

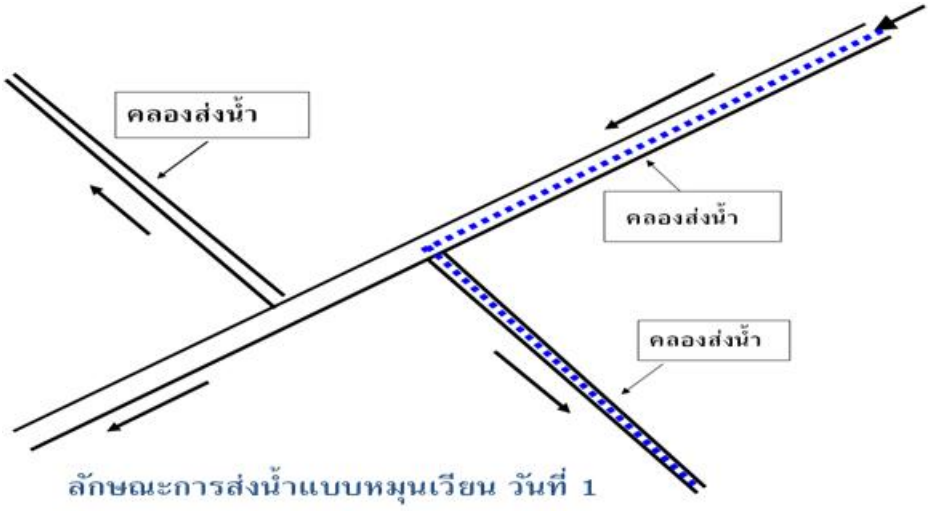
1. ผู้ใช้น้ำและผู้ส่งน้ำ จะต้องมีความรู้/ความเข้าใจวิธีการควบคุมการส่งน้ำเป็นอย่างดี เช่นเปิดน้ำเวลาไหน เปิด ปิด อย่างไร ด้วยปริมาณเท่าไรเป็นต้น

2. ต้องมีการออกแบบ ก่อสร้างระบบส่งน้ำด้วยเทคโนโลยีที่ค่อนข้างสูง (สามารถควบคุมน้ำได้เป็นอย่างดี)–ทำให้ต้นทุนสูง

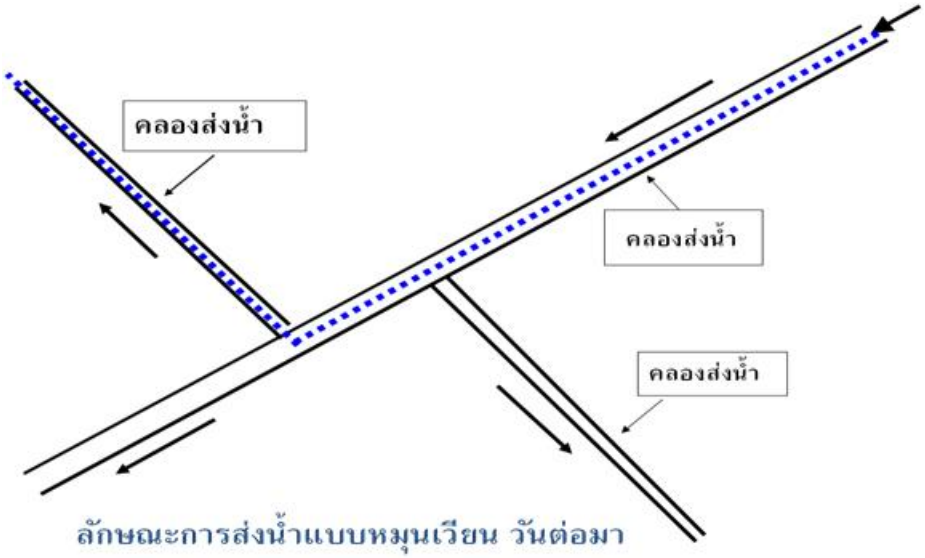
3. ต้องมีน้ำต้นทุนที่สมบูรณ์ พร้อมสนับสนุนให้ผู้ขอได้ตามต้องการ

7.3.3 การส่งน้ำแบบรอบเวรหรือแบบหมุนเวียน (Rotational water delivery)

หมายถึงการส่งน้ำผ่านไปตามคลองส่งน้ำ แต่ละสายไม่พร้อมกัน โดยต้องมีการกำหนดช่วงเวลาที่คลองแต่ละสายจะได้รับน้ำ รวมทั้งได้รับน้ำเป็นเวลานานต่างกันไป ภาพที่ 3 (ก) และ (ข) แสดงลักษณะการไหลในคลอง ของการส่งน้ำหมุนเวียน



(ก)



(ข)

ภาพที่ 3 ลักษณะการส่งน้ำแบบหมุนเวียน หรือ แบบรอบเวร

ตัวอย่าง (ให้นิสิตฝึกทำด้วยตนเอง)

1) Calculate the volume of the following blocks, when given:
   a. length = 75 cm, width = 3 m, height = 6 cm V = ...m^3
   b. length = 0.5 cm, width = 1 dm, height = 20 cm V = ...m^3
   c. length = 15 cm, width = 2 dm, height = 0.5 m V = ...litres
2) Calculate the volume of water (in m^3) on a field, when given: the length = 150 m, the width = 56 m and the water layer = 70 mm.
3) Calculate the minimum depth of a reservoir, which has: a length of 15 m and a width of 10 m and which has to provide 50 mm water for a field of 175 m long and 95 m wide.

หมั่นทำความดีไว้เถิด

อย่าดูหมิ่น บุญกรรม จำนวนน้อย *ว่าไม่ค่อย ตามต้อง สนองผล*

ดั่งตุ่มน้ำ เปิดหงายรับ กับสายชล *ย่อมเต็มล้น ด้วยอุทก ที่ตกลง*

อันนักปราชญ์ สั่งสม บ่มบุญบ่อย *ทีละน้อย ค่อยทำไป ไม่ไหลหลง*

ย่อมเต็มล้น ด้วยบุญนั้น เป็นมั่นคง *โปรดขอจง มุ่งมั่นทำ แต่กรรมดี*

การส่งน้ำแบบหมุนเวียนอาจแบ่งตามลักษณะการหมุนเวียนตามระบบคู คลองที่มีอยู่ ออกได้เป็น 3 ประเภท

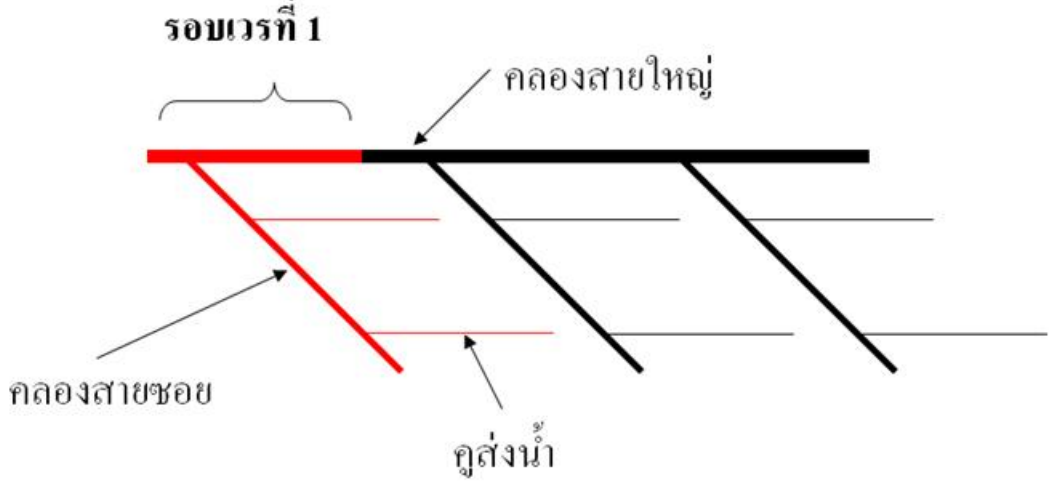
-การส่งน้ำหมุนเวียนโดยคลองส่งน้ำสายใหญ่

-การส่งน้ำหมุนเวียนโดยคลองซอย

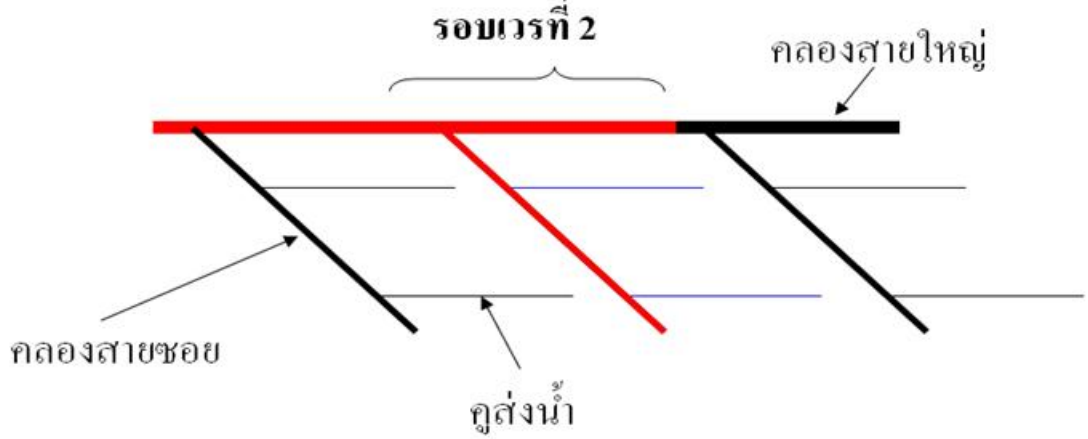
-การส่งน้ำหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำ

(ก) **การส่งน้ำหมุนเวียนในคลองสายใหญ่**

การส่งน้ำโดยวิธีนี้ น้ำจะถูกส่งไปตามคลองสายใหญ่ทีละส่วนตามที่ได้กำหนดไว้ เมื่อส่งน้ำเข้าไปในตอนใดของคลองสายใหญ่ คลองซอยและคูส่งน้ำในส่วนนั้นจะได้รับน้ำพร้อมกัน ภาพที่ 4 (ก) (ข) และ(ค)เป็นการส่งน้ำหมุนเวียนในคลองสายใหญ่



(ก)

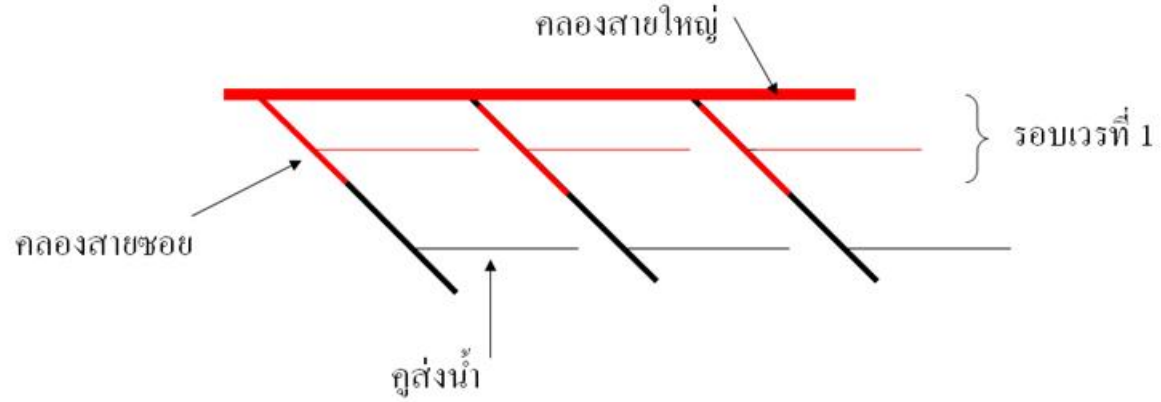


(ข)

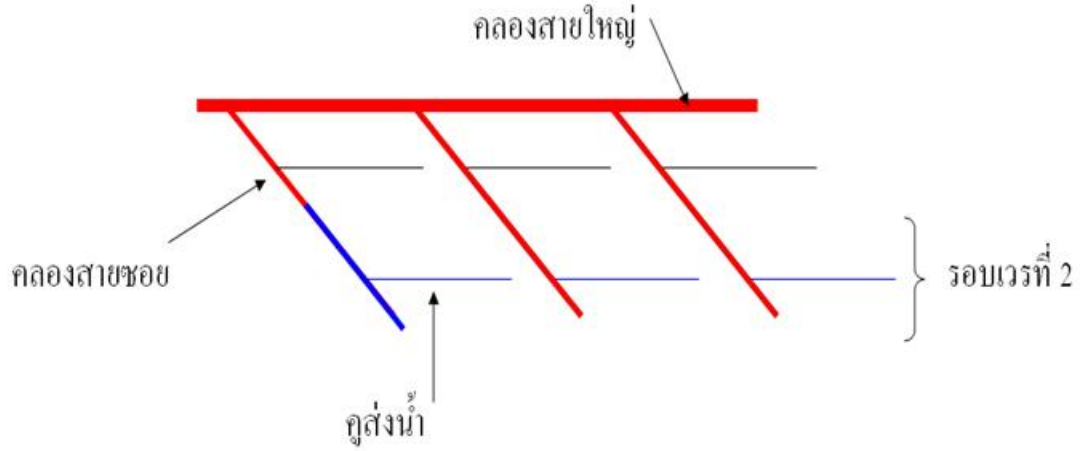
ภาพที่ 4 ลักษณะการส่งน้ำหมุนเวียนในคลองสายใหญ่

(ข) การส่งน้ำหมุนเวียนในคลองซอย

วิธีนี้น้ำจะถูกส่งเข้าคลองสายใหญ่ตลอดเวลาแต่คลองซองสายต่าง ๆ จะถูกแบ่งเป็นส่วน ๆ และแต่ละส่วนของคลองซอย และคูส่งน้ำที่รับน้ำจากคลองซอยจะได้รับน้ำเป็นช่วง ๆ ตาม ระยะเวลาที่กำหนดไว้ ภาพที่ 5(ก) และ (ข) แสดงการส่งน้ำหมุนเวียนในคลองซอย



(ก)

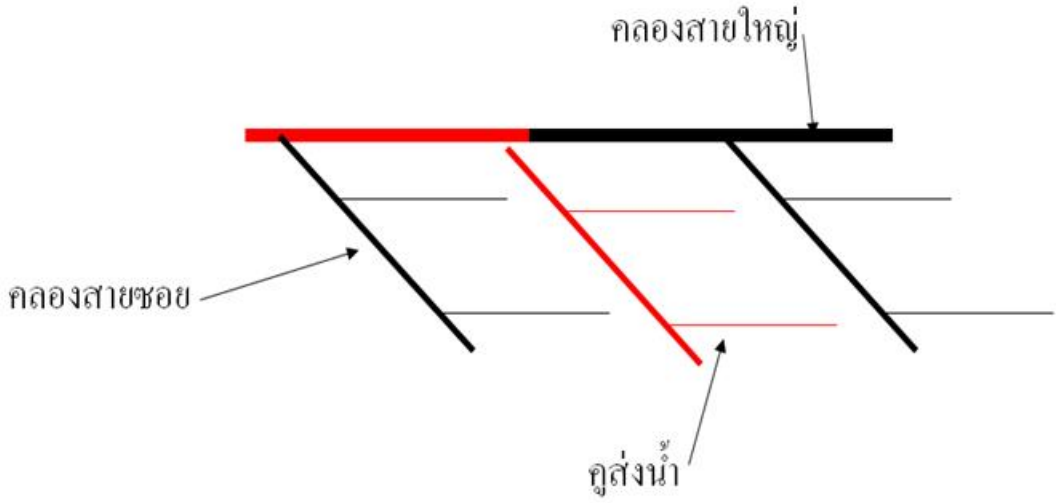


(ข)

ภาพที่ 5 การส่งน้ำหมุนเวียนในคลองซอย

(ค) การส่งน้ำหมุนเวียนในคูส่งน้ำ

การหมุนเวียนโดยวิธีนี้ คูส่งน้ำจะถูกแบ่งออกเป็นสาย แล้วจัดการส่งน้ำให้แต่ละสายตามระยะเวลาที่กำหนดไว้โดยวิธีนี้จะมีน้ำในคลองสายใหญ่และคลองซอยตลอดเวลา แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การส่งน้ำหมุนเวียนในคูส่งน้ำ

เปรียบเทียบลักษณะคลองส่งน้ำ กรณีส่งน้ำหมุนเวียนแบบต่าง ๆ

ประเภทการหมุนเวียน	ความจุของคลองและคู			ลักษณะการหมุนเวียนในคลองและคู		
	สายใหญ่	สายซอย	คูส่งน้ำ	สายใหญ่	สายซอย	คูส่งน้ำ
คลองสายใหญ่	**เท่ากันตลอดสาย**	**ลดลงตามส่วน**	**ลดลงตามส่วน**	**หมุนเวียน**	**หมุนเวียน**	**หมุนเวียน**
คลองซอย	**ลดลงตามส่วน**	**เท่ากันตลอดสาย**	**ลดลงตามส่วน**	**ตลอดเวลา**	**หมุนเวียน**	**หมุนเวียน**
คูส่งน้ำ	**ลดลงตามส่วน**	**ลดลงตามส่วน**	**เท่ากันตลอดสาย**	**ตลอดเวลา**	**ตลอดเวลา**	**หมุนเวียน**

ข้อดีและข้อเสีย วิธีการส่งน้ำแบบหมุนเวียน

ข้อดี

1.มีประสิทธิภาพการส่งน้ำสูง เนื่องจากมีน้ำอยู่ในคู คลองเฉพาะส่วนของคู คลองที่ถึงรอบเวรการรับน้ำ ลดปริมาณการสูญเสียน้ำอันเนื่องจากการระเหยและรั่วซึม รวมทั้งผู้ใช้น้ำมีความระมัดระวังในการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น

2.ลดปัญหาความขัดแย้งที่มีต่อการใช้น้ำลงได้เนื่องจากการส่งน้ำวิธีนี้จะมีการกำหนดเป็นกติกาไว้ล่วงหน้าชัดเจนว่าคลองส่วนไหนได้รับน้ำ

3.การส่งน้ำแบบรอบเวรช่วยเสริมสร้างให้ผู้ใช้น้ำต้องร่วมมือกันเพื่อใช้น้ำที่ส่งมาให้ตามรอบเวรของแต่ละคู คลอง

4.การส่งน้ำจะมีความทั่วถึง ถึงแม้นว่าปริมาณน้ำต้นทุนจะมีปริมาณน้อยก็ตามเนื่องจากเป็นการแบ่งปันกันอย่างมีหลักเกณฑ์ไม่ต่างคนต่างแย่งกันใช้

ข้อเสีย

1.ต้องมีการดูแลเอาใจใส่ในขณะทำการส่งน้ำ เนื่องจากต้องส่งน้ำไปให้ยังคูหรือคลองตามที่กำหนดไว้ ดังนั้นจึงต้องมีการคอยดูแลควบคุมปิด เปิดอาคารในคลองส่งน้ำเพื่อให้เป็นไปตามต้องการ

2.ด้วยเหตุผลตามข้อ 1 อาคารชลประทานที่ทำหน้าที่ควบคุมน้ำจะต้องมีการบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพที่ดี สามารถใช้งานได้ตามต้องการ

3.เกษตรกรต้องมีความเข้าใจถึงหลักเกณฑ์และข้อบังคับต่าง ๆที่กำหนดไว้ในกติกาการส่งน้ำแบบรอบเวร มิฉะนั้นจะทำให้การส่งน้ำไม่เป็นไปตามที่กำหนด

7.4 แบบฝึกหัด

1.จากความเข้าใจตามที่ได้ศึกษามา ให้อธิบายความแตกต่างระหว่าง **การส่งน้ำ** และ **การจัดสรรน้ำ**

2.เพราะเหตุใดคลองส่งน้ำที่ถูกออกแบบไว้ให้ส่งแบบตลอดเวลา จึงมีลักษณะของขนาดคลองจากขนาดใหญ่ไปหาคลองขนาดเล็ก บริเวณปลายคลองส่งน้ำ

3. จะพิจารณาส่งน้ำแบบหมุนเวียน หรือเป็นรอบเวร ก็ต่อเมื่อมีเหตุปัจจัยใดเข้ามาเกี่ยวข้อง

4. จงอธิบายความหมายของคำว่า ความถี่ของการส่งน้ำ (Frequency)

5. จงอธิบายความหมายของคำว่า ระยะเวลาการส่งน้ำ (Duration)

บทที่ 8 การระบายน้ำ (Drainage)

8.1 ความหมาย

หมายถึง การกำจัดน้ำส่วนเกินที่ไม่ต้องการออกจากพื้นที่ เพื่อให้พื้นที่นั้นมีสภาพที่เหมาะต่อการใช้งานตามวัตถุประสงค์

ปริมาณน้ำส่วนที่เกินความต้องการ ในพื้นที่ มีต้นเหตุมาจาก

1. จากน้ำฝน

2. น้ำจากแหล่งน้ำอื่น ๆไหลเข้าไปในพื้นที่

8.2 ประเภทของงานระบายน้ำ หากแบ่งตามพื้นที่การใช้ที่ดิน แบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. งานระบายน้ำในเมือง พื้นที่สาธารณะ รวมทั้ง การระบายน้ำเสีย
2. งานระบายน้ำจากพื้นที่การเกษตร

อย่างไรก็ตาม เมื่อแบ่งตามตำแหน่งของน้ำส่วนเกินที่ต้องการระบาย มีอยู่ 2 แบบ คือ

การระบายน้ำบนผิวดิน

การระบายน้ำใต้ผิวดิน

8.2.1 การระบายน้ำบนผิวดิน(Surface drainage)

หมายถึง การระบายน้ำที่เกินความต้องการ ซึ่งขังอยู่บนผิวดินให้ออกไปจากพื้นที่ โดยการสร้างทางน้ำแบบทางน้ำเปิด หรือปรับพื้นที่ให้ลาดเท เพื่อลำเลียงน้ำออกไปจากผิวดิน

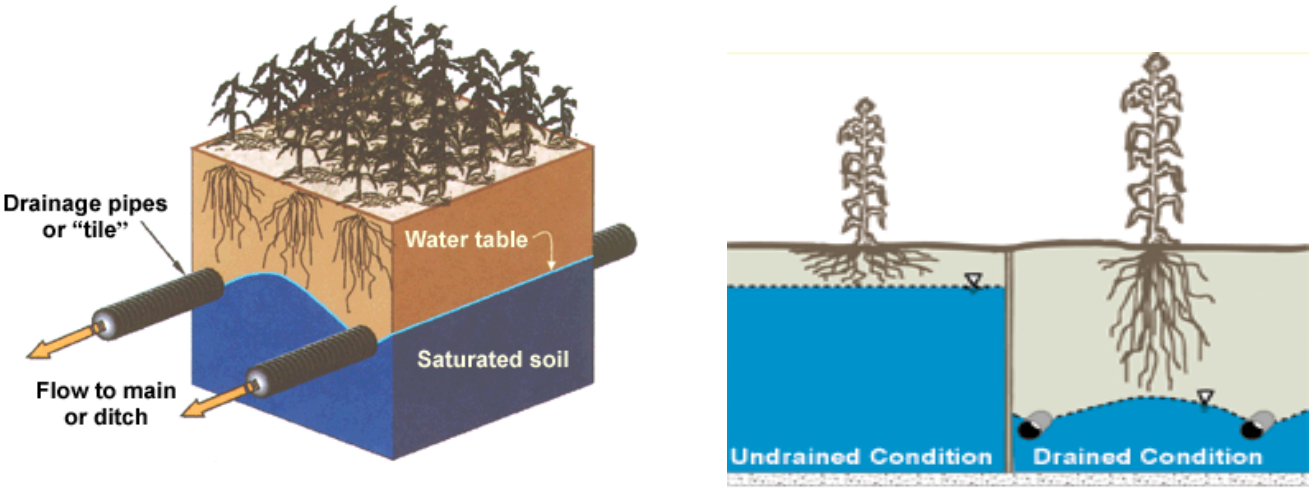
8.2.2 การระบายน้ำใต้ผิวดิน (Subsurface drainage)

หมายถึง การระบายน้ำใต้ผิวดินที่เกินความต้องการ ออกไปจากบริเวณรากพืช เพื่อควบคุมไม่ให้ระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาสูงหรืออยู่ใกล้ผิวดิน และเพื่อควบคุมการสะสมของเกลือบริเวณผิวดินและเขตรากพืช ภาพที่ 7 แสดงระบบระบายน้ำใต้ดินโดยท่อระบายน้ำ

อย่าโลภโมโทสัน

เมื่อเกิดมา มีอะไร มาด้วยเล่า เจ้าจึงเอา แต่สนุก สุขไฉน

เมื่อเจ้าตาย เจ้าจะเอา อะไรไป เจ้าก็ไป ตัวเปล่าเปล่า เหมือนเจ้ามา

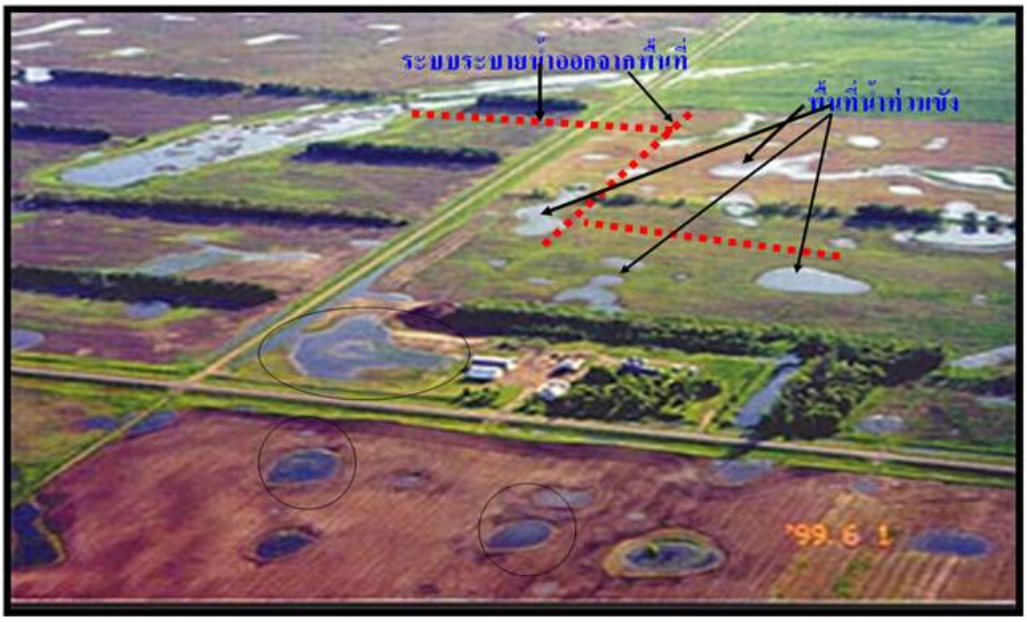


ภาพที่ 7 การระบายน้ำใต้ดินโดยท่อระบายน้ำ

8.3 หลักการระบายน้ำผิวดิน ทำได้ 2 ลักษณะคือ

1. ระบายน้ำที่ขังอยู่ภายในพื้นที่ออกไปจากพื้นที่โดยการสร้างทางระบายน้ำในพื้นที่เพื่อรวบรวมน้ำ แล้วระบายออกไปจากพื้นที่

2. ระบายน้ำโดยผันน้ำที่ไหลมาจากนอกพื้นที่ ไม่ให้เข้ามาในพื้นที่โดยสร้างทางระบายน้ำสกัดกั้น แล้วผันออกนอกพื้นที่



ภาพที่ 8 การระบายน้ำโดยระบายน้ำออกนอกพื้นที่

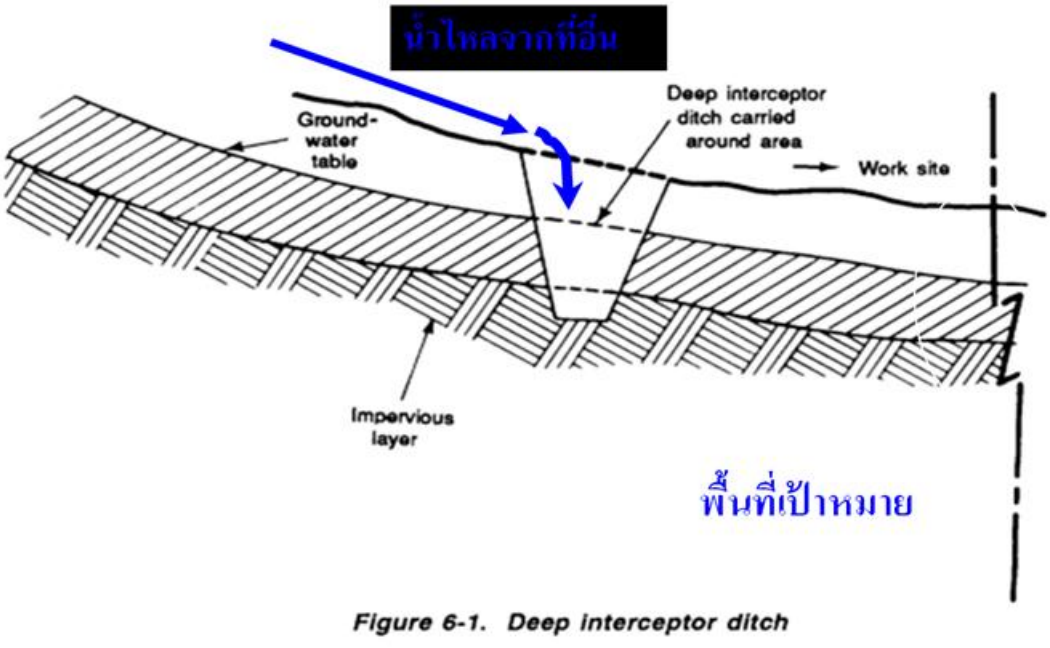


Figure 6-1. Deep interceptor ditch

ภาพที่ 9 การระบายน้ำโดยการสกัดกั้นน้ำจากนอกพื้นที่

8.4 ส่วนประกอบของระบบระบายน้ำผิวดิน ระบบระบายน้ำสำหรับประเภทของการระบยน้ำผิวดินโดยทั่วไปประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบย่อยคือ

1. ส่วนรวบรวมน้ำ (Collector) อาจเป็นร่อง หรือ คูระบาย ทำหน้าที่เป็นทางระบายที่คอยเก็บรวบรวมน้ำจากพื้นที่ที่ต้องการระบายน้ำออก

2. ส่วนลำเลียง (Disposal) โดยทั่วไปจะเป็นคลองขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ลำเลียงปริมาณน้ำซึ่งรับมาจากทางรวบรวมน้ำ เพื่อนำไปทิ้ง

3. ที่ทิ้งน้ำ (Outlet) เป็นจุดสุดท้ายของระบบระบายน้ำ ที่ทิ้งน้ำมักจะเป็นทางน้ำธรรมชาติที่มีอยู่แล้ว

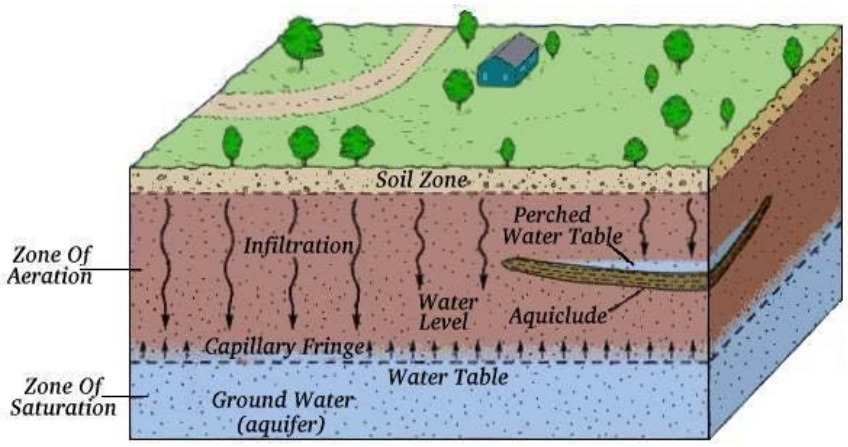
8.5 หลักการระบายน้ำใต้ผิวดิน

ดังที่ทราบมาแล้วว่าหลักการระบายน้ำใต้ดินก็เพื่อทำให้ระดับน้ำใต้ดินบริเวณเขตรากพืชมีระดับอยู่ตำกว่าเขตรากพืชจนไม่เป็นอันตรายต่อการเจริญเติบโตของต้นพืช คำว่าระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Table) หมายถึง ผิวบนสุดของน้ำที่อยู่ใต้ผิวดินลงไป (ภาพที่ 10) อย่างไรก็ตามต้องทบทวนความรู้ เรื่อง น้ำในดิน (Soil Water)ที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ พืช ซึ่งประกอบด้วย

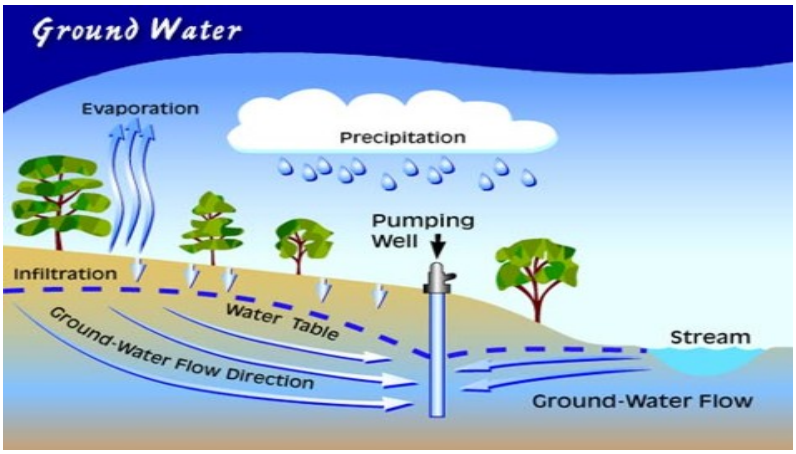
- น้ำอิสระ (Free Water)
- น้ำซับ (Capillary water)
- น้ำเยื่อ (Hygroscopic water)

แหล่งที่มาของน้ำส่วนเกินความต้องการ**คือ น้ำฝน** ประกอบกับน้ำที่รั่วซึมมาจากคลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำข้างเคียงที่ผ่านพื้นที่นั้น รวมทั้งจากน้ำบนผิวดินจากบริเวณที่มีระดับสูงกว่าไหลมารวม

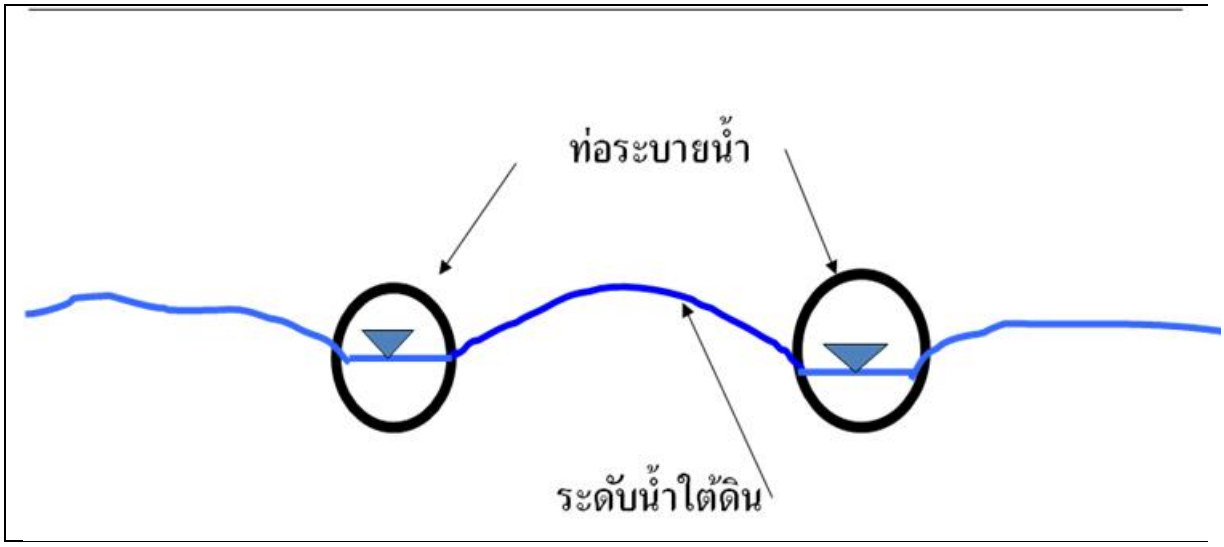
8.6 ทางระบายน้ำใต้ดิน หมายถึงทางน้ำที่สร้างขึ้นภายในหน้าตัดของดิน โดยให้อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เพื่อให้น้ำในดินไหลเข้าสู่ทางน้ำนั้น แล้วระบายออกไปยังที่ทิ้งน้ำ ต่อไป

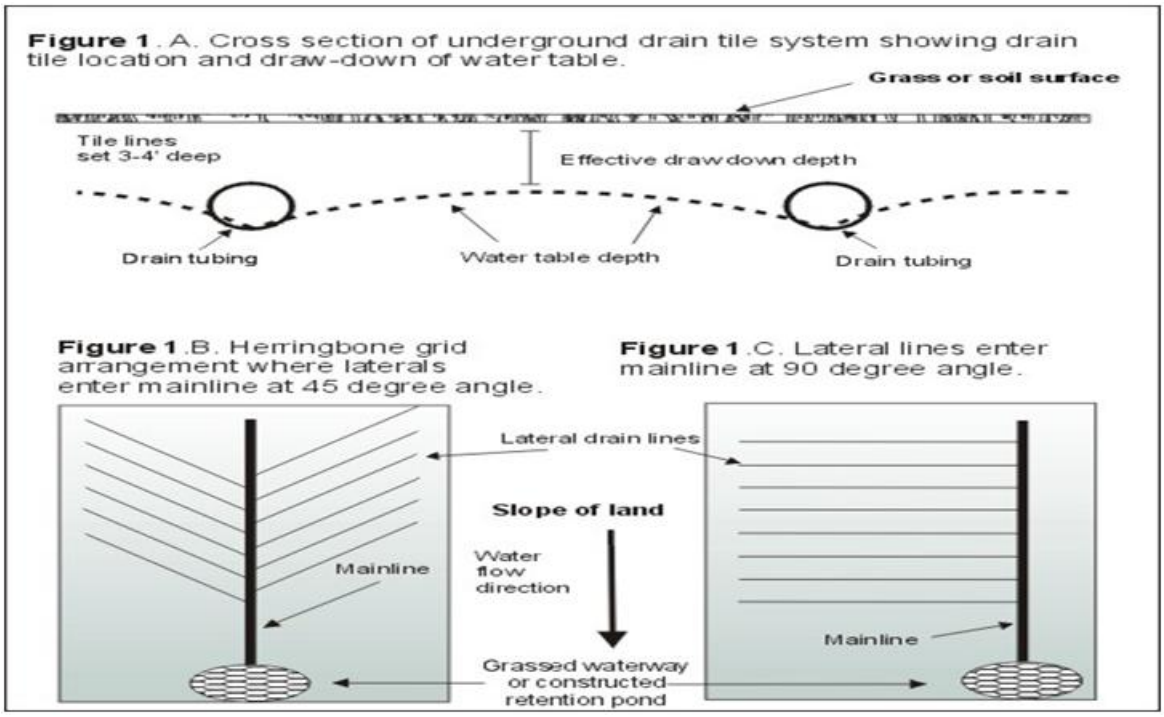


ภาพที่ 10 ระดับน้ำใต้ดิน

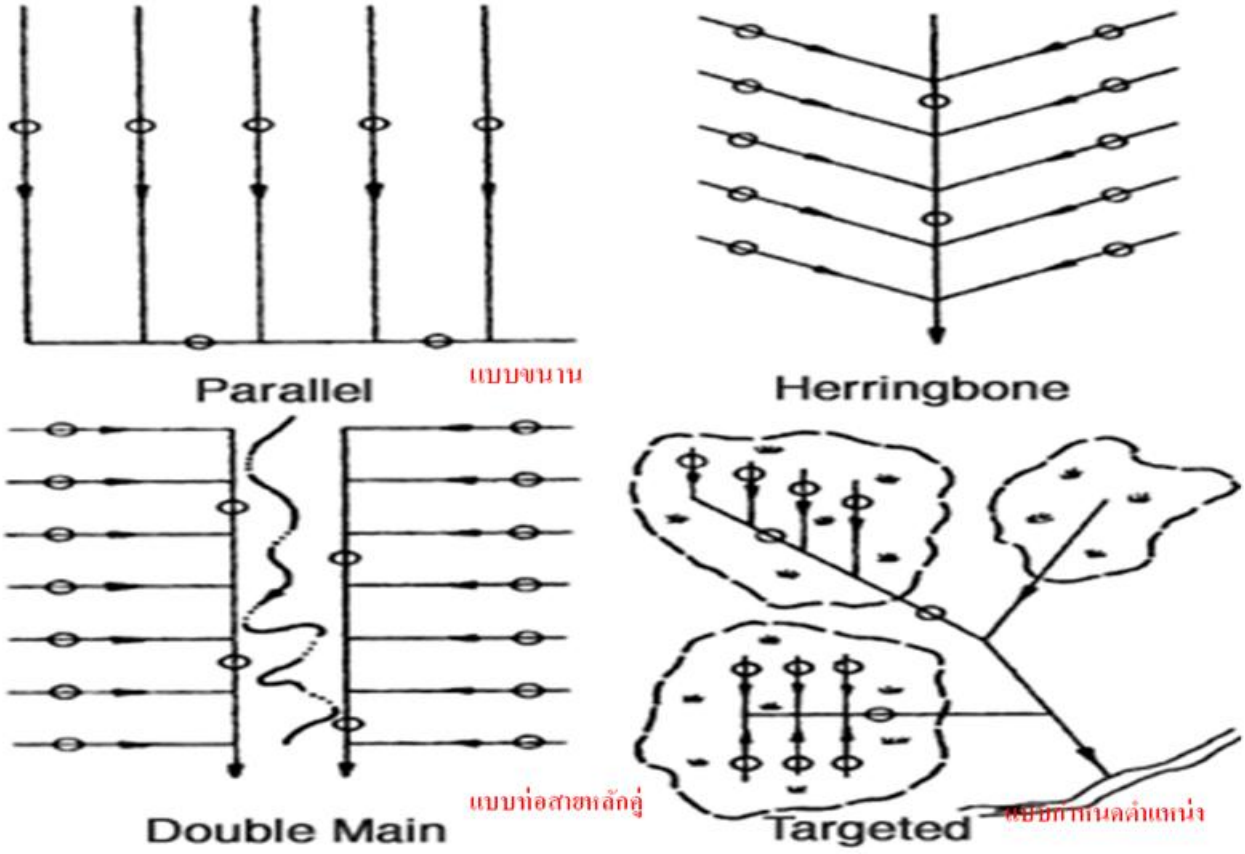


ภาพที่ 11 การเกิดน้ำใต้ดิน





ภาพที่ 12 ลักษณะการวางท่อระบายน้ำใต้ดิน



ภาพที่ 13 รูปแบบการวางท่อระบายน้ำใต้ดิน

8.7 การเลือกระบบระบายน้ำ ในการที่จะตัดสินใจว่าจะออกแบบ กำหนดใช้ระบบระบายน้ำประเภทไหน นั้นจะต้องศึกษาจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. ลักษณะภูมิประเทศ ข้อมูลที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย

-ที่ทิ้งน้ำ โดยดูว่าอยู่บริเวณไหน ใกล้ ไกลจากพื้นที่ที่ต้องการระบายน้ำอย่างไร

-ลักษณะของพื้นที่ และระดับของพื้นที่เพื่อดูว่าการระบายน้ำจะใช้แบบไหลเองด้วยแรงโน้มถ่วงหรือต้องใช้เครื่องสูบ หรือหากเป็นที่ลาดชัน จำเป็นต้องใช้ทางระบายน้ำแบบสกัดกั้น (Intercepted Drain System)

2. ลักษณะดิน เช่น ชนิดดิน ความหนาของชั้นดิน ความต่อเนื่องของชั้นดิน ตำแหน่งของชั้นดิน ความพรุนของดิน (porosity) เพื่อนำมาใช้กำหนดความลึกการวางท่อ ขนาดท่อ (เนื้อดินต่างกันระบายน้ำได้ต่างกัน) กรณีกำหนดระบบระบายน้ำเป็นแบบท่อหรือกำหนดความลาดของตลิ่งทางน้ำกรณีออกแบบเป็นคลองระบายน้ำ

3. ลักษณะของแหล่งน้ำ ที่เป็นต้นเหตุให้เกิดน้ำส่วนเกินความต้องการ พิจารณาจากทิศทางน้ำไหลเข้าพื้นที่ ปริมาณที่ไหล ตำแหน่งของแหล่งน้ำ ชนิดของแหล่งน้ำ เป็นต้น เพื่อนำมาใช้กำหนดขนาดของทางระบายน้ำหรือขนาดเครื่องสูบน้ำจนสามารถระบายน้ำได้ทันกับปริมาณน้ำที่ไหลเข้าสู่พื้นที่

8.8 แบบฝึกหัด

1.ให้บอกถึงผลเสียที่จะเกิดขึ้น หากขาดการระบายน้ำออกจากพื้นที่

2. จงอธิบายถึงปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดภาวะน้ำส่วนเกินความต้องการในพื้นที่ใด พื้นที่หนึ่งว่ามีอะไรบ้าง และวิธีป้องกัน

3. หลักของการระบายน้ำใต้ผิวดินคืออะไร มีวิธีการอะไรบ้าง

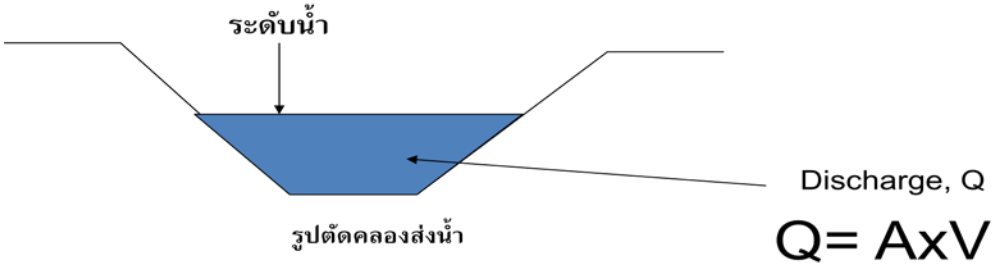
4. จงอธิบายความหมายของคำว่า water table

5. ในการออกแบบระบบระบายน้ำแบบผิวดิน คิดว่าต้องรวบรวมข้อมูลที่ใช้ประกอบในการออกแบบ อะไรบ้าง

บทที่ 9 การควบคุมการส่งน้ำ (Water Delivery Control)

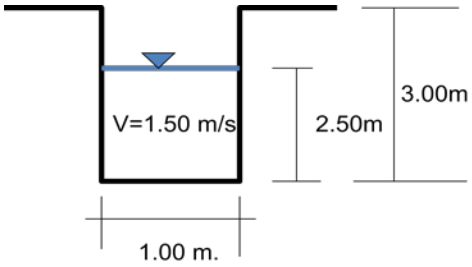
9.1 ความหมายของคำว่า “การควบคุมการส่งน้ำ”

หมายถึงการดำเนินการเพื่อทำให้น้ำชลประทานที่ไหลอยู่ในคลองส่งน้ำ มี อัตราการไหล และ ระดับน้ำ เป็นไปตามที่ต้องการ คำว่า อัตราการไหล (Discharge, Q) คือ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านหน้าตัดคลอง ณ จุดใด ๆ ในหนึ่งหน่วยเวลา มีหน่วยเป็น ปริมาตร ต่อ เวลา เช่น ลบ.เมตร ต่อวินาที หรือ ลิตร ต่อ วินาที



ภาพที่ 1 รูปตัดคลองส่งน้ำ

ตัวอย่าง จงแสดงการคำนวณหาอัตราการไหลผ่านหน้าตัดคลองส่งน้ำดังรูป(ให้นิสิตฝึกทำด้วยตนเอง)



จงหาอัตราการไหล
ของคลองนี้????

สำหรับคำว่า ระดับน้ำ คือ ระดับของผิวน้ำในคลองส่งน้ำ ทั้งนี้การควบคุมการส่งน้ำมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ *อัตราการไหล* และ *ระดับน้ำ* ตามต้องการ การควบคุมน้ำจะอาศัยการใช้ อาคารชลประทาน (Irrigation Structures or Hydraulic Structures) เป็นตัวควบคุม

ประตูระบายน้ำกลางคลอง

อาคารแบ่งน้ำ

ภาพที่ 2 อาคารชลประทานควบคุมน้ำ บางชนิด

9.2 ประเภทของการควบคุมการส่งน้ำ เมื่อแบ่งตามตำแหน่งของระดับของน้ำที่ถูกควบคุมโดยอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมน้ำ(Regulator) สามารถแยกเป็นการควบคุมได้ 5 วิธี (Ankum 1993) คือ

-การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

-การควบคุมด้านเหนือน้ำ (Upstream Control)

-การควบคุมด้านท้ายน้ำ (Downstream Control)

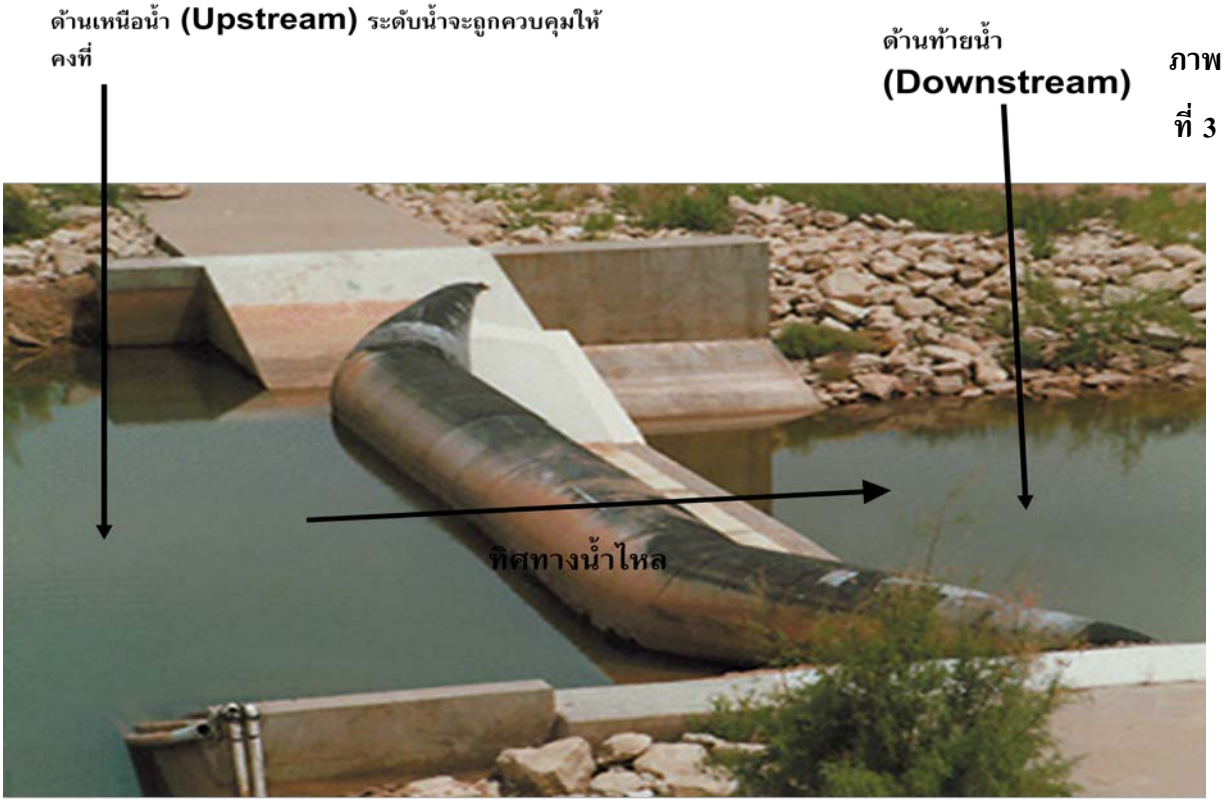
-การควบคุมแบบ BIVAL (BIVAL Control)

-การควบคุมแบบ ELFLO (ELFLO Control)

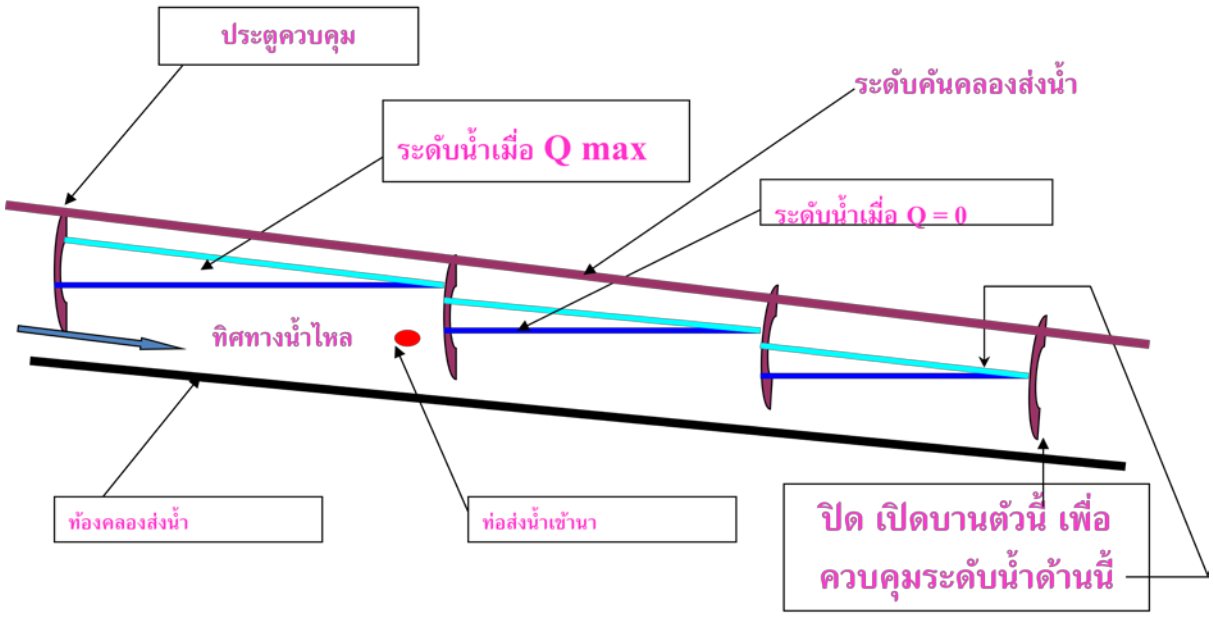
(ก) การควบคุมแบบสัดส่วน หมายถึง วิธีการควบคุมให้อัตราการไหลที่ไหลเข้ามา(Inflowing Discharge) ยังอาคารควบคุมจะถูกแบ่งแยกไปตามสัดส่วน (Proportion)ตามที่ได้มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า ดังนั้นด้วยวิธีการควบคุมแบบนี้ระดับน้ำของคลองในช่วงใด ๆจะมีค่าไม่คงที่

(ข) การควบคุมด้านเหนือน้ำ หมายถึง การควบคุมให้ ระดับน้ำ ทางด้านเหนือ(น้ำ) ของอาคารควบคุมน้ำ มีค่าคงที่ตามที่ต้องการ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคาร ออกไป ทางด้านท้ายของอาคารควบคุมจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนค่าอัตราการไหลที่ไหลผ่านเข้ามา เท่านั้น การส่งน้ำแบบการไหลอาศัยแรงโน้ม

ถ่วง (Gravity) ของโลก เกือบทั้งหมดเป็นการควบคุมแบบด้านเหนือน้ำ

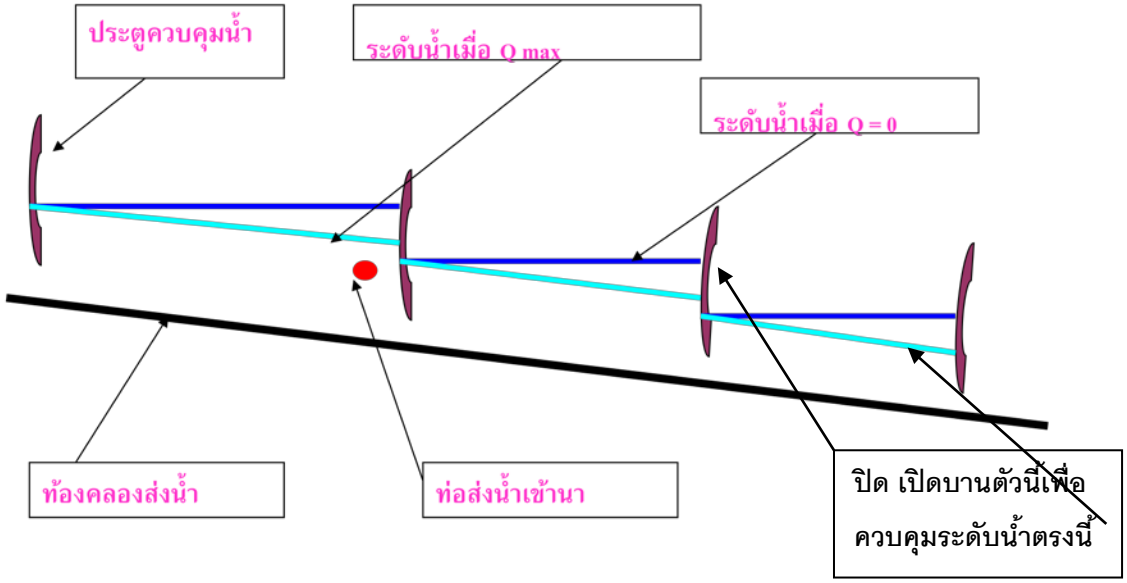


ภาพที่ 3 การควบคุมด้านเหนือน้ำ



ภาพที่ 4 ลักษณะของระดับน้ำเมื่อมีการควบคุมด้านเหนือ

(ค)การควบคุมด้านท้ายน้ำ หรือเรียกอีกอย่างว่า การควบคุมด้านท้ายน้ำให้อยู่ระดับบนของคลอง (Downstream Control on Level-Top Canal) หมายถึง การควบคุมให้ระดับน้ำทางด้านท้ายของอาคารควบคุมน้ำมีระดับคงที่ตามที่ต้องการ การควบคุมในลักษณนี้จะมีการตอบสนองได้ดี(Responsive) สามารถควบคุมอาคารให้ปรับอัตราการไหลผ่านอาคารออกไปได้ทันทีตามที่ต้องการ เนื่องจากคลองด้านท้ายอาคารมีปริมาณน้ำนอนคลองอยู่แล้ว ภาพที่ 5 แสดงลักษณะผิวน้ำเมื่อมีการควบคุมด้านท้ายน้ำ



ภาพที่ 5 ลักษณะผิวน้ำเมื่อมีการควบคุมด้านท้ายน้ำ

(ง) การควบคุมแบบBIVAL เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การควบคุมแบบปริมาตรคงที่ (Constant Volume Control)เป็นการควบคุมให้ระดับน้ำมีค่าคงที่ในบริเวณช่วงกลาง ๆของคลองด้านท้ายอาคารควบคุม ตามที่ต้องการ

(จ)การควบคุมแบบELFLO เรียกอีกอย่างว่า การควบคุมแบบท้ายน้ำสำหรับคลองที่มีความลาดเท (Downstream Control on Sloping Canal) โดยการทำให้ระดับน้ำมีค่าคงที่ในบริเวณส่วนปลายอีกฝั่งหนึ่งของคลองด้านท้ายน้ำตามที่ต้องการ วิธีนี้ต้องการการตรวจวัดระดับน้ำจากทางไกลรวมทั้งอาคารแบบอัตโนมัติ

ข้อดี ข้อเสีย ของการควบคุมน้ำด้านเหนือน้ำ และด้านท้ายน้ำ

ข้อดีของแบบ Upstream control

1.การควบคุมวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ทำให้สามารถเรียนรู้ปัญหา หรือแนวทางแก้ไขกรณีที่มีปัญหาเกิดขึ้นได้ง่ายจากระบบส่งน้ำอื่น

2.ใช้ค่าลงทุนก่อสร้างคลองและอาคารในคลอง เนื่องจากรูปแบบของคลองและอาคารที่ต้องการมีลักษณะอย่างง่าย มีกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน รวมทั้งการใช้งานอาคารก็ไม่ยุ่งยาก

ข้อดีของแบบ Down Stream Control

1.อาคารที่ออกแบบให้สามารถควบคุมด้านท้ายน้ำมักจะทำงานได้โดยอัตโนมัติ ทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้เจ้าหน้าที่จากส่วนกลางมาทำการควบคุมอาคารดังกล่าว

2.อาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำด้านท้ายน้ำมีลักษณะที่เด่นอีกอย่างคือสามารถปรับให้ระดับน้ำด้านท้ายเป็นไปตามที่ต้องการได้ง่าย เนื่องจากเป็นการควบคุมให้อัตราการไหลผ่านด้านท้ายเป็นไปตามที่ต้องการ ขนาดของคลองทางด้านท้ายจะเป็นตัวควบคุมให้ได้ระดับตามอัตราการไหลที่ปล่อยไปทางด้านท้ายน้ำเอง

3.มีการสูญเสียในระหว่างส่งน้ำน้อยกว่า

ข้อเสียของการควบคุมน้ำด้านเหนือน้ำ และด้านท้ายน้ำ

ข้อเสียของการควบคุมน้ำด้านเหนือน้ำ

1. ต้องการการจัดการจากส่วนกลางมาก เนื่องจากต้องมีการปรับบานประตูของอาคารจึงต้องมีเจ้าหน้าที่คอยไปดำเนินการจนกว่าระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำจะเป็นไปตามที่ต้องการ

2. มีการสูญเสียน้ำในระหว่างส่งน้ำมากเนื่องจากมีการเปลี่ยนอัตราการไหลบ่อยเพราะต้องทำการปรับบานเพื่อเปลี่ยนอัตราการไหลไปเรื่อย ๆจนกว่าจะได้ตามที่ต้องการทำให้มีปริมาณน้ำบางส่วนต้องถูกระบายไปทางด้านท้ายน้ำในระหว่างการปรับบานอยู่นั้น

3. ปรับระดับน้ำยากเพราะช่วงเวลาที่ตอบสนองให้ได้ตามที่ต้องการนาน

ข้อเสียของการควบคุมน้ำด้านท้ายน้ำ

1. ต้องลงทุนเกี่ยวกับระบบคลองและอาคารที่สูงกว่า เนื่องจากอาคารที่ใช้ควบคุมจะต้องมีลักษณะการทำงานที่พิเศษออกไปเช่นเป็นแบบอัตโนมัติ หรือต้องออกแบบให้มีอาคารควบคุมในคลองส่งน้ำอย่างพอเพียง

9.3 คำถามท้ายบท

1. จงให้เหตุผลว่าทำไมถึงต้องมีการควบคุมการส่งน้ำ?
2. การควบคุมการส่งน้ำด้านเหนือน้ำ (Upstream Control) มีลักษณะอย่างไร ?
3. เมื่อทำการปิด เปิด บานประตูน้ำของอาคารควบคุมน้ำชนิดท้ายน้ำ (Downstream Control) ผลที่เกิดขึ้นตามมาคืออะไร?
4. เพราะอะไร การควบคุมการส่งน้ำแบบท้ายน้ำจึงต้องมีการลงทุนเกี่ยวกับระบบคลองและอาคารที่มากกว่าแบบควบคุมด้านเหนือน้ำ ?

บทที่ 10 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบระบบชลประทาน (Basic Foundamental of Canal Design)

คำว่า ระบบชลประทาน มีความหมายครอบคลุมตั้งแต่หัวงาน (Headworks) เรื่อยไปตามระบบส่งน้ำ (conveyance system)ซึ่งจะประกอบด้วยคลองส่งน้ำและอาคารต่างประกอบคลองส่งน้ำ แต่ในเบื้องต้นนี้จะได้กล่าวเฉพาะหลักการออกแบบเบื้องต้นตัวคลองส่งน้ำ เป็นลำดับแรกเนื่องจากการออกแบบคลอง จะอาศัยพื้นฐานความรู้ด้านกลศาสตร์ของไหลเกือบทั้งหมด มีการใช้ความรู้ด้านการออกแบบโครงสร้างเพียงเล็กน้อย ต่างจากการออกแบบอาคารชลประทานที่จำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานทั้งสองด้านอย่างเข้มข้น ซึ่งจะได้เรียนในปีการศึกษาลำดับถัดไป

10.1 ข้อมูลที่ต้องการเพื่อคำนวณ ออกแบบ หน้าตัดคลองส่งน้ำ

1.ค่าชลภาระ (Water Duty) หมายถึง อัตราการไหล ต่อ หนึ่งหน่วยพื้นที่ หน่วยที่ใช้คือ ลิตร ต่อ วินาที ต่อ ไร่ หรือ ลบ.ม. ต่อ วินาที ต่อ ไร่ เมื่อทราบค่าชลภาระ และพื้นที่ที่ต้องการส่งน้ำ จะหาค่า *อัตราการไหล* ของคลองส่งน้ำได้ วิธีการหาค่าชลภาระ กรณีส่งน้ำแบบตลอดเวลา

1)คำนวณค่า ET ของพืชที่ปลูก หน่วย มม./วัน

2)จากค่า ET ที่เป็นความลึกต่อวัน คำนวณให้เป็นปริมาตรน้ำ(ลบ.ม)ต่อ วัน ในพื้นที่ 1 ไร่

3)จากข้อ 2 เปลี่ยนหน่วยเป็น ลบ.ม. ต่อ วินาที ต่อ 1ไร่ ค่าที่ได้คือค่า “ชลภาระ”

4)ค่าชลภาระที่ได้จากข้อ 3 เป็นค่าชลภาระที่ยังไม่ได้เผื่อการสูญเสียปริมาณน้ำในระหว่างการให้น้ำแก่พืชรวมทั้งระหว่างการส่งน้ำไปตามระบบคู คลองต่าง ๆ ดังนั้นเมื่อต้องการนำค่าชลภาระไปใช้งานจะต้องนำค่าประสิทธิภาพการชลประทาน มาหารค่าชลภาระที่ได้จากข้อ 3

ตัวอย่างการคิดค่าชลภาระ พื้นที่เพาะปลูกข้าวจำนวน 1000 ไร่ ต้องการขุดคลองส่งน้ำไปให้ อยากทราบว่าคลองต้องส่งน้ำให้พื้นที่แบบตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลเท่าไร ถ้าข้าวมีอัตราการใช้น้ำสูงสุด เท่ากับ 10 ม.ม. ต่อ วัน

วิธีทำ

แปลง 10 มม./ วัน เป็น ม. / วัน = 10 / 1000 = 0.01 ม/ วัน

คำนวณว่าความลึก 0.01 ม. / วัน ในพื้นที่ 1 ไร่ คิดเป็นปริมาตร

= 0.01x 1x1600 = 160 ลบ.ม/วัน

= 0.0018 ลบ.ม./วิ /ไร่

2.พื้นที่ชลประทาน (Irrigable Area) คำว่า พื้นที่ สำหรับงานด้านการชลประทาน มีอยู่ 2 คำ ที่สำคัญ

- **พื้นที่ทั้งหมดของโครงการ** (Project Total Area)หมายถึงพื้นที่ทั้งหมดภายในขอบเขตของโครงการชลประทานใด ๆซึ่งจะนับรวมเอาพื้นที่ที่เป็นทั้งป่าไม้ ภูเขา ตลาด วัด โรงเรียน พื้นที่ดอน และพื้นที่อื่น ๆทั้งที่ส่งน้ำไปให้ได้และไม่ได้

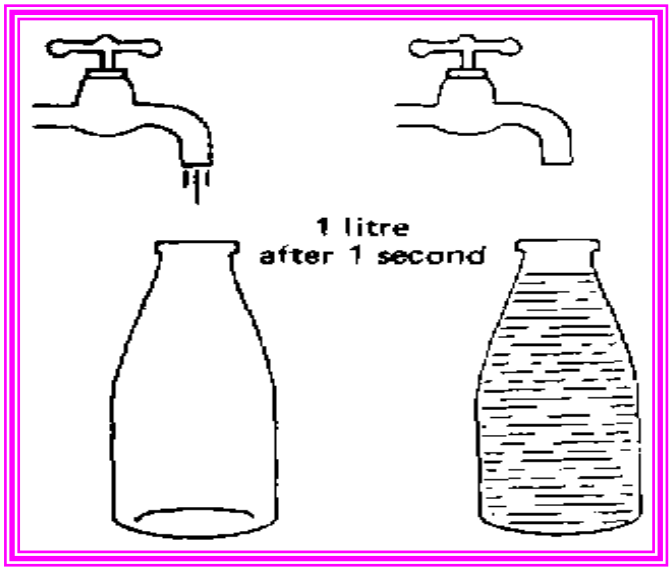
- **พื้นที่ชลประทาน หรือ พื้นที่ส่งน้ำ หรือ พื้นที่รับน้ำชลประทาน**_หมายถึงพื้นที่ภายในขอบเขตของโครงการชลประทานใด ๆโดยคิดเฉพาะพื้นที่ส่วนที่ส่งน้ำชลประทานไปถึงได้เท่านั้น โดยทั่วไปในการคำนวณขนาดคลอง จะใช้วิธีคิดว่าพื้นที่ชลประทานมีค่าประมาณ 80-90 เปอร์เซนต์ของพื้นที่โครงการ พื้นที่ที่จะมาใช้คำนวณหาอัตราการไหลในคลอง คือ **พื้นที่ชลประทาน**

วิธีการหาขนาดพื้นที่ชลประทาน ได้มาจากการเริ่มต้นวางแนวคลองส่งน้ำในแผนที่ภูมิประเทศ จากนั้นพิจารณาขอบเขตที่สามารถส่งน้ำจากคลองที่ตัดผ่านไปให้ได้ วัดพื้นที่โดยใช้เครื่องมือหรือจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการเขียนแบบก็ได้

3.อัตราการไหล (Discharge) ในงานด้านการออกแบบชลประทานจะหมายถึง ปริมาตรของน้ำที่เคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดใด ๆของลำน้ำ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา นิยมบอกหน่วยเป็น ลบ.ม.ต่อวินาที หรือ ลิตร ต่อวินาที สัญลักษณ์ของอัตราการไหลที่นิยมใช้คือ Q ในการออกแบบจะหาค่า Qได้จากสูตร

$$Q = \text{ชลภาระ} \times \text{พื้นที่ชลประทาน}$$

เพื่อให้เข้าใจความหมายของอัตราการไหลมากยิ่งขึ้น ให้ดูภาพที่ 1 ประกอบ



เปิดน้ำใส่ขวดขนาด 1 ลิตร เต็มใน 1 วินาที

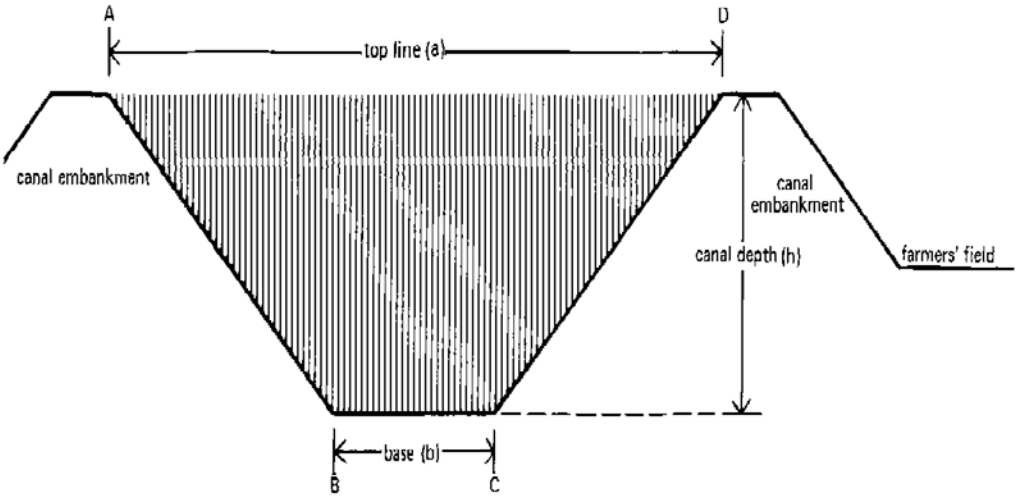
แสดงว่าน้ำไหลจากก๊อกด้วยอัตรา 1 ลิตร / วินาที

ภาพที่ 1 ความหมายของอัตราการไหล

10.2 คลองส่งน้ำชลประทาน หมายถึงทางน้ำเปิดที่ถูกขุดขึ้นเพื่อใช้เป็นทางลำเลียงน้ำชลประทานจากแหล่งน้ำไปยังจุดต่าง ๆตามที่ต้องการ นิยมออกแบบคลองส่งน้ำชลประทานให้มีรูปตัด 2 ลักษณะคือรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า และรูปตัดสี่เหลี่ยมคางหมู

เหตุผลสำคัญต่อการเลือกออกแบบเป็นหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า มักจะมาจากบริเวณดังกล่าวมีขอบเขตพื้นที่สำหรับขุดคลอง (Right of Way) น้อยเกินไปไม่พอเพียงที่จะกำหนดให้ออกแบบตลิ่งคลองแบบมีความลาดเอียงได้

สำหรับหน้าตัดคลองที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมูนั้นเนื่องมาจากให้ลักษณะที่ใกล้เคียงกับหน้าตัดรูปครึ่งวงกลมมากที่สุดซึ่งจะส่งผลให้การไหลผ่านหน้าตัดรูปร่างครึ่งวงกลมนี้มีแรงเสียดทานน้อย (ความยาวเส้นขอบเปียกมีระยะสั้น) ให้การไหลในลักษณะทางชลศาสตร์ที่ดี (Best Hydraulic Property) แต่การก่อสร้างด้วยหน้าตัดที่เป็นครึ่งวงกลมนั้นกระทำได้ยากในทางปฏิบัติ ดังนั้นจึงมีการปรับรูปร่างของหน้าตัดจากครึ่งวงกลมให้เหลือเพียงสี่เหลี่ยมคางหมู



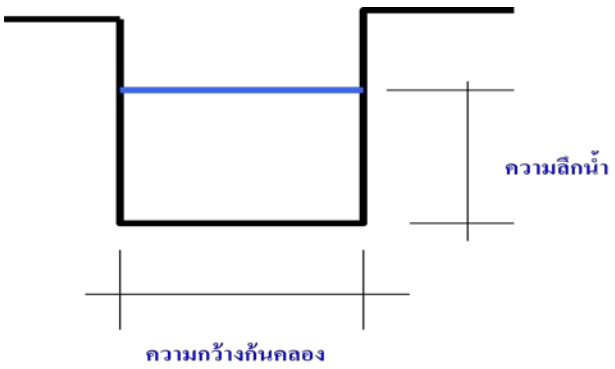
ภาพที่ 2 คลองรูปตัดสี่เหลี่ยมคางหมู

พื้นที่หน้าตัดการไหล ของคลองสี่เหลี่ยมคางหมู คำนวณจากสูตร

$$A = 0.5 \text{ (base + top line) x canal depth}$$

หรือ $$A = 0.5 (b + a) \times h$$

ส่วนพื้นที่หน้าตัดการไหล ของคลองสี่เหลี่ยมผืนผ้า คำนวณจากสูตรกว้างก้นคลอง (b) x ความลึกของน้ำ(d)



ภาพที่ 3 รูปตัดคลองสี่เหลี่ยมผืนผ้า

10.2.1 ความรู้เบื้องต้นในการออกแบบหน้าตัดคลองส่งน้ำ

สมการที่ใช้คือสมการ Manning สำหรับคำนวณความเร็วของการไหล หน่วยเมตริก รูปสมการคือ

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

เมื่อ V = ความเร็วการไหลเฉลี่ย(Average Flow Velocity , m/s)

n = Manning Roughness Coefficient,

R = ความยาวเส้นรัศมีชลศาสตร์(Hydraulic Radius , m)

= A/P

A = พื้นที่หน้าตัดการไหล (คิดเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำเท่านั้น)(Flow Cross Section Area , m^2)

P = ความยาวเส้นขอบเปียก (Wetted Perimeter ,m)

S = ความลาดตามยาวของก้นคลองส่งน้ำ (Slope of Canal Bed (Decimal))

ปกติตามสูตรแมนนิ่งนี้ ค่า S จะใช้ค่าความลาดของเส้นพลังงาน(Energy Grade line) แต่ในการออกแบบคลองจะทำการออกแบบให้การไหลมีลักษณะเป็นแบบไหลสม่ำเสมอ(Uniform Flow) กล่าวคือ ในช่วงระยะเวลาเดียวกันที่หน้าตัดใด ๆก็ตามตลอดระยะทางการไหล ที่อัตราการไหลเดียวกันจะถือว่ามีความลึกเท่ากัน ดังนั้นจะถือว่าเส้นลาดพลังงานเท่ากับเส้นลาดของก้นคลอง ดังนั้นเมื่อนำมาสัมพันธ์กับสมการต่อเนื่อง Q = A x V ทำให้สมการที่ใช้ออกแบบคลอง จะเป็น

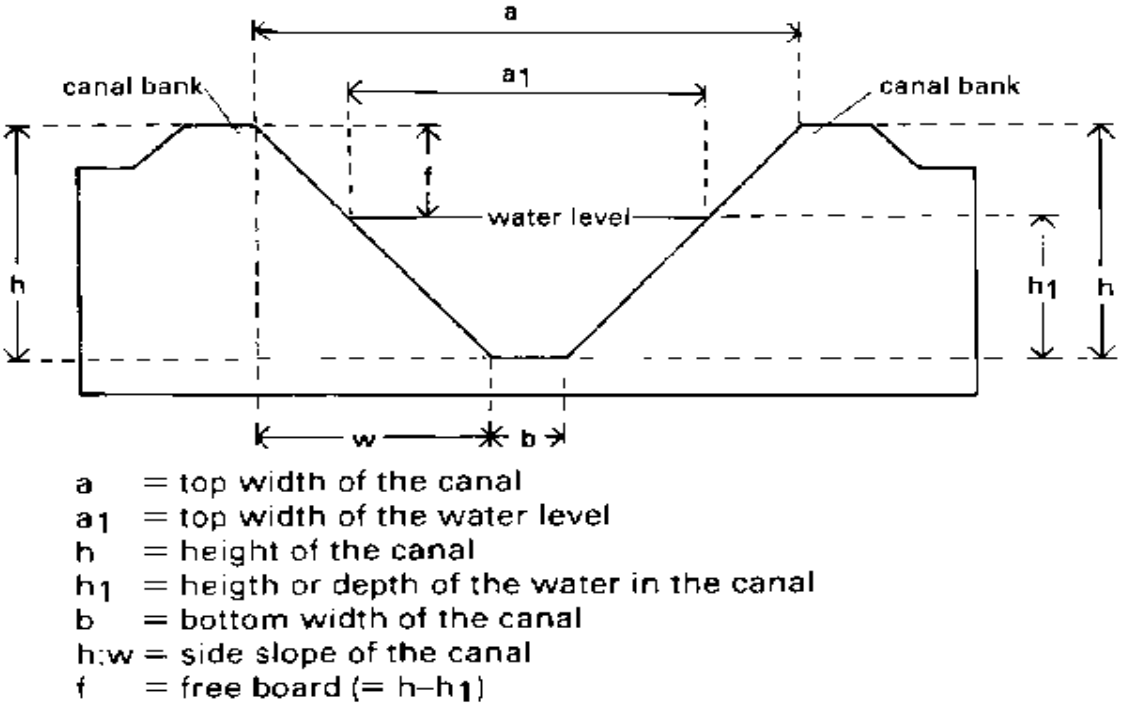
$$Q = A\frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

10.2.2 ขั้นตอนการออกแบบหน้าตัดคลองส่งน้ำ

เมื่อทราบถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับคลองส่งน้ำแล้ว ต่อไปจะเป็นการกล่าวถึงขั้นตอนโดยสรุปถึงการออกแบบขนาดคลองส่งน้ำ ซึ่งมีดังนี้

1. ทราบอัตราการไหล Q จากการนำค่าชลภาระ X พื้นที่ชลประทาน
2. ตัดสินใจว่าจะเลือกออกแบบหน้าตัดเป็น สี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือ สี่เหลี่ยมคางหมู
3. ทำการสมติค่าความกว้างก้นคลอง
4. แทนค่า Q และความกว้างก้นคลองลงในสมการ

5. แก้สมการหาค่าความลึกน้ำ โดยการใช้วิธีที่เรียกว่า ลองผิด ถูก (Trial & Error)



ภาพที่ 4 แสดงสัดส่วนและองค์ประกอบของรูปตัดคลองส่งน้ำ

10.2.3 การเรียกชื่อคลองส่งน้ำ

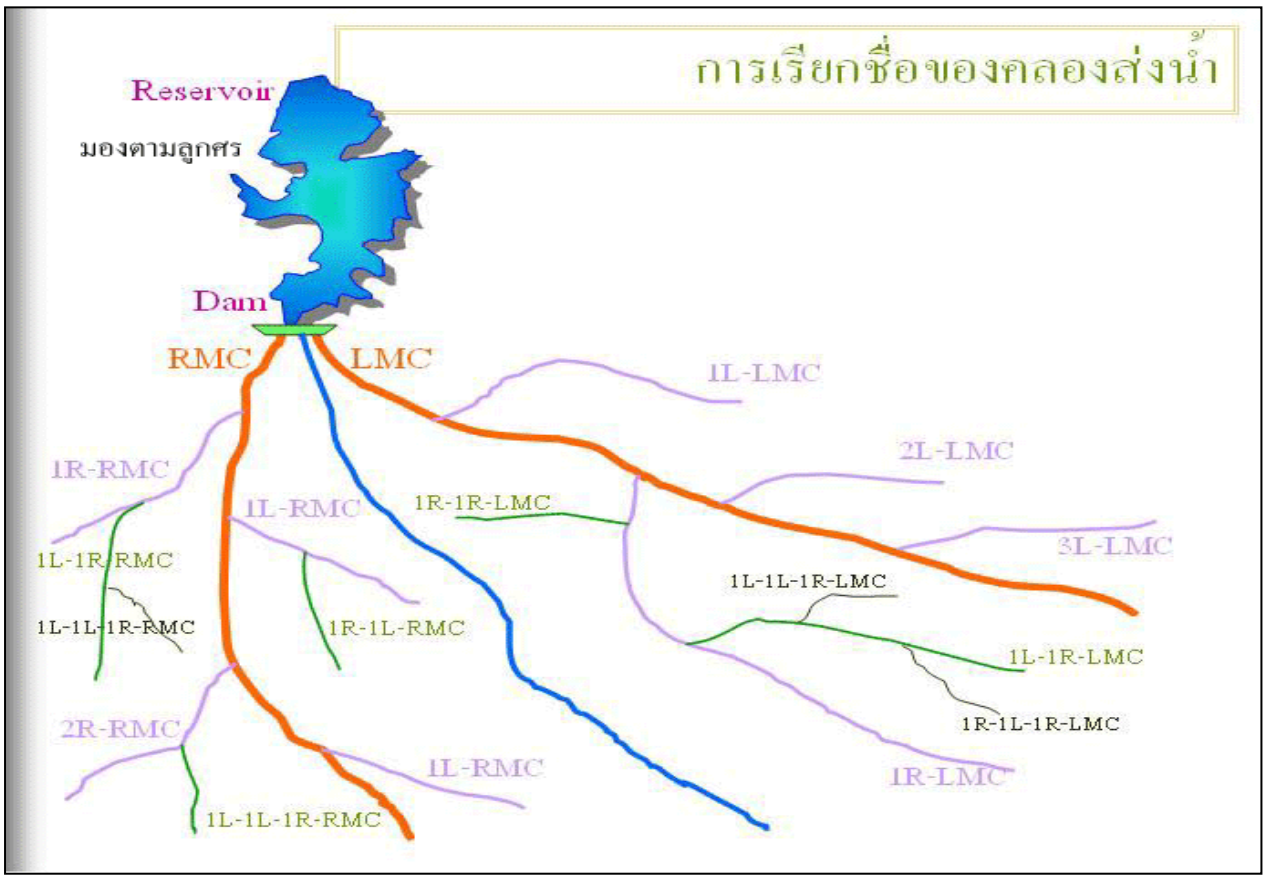
โดยการยืนมองหันหน้าไปทางท้ายน้ำ คลองสายหลักที่ขุดออกจากแม่น้ำหรืออ่างเก็บน้ำจะนิยมเรียกว่า คลองสายใหญ่ ถ้าออกทางฝั่งซ้ายของแม่น้ำเรียกว่าคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย(Left Main Canal,ตัวย่อคือ LMC) ถ้าออกทางฝั่งขวาของแม่น้ำเรียกว่าคลองสายใหญ่ฝั่งขวา(Right Main Canal,ตัวย่อคือ RMC) และหากมีฝั่งละหลายสายให้ใส่ตัวเลขเรียงลำดับเป็น 1,2,3.. ไปทางด้านท้ายของแม่น้ำ

สำหรับคลองซอย (คลองที่แยกออกจากคลองสายใหญ่) คลองแยกซอย (คลองที่แยกออกจากคลองซอย) มีหลักการตั้งชื่อเรียกโดยใส่ชื่อเรียงไปตั้งแต่คลองสายปัจจุบัน-คลองสายถัดไปที่คลองนี้แยกมา-คลองสายถัดไปที่คลองที่2 นี้แยกมา โดยการเรียกชื่อยังใช้หลักการเดิมคือหันหน้าไปทางท้ายน้ำเสมอ คลองที่แยกออกจากฝั่งซ้ายจะมีคำว่าซ้าย หรือใช้ตัวย่อ “ซ” หรือ L อยู่หลังหมายเลขลำดับคลองเช่น

คลอง 1ซ หมายถึง คลองหมายเลข 1 ออกจากคลองหลักหรือแม่น้ำทางฝั่งซ้ายมือ

คลอง 1L-LMC หมายถึง คลองหมายเลข 1 ขุดออกทางฝั่งซ้ายมือของคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย

คลอง 2R-1L-LMC หมายถึง คลองหมายเลข 2 ที่ขุดออกทางฝั่งขวามือของคลองซอย 1Lซึ่งขุดออกทางฝั่งซ้ายซ้ายมือของคลองสายใหญ่ฝั่งซ้าย ภาพที่ 5 แสดงชื่อคลองต่าง ๆตามหลักการเรียกข้างต้น



ภาพที่ 5 การเรียกชื่อคลองส่งน้ำชลประทาน

10.3 แบบฝึกหัด

1. จากการวางแนวคลองส่งน้ำสายหนึ่ง มีความลาดตามยาวเท่ากับ 1 : 10000 คลองมีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู ลาดด้านข้างคลอง 1: 2 น้ำในคลองลึก 1.00 ม. ความกว้างก้นคลอง เท่ากับ 0.80 ม. คลองดาดด้วยคอนกรีต มีค่า n = 0.014 จงคำนวณว่าอัตราการไหลในคลองนี้มีค่าเท่าไร?

2. จงออกแบบคลองสายหนึ่งเพื่อให้มีขนาดอัตราการไหล 2.0 ลบ.ม. ต่อ วินาที กำหนดความลาดตามยาวคลองเท่ากับ 1: 4000 ค่า n = 0.020 ความลึกน้ำที่ออกแบบ ให้มีค่าไม่น้อยกว่า 1.00 ม. ความลาดด้านข้างให้กำหนดเอง ตามความเหมาะสม (m = 1.5 หรือ 2)