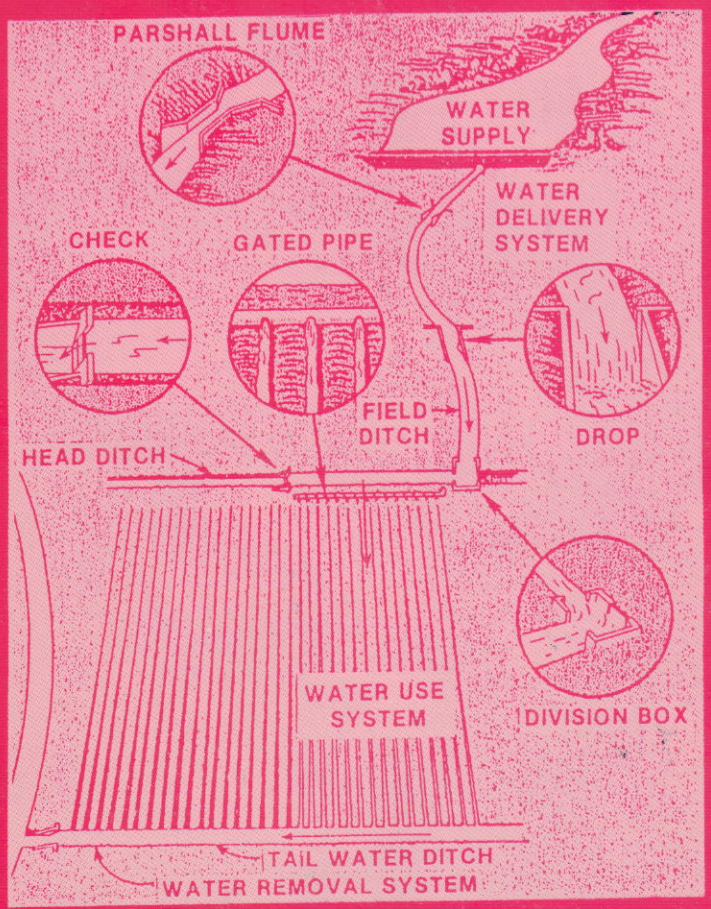
การออกแบบ
การชลประทานบนผิวดิน
Design of Surface Irrigation
เล่ม 1



รศ.ดร. วราวุธ วุฒิวณิชย์

ผศ.ดร. พงศธร โสภาพันธุ์

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

คำนำ

หนังสือการออกแบบการชลประทานบนผิวดินเล่มนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนวิชา 207425 การออกแบบการชลประทานบนผิวดิน (Design of Surface Irrigation) ซึ่งเป็นวิชาบังคับตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน

หนังสือชุดนี้มี 2 เล่ม เล่ม 1 กล่าวถึงการออกแบบระบบชลประทานบนผิวดินแบบต่าง ๆ ได้แก่ แบบร่องคู แบบท่วมเป็นผืน และแบบท่วมเป็นอ่าง รวมถึงการประเมินผลการให้น้ำทางผิวดินโดยละเอียด นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงการออกแบบปรับพื้นที่เพื่อการชลประทานแบบผิวดิน ตลอดจนลักษณะที่สำคัญและเกณฑ์การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา

เล่ม 2 กล่าวถึงการหาขนาดระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำในไร่นา การออกแบบจัดรูปที่ดินแบบต่าง ๆ เทคนิคการออกแบบระบบชลประทานบนพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดเท และยังรวมถึงการออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน

เนื้อหาในหนังสือทั้ง 2 เล่มนี้เขียนขึ้นจากประสพการณ์การสอนวิชานี้เป็นเวลานานกว่า 5 ปีติดต่อกัน โดยได้ดัดแปลงเนื้อหาบางส่วนมาจากเอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก (Design of On-Farm Irrigation Systems) ซึ่งผู้เขียนได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนวิชาดังกล่าวในช่วงปีการศึกษา พ.ศ. 2523-2525

ผู้เขียนต้องขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วินูลย์ บุญยะโรกุล อาจารย์ผู้ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการชลประทานบนผิวให้ผู้เขียน ต้องขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ปฏิภาณ อมาตยกุล และอาจารย์มงคล โชติศศิธร ซึ่งเคยสอนวิชานี้มาก่อนผู้เขียนและได้มอบเอกสารประกอบการสอนให้ผู้เขียนใช้เป็นแนวทางในการเขียนหนังสือทั้ง 2 เล่มนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

(ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์)
รองศาสตราจารย์

(ดร.พงศธร โสภาพันธุ์)
ผู้ช่วยศาสตราจารย์

15 เมษายน 2536

สารบาญ

		หน้า
คำนำ		(i)
สารบาญ		
บทที่ 1	การให้น้ำทางผิวดิน	1-1
	1.1 คำนำ	1-1
	1.2 วิธีการให้น้ำทางผิวดิน	1-1
	1.3 การออกแบบการให้น้ำทางผิวดิน	1-3
	1.4 ชลศาสตร์ของการไหลของน้ำบนผิวดิน	1-7
	1.5 ประสิทธิผลของการชลประทานบนผิวดิน	1-15
	1.6 เอกสารอ้างอิง	1-24
บทที่ 2	การออกแบบระบบการชลประทานแบบร่องคู	2-1
	2.1 คำนำ	2-1
	2.2 รูปร่างและขนาดของร่องคู	2-1
	2.3 ระยะห่างระหว่างร่องคู	2-3
	2.4 ความยาวของร่องคู	2-5
	2.5 ความลาดเทของร่องคู	2-9
	2.6 พืชที่ควรให้น้ำโดยร่องคู	2-9
	2.7 วิธีการให้น้ำแก่ร่องคู	2-11
	2.8 Alternate Furrow Irrigation	2-13
	2.9 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบร่องคู	2-13
	2.10 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบร่องคู	2-15
	2.11 วิธีการทดลองและประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู	2-15
	2.12 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู	2-23
	2.13 เอกสารอ้างอิง	2-31

สารบาญ

		หน้า
บทที่ 3	การออกแบบระบบการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนยาว	3-1
	3.1 คำนำ	3-1
	3.2 ขนาดและรูปร่างแปลง	3-2
	3.3 ความลาดเทของ Border	3-8
	3.4 การให้น้ำกับแปลง Border	3-9
	3.5 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบ Border	3-9
	3.6 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบ Border	3-12
	3.7 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว	3-13
	3.8 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว	3-15
	3.9 เอกสารอ้างอิง	3-32
บทที่ 4	การออกแบบระบบชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง	4-1
	4.1 คำนำ	4-1
	4.2 ขนาดแปลง Basin	4-1
	4.3 รูปร่างแปลงเบซิ่น	4-5
	4.4 พืชที่ปลูก	4-7
	4.5 คันดิน	4-7
	4.6 การให้น้ำแก่แปลงเบซิ่น	4-9
	4.7 การระบายน้ำออกจากแปลงเบซิ่น	4-10
	4.8 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง	4-12
	4.9 ประสิทธิภาพการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง	4-14
	4.10 การประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง	4-14
	4.11 เอกสารอ้างอิง	4-25

สารบาญ

		หน้า
บทที่ 5	การปรับพื้นที่	5-1
5.1	คำนำ	5-1
5.2	สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการปรับพื้นที่	5-2
5.3	การแบ่งลักษณะผิวดินสำหรับการชลประทานผิวดิน	5-3
5.4	การเตรียมการปรับพื้นที่	5-3
5.5	การออกแบบการปรับพื้นที่	5-9
5.6	วิธีการปรับเป็นระนาบ	5-9
5.7	การคำนวณปริมาณงานดิน	5-17
5.8	การเตรียมการปรับพื้นที่ในสนาม	5-25
5.9	เอกสารอ้างอิง	5-25
บทที่ 6	ลักษณะระบบชลประทานในแปลงนา	6-1
6.1	ความต้องการน้ำชลประทานและสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ	6-1
6.2	รูปแบบของการพัฒนาระบบชลประทานในแปลงนา	6-1
6.3	วิธีการจัดสรรน้ำชลประทานในระดับคูส่งน้ำ	6-1
6.4	ตัวอย่างการคำนวณการส่งน้ำแบบหมุนเวียนในคูน้ำ	6-2
6.5	ความจุและการออกแบบทางชลศาสตร์ของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ	6-6
6.6	อาคารต่าง ๆ	6-7
6.7	เอกสารอ้างอิง	6-19
บทที่ 7	การหาขนาดระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูก	7-1
7.1	คำนำ	7-1
7.2	แนวความคิดเบื้องต้นในการหาขนาดระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูก	7-1
7.3	วิธีการหาขนาดระบบส่งน้ำสำหรับการปลูกข้าว	7-2
7.4	วิธีการหาขนาดระบบส่งน้ำสำหรับการปลูกพืชไร่	7-20
7.5	เอกสารอ้างอิง	7-24

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 8	การหาขนาดระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก	8-1
	8.1 คำนำ	8-1
	8.2 ความเสียหายเนื่องจากน้ำท่วม	8-1
	8.3 การเลือกฝนในการออกแบบระบบระบายน้ำในแปลงนา	8-2
	8.4 ตัวอย่างการหาขนาดระบบระบายน้ำ	8-10
	8.5 เอกสารอ้างอิง	8-12
บทที่ 9	การออกแบบระบบชลประทานในแปลงเพาะปลูก	9-1
	9.1 คำนำ	9-1
	9.2 ลักษณะของระบบชลประทานในแปลงเพาะปลูก	9-1
	9.3 ขั้นตอนการดำเนินการจัดรูปที่ดิน	9-3
	9.4 ข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบ	9-5
	9.5 เกณฑ์การออกแบบและขั้นตอนในการดำเนินการ	9-7
บทที่ 10	เทคนิคการออกแบบระบบชลประทานพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดเท	10-1
	10.1 คำนำ	10-1
	10.2 ข้อมูลสำคัญ	10-1
	10.3 การระบายน้ำ	10-2
	10.4 ประโยชน์ที่จะได้จากการให้น้ำ	10-5
	10.5 ปริมาณน้ำที่ต้องการ	10-6
	10.6 แหล่งน้ำที่เหมาะสม	10-7
	10.7 ประมาณน้ำที่ใช้ประโยชน์ได้	10-8
	10.8 การกำหนดประเภทของระบบชลประทาน	10-9
	10.9 การเลือกวิธีการให้น้ำสำหรับพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดชัน	10-9
	10.10 เทคนิคการออกแบบ	10-16
	10.11 การกระจายน้ำแบบ Plot to Plot System	10-17
	10.12 ประเภทของคูน้ำตามการใช้งาน	10-18
	10.13 การจัดการไร่-นา ในต่างประเทศ	10-19

สารบาญ

		หน้า
บทที่ 11	การออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน	
11.1	คำนำ	11-1
11.2	ชนิดของระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน	11-1
11.3	ส่วนประกอบของระบบส่งน้ำเพื่อการชลประทาน	11-6
11.4	การออกแบบ	11-17
11.5	เอกสารอ้างอิง	11-46

บทที่ 1

การให้น้ำทางผิวดิน

(Surface Irrigation)

1.1 คำนำ

ระบบการชลประทานในระดับไร่นาจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเกษตรกรผู้ใช้น้ำรู้ถึงวิธีการควบคุมน้ำที่จะต้องให้แก่แปลงเพาะปลูกเช่น การเลือกวิธีการให้น้ำ อัตราการให้น้ำ ระยะเวลาในการให้น้ำ และขนาดของแปลง ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และต้องสัมพันธ์กับอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ความต้องการน้ำของพืช ชนิดของพืชที่ปลูกตลอดจนสภาพแปลงด้วย เพื่อให้การกระจายน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและลดการสูญเสียน้ำระหว่างการให้น้ำให้น้อยที่สุด

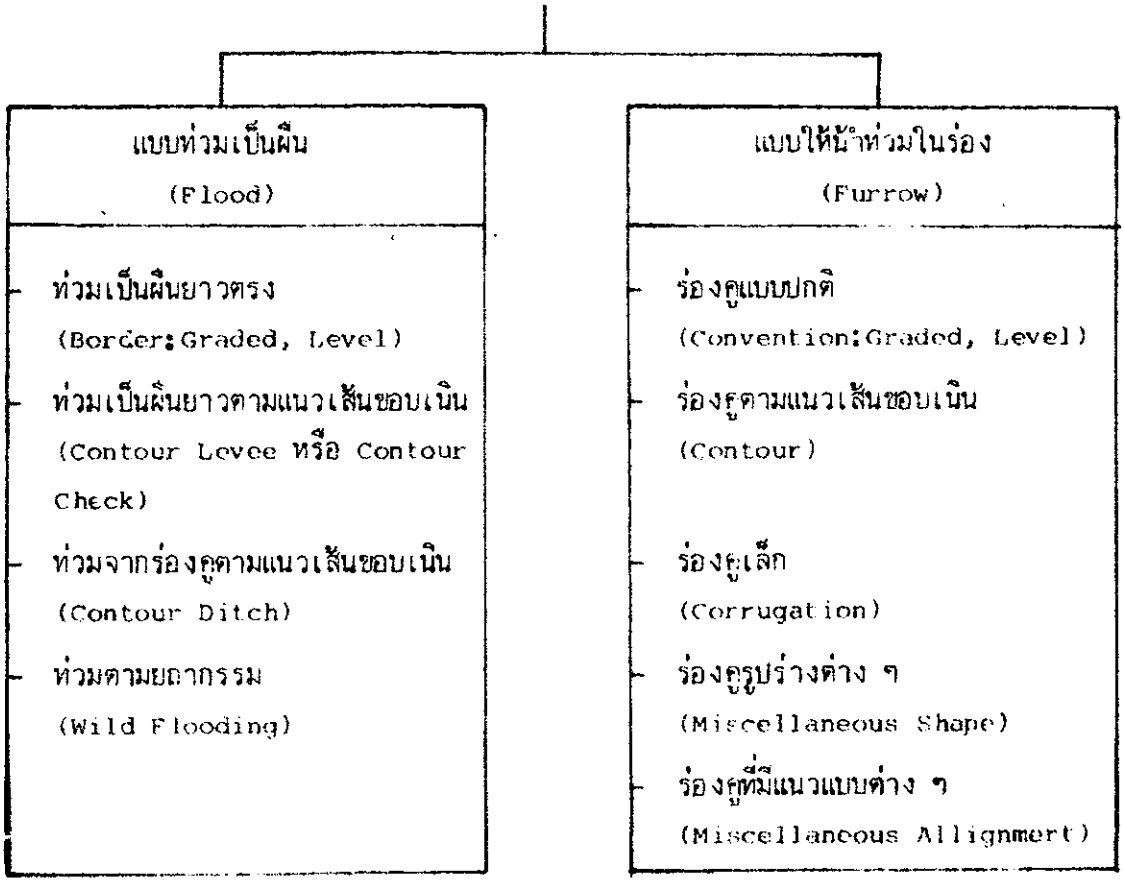
ในบทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการให้น้ำชลประทานทางผิวดินแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ทั่ว ๆ ไป โดยจะเน้นเกี่ยวกับเรื่องการเลือกวิธีการให้น้ำทางผิวดิน หลักการเบื้องต้นในการออกแบบการให้น้ำทางผิวดิน ตลอดจนการวิเคราะห์เพื่อปรับแก้การให้น้ำทางผิวดินให้เหมาะสมกับสภาพดิน สภาพพืช และอัตราน้ำชลประทานที่ส่งไปยังแปลง เพื่อให้การใช้น้ำในระดับไร่นามีประสิทธิภาพ และการเพาะปลูกได้ผลผลิตดี

1.2 วิธีการให้น้ำทางผิวดิน

ในการให้น้ำทางผิวดิน เราให้น้ำแก่พืชโดยให้น้ำขังหรือไหลไปบนผิวดิน และซึมเข้าไปในดินตรงจุดที่น้ำนั้นขังหรือไหลผ่าน ดังนั้นอาจจะถือว่าผิวดินเป็นทางน้ำ และทางน้ำที่ว่านี้จะมีรูปร่าง ขนาด และคุณสมบัติทางชลศาสตร์แตกต่างกันออกไป กล่าวคือจะมีขนาดตั้งแต่เป็นร่องน้ำเล็ก ๆ เช่น ในการให้น้ำทางร่องคูเล็ก (Corrugation Irrigation) หรือร่องคูปกติ (Furrow Irrigation) จนกระทั่งขนาดใหญ่ขึ้นเช่น ให้แบบท่วมเป็นผืน (Border Irrigation) ซึ่งผิวดินปกคลุมด้วยน้ำทั้งหมดเป็นต้น เมื่อพิจารณาจากลักษณะของทางน้ำดังกล่าวแล้ว เราอาจแบ่งการชลประทานแบบผิวดินออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ แบบให้น้ำท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่ (Flood) และแบบให้น้ำซึมเฉพาะในร่อง (Furrow) จากทั้งสองแบบนี้เรายังสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีกดังโดยละเอียดต่อไปนี้

การให้น้ำทางผิวดิน

(Surface Irrigation)



วิธีการให้น้ำทางผิวดินที่จะกล่าวถึงต่อไปโดยละเอียดคือ Graded Furrow ในบทที่ 2 Graded Border ในบทที่ 3 และแบบ Level Border หรือ Basin ในบทที่ 4

การให้น้ำทางผิวดินนี้รู้จักใช้กันมาเป็นเวลานานหลายศตวรรษแล้ว และในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมกันอยู่โดยทั่วไป มากกว่า 90 % ของการชลประทานในโลกใช้วิธีการให้น้ำทางผิวดิน ทั้งนี้เพราะการให้น้ำแบบนี้มีข้อดีหลายอย่างซึ่งพอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

1. สามารถที่จะใช้ได้กับดินและพืชเกือบทุกชนิด นอกจากนั้นระบบการให้น้ำยังสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับขนาดและวิธีการส่งน้ำทุกประเภท

2. มีความคล่องตัวสูง การให้น้ำทางผิวดินนี้สามารถให้น้ำแก่พืชได้ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่มิได้ให้น้ำเช่น ให้น้ำแก่พืช 10 ถึง 14 วันต่อครั้ง แต่ใช้เวลาให้น้ำเพียง 1 ถึง 3 วัน ความคล่องตัวนี้มีความสำคัญมากในกรณีที่อากาศร้อนจัดและพืช

ต้องการน้ำมากเป็นพิเศษเป็นเวลาหลายวันติดต่อกัน

3. ค่าลงทุนถูกเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบอื่น ๆ เนื่องจากว่าการชลประทานแบบนี้ให้น้ำไหลไปบนผิวดินด้วยแรงดึงดูดของโลก ในกรณีที่ต้องการเครื่องสูบน้ำจึงมักจะไม่ต้องการแรงม้าสูง นอกจากนั้นยังไม่ค่อยมีอาคารชลประทานหรือเครื่องมือที่ต้องการการบำรุงรักษาอยู่เสมอด้วย

4. ไว้วางใจได้ กล่าวคือถ้ามีน้ำอยู่แล้ว จะให้น้ำแก่พืชเมื่อไรก็ได้โดยไม่ต้องพึ่งพาอาศัยเครื่องมืออื่น ๆ ดังนั้นความเสียหายของพืชเนื่องจากจัดหาน้ำให้ไม่ทันเวลาจึงเกิดขึ้นได้ยาก

5. เมื่อมีการออกแบบที่เหมาะสม การให้น้ำแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงเท่า ๆ กับหรือมากกว่าแบบอื่น ๆ

สำหรับข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดินก็มี

1. ต้องการการปรับพื้นที่ให้มีความลาดเทสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้ไม่เหมาะสมกับพื้นที่ที่ไม่ราบอยู่แล้ว เนื่องจากค่าปรับพื้นที่อาจจะสูงมาก หรือเนื่องจากชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชนั้นตื้นเกินไป

2. อาจเกิดการกัดเซาะ (Erosion) ขึ้นได้ในกรณีที่ความลาดเทของพื้นที่ชันมาก

3. คันดินและคูส่งน้ำมักจะเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องมือเตรียมดินและเก็บเกี่ยว

4. อาจก่อให้เกิดปัญหาการระบายน้ำขึ้นได้ง่ายถ้าหากใช้น้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพหรือเลือกวิธีการให้น้ำไม่ถูกต้อง

5. ใช้แรงงานมาก

1.3 การออกแบบการให้น้ำทางผิวดิน

1.3.1 การรวบรวมข้อมูลสำหรับการออกแบบ

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

1. ข้อมูลที่เกี่ยวกับน้ำซึ่งได้แก่ปริมาณน้ำที่จะได้รับทั้งหมดตลอดปีหรือตลอดฤดูการเพาะปลูก วิธีการส่งน้ำ ว่าเป็นแบบส่งน้ำตลอดเวลา ส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotation) ฯลฯ อัตราการส่งน้ำตามปกติ และในช่วงเวลาที่ต้องการน้ำมาก คุณภาพของน้ำ ปริมาณน้ำฝนที่คาดว่าจะตกและสามารถนำมาใช้ได้ในระหว่างการเพาะปลูก ความต้องการน้ำของพืชที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดจนปริมาณน้ำที่จะต้องเผื่อไว้สำหรับชะล้างเกลือในดินด้วย

2. ข้อมูลที่เกี่ยวกับลักษณะภูมิประเทศซึ่งได้แก่ ขนาด รูปร่าง และความลาดเทของพื้นที่ จุดที่จะส่งน้ำเข้าพื้นที่ และทางระบายน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เป็นต้น

3. ข้อมูลที่เกี่ยวกับดินซึ่งได้แก่ ความมั่นคงแข็งแรงของดิน ความเหมาะสมในการสร้างคลองส่งน้ำ ความลึกของชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ความสามารถในการเก็บความชื้นของดิน คุณสมบัติของดินที่อาจเปลี่ยนไปหลังจากที่มีน้ำท่วมผิวดิน เช่น อาจเกิดการแตกระแหง อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากให้น้ำขังบนผิวดินในขนาดเดียวกันกับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในขณะที่ให้น้ำแก่พืช ปริมาณของเกลือที่อยู่ในดิน ความง่ายต่อการถูกกัดเซาะ และความสามารถในการระบายน้ำของดิน

4. ข้อมูลที่เกี่ยวกับพืชซึ่งได้แก่ ชนิดของพืช และขนาดของพื้นที่ที่จะปลูกพืช ความลึกของราก ความต้องการน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุพืช วิธีการปลูกและเก็บเกี่ยว การปลูกพืชหมุนเวียน เป็นต้น

5. ข้อมูลอื่น ๆ เช่น เครื่องมือเตรียมดินและเก็บเกี่ยวที่มีอยู่แล้ว เครื่องมือก่อสร้างหรือเครื่องมืออื่น ๆ ที่จะหามาหรือว่าจ้างมาทำงานได้ จำนวนเงินที่จะนำมาใช้ลงทุน ฯลฯ

1.3.2 <u>การเลือกวิธีการให้น้ำ</u>

การเลือกวิธีการให้น้ำแก่พืชให้เหมาะสมกับดิน พืชที่ปลูก และสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การเลือกวิธีการให้น้ำที่ไม่เหมาะสมนอกจากจะทำให้ต้นทุนสูงและได้ประโยชน์ไม่คุ้มค่าแล้วยังอาจทำให้พื้นที่เพาะปลูกเสียหายได้ เช่น ทำให้เกิดการชะล้างผิวดินและพาเอาปุ๋ยหรือแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไป ทำให้มีการสูญเสียน้ำมากขึ้น ทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นจนพื้นที่นั้นไม่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกและทำให้เกิดดินเค็ม เป็นต้น แนวทางการพิจารณาการเลือกวิธีการให้น้ำเบื้องต้น ระหว่างการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง ท่วมเป็นผืนลาด และร่องดู แสดงอยู่ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 แนวทางการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำทางผิวดินที่เหมาะสม

วิธีการให้น้ำ	ภูมิประเทศ				อัตราการซึมของน้ำลงไปในดิน (มม./ชม.)	รูปร่างแปลง	ทิศทางปลูก				แรงงานที่ต้องการ (ชม./10 ไร่/การให้น้ำ 1 ครั้ง)
	พื้นที่ลุ่ม		ไม่ค่อยมีลม				ปลูกเป็นแถวเป็นแนว	ปลูกโดยการหว่าน	ข้าว	ไม้ผล	
	ไม่ให้เกาะปลูก	มีพืชปกคลุมดี	ไม่ให้เกาะปลูก	มีพืชปกคลุมดี							
ท่วมเป็นอ่าง	ราบหรือมีความลาดเทน้อยกว่า 0.1 % (ถ้ามีความลาดเทมากกว่านี้ ให้สร้างเป็นขั้นบันได)				< 30	ทุกรูปร่าง	เหมาะ	เหมาะ	เหมาะ	เหมาะ	0.8 - 2.4
ท่วมเป็นผืนลาด	0.5	0.2	2.0	5.0	< 30	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	เหมาะ	เหมาะ	ไม่เหมาะ	เหมาะ	1.6 - 4.8
ร่องตื้น	0.3 ความลาดไปตามแนวแปลง 3 %	-	2.0 ความลาดไปตามแนวแปลง 3 %	-	< 30	แต่ละร่องควรยาวเท่ากัน	เหมาะ	ไม่เหมาะ	ไม่เหมาะ	เหมาะ	3.2 - 6.4

ส่วนตารางเปรียบเทียบการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำโดยละเอียดอยู่ในตาราง ภาคผนวกที่ 1.1

1.3.3 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบ

เพื่อที่จะให้การใช้น้ำและดินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบชลประทานควรจะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ ดิน น้ำ และพืช และองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งอาจสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. จะต้องสามารถให้น้ำตามความต้องการของพืชได้ ความต้องการน้ำของพืชขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิด อายุ และฤดูการเพาะปลูก การให้น้ำแก่พืชอย่างพอเพียงนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่ยากถ้าไม่คำนึงถึงค่าลงทุน การออกแบบที่ดีจะต้องให้ระบบชลประทานนั้นสามารถให้น้ำแก่พืชได้ตามความต้องการโดยเสียค่าลงทุนน้อยที่สุด

2. จะต้องสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอและทั่วถึงกัน เนื่องจากลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำพืชที่แต่ละจุดอาจจะได้รับน้ำไม่เท่ากัน บางแห่งอาจจะได้รับมากเกินไป บางแห่งอาจจะได้รับน้ำไม่พอกับความต้องการ ผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้ระบบชลประทานนั้นสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอและทั่วถึงกันโดยให้มีความแตกต่างดังกล่าวน้อยที่สุด

3. จะต้องให้มีการกัดเซาะ (Erosion) น้อยที่สุด การกัดเซาะในวิธีการให้น้ำนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำและความลาดเทของพื้นที่ การออกแบบที่ดีจะต้องใช้อัตราการให้น้ำที่พอเหมาะ กล่าวคือ น้ำจะต้องไปถึงปลายของพื้นที่ในเวลาพอสมควรโดยเกิดการกัดเซาะน้อยที่สุดหรืออยู่ในขนาดที่จะไม่เกิดความเสียหายแก่พื้นที่

4. จะต้องมีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด ในการให้น้ำแก่พืชน้ำบางส่วนอาจจะไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกหรือไหลซึมลงเลยเขตรากไป เพราะฉะนั้นจะต้องมีการออกแบบให้มีการสูญเสียน้ำดังกล่าวน้อยที่สุด น้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกออกไปหรือที่เราเรียกว่า "Runoff" นี้อาจจะควบคุมหรือลดปริมาณได้โดยการลดอัตราการให้น้ำลงเมื่อน้ำที่ให้นั้นไหลไปเกือบถึงท้ายแปลงเพาะปลูกแล้ว

5. ควรจะนำเอาน้ำเหลือท้ายแปลงเพาะปลูกมาใช้ให้เป็นประโยชน์ถ้าหากว่าไม่ต้องลงทุนเพิ่มอีกมาก หรือมิฉะนั้นจะต้องจัดการระบายออกจากพื้นที่ไปเพื่อป้องกันมิให้เกิดน้ำขัง ซึ่งจะทำให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้เครื่องจักรกลเกษตรหรือเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง

6. จะต้องออกแบบให้ใช้แรงงานในการให้น้ำน้อยที่สุด การออกแบบและวางแผนที่ดีจะทำให้ลดแรงงานในการให้น้ำลงได้มาก

7. ควรจะใช้พื้นที่สำหรับคลอง คูส่งน้ำ และอาคารอื่น ๆ ให้น้อยที่สุด ตามปกติแล้วอาคารดังกล่าวจะใช้พื้นที่ราย 5 เปอร์เซนต์ของพื้นที่ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม พื้นที่ดังกล่าวจะลดลงได้อีกถ้าได้มีการออกแบบที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วจะต้องระมัดระวังในเรื่องนี้มาก ในบางครั้งอาจจะต้องยอมลดประสิทธิภาพในการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency) ลง โดยการเพิ่มความยาวของร่องคู หรือแปลงให้น้ำท่วมเป็นผืน เพื่อลดพื้นที่ที่จะต้องเสียไปและเพื่อให้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานได้สะดวกขึ้น

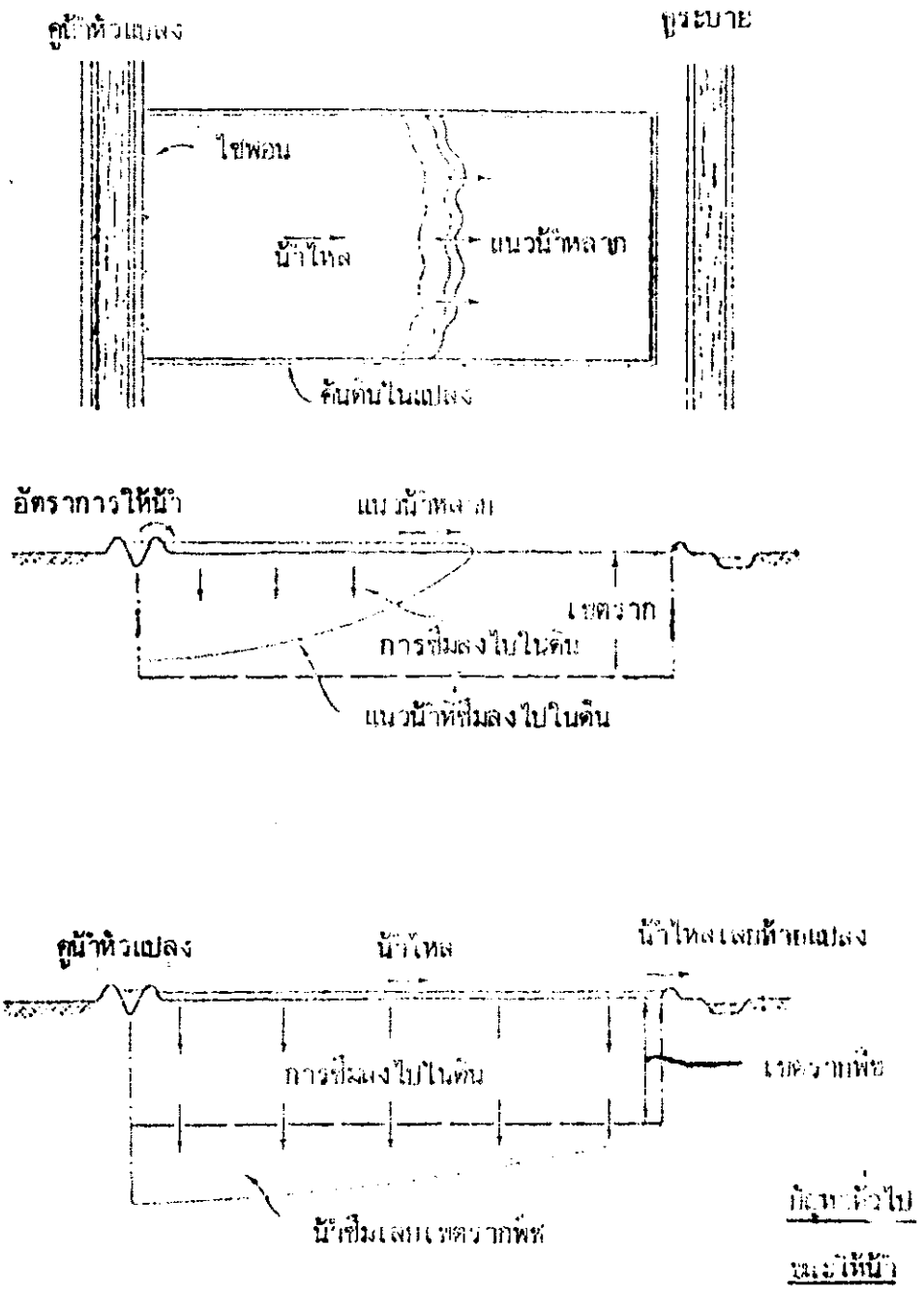
8. จะต้องออกแบบระบบชลประทานให้เหมาะกับรูปร่างของพื้นที่ ในบางครั้งพื้นที่เพาะปลูกมิได้มีรูปสี่เหลี่ยม การออกแบบจึงควรจัดให้ใช้พื้นที่ได้มากที่สุด

9. จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับดินและลักษณะของภูมิประเทศ เนื่องจากความแตกต่างของเนื้อดิน ความลาดเทของพื้นที่ ความลึกของดิน ตลอดจนความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน จำนวนครั้งในการให้น้ำจึงแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจะต้องออกแบบให้แต่ละส่วนที่จะได้รับน้ำในเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

10. จะต้องคำนึงถึงความสะดวกในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรด้วย ในขณะที่กสิกรกำลังนิยมใช้เครื่องจักรกลเกษตรกันมากขึ้น การออกแบบจึงควรคำนึงถึงความต้องการข้อนี้ด้วย

1.4 ชลศาสตร์ของการไหลของน้ำบนผิวดิน

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ในการให้น้ำทางผิวดินเราให้น้ำแก่พืชโดยการปล่อยให้น้ำไหลไปบนผิวดินแล้วให้มันซึมลงไปเก็บไว้ให้พืชใช้ โดยหลักการแล้วเราอาจถือว่าผิวดินนั้นทำหน้าที่เป็นทางน้ำ แต่ทางน้ำดังกล่าวนี้แตกต่างจากทางน้ำอื่นที่เข้าใจกันโดยทั่ว ๆ ไปตรงที่ว่า โดยปกติแล้วมันจะแห้งและพื้นท้องน้ำมีการรั่วซึมได้มาก เมื่อเริ่มต้นให้น้ำโดยเปิดให้น้ำไหลเข้าทางหัวแปลง น้ำจะเคลื่อนตัวเป็นแผ่นบาง ๆ ไปตามความลาดเทของพื้นที่ บางส่วนจะซึมเข้าไปในดิน ที่เหลือก็จะเคลื่อนตัวไปข้างหน้า ดังแสดงในรูปที่ 1.1 น้ำหนักของการให้น้ำสูงกว่าผลรวมของอัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินน้ำก็จะเคลื่อนตัวไปข้างหน้าต่อไปเรื่อย ๆ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้น้ำจนกระทั่งน้ำเคลื่อนตัวไปถึงท้ายแปลงเรียกว่า ช่วงน้ำพาผ่าน (Advance Phase)



รูปที่ 1.1 ลักษณะของการชลประทานแบบผิวดิน

กราฟซึ่งพล็อตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำ (แกน y) กับระยะทางที่น้ำไหลไปถึงจุดต่าง ๆ นับจากหัวแปลง (แกน x) เรียกว่ากราฟน้ำหลาก (Advance Curve)

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

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

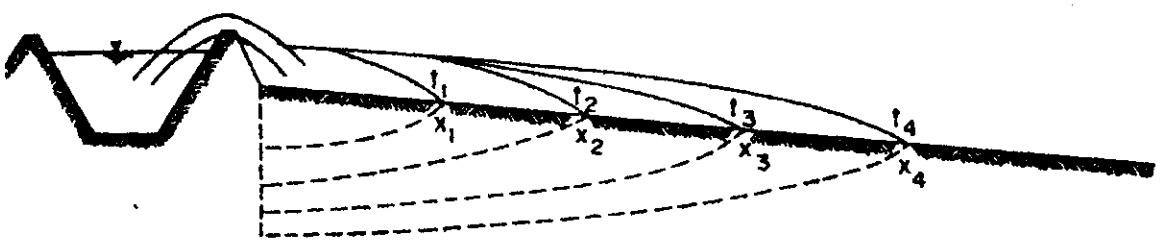
หลังจากที่น้ำที่หัวแปลงแห้งแล้วส่วนอื่น ๆ ที่อยู่ต่ำกว่าก็จะแห้งตามมา ลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นในการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวที่มีความลาดเท อย่างเห็นได้ชัดว่าในการให้น้ำทางร่องดู (Furrow) ช่วงระยะเวลานับจากน้ำที่หัวแปลงแห้งถัดต่อ ๆ มาจนแห้งถึงท้ายแปลงเรียกว่า ช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) กราฟซึ่งเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำ กับระยะทางจากหัวแปลงถึงจุดต่าง ๆ ที่น้ำเริ่มแห้งเรียกว่า กราฟน้ำแห้ง (Recession Curve)

ลักษณะการไหลหลากของน้ำในช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) กราฟน้ำหลาก (Advance Curve) และกราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) แสดงไว้ในรูปที่ 1.2 และ 1.3

1.4.1 ลักษณะการชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง

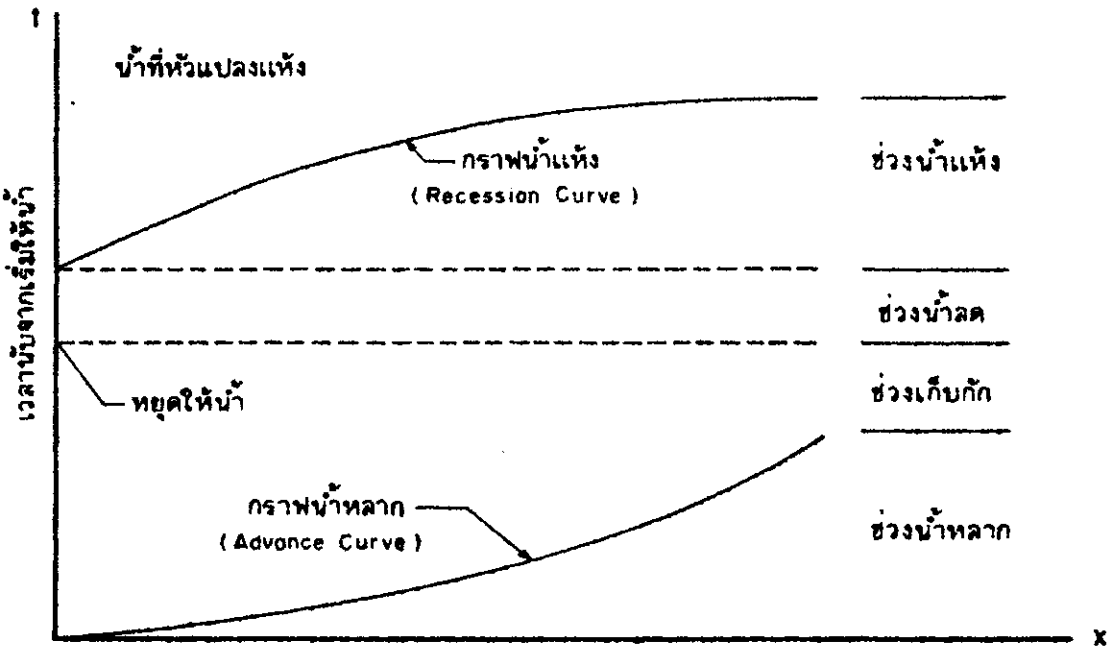
การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างหรือท่วมเป็นผืนราบจะต้องให้น้ำด้วยอัตราสูง เพื่อให้น้ำสามารถไหลไปถึงท้ายแปลงได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 1.4 ทั้งนี้เพราะพื้นดินในแปลงแบบท่วมเป็นอ่างราบหรือเกือบราบมีความลาดเทน้อยกว่า 0.01% ถ้าให้น้ำด้วยอัตราน้อยน้ำจะไหลไม่ถึงท้ายแปลง หรือใช้เวลามากเกินไปจนก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากการไหลเกินเขตรากมากเกินไป

โดยทั่ว ๆ ไป สำหรับการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างควรให้น้ำด้วยอัตราสูงพอที่น้ำจะไหลไปถึงท้ายแปลงภายใน $\frac{1}{4}$ ของเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปในดิน



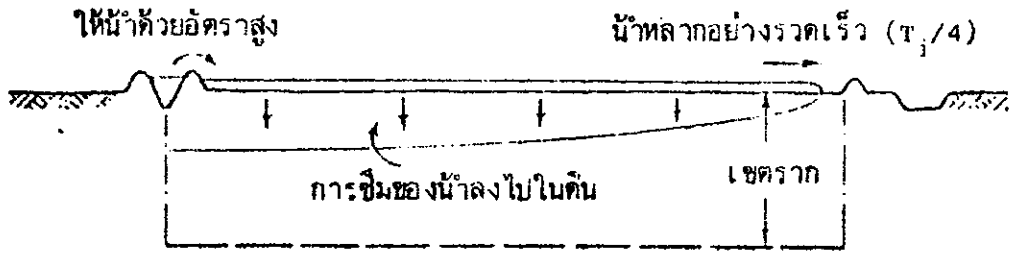
ความลึกของดินที่น้ำซึมลงไปถึง

รูปที่ 1.2 **แสดงลักษณะของการชลประทานแบบผิวดินในช่วงน้ำหลาก**

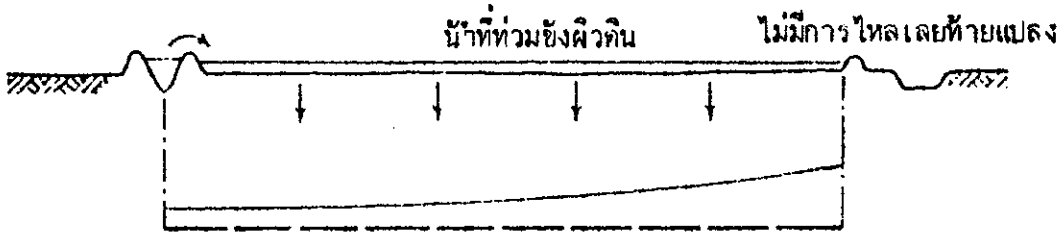


ระยะทางจากหัวแปลง

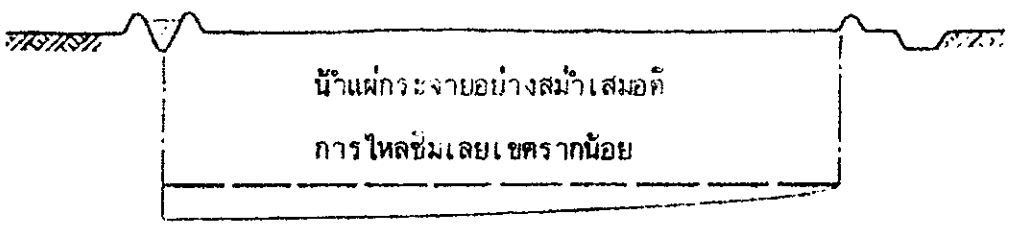
รูปที่ 1.3 **ช่วงระยะเวลาต่างๆ ในการชลประทานแบบผิวดิน**



(a) น้ำไหลเร็ว ซึมลงไปในดินน้อย



(b) น้ำท่วมขังบนผิวดิน และค่อย ๆ ซึมลงไปในดิน



(c) เมื่อให้น้ำเสร็จเรียบร้อย

รูปที่ 1.4 การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง

วิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างเป็นวิธีการที่มีผู้นิยมใช้กันมากเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย เหมาะกับพืช ดิน และสภาพพื้นที่เกือบทุกแบบ ถ้าหากออกแบบและมีการจัดการที่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะวิธีการให้น้ำแบบนี้ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก ดังรูปที่ 1.4

1.4.2 ลักษณะการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนลาด

วิธีการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนลาดมีข้อแตกต่างจากแบบท่วมเป็นอ่างที่สำคัญคือ แปลงมีความลาดเทจากหัวแปลงสู่ท้ายแปลงทำให้ต้องให้น้ำด้วยอัตราน้อย เพื่อให้น้ำที่ไหลสู่ท้ายแปลงอย่างช้า ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.5

วิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาดมีความยุ่งยากมากกว่าแบบท่วมเป็นอ่างตรงที่ผู้ให้น้ำต้องเลือกอัตราการให้น้ำและหยุดการให้น้ำให้เหมาะสม หยุดการให้น้ำก่อนที่จะไหลไปถึงท้ายแปลง จึงจะทำให้การให้น้ำโดยวิธีนี้เพียงพอกับความต้องการของพืช โดยไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงมากเกินไป

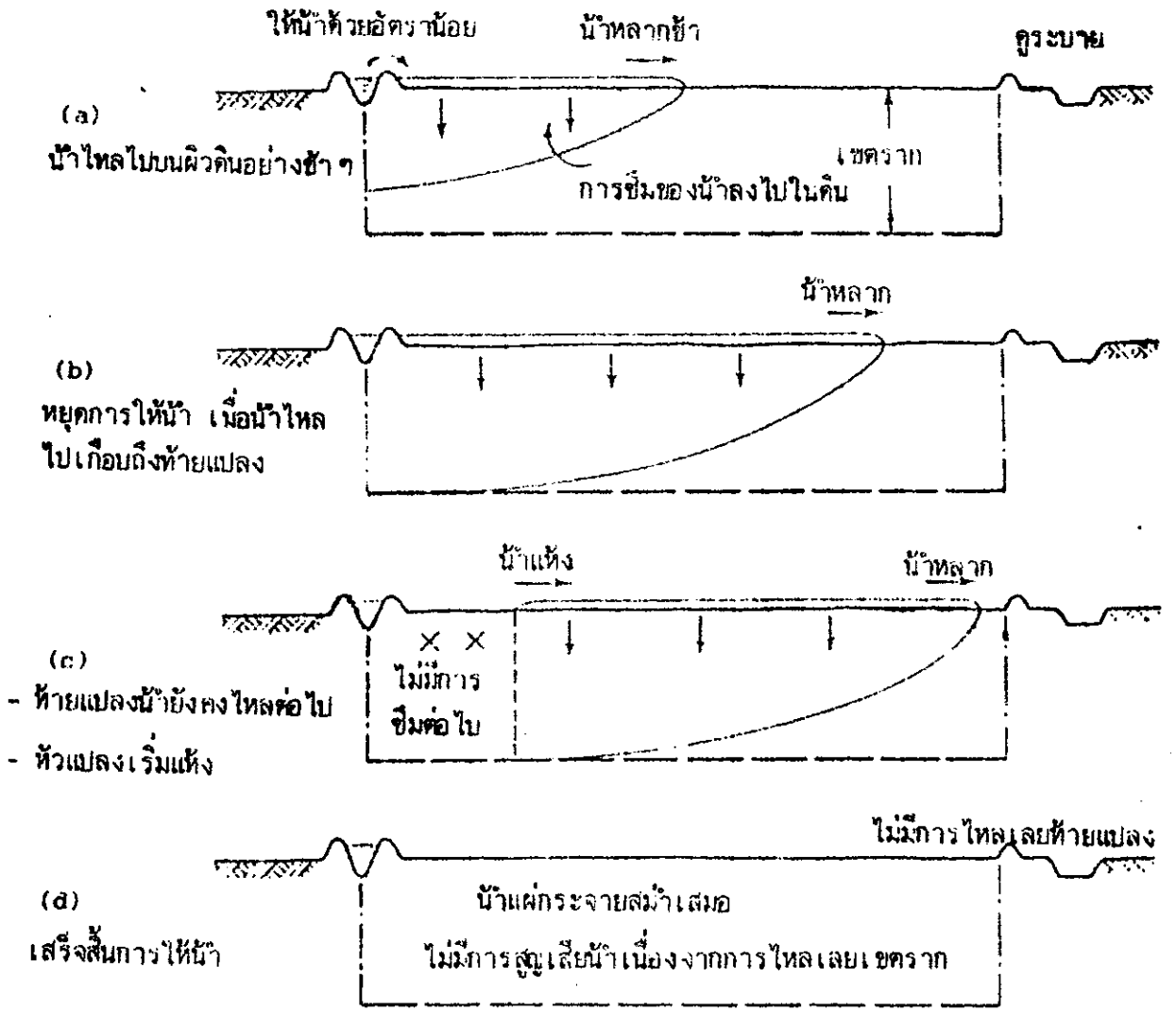
หลังจากหยุดการให้น้ำที่หัวแปลงแล้ว น้ำที่เหลือค้างอยู่บนผิวดินในแปลง จะยังคงไหลต่อไปยังท้ายแปลงตามความลาดเทของพื้นที่ หัวแปลงจะเริ่มแห้งก่อนขณะที่บริเวณท้ายแปลงน้ำจะยังคงไหลต่อไป

เมื่อเสร็จสิ้นการให้น้ำ การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาดจะมีการสูญเสียน้ำ 2 ส่วนคือ การไหลเลยท้ายแปลงและการไหลเลยเขตราก

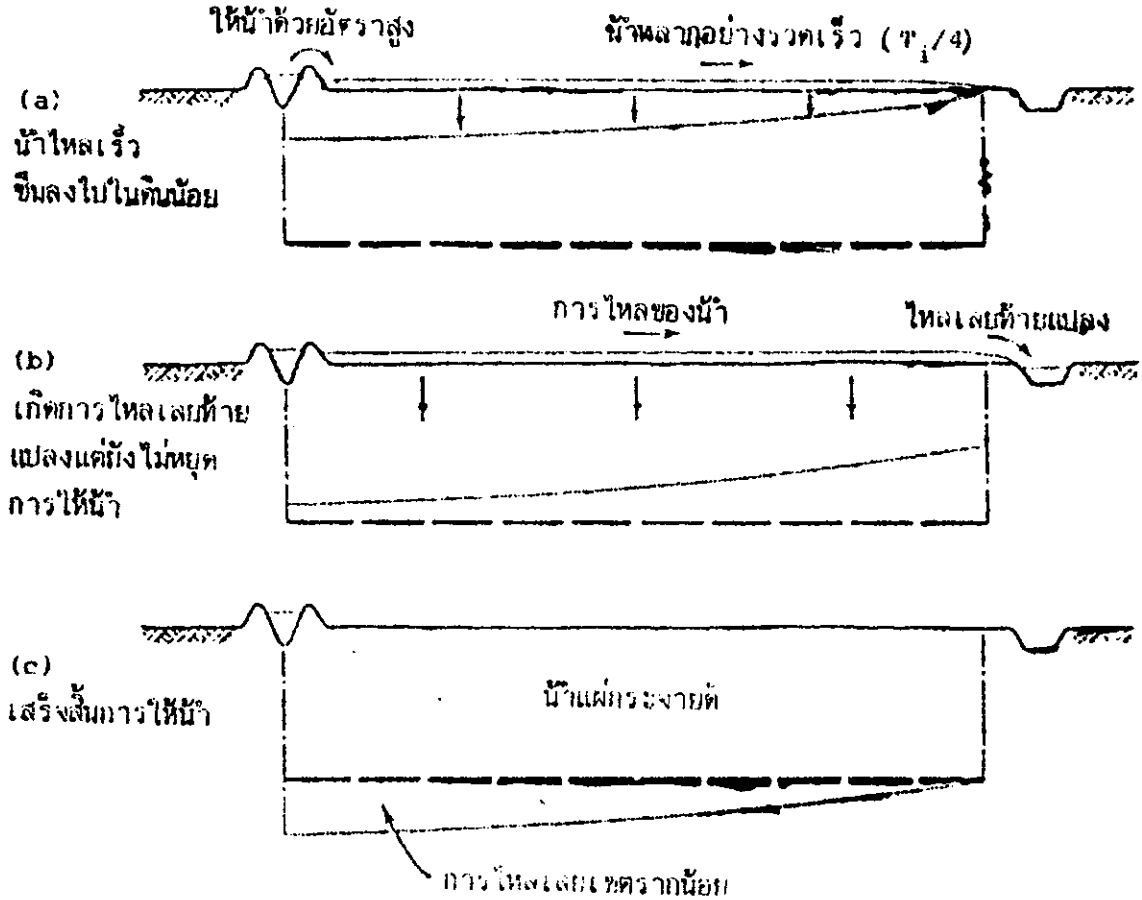
1.4.3 ลักษณะการชลประทานแบบร่องคู

ในทางกายภาพแล้ว การชลประทานแบบร่องคูจะแตกต่างจากวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างและท่วมเป็นผืนลาดเป็นอย่างมาก เพราะน้ำจะไหลเฉพาะในร่องคูเล็ก ไม่ให้ท่วมผิวดินแบบ 2 วิธีที่กล่าวถึงมาแล้ว

แต่การให้น้ำแบบร่องคูมีลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งที่เหมือนกับการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างคือ ต้องให้น้ำด้วยอัตราสูง สูงพอที่น้ำจะไหลไปถึงท้ายแปลงได้ภายใน $\frac{1}{4}$ ของเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปในดิน และโดยปกติจะยังไม่หยุดการให้น้ำถึงแม้ว่าน้ำจะไหลเลยท้ายแปลง ดังรูปที่ 1.6 จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงจำนวนมาก แต่อาจแก้ได้โดยใช้ Cutback Stream ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดในบทที่ 2



รูปที่ 1.5 การชลประทานแบบท่วมเป็นผืนลาด



รูปที่ 1.6 การชลประทานแบบร่องคู

1.5 ประสิทธิผลของการชลประทานบนผิวดิน

(Effectiveness (Quality) of Surface Irrigations)

การที่จะบอกว่าระบบการชลประทานทางผิวดินนั้น ๆ ดีหรือมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด จะดูได้จากดรรชนีในการชลประทาน 3 ตัว คือ

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ (Uniformity of Application)
2. ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (Application Efficiency)
3. ความเพียงพอในการให้น้ำ (Adequacy of Irrigation)

1.5.1 ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ

ความสม่ำเสมอในการให้น้ำเป็นตัววัดว่าระบบชลประทานนั้นให้น้ำกับแปลงได้สม่ำเสมอดีมากน้อยเพียงใด ถ้าให้น้ำได้สม่ำเสมออย่างสมบูรณ์ (ความสม่ำเสมอเท่ากับ 100 %) แสดงว่าทุกจุดในแปลงได้รับน้ำเท่ากันหมด ถ้าให้น้ำไม่สม่ำเสมอแสดงว่าบางจุดได้รับน้ำพอดี (Complete Irrigation) บางจุดได้รับน้ำไม่พอ (Under-Irrigation) และบางจุดได้รับน้ำมากเกินไป (Over-Irrigation)

ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะให้น้ำทางผิวดินได้สม่ำเสมอ 100 % แต่ถ้าเลือกอัตราการให้น้ำ และกำหนดเวลาการให้น้ำให้เหมาะสมกับสภาพแปลง จะสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอพอสมควร

ความสม่ำเสมอในการให้น้ำจะประเมินได้โดยใช้ Christiansen Uniformity Coefficient (CU) ดังสมการ

$$CU = 100 \left(1.00 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| X_i \right|}{V_T}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.1)$$

เมื่อ $X_i = D_i A_i - \bar{V}$

$$\bar{V} = \frac{V_T}{n}$$

$$V_T = \sum_{i=1}^{n} D_i A_i$$

และ D_i = ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่จุด i

A_i = พื้นที่ของจุด i

n = จำนวนจุดที่วัดการซึมของน้ำลงไปในดิน

ถ้าพื้นที่ของจุดที่วัดการซึมเท่ากันจะเขียนสมการที่ 1.1 ได้ใหม่ดังนี้

$$CU = 100 \left(1.00 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |d_i|}{n \bar{D}}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.2)$$

เมื่อ $d_i = D_i - \bar{D}$

$\bar{D}$ = ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลง

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n} D_i}{n}$$

อีกวิธีหนึ่งในการหาความสม่ำเสมอในการให้น้ำคือ ใช้ Distribution Uniformity (DU) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$DU = 100 \frac{\bar{D}_{LQ}}{\bar{D}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.3)$$

เมื่อ $\bar{D}_{LQ}$ = ความลึกเฉลี่ยของค่าต่ำสุดของน้ำที่ซึมลงไปในดินจำนวน 1/4 ของจุดที่ทำการวัด (Low Quarter Average Depth)

<u>ตัวอย่างที่</u> 1.1 ในการให้น้ำแบบร่องคู วัดความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่จุดต่าง ๆ ดังนี้

i	D_i (ซม.)
1	4.00
2	3.80
3	3.65
4	3.60
5	3.50
6	3.40

กำหนดว่าพื้นที่ของแต่ละหมุดเท่ากัน จงหา CU

วิธีทำ

$$\bar{D} = 3.66 \text{ ซม.}$$

$$\sum_{i=1}^{n} |d_i| = 0.97 \text{ ซม.}$$

$$CU = 100 \left(1.00 - \frac{0.97}{6 \times 3.66}\right)$$

$$= 95.6 \%$$

1.5.2 ประสิทธิภาพการให้น้ำ

คำว่า "ประสิทธิภาพ (E)" โดยทั่ว ๆ ไปมีความหมายดังสมการ

$$E = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \times 100 \% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.4)$$

$$= \frac{\text{ปริมาณที่นำไปใช้ให้เกิดประโยชน์}}{\text{ปริมาณทั้งหมดที่ใส่ให้กับระบบ}} \times 100 \%$$

ในระบบชลประทานทางผิวดิน Output จะหมายถึงปริมาณน้ำให้เก็บกักอยู่ในเขตรากในแปลงซึ่งพืชสามารถดูดเอาไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วน Input จะหมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้กับแปลง

โดยนัยดังกล่าว จะหาประสิทธิภาพการให้น้ำได้จากสมการ

$$E_a = \frac{V_{RZ}}{V_T} 100 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.5)$$

กรณีที่การให้น้ำเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Complete Irrigation)

$$V_{RZ} = \frac{D_{RZ} (FC - \theta)}{100} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.6)$$

$$V_T = \frac{QT}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.7)$$

เมื่อ E_a = ประสิทธิภาพการให้น้ำ เป็น %

V_{RZ} = ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตราก

V_T = ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้กับแปลง

D_{RZ} = ความลึกของเขตราก

FC และ θ = ความชื้นที่ Field Capacity และความชื้นก่อนการให้น้ำ เป็น % โดยปริมาตร ตามลำดับ

Q = อัตราการให้น้ำเฉลี่ย

T = ระยะเวลาการให้น้ำ

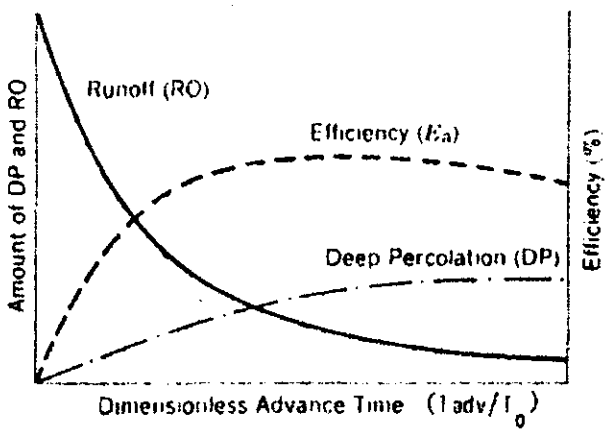
ปริมาณน้ำที่เก็บกักในเขตราก (V_{RZ}) อาจหาได้อีกวิธีหนึ่งจากสมการ

$$V_{RZ} = V_T - DP - RO \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1.8)$$

เมื่อ DP = ปริมาณน้ำที่ไหลเลยเขตราก

RO = ปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง

ปริมาณน้ำที่ไหลเลยเขตรากและปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง (หรือประสิทธิภาพการให้น้ำ Ea) จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างเวลาที่น้ำหลากไปถึงท้ายแปลง (T_a) กับเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปในดินตามปริมาณที่ต้องการ (T_i หรือ T_o) ดังแสดงในรูปที่ 1.7 อัตราส่วนดังกล่าว T_{adv}/T_i เรียกว่า Advance Ratio



รูปที่ 1.7 ผลของ Advance Ratio ต่อ DP, RO และ Ea

ตัวอย่างที่ 1.2 ในการให้น้ำแก่แปลงข้าวโพดทางร่องดู สามารถให้น้ำได้วันละ 26 ร่องดู ครอบคลุมพื้นที่ 3.75 ไร่ โดยให้น้ำด้วยอัตรา 1 ลิตร/วินาที/ร่องดู ถ้ากำหนดว่าความชื้นในดินที่ขาดหายไป (Soil Moisture Depletion, SMD หรือ Readily Available Moisture, RAM) ในแปลงข้าวโพดเท่ากับ 8 ซม. จงหาประสิทธิภาพในการให้น้ำ กำหนดว่าใน 1 วันจะให้น้ำ 8 ชั่วโมง

วิธีทำ

พิจารณาว่าการให้น้ำชลประทานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และคิดปริมาณน้ำเป็นปริมาตร

$$V_{RZ} = A.D$$

$$= 3.75 \times 1,600 \times \frac{8}{100} = 480 \quad ม.^3$$

$$V_T = QT$$

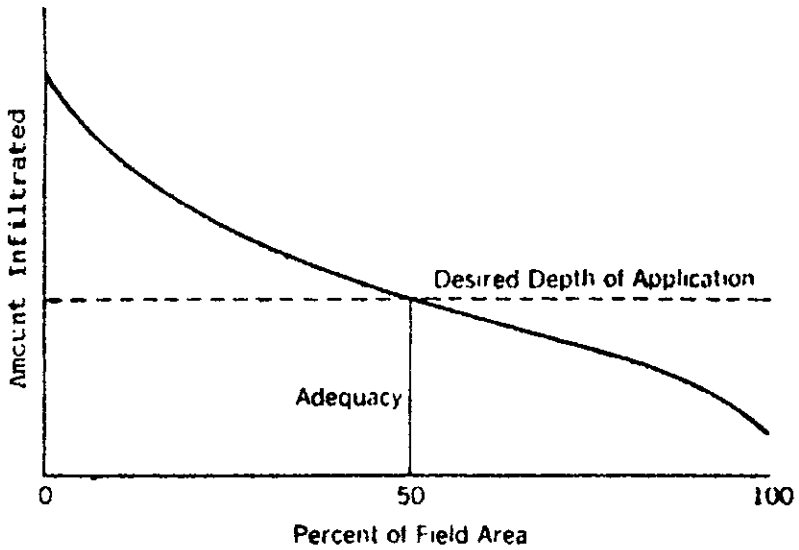
$$= 26 \times \frac{1}{1,000} \times 8 \times 3,600 = 748.8 \quad ม.^3$$

$$Ea = 100 \left(\frac{480}{748.8}\right) = 64.1\ \%$$

1.5.3 ความเพียงพอของการชลประทาน (Adequacy of Irrigation)

กรณีที่การให้น้ำไม่สม่ำเสมอมีบางจุดได้รับน้ำมากเกินไป และบางจุดได้รับน้ำน้อยเกินไป กรณีดังกล่าวจะบอกความเพียงพอของการชลประทานได้จาก % ของพื้นที่ให้น้ำที่ได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ

เปอร์เซนต์ดังกล่าวจะหาได้โดยวิธีวิเคราะห์การแจกแจงความถี่สะสม (Cumulative Frequency Distribution) ดังรูปที่ 1.8 จากรูปจะเห็นได้ว่ามี 50 % ของพื้นที่ได้รับน้ำมากว่าที่ต้องการ แสดงว่าความเพียงพอของการชลประทานเท่ากับ 50 %



รูปที่ 1.8 ลักษณะของการแจกแจงความถี่สะสม ซึ่งใช้วัดความเพียงพอในการชลประทาน

ตัวอย่างที่ 1.3 จงหาความเพียงพอในการชลประทาน จากข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ความลึกของน้ำชลประทานที่ต้องการให้ = 3.25 ซม.
2. ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่จุดต่าง ๆ มีค่าดังตาราง

(ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน เป็น ซม.)

i	D_i	i	D_i	i	D_i	i	D_i
1	4.0	6	3.5	11	3.4	16	3.7
2	3.9	7	3.3	12	3.4	17	3.5
3	2.6	8	2.8	13	2.7	18	3.2
4	3.7	9	3.0	14	2.8	19	2.6
5	4.0	10	3.5	15	3.2	20	4.3

วิธีทำ 1. ให้แต่ละจุด i มีพันท์

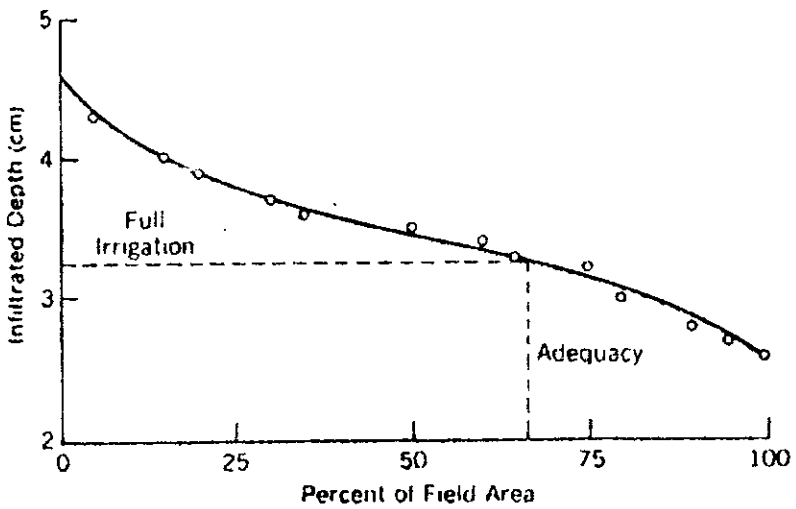
$$= \frac{1}{n} \times 100 = \frac{1}{20} \times 100 = 5\ \%$$

2. หาการแจกแจงความถี่สัมพัทธ์สะสมดังตาราง

ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน (ซม.)	% พันท์	% พันท์สะสม
4.3	5	5
4.0	5	10
4.0	5	15
3.9	5	20
3.7	5	25
3.7	5	30
3.6	5	35
3.5	5	40
3.5	5	45
3.5	5	50
3.4	5	55
3.4	5	60
3.3	5	65
3.2	5	70

ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน (ซม.)	% พื้นที่	% พื้นที่สะสม
3.2	5	75
3.0	5	80
2.8	5	85
2.8	5	90
2.7	5	95
2.6	5	100

3. นำความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน และ % พื้นที่สะสมไปพล็อตกราฟ จะได้ดังรูป



จากกราฟจะได้ว่า ความเพียงพอในการชลประทานเท่ากับ 67 %

กรณีที่การให้น้ำไม่สมบูรณ์ (Under Irrigation) ควรชนีความเพียงพอของการชลประทานอีกตัวหนึ่งที่ใช้กันอยู่คือประสิทธิภาพการเก็บกัก (Storage Efficiency, E_s) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_s = 100 \left(\frac{V_{RZ}}{SMD} \right) \% \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1.9)$$

เมื่อ V_{RZ} = ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากหลังการให้น้ำ

SMD = ปริมาณน้ำในดินที่ขาดหายไปจาก

ตัวอย่างที่ 1.4 จงหาประสิทธิภาพการเก็บกัก กำหนดว่าความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่จุดต่าง ๆ มีค่าดังตัวอย่าง 1.3 เขตรากพืชลึก 60 ซม. ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำและความชื้นในดินที่ Field Capacity เท่ากับ 18 และ 25 % โดยปริมาตรตามลำดับ

วิธีทำ

$$SMD = \frac{D(FC - \theta)}{100}$$

$$= \frac{60(25 - 18)}{100} = 4.20 \text{ ซม.}$$

มีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่ได้รับน้ำเกินไปนอกนั้นได้รับน้ำไม่พอ

$$V_{RZ} = 3.39 \text{ ซม.}$$

$$E_s = 100 \left(\frac{3.39}{4.20} \right) = 80.7 \%$$

1.6 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 (การออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

2. Larry, G.James (1988), Principles of Farm Irrigation System. John Wiley & Sons, New York.

3. Vudhivanich, V. (1989). Surface Irrigation System Design, A Handout for Training Courses on Management of Rainfed Agriculture, Continuing Education Center, AIT.

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 การพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำ

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

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 (ต่อ)

วิธีการให้น้ำ	พืชที่เหมาะสม	ลักษณะของพื้นที่ที่ใช้ได้ดี	อัตราการให้น้ำที่ต้องการ	ดินที่เหมาะสม	หมายเหตุ
ทำเป็นพื้นราบแนวเส้นขอบเนิน (Contour Checks)	ข้าว พืชหว่านเมล็ด หญ้าเลี้ยงสัตว์	พื้นดินเป็นคลื่นความลาดเทน้อยกว่า 2%	ต้องการอัตราการให้น้ำมากกว่า 30 ลิตรต่อนาที	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว ดินที่เมื่อแห้งแล้วไม่แตกระแหงได้ง่าย	ต้องการการปรับพื้นที่บ้าง อาจจะให้น้ำท่วมตลอดเวลา เช่น ในนาข้าว หรือท่วมเป็นครั้งคราว เช่น บนพื้นที่ที่ปลูกหญ้าเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น
ให้ท่วมเป็นพื้นที่ร้างไม่เกิน 5 ม. (Narrow Borders)	หญ้าเลี้ยงสัตว์ พืชหว่านเมล็ด อ้อย และพืชสวน	ต้องปรับดินให้เรียบสม่ำเสมอ และมีความลาดเทไม่เกิน 7%	ต้องการอัตราการให้น้ำค่อนข้างสูง	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว	คันดินจะต้องอยู่ในทิศทางของแนวที่มีความลาดเทมากที่สุด ผิวหน้าตัดระหว่างคันดินจะต้องเป็นพื้นราบสม่ำเสมอ
ให้ท่วมเป็นพื้นที่ร้าง (Wide Border) ไม่เกิน 30 เมตร	พืชหว่านเมล็ด และพืชสวน	ต้องปรับพื้นที่ให้เรียบสม่ำเสมอ และมีความลาดเทไม่เกิน 0.5%	ต้องการอัตราการให้น้ำสูงมาก อาจสูงถึง 600 ลิตรต่อนาที	ดินเหนียวหรือค่อนข้างเหนียว และอึด	ต้องการการปรับพื้นที่ให้ได้ระดับเป็นพิเศษ ต้องการแรงงานในการให้น้ำน้อย ไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 (ต่อ)

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

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 (ต่อ)

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

ตารางภาคผนวกที่ 1.1 (ต่อ)

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

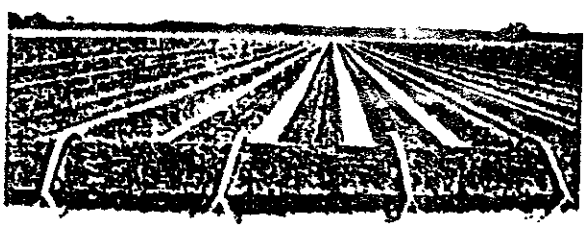
บทที่ 2

การออกแบบระบบการชลประทานแบบร่องคู

(Furrow Irrigation System Design)

2.1 คำนำ

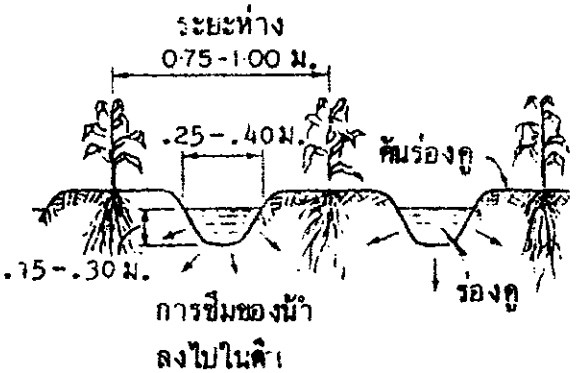
การชลประทานแบบร่องคูให้น้ำโดยการปล่อยให้น้ำไหลไปในคูขนาดเล็กและให้น้ำค่อยๆ ซึมเข้าไปในดินทางด้านข้างๆ และท้องร่องคู การให้น้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกเป็นแถวและพืชที่ไม่ชอบน้ำท่วมโคน เช่น พืชไร่ และผักต่างๆ ดังรูปที่ 2.1 วิธีการชลประทานแบบนี้สามารถประยุกต์ใช้กับพืช ดิน และวิธีการเพาะปลูกแบบต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามการชลประทานแบบนี้จะให้น้ำแก่พืชได้อย่างเพียงพอ สม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงและจะมีประสิทธิภาพดี ก็ต่อเมื่อมีการเลือกรูปร่างร่องคู ระยะห่างระหว่างร่อง ความยาวร่อง ความลาดเทและมีการจัดการที่เหมาะสม



รูปที่ 2.1 ลักษณะการชลประทานแบบร่องคู

2.2 รูปร่างและขนาดของร่องคู

รูปร่างและขนาดร่องคูนับว่ามีความสำคัญต่อความเพียงพอและประสิทธิภาพในการให้น้ำเป็นอย่างมาก ปกติโดยทั่วๆ ไป ร่องคูมักมีรูปร่างเป็นรูปตัว V โดยมีความกว้างของร่องคูระหว่าง 250-400 มม. และลึก 150-300 มม. ดังรูปที่ 2.2 อย่างไรก็ตามขนาดร่องคูที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำ ชนิดดิน และพืช



รูปที่ 2.2 รูปตัดขวางของร่องดู

2.2.1 อัตราการให้น้ำ (Stream Size)

ร่องดูจะต้องมีขนาดใหญ่พอให้น้ำไหลได้โดยไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะ ขนาดร่องดูจึงขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำที่เลือก ปกติอัตราการให้น้ำแก่ร่องดูแต่ละร่องจะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 3 ลิตร/วินาที

อัตราการให้น้ำในร่องดูเป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้น้ำ การที่จะให้พืชแต่ละจุดตลอดความยาวของร่องได้รับน้ำสม่ำเสมอกันนั้น น้ำที่ให้จะต้องไหลไปถึงจุดเหล่านั้นในเวลาที่สั้นที่สุด เพื่อให้ระยะเวลาที่น้ำขังอยู่ที่จุดต่างๆ นั้นแตกต่างกันน้อยที่สุด ดังนั้นการให้น้ำแก่ร่องดูจึงต้องให้ด้วยอัตราที่มากที่สุดเท่าที่ร่องดูนั้นจะสามารถรับได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องไม่เกิดผลเสียอย่างอื่น เช่น เกิดการกัดเซาะในร่องด้วย จากการทดลองพบว่าพืชจะได้รับน้ำสม่ำเสมอกันดีถ้าน้ำที่ให้นั้นไหลไปสุดร่องโดยใช้เวลาเพียง 1/4 ของเวลาที่จะต้องให้น้ำ เช่น สมมติว่าถ้าต้องการให้น้ำแก่พืช 80 มม. ต้องใช้เวลาให้น้ำ 4 ชั่วโมง ดังนั้นน้ำควรจะไหลไปถึงปลายร่องโดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เป็นต้น

การกัดเซาะในร่องดูเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถให้น้ำด้วยอัตราที่ต้องการ การกัดเซาะนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของน้ำที่ไหลในร่องหรืออัตราการให้น้ำและความลาดเทของพื้นที่ จากการทดลองพบว่าอัตราการให้น้ำที่มากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะร่องดู จะประมาณได้จากสมการที่ 2.1

$$Q = \frac{C}{S} \qquad \text{(2.1)}$$

โดย Q = อัตราการให้น้ำสูงสุดที่จะไม่เกิดการกัดเซาะ

S = ความลาดเทของร่องเป็นเปอร์เซนต์

C = ค่าคงที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6 เมื่ออัตราการให้น้ำมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และมีค่าเท่ากับ 10 เมื่ออัตราการให้น้ำมีหน่วยเป็นแกลลอน (U.S.) ต่อวินาที

2.2.2 ชนิดดิน

ในดินเหนียวซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินต่ำ ร่องดูจึงควรมีรูปร่างกว้างและตื้นเพื่อให้ร่องดูสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้น ตรงกันข้ามในดินทรายซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินสูง ควรลดอัตราการดูดซึมน้ำของร่องดูเพื่อให้น้ำไหลในร่องดูดังกล่าวได้เร็วขึ้น โดยการทำร่องดูให้แคบและลึกเพื่อลดเส้นรอบเปียกดังแสดงในรูปที่ 2.3

(1) ดินเหนียว (2) ดินทราย

รูปที่ 2.3 รูปร่างร่องดูสำหรับดินชนิดต่างๆ

2.2.3 ชนิดพืช

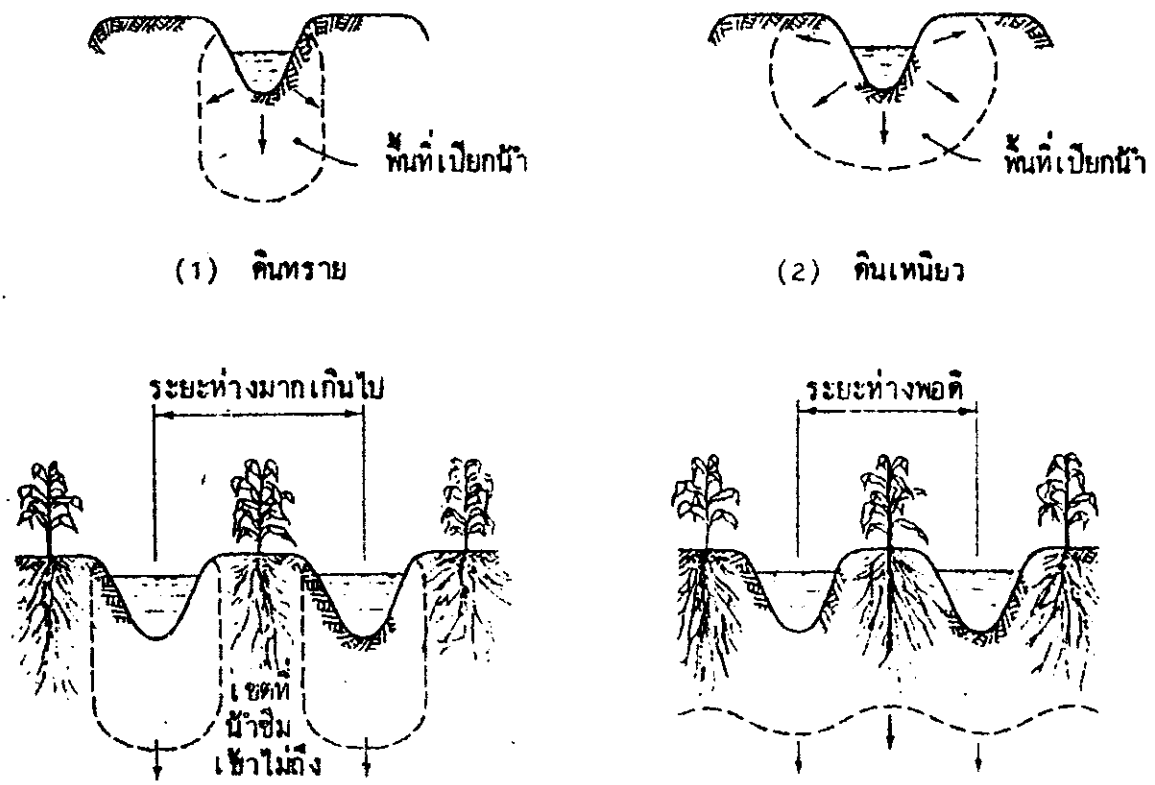
ช่วงที่พืชยังเล็กหรือช่วงที่เมล็ดพืชกำลังงอกต้องการให้ดินบนสันร่องเปียกอย่างทั่วถึง ซึ่งสามารถทำได้โดยการทำร่องดูตื้นๆ ครั้นเมื่อพืชเจริญเติบโต เขตรากขยายตัวควรขุดร่องดูให้ลึกลงไปเพื่อเพิ่มอัตราการดูดซึมน้ำของร่องดูๆ และอัตราการให้น้ำแก่ร่องดูไปในตัว

2.3 ระยะห่างระหว่างร่องดู (Furrow Spacing)

ระยะห่างระหว่างร่องดูขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน ชนิดพืช และวิธีการเพาะปลูก ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

2.3.1 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

ขณะที่น้ำไหลไปในร่องคู น้ำจะซึมลงไปในแนวดิ่งและแนวราบ และจะเคลื่อนตัวขึ้นสู่สันร่องคูโดย Capillary Action ดังนั้นร่องคูควรมีระยะห่างที่เหมาะสมเพื่อให้ดินในเขตรากได้รับน้ำอย่างทั่วถึงดังแสดงในรูปที่ 2.4



(1) ดินทราย (2) ดินเหนียว

(3) ระยะห่างมากเกินไป (4) ระยะห่างพอเหมาะ

รูปที่ 2.4 การซึมของน้ำเข้าไปในดินในร่องคูและระยะห่างระหว่างร่องคู

ในดินทรายน้ำเคลื่อนตัวทางด้านข้างไม่ดี ระยะห่างระหว่างร่องคูจึงควรจะน้อย (0.5 เมตร) แต่ในดินเหนียวซึ่งน้ำเคลื่อนตัวทางด้านข้างได้ดี ร่องคูควรมีระยะห่าง (1.2 เมตร หรือมากกว่า) ถ้าร่องคูมีระยะห่างมากเกินไปจะทำให้น้ำซึมเข้าไปไม่ถึงเขตรากทำให้ได้รับน้ำไม่เพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (4)

2.3.2 ชนิดพืช

พืชที่ปลูกเป็นแถวเป็นแนว เช่นพืชไร่ โดยทั่วๆ ไปจะมีระยะห่างระหว่าง 0.75-1.00 เมตร เพื่อให้สามารถทำการปลูก ดูแลรักษา และเก็บเกี่ยวได้สะดวก สำหรับพืชบางประเภท เช่นผักมักปลูกในร่องคูสันกว้างโดยการปลูกพืช 2 แถวบนสันร่อง (Double Rows)

2.3.3 วิธีการเพาะปลูก

กรณีที่มีการให้เครื่องจักรเครื่องมือช่วยในการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว บางครั้งอาจใช้ร่องคูที่มีระยะห่างเท่ากันสำหรับพืชและดินชนิดต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำงานของเครื่องจักรเครื่องมือที่มีอยู่ แต่อย่างไรก็ตามต้องแน่ใจว่าร่องคูต้องไม่ห่างเกินไปจนทำให้พืชได้รับน้ำไม่พอ

2.4 ความยาวของร่องคู (Furrow Length)

ความยาวของร่องคูขึ้นอยู่กับชนิดของดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้ ความลาดเทของพื้นที่ ขนาดและรูปร่างแปลง และวิธีการเพาะปลูก

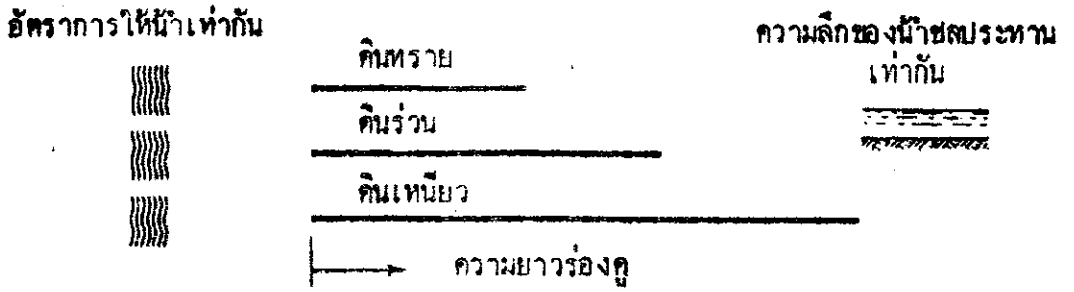
2.4.1 ชนิดดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทานและความลาดเท

องค์ประกอบทั้ง 4 ตัวดังกล่าวมีผลต่อความยาวร่องคูดังรูปที่ 2.5

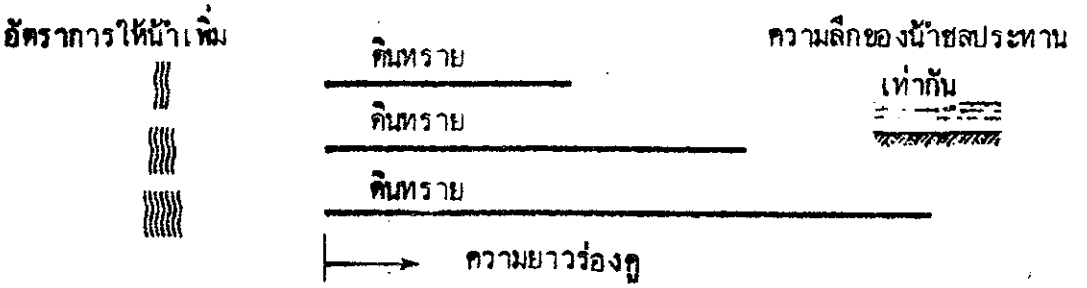
ชนิดดินมีผลต่อความยาวร่องคูดังรูปที่ 2.5 (1) ดินทรายมีอัตราการซึมน้ำลงไปในดินสูง ร่องคูจึงต้องสั้น (100 เมตรหรือน้อยกว่า) เพื่อให้น้ำไหลไปถึงท้ายร่องคูได้อย่างรวด (ประมาณ 1/2-1/4 ของเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปในดิน) เพื่อลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตราก ในทางตรงกันข้าม ดินเหนียวควรใช้ร่องคูยาว (800 เมตร หรือมากกว่า) เพื่อลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก ทั้งนี้เพราะไม่สามารถทำคันกั้นน้ำที่ท้ายร่องคูเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในร่องได้

รูปที่ 2.5 (2) ในดินชนิดเดียวกัน ถ้าเพิ่มอัตราการให้น้ำ (Stream Size) จะสามารถเพิ่มความยาวร่องคูได้ แต่อย่างไรก็ตามอัตราการไหลให้น้ำสูงสุดจะถูกจำกัดโดยความลาดเทดังสมการ 2.1

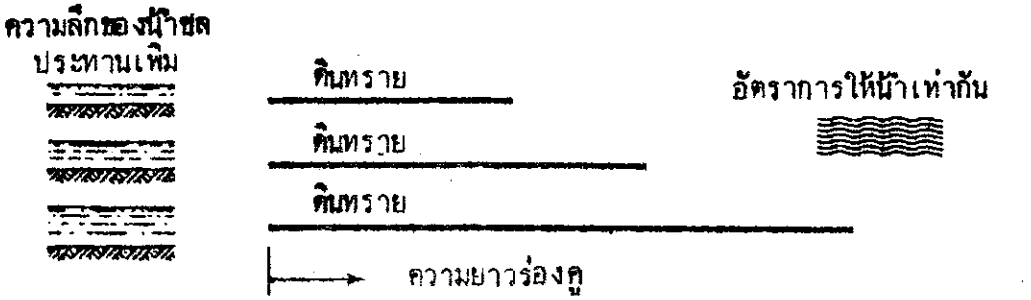
รูปที่ 2.5 (3) แสดงให้เห็นว่าเมื่อในดินชนิดเดียวกัน อัตราการให้น้ำเท่ากัน ถ้าเพิ่มความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง จะสามารถเพิ่มความยาวร่องคูได้



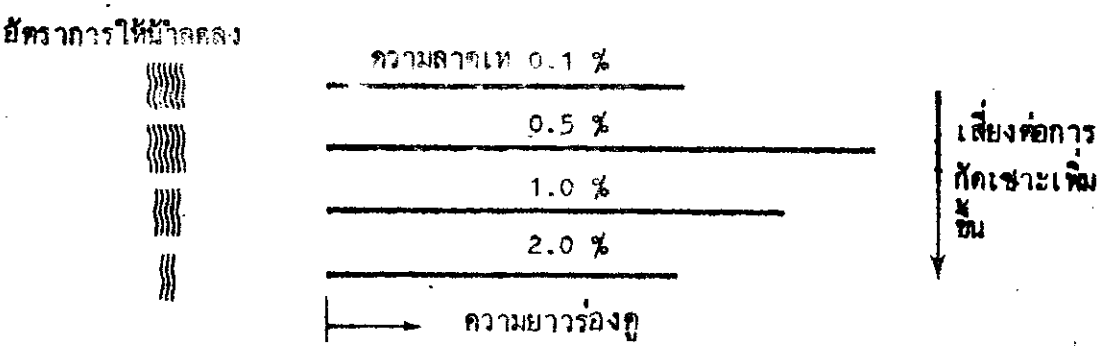
(1) ร่องดูในดินเหนียวยาวกว่าร่องดูในดินทราย



(2) เมื่อเพิ่มอัตราการให้น้ำร่องดูยาวขึ้น



(3) เมื่อความลึกน้ำซลประทานเพิ่ม ร่องดูยาวขึ้น



(4) ร่องดูสั้นลงเมื่อความลาดเทเพิ่มเพื่อลดการกัดเซาะ

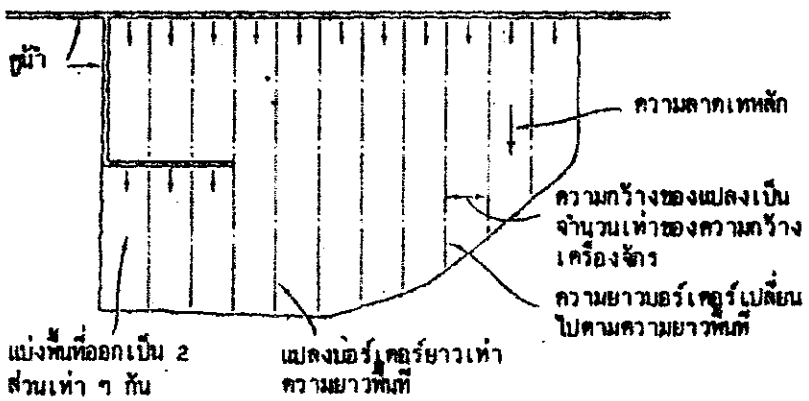
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อความยาวร่องดู

รูปที่ 2.5 (4) เมื่อความลาดเทมากขึ้นน้ำในร่องดูจะไหลเร็วขึ้น ทำให้ต้องการร่องดูที่ยาวมากขึ้น แต่เมื่อความลาดเทของพื้นที่มากกว่า 0.3 % จะต้องลดอัตราการให้น้ำลงเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดเซาะร่องดู ซึ่งจะมีผลทำให้ต้องการร่องดูที่สั้นลง

ในปัจจุบันยังไม่ทราบความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างความยาวร่องดูกับองค์ประกอบทั้ง 4 ตัวที่กล่าวถึงจึงยังไม่สามารถคำนวณหาความยาวร่องดูโดยตรงได้ แต่ได้มีผู้จัดทำตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวร่องดูกับชนิดดิน ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้งและความลาดเทของพื้นที่ไว้ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.4.2 ขนาดและรูปร่างแปลง

ในทางปฏิบัติความยาวของร่องดูจะถูกจำกัดโดยขนาดและรูปร่างของแปลงเพาะปลูก ในพื้นที่ขนาดเล็กปกติจะออกแบบให้ความยาวร่องดูเท่ากับความยาวแปลง แต่ในพื้นที่ขนาดใหญ่ อาจแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วนหรือมากกว่าตามความเหมาะสม โดยพื้นที่แต่ละส่วนควรมีความยาวเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ผลของขนาดและรูปร่างแปลงต่อความยาวร่องดู

2.4.3 วิธีการเพาะปลูก (Farming Practices)

เมื่อพิจารณาถึงการจัดการการเพาะปลูก และการให้น้ำแล้ว ร่องดูควรยาวที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ควรออกแบบให้มีดูส่งน้ำและดูระบายให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียพื้นที่ และเพื่อให้เครื่องจักรกลทำงานได้สะดวก

การใช้เครื่องจักร เช่น รถแทรกเตอร์ในแปลง จะมีผลต่อความยาวร่องดูด้วยเหมือนกัน เนื่องจากล้อรถแทรกเตอร์จะอัดดินทำให้อัตราการซึมของน้ำลงไปในดินลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีสำหรับดินทราย เพราะจะทำให้สามารถขยายความยาวร่องดูได้มากขึ้น แต่ต้องระวังว่าการบดอัดดินในร่องดูจะต้องทำอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้อัตราการหลากของน้ำแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของร่องดู

ตารางที่ 2.1 ความยาวร่องดูดที่แนะนำ

ความลาดเทของร่องดูด %	อัตราการให้น้ำสูงสุด ลิตร/วินาที	ดินเหนียว (Clays)				ดินร่วน (Loams)				ดินทราย (Sands)			
		ความลึกของน้ำที่จะให้ – มม.											
		75	150	225	300	50	100	150	200	50	75	100	125
.05	12	300	400	400	400	120	270	400	400	60	90	150	190
.1	8	340	440	470	500	180	340	440	470	90	120	190	220
.2	3	370	470	530	620	220	370	470	530	120	190	250	300
.3	2	400	500	620	800	280	400	500	600	150	220	280	400
.5	1.25	400	500	560	750	280	370	470	530	120	190	250	300
1.0	0.6	280	400	500	600	250	300	370	470	90	150	220	250
1.5	0.4	250	340	430	500	220	280	340	400	80	120	190	220
2.0	0.3	220	270	340	400	180	250	300	340	60	90	150	190

2.5 ความลาดเทของร่องคู

ร่องคูควรมีความลาดเทสม่ำเสมอ โดยมีความลาดเทอย่างน้อย 0.05 % เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำจะไหลในร่องคูได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และสามารถระบายน้ำส่วนเกินได้ทันความต้องการ

ความลาดเทสูงสุดของร่องคูจะกำหนดจากความเสี่ยงต่อการกัดเซาะร่องคู ซึ่งปกติแล้วน้ำจะกัดเซาะร่องคูได้ง่ายกว่าวิธีการให้น้ำทางผิวดินแบบอื่นๆ

ในเขตที่ไม่ค่อยมีฝน ปกติร่องคูจะมีความลาดเทได้มากที่สุด 2 % ส่วนในเขตที่ฝนตกชุก ความลาดเทร่องคูสูงสุดจะเท่ากับ 0.3 %

ความลาดเทสูงสุดของร่องคูจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำตามที่กล่าวถึงในสมการที่ 2.1 จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ร่องคูที่มีความลาดเท 0.05 และ 0.1 % จะสามารถให้น้ำได้มากกว่า 3 ลิตร/วินาที โดยไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะร่องคู แต่ในทางปฏิบัติ พบว่าถ้าให้น้ำด้วยอัตรามากกว่า 3 ลิตร/วินาที แก่ร่องคูทั่วๆ ไป จะเกิดการไหลล้นร่องคู

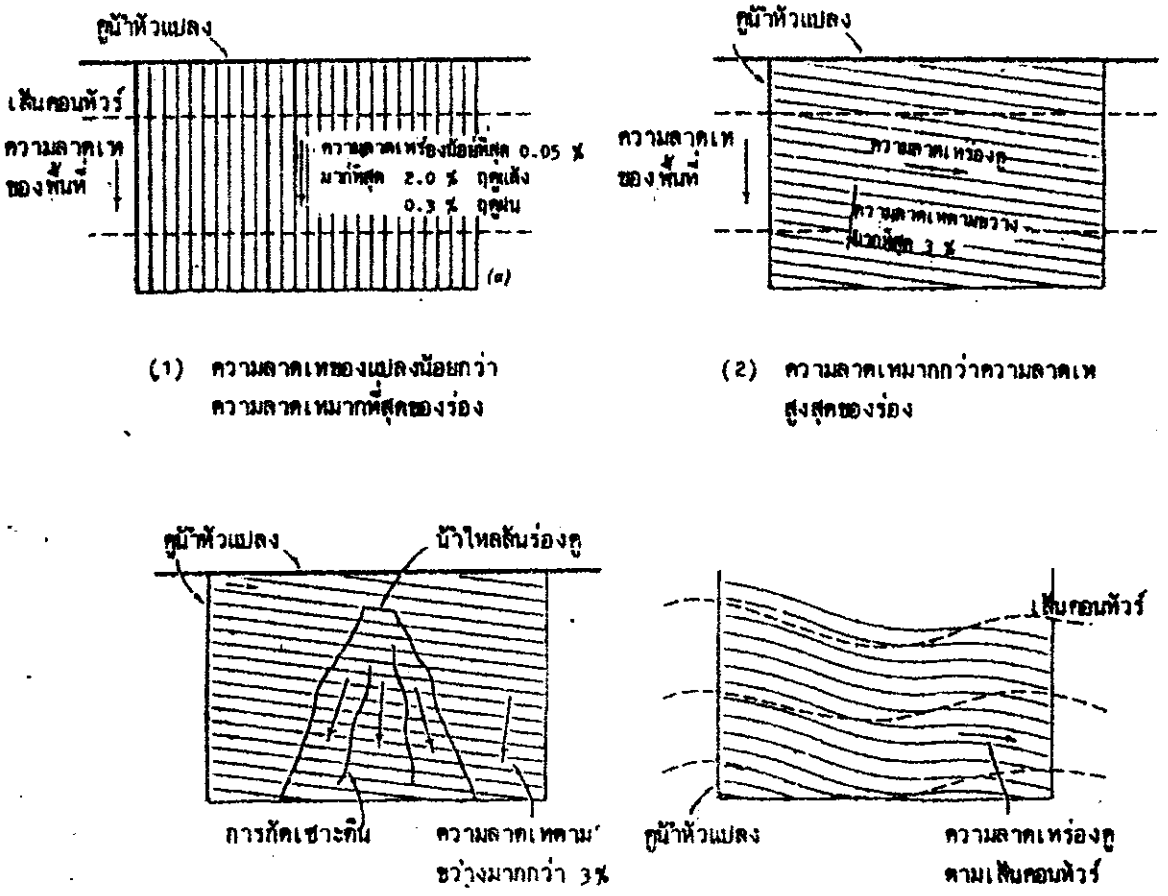
โดยทั่วๆ ไปร่องคูควรมีแนวตรงและขนานกับขอบของพื้นที่ โดยมีความลาดเทของร่องคูเท่ากับความลาดเทของพื้นที่ แต่ถ้าพื้นที่มีความลาดเทมากเกินไป อาจออกแบบร่องคูให้มีแนวขวางความลาดเท หรือวิ่งไปตามแนวเส้นขอบเนิน เพื่อลดความลาดเทของร่องคูดังรูปที่ 2.7 กรณีดังกล่าวพื้นที่ควรมีความลาดเทไม่เกิน 3 % เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการกัดเซาะอย่างรุนแรงเวลาเกิดน้ำไหลล้นร่องคูที่อยู่บริเวณที่สูงของพื้นที่

การให้น้ำกับคูบนพื้นที่ลาดชันมากๆ หรือตามแนวเส้นขอบเนิน ดังรูปที่ 2.7 (3) และ (4) จะต้องให้ด้วยความระมัดระวัง และปกติไม่ควรใช้ร่องคูดังกล่าวบนพื้นดินที่เป็นทราย หรือดินเหนียวซึ่งมีรอยแตกหลังการให้น้ำ

2.6 พืชที่ควรให้น้ำโดยร่องคู

วิธีการให้น้ำแบบร่องคูเหมาะสำหรับพืชที่ปลูกเป็นแถวเป็นแนว เช่น ผัก ข้าวโพด อ้อย ฝ้าย และไม้ยืนต้นทั่วไปๆ ฯลฯ โดยการปลูกพืชดังกล่าวบนสันร่อง

ในการให้น้ำกับไม้ยืนต้นด้วยร่องคู ขณะที่พืชยังเล็กอยู่อาจใช้ร่องคูเพียงร่องเดียวระหว่างแถวพืช แต่เมื่อพืชโตขึ้นอาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนร่องคูระหว่างแถวต้นพืช เพื่อให้ต้นพืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอ ดังรูปที่ 2.8 หรืออาจใช้ร่องคูพิเศษ เช่นแบบซิกแซก เพื่อเพิ่มการดูดซึมน้ำของร่องคู ข้อดีของวิธีการให้น้ำแบบร่องคู คือ ผิวดินเปียกเพียง



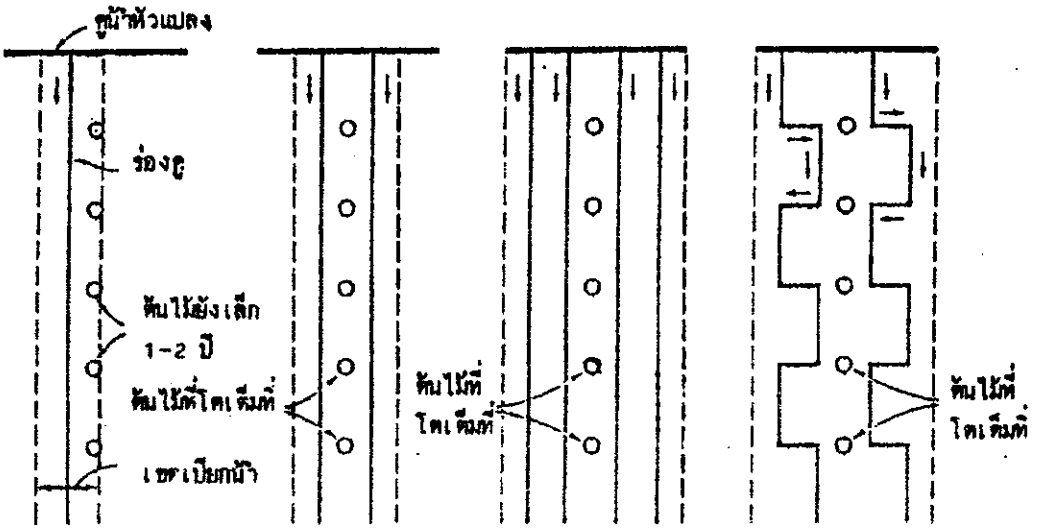
(1) ความลาดเทของแปลงน้อยกว่าความลาดเทมากที่สุดของร่อง

(2) ความลาดเทมากกว่าความลาดเทสูงสุดของร่อง

(3) เสี่ยงต่อการกัดเซาะเมื่อแปลงมีความลาดเทมาก

(4) ร่องดูตามแนวเส้นคอนหัวร์

รูปที่ 2.7 การวางแนวร่องดูบนพื้นที่ลาดชัน



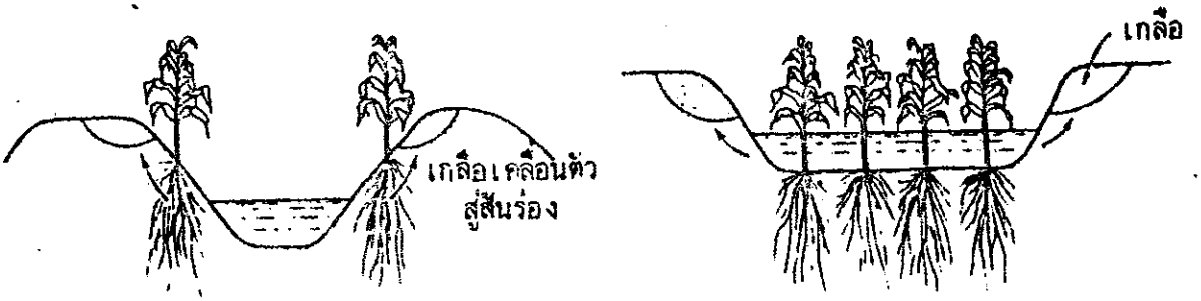
จำนวนร่องดูเพิ่มขึ้นเมื่อต้นไม้โตขึ้น

ใช้ร่องดูชิดแถว
เมื่อเพิ่มการกระจายน้ำ

รูปที่ 2.8 การให้น้ำแบบร่องดูกับไม้ยืนต้น

บางส่วน ทำให้เกษตรการสามารถเข้าไปทำกิจกรรมอื่นๆ ในแปลงได้สะดวกขึ้น

นอกจากนี้กรณีที่มีปัญหาเรื่องเกลือ ยังสามารถเลี่ยงปลูกพืชบริเวณด้านข้างของสันร่องดังรูปที่ 2.9 ซึ่งจะช่วยบรรเทาหรือลดปัญหาเรื่องดินเค็ม เนื่องจากเกลือจะสะสมตัวบริเวณสันร่อง



รูปที่ 2.9 การให้น้ำแบบร่องพูดถึงน้ำเกลือ

ในบริเวณที่แห้งแล้งไม่ค่อยมีน้ำ อาจปลูกพืชในร่องเพื่อให้พืชได้รับน้ำมากขึ้น และหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องเกลือ

2.7 วิธีการให้น้ำแก่ร่องดู (Irrigating Furrows)

ในการให้น้ำแก่ร่องดูปกติจะให้น้ำโดยใช้ไซฟอน หรือสไปล์ (Spiles) สามารถให้น้ำทีละหลายๆ ร่องพร้อมกัน จำนวนร่องดูที่สามารถให้พร้อมกันได้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำที่ในดูน้ำหัวแปลง

เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในการให้น้ำดี จะต้องให้น้ำกับร่องดูแต่ละร่องด้วยอัตราสูงพอที่น้ำจะไหลไปถึงท้ายร่องดูได้ภายในเวลาอันพอเหมาะ ซึ่งวิธีการให้น้ำแก่ร่องดูดังกล่าวจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ 2 ส่วนคือ การไหลเลยเขตราก และการไหลเลยท้ายแปลง ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 1

ประสิทธิภาพของการให้น้ำแบบร่องดูจะขึ้นอยู่กับการลดการไหลเลยท้ายแปลงเป็นสำคัญ โดยทั่วๆ ไปพบว่าจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงถึง 30 % ในการให้น้ำแบบร่องดู ถึงแม้จะมีการจัดการที่ดีก็จำเป็นต้องมีคูระบายน้ำที่ท้ายแปลงเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำท่วมขังบริเวณท้ายร่อง

แนวทางในการลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงทำได้ดังนี้

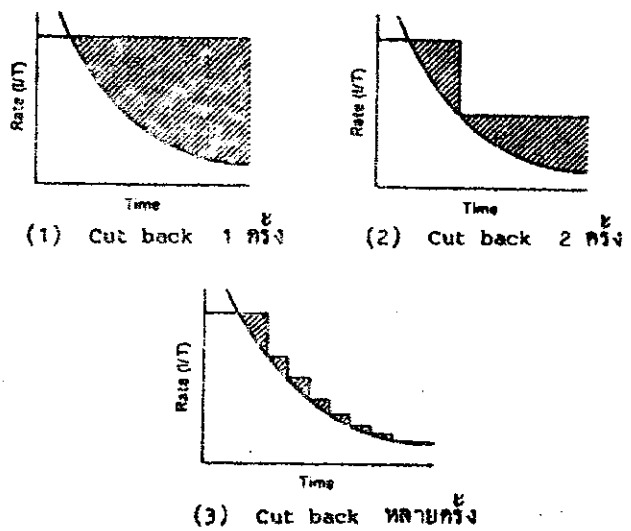
1. ทำคันดินปิดท้ายร่องดู วิธีนี้จะทำให้น้ำท่วมบริเวณท้ายร่อง เพิ่มปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน แต่ต้องระบายน้ำที่เหลือทิ้งภายใน 24 ชั่วโมงก่อนที่น้ำท่วมจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ต้นพืช

2. ลดอัตราการให้น้ำแก่ร่อง และผ่อนผันการใช้กฎ 1/4 วิธีนี้ปกติใช้กับดินเหนียวซึ่งอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินต่ำ กรณีดังกล่าวจะใช้กฎ 1/2 แทน 1/4

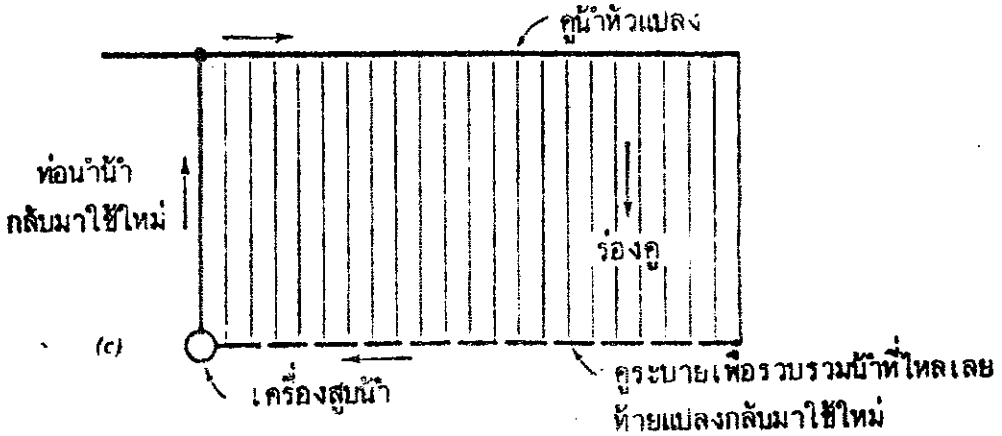
3. ใช้วิธีลดอัตราการให้น้ำเมื่อน้ำไหลไปถึงท้ายร่อง (Cut-back) ดังแสดงในรูปที่ 2.10

4. ใช้ระบบนำน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงกลับมาใช้ใหม่ (Return Flow System) ดังรูปที่ 2.11 แต่ต้องระวังปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำ

5. ใช้วิธีการชลประทานแบบ Surge Flow ซึ่งแทนที่จะให้น้ำแก่ร่องดูแบบต่อเนื่อง วิธีนี้จะให้น้ำแบบ"ให้และหยุด"สลับกันไปเป็นวงจร โดยอาจออกแบบให้มีวงจร"ให้และหยุด"หลายวงจรก่อนหมดช่วงน้ำหลาก ช่วงหยุดการให้น้ำจะต้องนานพอที่น้ำจะซึมลงไปในดินหมด หรือเกือบหมดเพื่อให้เกิดการตกตะกอน อันจะทำให้อัตราการดูดซึมน้ำในร่องดูลดลง ก่อนเริ่มวงจรการให้น้ำต่อไป



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการให้น้ำกับอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินเมื่อใช้ Cut-back ต่างๆ กัน



รูปที่ 2.11 ระบบนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

2.8 Alternate Furrow Irrigation

วิธีนี้เหมาะที่จะนำมาใช้กรณีที่น้ำขาดแคลน เพื่อให้สามารถกระจายน้ำได้ทั่วพื้นที่ และพืชได้รับน้ำบางส่วน ถึงแม้ว่าจะไม่เพียงพอกับความต้องการ เช่น

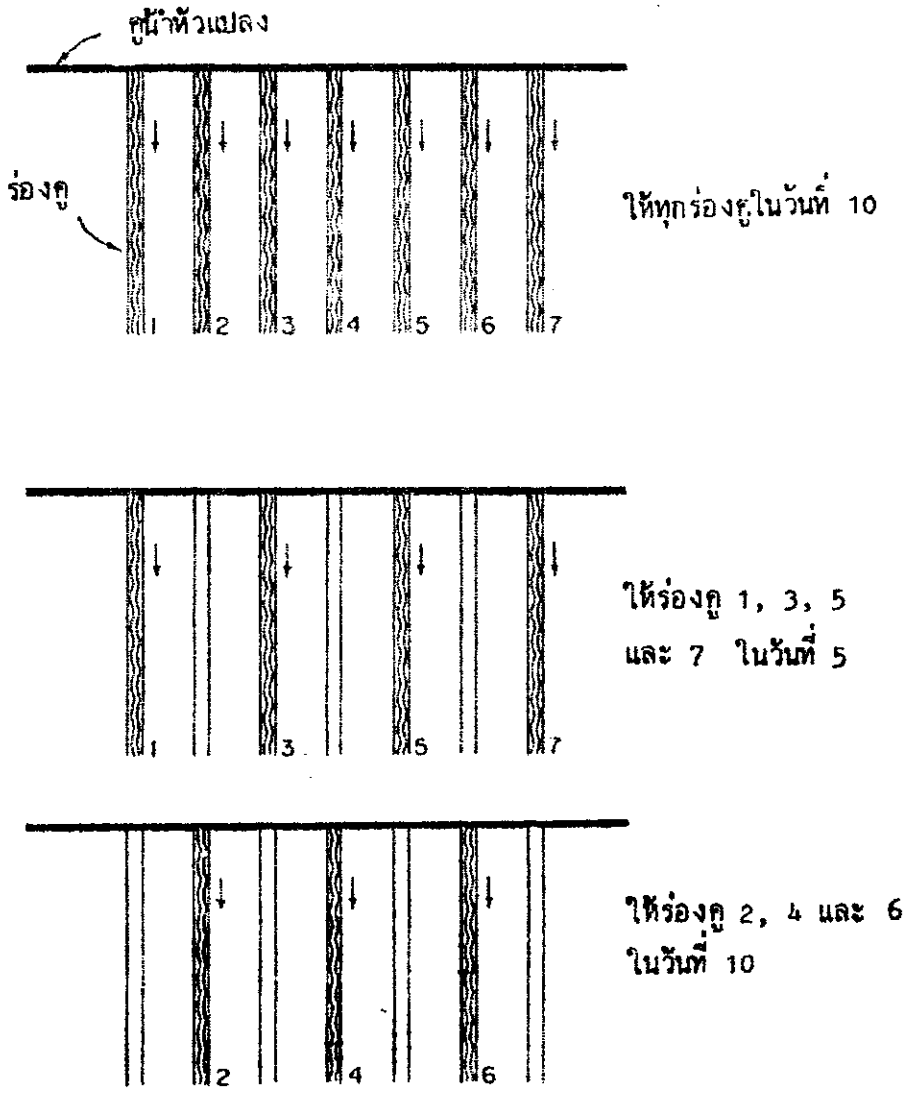
การให้ร่องเว้นร่อง (Alternate) ดังรูปที่ 2.12 เช่นถ้าสมมติว่าคิดตามปกติต้องให้น้ำแก่ทุกร่องคูทุก 10 วัน วิธีให้น้ำร่องเว้นร่องจะให้น้ำกับร่องที่ 1,3,5 และ 7 ในวันที่ 5 และให้ร่อง 2,4,และ 6 วันที่ 10 โดยวิธีนี้จะทำให้พืชได้รับน้ำทุก 5 วัน แทนที่จะเป็น 10 วัน ซึ่งปกติจะก่อให้เกิดผลดีแก่พืชมากกว่าด้วยจำนวนน้ำที่เท่ากัน

หรือถ้าน้ำขาดแคลนอาจต้องขยายระยะเวลาในการให้น้ำจาก 10 วันต่อครั้ง เป็น 14 วันต่อครั้ง ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิต Alternate Furrow คือใช้วิธีการให้น้ำทุก 7 วัน ด้วยจำนวนครั้งหนึ่งของน้ำที่ต้องให้ทุก 14 วัน

ถ้าใช้วิธี Alternate Furrow กับไม้ผลปกติจะใช้วิธีการให้แถวเว้นแถวแทน (Alternate Middle Irrigation)

2.9 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอๆในการให้น้ำแบบร่องคู (Common Faults)

การให้น้ำแบบร่องคูเป็นวิธีการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าผู้ใช้น้ำขาดความรู้ความเข้าใจ และขาดประสพการณ์อาจทำให้ประสิทธิภาพให้น้ำโดยวิธีนี้ต่ำได้ ข้อผิดพลาดที่มักพบเห็นเสมอๆ ในการให้น้ำแบบร่องคู คือ



รูปที่ 2.12 Alternate Furrow Irrigation

1. การเตรียมดแปลงไม่ดี
2. การเลือกอัตราการให้น้ำ และความลาดเทของร่องคูมากเกินไปสำหรับดินเหนียว ทำให้น้ำไหลเร็วเกินไป
3. มีดินซึ่งมีอัตราการซึมต่างๆ กันในร่องคู
4. น้ำไหลช้าเกินไป ไม่ทำตามกฎ 1/4
5. หยุดให้น้ำเร็วเกินไป ท้ายแปลงได้รับน้ำไม่เพียงพอ
6. ทำคันดินปิดท้ายร่องคู เพื่อขังน้ำไว้ในร่องคู

2.10 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบร่องคู

การให้น้ำแบบร่องคูที่มีการออกแบบและจัดการที่ดีจะให้ประสิทธิภาพการชลประทานในแปลงสูงถึง 90 % แต่ข้อผิดพลาดต่างๆ ที่กล่าวถึงในข้อ 2.9 อาจทำให้ประสิทธิภาพการชลประทานลดลงได้มาก แนวทางในการประเมินประสิทธิภาพการชลประทานแบบร่องคูเบื้องต้น โดยให้ประสิทธิภาพการชลประทานเท่ากับ 90 % ข้อผิดพลาดต่างๆ จะลดประสิทธิภาพการให้น้ำลงดังนี้

ข้อผิดพลาด	% ที่ลดลงจาก 90 %
1. ไม่มีระบบนำน้ำกลับมาใช้ใหม่	20-40
2. การเตรียมแปลงไม่ดี	10-20
3. มีดินหลายชนิดในร่องคู	5-10
4. น้ำไหลเร็วเกินไป	10-20
5. หยุดให้น้ำเร็วเกินไป	10-20

2.11 วิธีการทดลองและประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู

2.11.1 ข้อมูลที่ต้องการทราบ

ในการทดลองจะต้องรวบรวมและจดบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้ไว้ คือ

1. อัตราการให้น้ำในร่องต่าง ๆ ที่เลือกไว้ ขนาดตั้งแต่มากเกินไปจนกระทั่งถึงขนาดน้อยเกินไป ทั้งนี้เพื่อที่จะหาอัตราที่เหมาะสมได้

2. ระยะเวลาที่น้ำในร่องไหลไปถึงจุดต่าง ๆ

3. อัตราการให้น้ำสูงสุดในร่องที่จะใช้ได้ อัตราดังกล่าวนี้อาจจะถูกจำกัดโดยขนาดของร่องหรือเป็นอัตราที่มีการกัดพาอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้ อย่างใดอย่างหนึ่ง

4. อัตราที่น้ำไหลซึมเข้าไปในร่อง ซึ่งต่างจากแบบให้น้ำท่วมผิวดิน กล่าวคือมีพื้นที่ให้น้ำไหลซึมเข้าไปในดินได้น้อยกว่า

5. ลักษณะของร่องคู ว่าทำขึ้นมาใหม่ ใช้แล้ว ดินแน่น หรือยังร่วนอยู่ เป็นต้น

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

7. เวลาและอัตราที่น้ำไหลเลยท้ายร่อง (Runoff) ออกไป

เมื่อได้ข้อมูลครบตามต้องการแล้ว ก็จะสามารถทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพได้ ค่าต่างๆ ที่ต้องการทราบก็มี

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ (Uniformity of Application)

2. ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency)

3. ความเพียงพอในการให้น้ำ (Adequacy of Irrigation)

4. ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้น้ำ

5. ผลของการเปลี่ยนความยาวของร่อง

6. ผลของการเปลี่ยนระดับความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ เช่นปกติให้น้ำเมื่อดินมีความชื้น 40 เปอร์เซนต์ ก่อนถึงจุดเวลา (Wilting Point) ถ้าเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้แล้วจะมีผลอย่างไรบ้าง

2.11.2 <u>เครื่องมือที่จะต้องใช้ในสนาม</u>

เครื่องมือที่จะต้องใช้สำหรับการทดลองในสนามก็มี

1. เทปวัดระยะแบบที่ใช้ในงานสำรวจ

2. หมุดไม้หรือเหล็กและฆ้อนสำหรับตอก

3. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาข้อมือ

4. เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำขนาดเล็ก เช่น รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) ขนาด 1 หรือ 2 นิ้ว หรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอื่นๆ

5. พลั่วขุดดินและสว่านเก็บตัวอย่างดิน

6. แบบฟอร์มสำหรับจดข้อมูลต่างๆ

7. กล้องระดับและไม้สตาฟ

2.11.3 <u>วิธีทดลอง</u>

การทดลองเพื่อหาข้อมูลสำหรับประเมินผลการให้น้ำนั้นทำโดยให้น้ำในร่องที่เลือกไว้ด้วยอัตราต่างๆ กัน ตั้งแต่ขนาดมากเกินไปจนถึงน้อยเกินไป แล้วหาอัตราที่น้ำไหลไปถึงจุดต่างๆ ในร่อง วัดปริมาณน้ำที่ให้ที่หัวร่องและจุดต่างๆ ภายในร่องเพื่อหาปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในดิน ลำดับขั้นของการทดลองมีดังนี้คือ

1. เลือกร่องดูที่มีความลาดเทสม่ำเสมอในที่ที่สามารถให้น้ำได้สะดวก นอกจากนั้นคุณสมบัติของดินในร่องดูควรจะสม่ำเสมอและคล้ายคลึงกับร่องอื่นๆ ในพื้นที่ด้วย

2. ปักหมุดบนหลังคันทุก 20 ถึง 30 เมตร หมุดแรกควรจะอยู่ห่างจากจุดที่ให้น้ำเล็กน้อย เพื่อที่จะได้วัดอัตราการให้น้ำได้ถูกต้องดีขึ้น หลังจากนั้นก็ทำระดับที่หมุดต่างๆ ในคูเพื่อหาความลาดเท การหาความลาดเทของร่องนี้ไม่ค่อยจำเป็นนักถ้าพื้นที่นั้นเพิ่งได้รับการปรับปรุงให้ราบสม่ำเสมอ

3. ติดตั้งรางวัดน้ำที่หมุดแรกของทุกร่อง

4. ติดตั้งรางวัดน้ำอีกเครื่องหนึ่งให้อยู่ห่างจากรางแรกหนึ่งถึงสองหมุด รางวัดน้ำนี้ควรจะติดตั้งในร่องที่มีอัตราให้น้ำขนาดปานกลาง ถ้าทำได้ควรจะวัดอย่างน้อย 2 ร่อง นอกจากนั้นควรจะติดตั้งที่ท้ายร่องอีกเครื่องหนึ่งถ้าคิดว่าจะมีการไหลเลยท้ายร่องออกไป

5. หาปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อเพิ่มความชื้นให้ถึง Field Capacity โดยปกติแล้วการทดลองนี้ควรจะทำในขณะที่ดินแห้งหรือขณะที่พืช (ถ้ามี) กำลังต้องการน้ำ

6. เมื่อได้เตรียมทุกอย่างพร้อมแล้วก็ทำการให้น้ำ อัตราที่ให้แต่ละร่องควรแตกต่างกันคือมีขนาดตั้งแต่มากเกินไปจนถึงน้อยเกินไป แต่อัตราที่ให้ในร่องใดร่องหนึ่งควรจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ทำการทดลอง ถ้าทำได้ควรจะทำการทดลองพร้อมกันทีเดียว 4 ร่อง ร่องหนึ่งให้น้ำด้วยอัตราสูงสุดที่จะไม่เกิดการกัดเซาะ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 2.1 อีกสองร่องมีอัตราการให้น้ำระหว่างร่องแรกกับร่องสุดท้าย ร่องสุดท้ายมีอัตราการให้น้ำต่อนข้างน้อยในกรณีที่ร่องต่างๆ ที่ทำการทดลองนั้นไม่ได้อยู่ติดกันก็อาจจำเป็นต้องให้น้ำในร่องข้างเคียงทั้งสองด้านด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมทางด้านข้างมากเกินไป

7. จดเวลาที่เริ่มต้นให้น้ำและอัตราการไหลของทุกร่องไว้ และควรจะตรวจสอบอัตราการให้น้ำของทุกร่องเป็นระยะๆ

8. จดเวลาที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่างๆ ตลอดความยาวของร่อง

9. จดอัตราการซึมของน้ำในร่องลงในแบบฟอร์ม การวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องดูตามคำแนะนำที่ให้ไว้ในแบบฟอร์ม

10. สังเกตการไหลของน้ำในร่องว่าเกิดการกัดเซาะหรือไหลล้นร่องหรือไม่ เปรียบเทียบการไหลในร่องต่างๆ แล้วประมาณหาอัตราการให้น้ำสูงสุดที่จะใช้ได้ ร่องที่ทำขึ้นใหม่อาจมีการกัดเซาะในตอนแรกเล็กน้อย แต่เมื่อให้น้ำต่อไปแล้วจะไม่มีกรณีดังกล่าวนี้ถือว่าอัตราการให้น้ำนั้นใช้ได้

11. จดเวลาและอัตราที่น้ำไหลเจยท้ายร่องออกไป อัตราดังกล่าวนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไป ดังนั้นจึงควรตรวจสอบบ่อยๆ โดยปกติเมื่อน้ำไหลมาถึงท้ายร่องแล้วก็จะต้องลดอัตราการให้น้ำลง สำหรับในการทดลองซึ่งใช้ร่องที่มีความยาว

มากกว่าปกติอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องมีการลดอัตราการให้น้ำ การปล่อยให้น้ำไหลในร่องไกลขึ้นจะทำให้มีโอกาสประเมินผลและเลือกความยาวของร่องได้เหมาะสมดีขึ้น

12. ศึกษาว่าน้ำซึมไปทั่วถึงตลอดหน้าตัดของร่องหรือไม่หลังจากให้น้ำแล้ว 1 ถึง 2 วัน ใช้สว่านเจาะดินมาตรวจดูความชื้นว่าพอกับความต้องการหรือไม่

13. ตรวจสอบดูว่าจะแก้ไขหรือปรับปรุงวิธีการให้น้ำเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างไรบ้าง

2.11.4 <u>การวิเคราะห์ข้อมูลที่หาได้</u>

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นควรจะนำมาเขียนกราฟเพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณและเข้าใจได้ง่ายขึ้น กราฟที่ต้องการได้แก่

1. กราฟน้ำหลาก (Advance Curve) ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจากเริ่มให้น้ำกับระยะทางที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่างๆ โดยปกติแล้วกราฟนี้จะเขียนบนกระดาษกราฟแบบธรรมดา แต่ถ้าต้องการหาค่าที่นอกเหนือจากที่วัดได้ ก็จะต้องเขียนบนกระดาษ log-log ซึ่งจะได้เป็นเส้นตรงหรือมีความโค้งเพียงเล็กน้อย

2. กราฟน้ำแห้ง (Recession Curves) ถ้าร่องมีขนาดใหญ่ เมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะยังมีน้ำขังอยู่อีกและทำให้มีดินได้รับน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่ามีน้ำขังอยู่ในร่องที่หมุดต่างๆ นานเท่าใดหรือมีน้ำซึมเข้าไปในดินที่จุดนั้นๆ มากน้อยเท่าใด จะต้องหาว่าน้ำที่หมุดต่างๆ แห้งหลังจากหยุดการให้น้ำนานเท่าไร กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางในร่องที่น้ำซึมหรือไหลเลยไปหมดจนแห้ง เรียกว่า กราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) ถ้าเขียนกราฟน้ำแห้งบนแกนเดียวกับกราฟน้ำหลากโดยใช้เวลานับจากเริ่มให้น้ำ ผลต่างระหว่างเวลาที่หมุดเดียวกันบนกราฟทั้งสองคือเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนจุดนั้น ซึ่งทำให้สามารถคำนวณหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินตรงจุดนั้นได้อย่างถูกต้อง สำหรับในร่องขนาดเล็กเมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะมีน้ำขังอยู่ไม่มากนัก ในทางปฏิบัติให้ถือว่ากราฟน้ำแห้งในกรณีนี้เป็นเส้นตรงอยู่ในแนวราบ หรือถือว่าเมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะไม่มีน้ำขังอยู่ในร่องอีก

3. กราฟอัตราการจุดซึมน้ำของร่องดู (Furrow Intake) และกราฟน้ำซึมสะสม (Cumulative Intake Curve) โดยปกติกราฟทั้งสองนี้จะเขียนบนกระดาษ log-log ขนาด 3x3 cycles เนื่องจากการซึมของน้ำในร่องนั้นต่างจากการซึมแบบให้น้ำท่วมผิวดิน กล่าวคือมีพื้นที่ที่น้ำซึมเข้าไปน้อยกว่า ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ค่าที่วัดได้จากถังถังวัดอัตราการซึมผ่านผิวดิน แต่จะหาจากความแตกต่างระหว่างอัตราที่น้ำไหลเข้าและไหล

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลการวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องดู

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

ร่องดูที่ .....2..... อัตราการให้น้ำ 0.58 ล/วินาที..... รูปร่าง ...U...../ ✓ / เคยให้น้ำแล้ว / / ใหม่

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

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

....2. A และ B ห่างกัน 2 หมุด หรือ 50 เมตร

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

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องดู

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

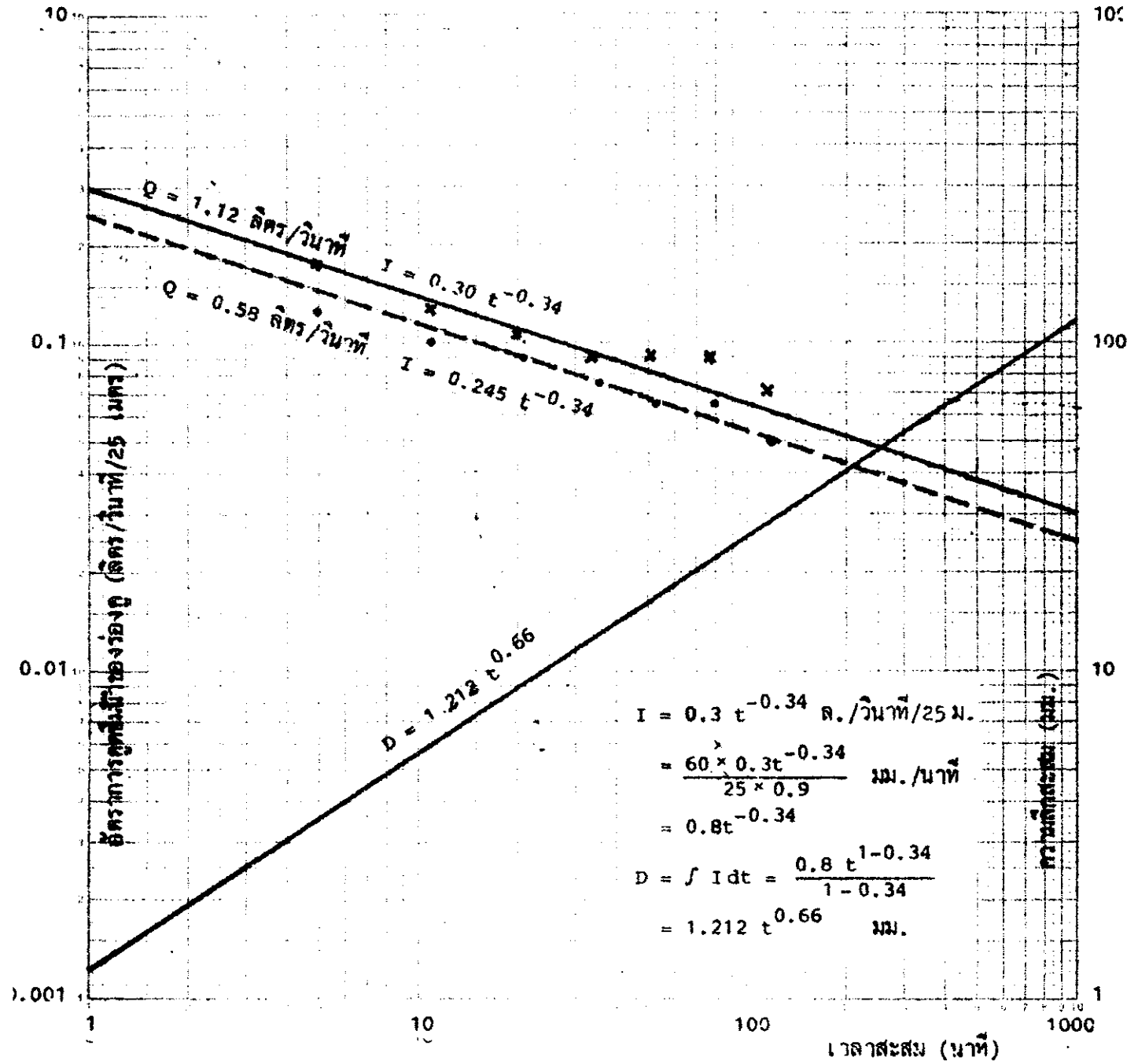
ร่องดูที่ .....3..... อัตราการให้น้ำ 1.12 ล/วินาที..... รูปร่าง ....U...../ ✓ / เคยให้น้ำแล้ว / / ใหม่

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

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

....2. A และ B ห่างกัน 2 หมุด หรือ 50 เมตร

เวลา			อาคารวัดน้ำ A (ไหลเข้า)		อาคารวัดน้ำ B (ไหลออก)		อัตราการดูดซึม	
เวลา น. (1)	ห่างกัน (2)	สะสม (3)	Head (4)	อัตราการไหล ล/วินาที (5)	Head (6)	อัตราการไหล ล/วินาที (7)	ลิตร/วินาที ต่อ 50 ม.	(8) ต่อ 25 ม.
08:29		0	4.9 ซม.	1.14				
34	5	5	4.8	1.08	6.0 ซม.	0.77	0.35	0.175
40	6	11	5.8	1.08	6.5	0.87	0.25	0.125
49	9	20			6.7	0.91	0.21	0.105
09:03	14	34	4.9	1.14	6.8	0.94	0.18	0.090
20	17	51			6.8	0.94	0.18	0.090
47	27	78			6.8	0.98	0.18	0.090
10:24	37	115	4.9	1.14	7.0		0.14	0.070
			เฉลี่ย	1.12				



รูปที่ 2.13 กราฟอัตราการตกของฝนที่น้ำของร่องดู

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำแบบร่องดู

สถานที่ทดสอบ .....ผู้ทำการทดสอบ .....

วิธีการให้น้ำ .....ร่องดู.....เนื้อดิน .ดินร่วนปนทราย.....ปลูกพืช ..... ความลึกของน้ำที่ต้องการให้ ..... มม.

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของแปลงที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำ ..Slope = 0.002.....

น้ำหลาก หรือน้ำแห้ง .....น้ำหลาก.....น้ำหลาก.....น้ำหลาก.....

แปลงหรือร่องที่ .....I.....II.....III.....

อัตราการให้น้ำ .....0.25.....0.58.....1.12.....

หมายเหตุ .....ระยะห่างระหว่างหมุด 25 เมตร.....

เวลา			หมุดที่ *
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
08:22		0	0
39	17	17	1
09:59	26	43	2
39	34	77	3
10:22	43	120	4

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

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

ในกรณีที่เป็นข้อมูลช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ของการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว บรรทัดแรกของช่องควรเป็นเวลาที่เริ่มให้น้ำ บรรทัดที่สองเป็นเวลาที่หยุดให้น้ำ บรรทัดที่สามเป็นเวลาที่น้ำเริ่มแห้ง ทั้งสามบรรทัดนี้เป็นเวลาที่หมุดแรก

* หมุดแรกที่ห้วแปลงนับเป็นศูนย์

ออกระหว่างจุดสองจุดในร่องแทน ดังนั้นหน่วยที่ใช้จึงเป็นอัตราที่น้ำหายไปต่อความยาวระหว่างจุดทั้งสองนั้น เช่น ลิตร/วินาที/25 เมตร เป็นต้น

2.12 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำทางร่องดู

สมมติว่าทำการทดลองประเมินผลการให้น้ำในร่องดูซึ่งยาว 350 เมตร บนดินร่วนปนทราย พื้นที่มีความลาดเท 0.2 เปอร์เซนต์ ข้อมูลอื่นๆ มีดังต่อไปนี้

ระยะเวลาให้น้ำ	10	ชั่วโมง
ระยะระหว่างร่อง	0.90	เมตร
ความยาวของร่องที่ต้องการประเมินผล	200	เมตร
ความลึกของเขตราก	1	เมตร
ความชื้นที่ขาดไป (SMD)	90	มม.
ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	18	% โดยปริมาตร
จำนวนร่องที่ทำการทดลอง	3	ร่อง
อัตราการให้น้ำ	0.25, 0.58 และ 1.12	ลิตร/วินาที

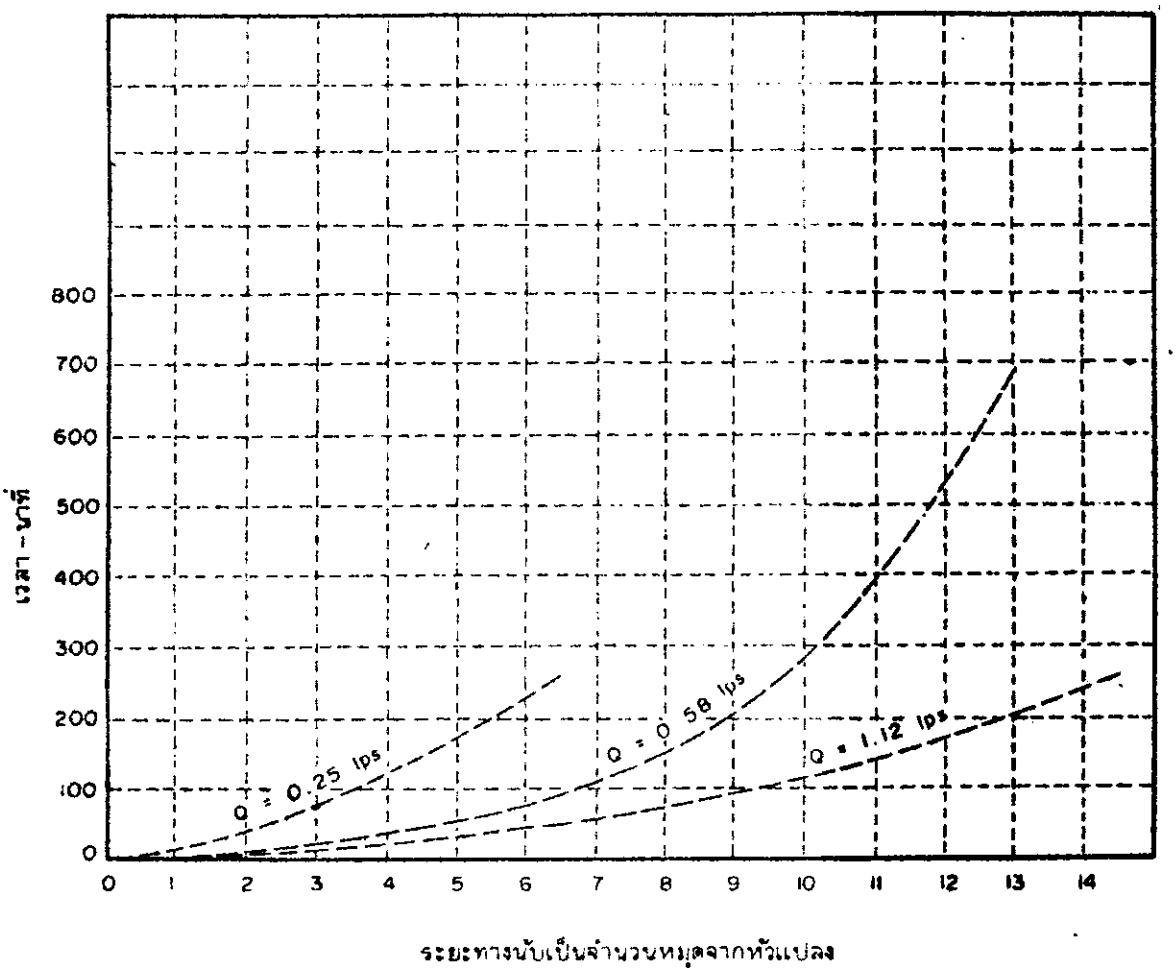
เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำคือ รางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 1 นิ้ว ติดตั้งไว้ที่ระยะ 0 และ 50 เมตร ข้อมูลที่ได้จากการวัดอัตราที่น้ำซึมหายไประหว่างสองหมุดนี้อยู่ในตารางที่ 2.2 และ 2.3 เมื่อนำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 2.13

อัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินระหว่างหมุดสองหมุดนี้อาจจะแปลงให้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/นาทีได้โดยสมการ

$$I \text{ (มม./นาที)} = \frac{60.I \text{ (ลิตร/วินาที/L)}}{L.S.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2.2)$$

ในเมื่อ I เป็นอัตราน้ำซึมลงไปในดินระหว่างอาคารวัดน้ำ 2 ชุดซึ่งอยู่ห่างกัน L เมตรมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที S เป็นระยะระหว่างร่องเป็นเมตร

ข้อมูลที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่างๆ อยู่ในตารางที่ 2.4 และนำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 2.14 กราฟสำหรับอัตราให้น้ำเท่ากับ 0.58 และ 1.12 ลิตรต่อวินาทีนั้นถูกต่อเลยออกมาจนถึงหมุดที่ 13 และ 14 (325 และ 350 เมตรตามลำดับ) การต่อกราฟนี้อาจจะทำได้สองวิธีคือ (1) ใช้ไม้บรรทัดโค้ง (French Curve) ถ้าเส้นไม่โค้งมากนักเช่นในกรณีของเส้น 1.12 ลิตร/วินาที หรือเป็นการต่อสั้นๆ เช่นกรณีของเส้น



รูปที่ 2.14 **กราฟน้ำหลากของการให้น้ำทางร่องดู ซึ่งต่อจากค่าที่วัดได้จริงแล้ว**

0.25 ลิตร/วินาที (2) เขียนกราฟในกระดาษ log-log แล้วต่อกราฟด้วยไม้บรรทัดโค้งแล้วจึงค่อยนำค่าเหล่านั้นมาเขียนในกระดาษกราฟธรรมดาอีกทีหนึ่ง

ในการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลที่ทำการทดลองได้นี้จะต้องทำทั้งสามร่อง เพื่อที่จะได้เลือกเอาอัตราการให้น้ำที่ดีที่สุดไว้ใช้งาน แต่ในตัวอย่างนี้จะแสดงการคำนวณให้ดูเพียงร่องเดียวคือร่องที่มีอัตราการให้น้ำเท่ากับ 1.12 ลิตร/วินาที ในการวิเคราะห์นี้จะต้องคำนวณว่า

1. การให้น้ำที่ทำการทดลองนั้นสม่ำเสมอดีเพียงไร ซึ่งกรณีนี้จะวัดด้วย Distribution Uniformity (DU) โดยใช้สมการ 1.3

2. ผู้ให้น้ำใช้ระยะได้ดีเพียงไร กล่าวคือให้น้ำด้วยอัตราที่พอเหมาะกับขนาดความยาวและความลาดเทของร่องหรือไม่ สำหรับข้อนี้จะวัดด้วยประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency, Ea)

3. ผู้ให้น้ำให้น้ำได้เพียงพอกับความต้องการของพืชหรือไม่โดยใช้วิธีการตามที่กล่าวไว้ในข้อ 1.5.6

1. <u>การคำนวณหา Distribution Uniformity</u> (DU)

จากสมการ 1.3

$$DU = 100 \frac{D_{LQ}}{D_{av}}$$

สำหรับการ[illegible] ซึ่งจะ[illegible]ให้น้ำ น้ำจะแห้งทันทีตลอดความยาวร่องดู สำหรับ[illegible] 1.12 ลิตร/วินาที จะหาระยะเวลาที่น้ำยังอยู่บนผิวดิน และความลึก[illegible]ไปเมื่อร่องไหลถึงหมุดต่างๆ ตลอดความยาวยาวร่องที่ต้องการประเมิน (200 ม.) ได้ดังนี้

หมุดที่ (i)	$Tadv_i$ (นาที) จากรูปที่ 2.16)	To_i	Di (มม.) (จากรูปที่ 2.15)
0	0	600	82.6
1	5	595	82.2
2	10	590	81.7
3	17	583	81.1
4	26	574	80.2

หมุดที่ (i)	$Tadv_i$ (นาที) จากรูปที่ 2.16)	To_i	Di (มม.) (จากรูปที่ 2.15)
5	36	564	79.3
6	48	552	78.2
7	59	541	77.2
8	72	528	75.9

(ระยะระหว่างหมุด = 25 เมตร)

$$\bar{D} = \frac{(\frac{82.6}{2} + 82.2 + ... + 77.2 + \frac{75.9}{2})}{2} \text{ มม.}$$

$$= 79.9 \text{ มม.}$$

$$\bar{D}_{LQ} = \frac{(\frac{78.2}{2} + 77.2 + \frac{75.9}{2})}{2} \text{ มม.}$$

$$= 77.1 \text{ มม.}$$

ดังนั้น $DU = 100 \times \frac{77.1}{79.9} = 96.5\ \%$

2. <u>การคำนวณหาประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea)</u>

จากสมการ 1.5

$$E_a = \frac{V_{RZ}}{V_T} \times 100$$

เนื่องจาก SMD = 90 มม. แสดงว่าการให้น้ำไม่เพียงพอ (Under-Irrigation) ตลอดความยาวของร่องดู (ทุกหมุด) กรณีนี้

$$V_{RZ} = \bar{D} = 79.9 \text{ มม.}$$

$$V_T = \frac{QT}{A}$$

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

$$= 224 \text{ มม.}$$

ดังนั้น

$$E_a = \frac{79.9}{224} \times 100 = 35.7 \%$$

3. <u>การคำนวณความเพียงพอในการให้น้ำ</u>

กรณี Under Irrigation จะใช้ประสิทธิภาพการเก็บกัก Es จากสมการ 1.9 เป็นตัววัดความเพียงพอในการชลประทาน

$$E_s = 100 \frac{V_{RZ}}{SMD}$$

$$= 100 \times \frac{79.9}{90} = 88.8 \%$$

4. <u>การคำนวณหาการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์</u>

กรณีนี้มีการสูญเสียน้ำเฉพาะการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก (RO)

$$RO = V_T - V_{RZ}$$

$$= 224 - 79.9 = 144.1 \text{ มม.}$$

$$RO = \frac{144.1}{224} \times 100 = 64.3 \%$$

5. <u>สรุปผลการทดลองประเมินผล</u>

ผลการให้น้ำแก่ร่องดูดังกล่าวด้วยอัตรา 1.12 ลิตร/วินาทีปรากฏว่า

- ความสม่ำเสมอในการให้น้ำสูง (96.5 %)
- ประสิทธิภาพการให้น้ำต่ำ (35.7 %) เกิดการไหลเลยท้ายแปลงมากเกินไป (64.3 %) ซึ่งเกิดจากการให้น้ำด้วยอัตราสูงเกินไป แต่จะลดการสูญเสียน้ำส่วนที่ได้โดยการ Cut back ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป
- การให้น้ำไม่เพียงพอ (Es = 88.8 %) ต้องเพิ่มเวลาการให้น้ำ ถ้าสมมติว่าให้น้ำด้วยอัตรา 1.12 ลิตร/วินาที จะคำนวณได้ดังนี้

SMD = 90 มม.

T_o ที่ท้ายร่องดู $= \left(\frac{90}{1.212}\right)^{1/0.66} = 683$ นาที

Ta (application time) = To + Tadv

= 683+72 = 755 นาที

Advance Ratio = $\frac{Tadv}{To} = \frac{72}{68.3} = \frac{1}{9.5}$

แสดงว่าน้ำไหลเร็วเกินไป ควรลดอัตราการให้น้ำลงเพื่อให้ $\frac{Tadv}{To} = \frac{1}{4}$

หรือ Tadv ที่เหมาะสม = $\frac{683}{4}$ = 170 นาที

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าควรเลือกให้น้ำด้วยอัตรา 0.58 ลิตร/วินาที แทน 1.12 ลิตร/วินาที

หรือเพิ่มความยาวร่องดูจาก 200 เมตร เป็น 300 เมตร

6. <u>สมมติว่าเพิ่มความยาวร่องดูเป็น 300 เมตร</u>

Ta = To + Tadv

= 683 + 170 = 853 นาที

จากรูป 2.13 และ 2.14 จะหาเวลาที่น้ำยังอยู่บนผิวดินและความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่างๆ ได้ดังนี้

หมุดที่ (i)	$Tadv_i$ (นาที) (จากรูปที่2.16)	To_i	Di (มม.) (จากรูปที่ 2.15)
0	0	853	104.2
1	5	848	103.8
2	10	843	103.4
3	17	836	102.8
4	26	827	102.1
5	36	817	101.3
6	48	805	100.3
7	59	794	99.4
8	72	781	98.3

หมุดที่ (i)	$Tadv_i$ (นาที) (จากรูปที่2.16)	To_i	Di (มม.) (จากรูปที่ 2.15)
9	90	763	96.8
10	110	743	95.1
11	140	713	92.6
12	170	683	90.0

$$\bar{D} = \frac{(\frac{104.2}{2} + 103.8 + ... + 92.6 + \frac{90}{2})}{12}$$

$$= 99.4 \text{ มม.}$$

$$\bar{D}_{LQ} = \frac{(\frac{98.3}{2} + 96.8 + ... + 92.6 + \frac{90}{2})}{4}$$

$$= 94.7 \text{ มม.}$$

$$DU = \frac{94.7}{99.4} \times 100 = 95.3 \%$$

$$V_T = \frac{1.12 \times 852 \times 60}{300 \times 0.9} \text{ มม.}$$

$$= 212.3 \text{ มม.}$$

$$Ea = \frac{V_{RZ}}{V_T} \times 100$$

$$= \frac{90}{212.3} \times 100 = 42.4 \%$$

$$Es = 100 \%$$

$$DP = D - V_{RZ}$$

$$= 99.4 - 90 = 9.4 \text{ มม.}$$

$$DP = \frac{9.4}{212.3} \times 100 = 4.4 \%$$

$RO = V_T - V_{RZ} - DP$

$= 212.3 - 90 - 9.4 = 112.9$ มม.

$RO = \frac{112.9}{212.3} \times 100 = 53\ \%$

ควรทำ Cut back เพื่อลด RO

7. การเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำโดยใช้ Cut back

พิจารณากรณีแปลงยาว 300 เมตร

สำหรับ Q = 1.12 ลิตร/วินาที

จากรูปที่ 2.12

$I = 0.3t^{-0.34}$ ลิตร/วินาที/25เมตร

Cut back ครั้งที่ 1 หลังให้น้ำ 180 นาที

หมุดที่ (i)	$Tadv_i$ (นาที)	To_i (นาที)	I_i (ลิตร/วินาที/25 เมตร)
0	0	180	0.0513
1	5	175	0.0518
2	10	170	0.0523
3	17	163	0.0531
4	26	154	0.0541
5	36	144	0.0554
6	48	132	0.0570
7	59	121	0.0587
8	72	108	0.0611
9	90	90	0.0650
10	110	70	0.0708
11	140	40	0.0856
12	170	10	0.1371

$\bar{I}_1 = (\frac{0.0513}{2} + 0.0518 + ... + 0.0856 + \frac{0.1371}{2})$

$= 0.7591$ ลิตร/วินาที

$$V_T = \frac{[1.12 \times 180 + 0.7591 \times (853 - 180)] \times 60}{300 \times 0.9} \text{ มม.}$$

$$= 158.33 \text{ มม.}$$

$$Ea = \frac{90}{158.3} \times 100 = 56.8 \%$$

Cut back ครั้งที่ 2 หลังให้น้ำ 360 นาที

ในทำนองเดียวกันจะได้ว่า

$$\bar{I}_2 = 0.52 \text{ ลิตร/วินาที}$$

$$V_T = \frac{[1.12 \times 180 + 0.7591 \times 180 + 0.52 (853 - 360)] \times 60}{300 \times 0.9}$$

$$= 132.1 \text{ มม.}$$

$$Ea = \frac{90}{132.1} \times 100 = 68.1 \%$$

Cut back ครั้งที่ 3 หลังให้น้ำ 540 นาที

$$\bar{I}_3 = 0.44 \text{ ลิตร/วินาที}$$

$$V_T = \frac{[2.399 \times 180 + 0.44(853-540)]60}{300 \times 0.9}$$

$$= 126.6 \text{ มม.}$$

$$Ea = \frac{90}{126.6} \times 100 = 71 \%$$

8. ระบบน่าน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงกลับมาใช้ใหม่

ระบบดังกล่าวจะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำถึง 95.3 % หรือเท่ากับ DU เพราะระบบดังกล่าวจะทำให้ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลง

2.13 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 การออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

2. Vudhivanich, V. (1988), Surgface Irrigation System Design, A Handout for A Training Course on Management of

Rainfed Agriculture", Continuing Education Center, AIT.

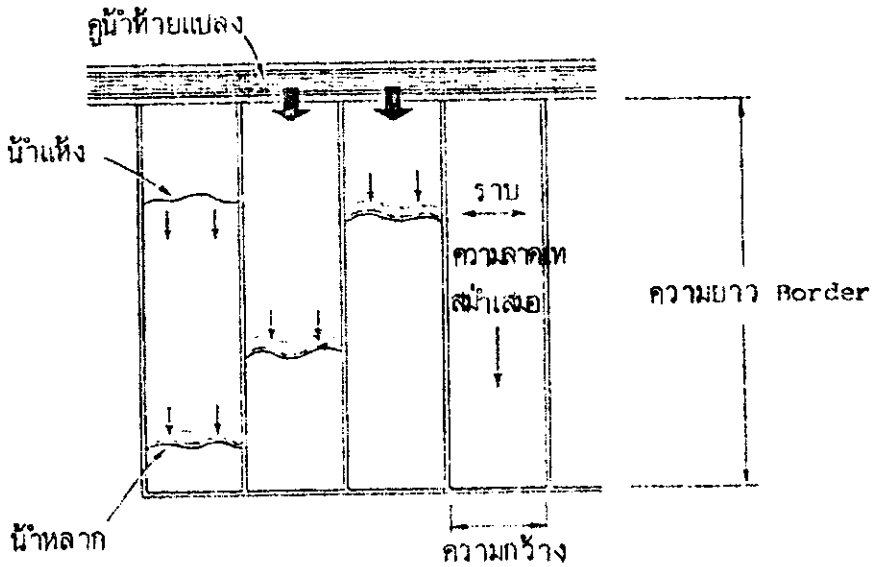
บทที่ 3

การออกแบบระบบการชลประทานแบบห่วมเป็นผืนยาว

(Border Irrigation System Design)

3.1 คำนำ

การให้น้ำแบบห่วมเป็นผืนยาวที่จะกล่าวถึงในบทนี้คือแบบ Graded Border ซึ่งการให้น้ำแบบนี้กระทำโดยการเปิดน้ำเข้าทางหัวแปลง แล้วปล่อยให้น้ำไหลห่วมเป็นผืนระหว่างคันดินสองคัน โดยมีทิศทางการไหลของน้ำตามความลาดเทของพื้นที่ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับคันดินทั้งสองดังแสดงในรูปที่ 3.1 ลักษณะแปลงแบบ Graded Border โดยทั่ว ๆ ไปคือแคบและยาว



รูปที่ 3.1 การชลประทานแบบห่วมเป็นผืนยาว

การให้น้ำแบบ Graded Border สามารถประยุกต์ใช้กับพืชไร่ ดินและวิธีการเพาะปลูกแบบต่าง ๆ ได้มากมาย อย่างไรก็ตามวิธีการชลประทานแบบ Graded Border จะให้ผลดีก็ต่อเมื่อมีการออกแบบขนาดและรูปร่างแปลงอย่างเหมาะสม ตลอดจนมีการจัดการน้ำที่ดี

3.2 ขนาดและรูปร่างแปลง (Size and Shape)

แปลง Border ปกติจะมีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดความยาวระหว่าง 100-800 เมตร กว้างระหว่าง 3-30 เมตร โดยทั่วไปควรจะออกแบบแปลง Border ให้ยาวที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดการสูญเสียพื้นที่ทำคูส่งน้ำและคูระบาย ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและบำรุงรักษาคูและถนน และยังก่อให้เกิดผลดีต่อการใช้เครื่องจักรเครื่องมือในแปลงอีกด้วย

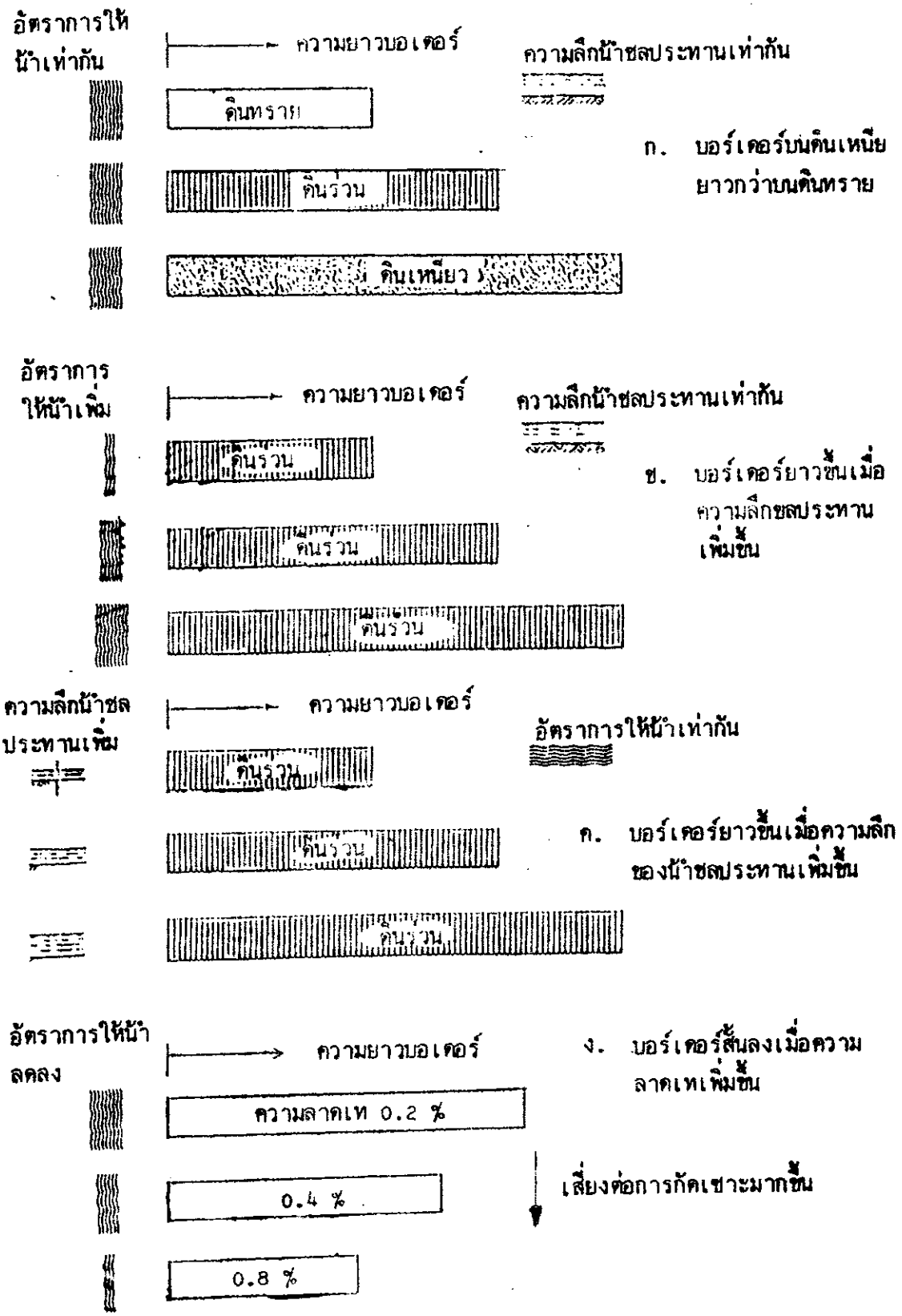
ขนาดและรูปร่างแปลง Border ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายตัวเช่น ชนิดดิน อัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้างแปลง (Unit Stream Size) ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง ความลาดเทของแปลง ขนาดและรูปร่างพื้นที่ และวิธีการปฏิบัติงานในฟาร์ม

3.2.1 ดิน อัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ความลึกของน้ำชลประทาน และความลาดเท

องค์ประกอบทั้ง 4 ตัวนี้ถือว่ามีอิทธิพลมากที่สุดต่อการกำหนดขนาดและรูปร่างแปลง Border อิทธิพลขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีต่อขนาดแปลง Border แสดงอยู่ในรูปที่ 3.2 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

ถ้าองค์ประกอบตัวอื่น ๆ เช่นอัตราการให้น้ำ ความลึกน้ำชลประทานและความลาดเทเท่ากัน แปลง Border ในดินเหนียวจะยาวกว่าแปลง Border ในดินทราย ด้วยเหตุผลที่ว่าดินทรายมีอัตราการซึมสูง ถ้าแปลงยาวจะต้องให้น้ำด้วยอัตราสูงเพื่อให้น้ำไหลถึงท้ายแปลงและมีการแผ่กระจายสม่ำเสมอดี แต่ถ้าแปลงยาวมาก ๆ น้ำอาจไหลไม่ถึงท้ายแปลง หรืออาจมีการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์บริเวณหัวแปลงมากเกินไป ในดินทรายที่มีอัตราการซึมสูงแปลง Border ไม่ควรยาวเกินกว่า 200 เมตร ในทางกลับกันถ้าแปลง Border ในดินเหนียวสั้นเกินไป น้ำจะไหลถึงท้ายแปลงเร็วเกินไปก่อนที่น้ำจะซึมลงไปในดินตามที่ต้องการ เนื่องจากดินเหนียวมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินต่ำ กรณีนี้ถ้าต้องการให้น้ำชลประทานแก่แปลงอย่างเพียงพอ จะเกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงมากเกินไป

กรณีที่ดินในชนิดเดียวกัน และองค์ประกอบอื่น ๆ เหมือนกัน ความยาวแปลง Border จะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ถ้าอัตราการให้น้ำน้อยแปลงจะสั้น มิฉะนั้นน้ำอาจไหลไม่ถึงท้ายแปลงหรือไหลถึงแต่ใช้เวลานาน ลักษณะดังกล่าวจะทำให้น้ำแผ่กระจายไม่ดี และมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตรากสูง



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดและรูปร่างบอร์เดอร์

ถ้าให้น้ำด้วยอัตราเท่ากันความลึกน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้งเช่น ครั้งละ 10 ซม. หรือ 20 ซม. จะมีผลต่อความยาวแปลง การให้น้ำครั้งละ 20 ซม. แทนที่จะเป็นครั้งละ 10 ซม. ต้องการเวลาให้น้ำท่วมขังบนผิวดิน (To) นานกว่า จึงเป็นผลให้มีเวลาในการหลากของน้ำบนผิวดินนานกว่า หรือสามารถออกแบบแปลงให้ยาวได้มากกว่านั่นเอง อย่างไรก็ตาม การให้น้ำครั้งละมาก ๆ เช่น 20 ซม. กับแปลง Border ที่มีความยาวมาก ๆ ในดินเหนียว อาจต้องให้ด้วยอัตราน้อย ๆ เพื่อให้น้ำไหลช้าลงและมีเวลาในการซึมของดินมากขึ้น

การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาดในพื้นที่ที่มีความลาดเทจะเสี่ยงต่อการกัดเซาะผิวดิน จึงมีกฎโดยทั่ว ๆ ไปว่า ถ้าแปลงมีความลาดเทมากจะต้องลดอัตราการให้น้ำลง เพื่อให้น้ำไหลช้าลงและหลีกเลี่ยงปัญหาการกัดเซาะ การลดอัตราการให้น้ำจะทำให้ต้องลดความยาวแปลง Border ลงตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

ความกว้างของแปลง Border ขึ้นอยู่กับความยาวแปลงและปริมาณน้ำที่ไหลในคูส่งน้ำหัวแปลง ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แปลง Border ขนาดยาว 100 เมตร ในดินทราย ซึ่งต้องการอัตราการให้น้ำ (q) 10 ลิตร/วินาที/เมตร คูส่งน้ำสามารถส่งน้ำให้แปลงได้ในอัตรา (Q) 50 ลิตร/วินาที ความกว้างแปลง Border (w) จะคำนวณได้ง่าย ๆ ดังนี้

$$w = \frac{Q}{q} \qquad \text{..... (3.1)}$$

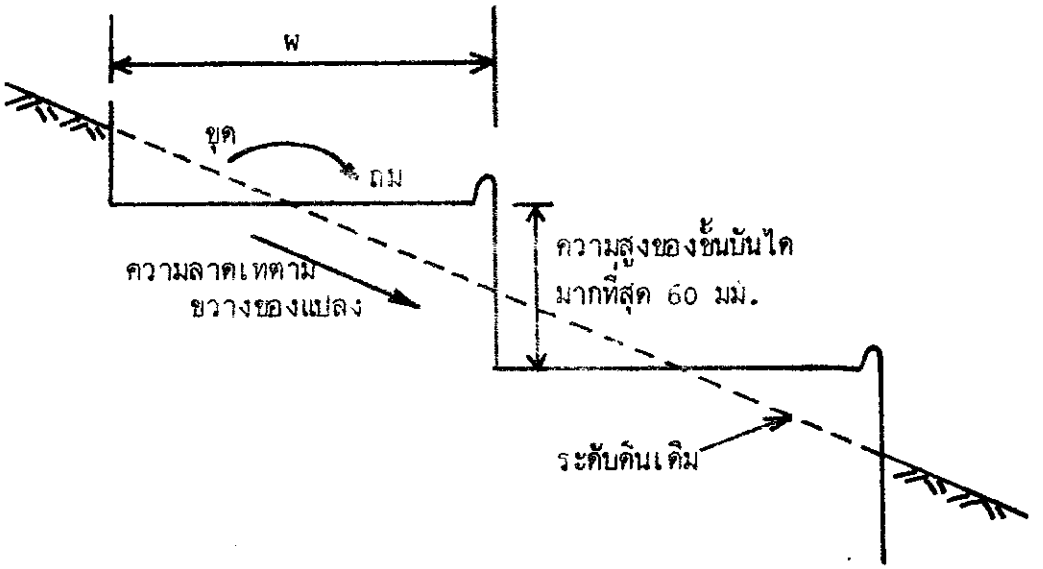
$$= \frac{50}{10}$$

$$= 5 \quad \text{เมตร}$$

นอกจากนี้ความกว้างของ Border ยังขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ กรณีที่มีความลาดเทตามขวาง (Cross Slope) พื้นที่ จะต้องออกแบบแปลง Border เป็นขั้นบันได ดังรูปที่ 3.3

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำรั่วผ่านคันดิน โดยทั่ว ๆ ไปจะกำหนดให้ขั้นบันไดมีความสูงได้มากที่สุดไม่เกิน 60 มม. ข้อกำหนดดังกล่าวทำให้ความกว้างแปลง w ขึ้นอยู่กับความลาดเทตามขวางแปลง (S) ดังสมการ

$$w = \frac{6}{S} \qquad \text{..... (3.2)}$$



รูปที่ 3.3 การทำแปลง Border แบบขั้นบันได

เมื่อ W = ความกว้างแปลงเป็น เมตร

S = ความลาดเทเป็น %

ยกตัวอย่าง แปลงมีความลาดเทตามขวาง S = 1 %

W = 6 เมตร

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการง่าย ๆ ในการคำนวณหาขนาดแปลง Border สำหรับสภาพดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทาน และความลาดเทต่าง ๆ กัน โดยทั่ว ๆ ไปการออกแบบขนาดแปลง Border จะอาศัยประสบการณ์การให้น้ำแบบนี้ที่ได้เคยทำกันมา อย่างไรก็ตาม ได้มีผู้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลขององค์ประกอบหลักต่าง ๆ ต่อขนาดแปลง Border และได้จัดทำเป็นตารางคำแนะนำเบื้องต้นในการเลือกขนาดแปลง ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตัวอย่างการใช้ตารางที่ 3.1 ถ้าต้องการให้น้ำครั้งละ 100 มม. กับดินทรายซึ่งมีความลาดเท 0.2 % โดยวิธี Border แปลงควรมีความยาว 60 - 100 เมตร และให้น้ำด้วยอัตรา 10 - 15 ลิตร/วินาที/เมตร แต่ถ้าดินเป็นดินเหนียว ควรให้น้ำด้วยอัตรา 3 - 6 ลิตร/วินาที/เมตร และแปลงควรยาวมากกว่า 350 เมตร

ตารางที่ 3.1 แนวทางในการเลือกขนาดแปลง Border

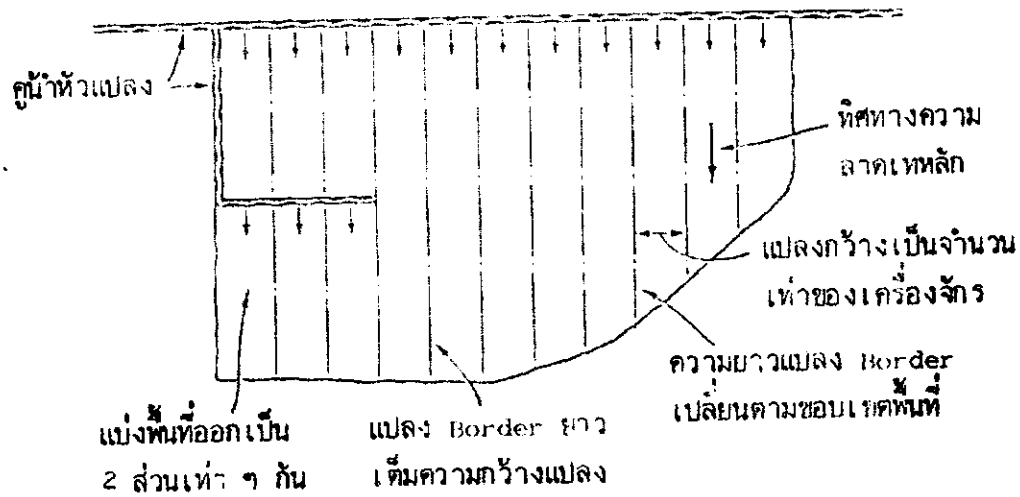
ชนิดดิน	ความลึกของน้ำชลประทาน (มม.)	ความลาดเท %	ความกว้าง w (ม.)	ความยาว (ม.)	อัตราการให้น้ำต่อหน่วยความกว้าง (ลิตร/วินาที/เมตร)
ดินทราย	100	0.2	12 - 30	60 - 100	10 - 15
		0.4	10 - 12	60 - 100	8 - 10
		0.8	5 - 10	75	5 - 7
ดินร่วน	150	0.2	15 - 30	90 - 300	4 - 6
		0.4	10 - 12	90 - 180	3 - 5
		0.8	5 - 10	90	2 - 4
ดินเหนียว	200	0.2	15 - 30	350 +	3 - 6
		0.4	10 - 12	180 - 300	2 - 4

3.2.2 รูปร่างและขนาดของพื้นที่

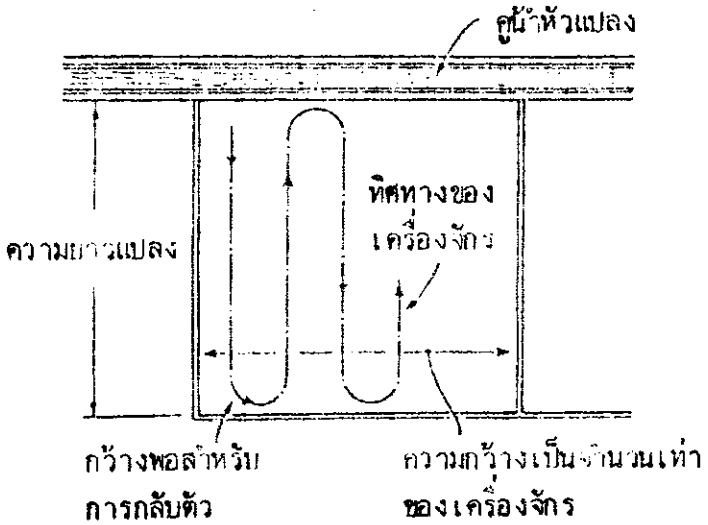
รูปร่างและขนาดพื้นที่จะเป็นขีดจำกัดในการเลือกขนาดแปลง Border ในพื้นที่ขนาดเล็ก แปลง Border อาจยาวเท่ากับขนาดพื้นที่และมีขนาดต่าง ๆ กันตามรูปร่างของพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 3.4 แต่ในพื้นที่ขนาดใหญ่ปกติจะออกแบบให้ได้แปลง Border ที่มีความยาวเท่ากัน โดยอาจแบ่งพื้นที่ที่ยาวมาก ๆ ออกเป็น 2-3 ส่วน เท่า ๆ กัน การแบ่งแปลง Border ให้มีขนาดเท่ากันจะทำให้การให้น้ำทำได้ง่ายขึ้น

3.2.3 การปฏิบัติงานฟาร์ม (Farming Practice)

วิธีการให้น้ำแบบ Border เหมาะที่จะใช้กับฟาร์มขนาดใหญ่ เนื่องจากการให้น้ำแบบนี้ต้องการแปลงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวเพื่อการกระจายน้ำที่ดี ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรด้วย กรณีนี้ความกว้างของแปลงควรจะกว้างพอให้เครื่องจักรเครื่องมือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเช่น แปลงควรกว้างเป็นจำนวนเท่าความกว้างของเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 3.5



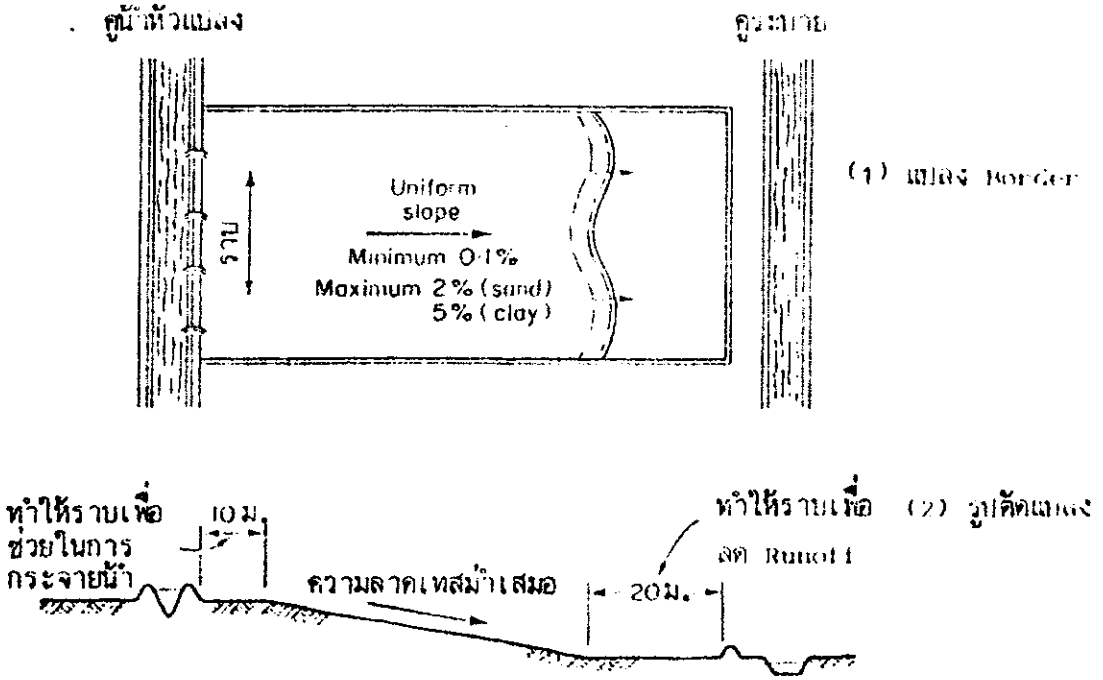
รูปที่ 3.4 ผลของขนาดและรูปร่างพื้นที่ต่อขนาดแปลง Border



รูปที่ 3.5 ความกว้างของแปลง Border กรณีที่ใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

3.3 ความลาดเทของ Border

ในทางทฤษฎีแล้ว Border ควรมีความลาดเทสม่ำเสมอตลอดความยาวแปลง และไม่ควรมีความลาดเทตามขวางพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ความลาดเทของ Border

Border ควรมีความลาดเทอย่างน้อยที่สุด 0.1 % เพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถระบายน้ำส่วนเกินออกจากแปลงได้ ส่วนความลาดเทมากที่สุดขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อการกัดเซาะของน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับฝนที่ตก ชนิดของดิน และพืชที่ปกคลุมดิน ดังแสดงในตารางที่ 3.2

บางครั้งนิยมปรับดินบริเวณ 10 เมตรจากหัวแปลงให้ราบเพื่อช่วยในการกระจายน้ำให้แผ่เต็มความกว้างได้ดีขึ้น และปรับดินบริเวณ 20 เมตรจากท้ายแปลงให้ราบเพื่อลดการไหลเลยท้ายแปลง ดังแสดงในรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.2 ความลาดเทมากที่สุดของ Border (%)

ชนิดดิน	เขตฝนตกชุก		เขตแห้งแล้ง	
	ไม่มีพืชคลุมดิน	พืชคลุมดินดี	ไม่มีพืชคลุมดิน	พืชคลุมดินดี
ดินทราย	0.3	1.0	1.0	2.0
ดินเหนียว	0.5	2.0	2.0	5.0

3.4 การให้น้ำกับแปลง Border

สิ่งสำคัญในการให้น้ำกับแปลง Border คือการเลือกอัตราการให้น้ำหนึ่งหน่วยความกว้างให้เหมาะสมสำหรับดินและความลาดเทของแปลง และต้องหยุดการให้น้ำในเวลาที่เหมาะสม การตัดสินใจเมื่อไรจึงควรหยุดการให้น้ำ มีแนวทางในการพิจารณาเบื้องต้นดังนี้

ชนิดดิน	ควรหยุดการให้น้ำเมื่อน้ำไหลได้เป็นระยะทาง
ดินเหนียว	0.6
ดินร่วน	0.7 - 0.8
ดินทราย	เกือบถึงท้ายแปลง

โดยทั่ว ๆ ไป แปลง Border ที่มีการจัดการที่ดีจะมีการไหลเลยเขตรากเพียงเล็กน้อย และมีการไหลเลยท้ายแปลงประมาณ 10-15 % ของปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้ จึงจำเป็นต้องมีทางระบายน้ำที่ท้ายแปลงเพื่อระบายน้ำส่วนเกิน

3.5 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบ Border

ถึงแม้ว่าจะสามารถให้น้ำแบบ Border ให้มีประสิทธิภาพสูงได้ แต่ผู้ที่ขาดความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์มักปฏิบัติงานผิดพลาดอันเป็นผลให้การแผ่กระจายน้ำไม่ดี และประสิทธิภาพการให้น้ำต่ำ ข้อผิดพลาดที่มักพบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบ Border ได้แก่

3.5.1 การเตรียมดินไม่ดี

ถ้าแปลง Border มีความลาดเทไม่สม่ำเสมอ จะทำให้น้ำแผ่กระจายไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช หรือกรณีที่แปลง Border มีความลาดเทตามขวาง น้ำจะไหลเอียงลงสู่ด้านต่ำดังรูปที่ 3.7 (2) แต่กรณีดังกล่าวอาจแก้ไขได้ชั่วคราว โดยการทำคันดินแบ่งแปลงให้แคบลง ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่น้ำไหลเอียงลงสู่คันแปลงด้านต่ำ

3.5.2 มีดินหลายชนิดในแปลง

ผลของการมีดินหลายชนิดอยู่ในแปลง Border เดียวกันจะเหมือนกับที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.9 ในบทที่ 2 วิธีแก้ไขคือต้องแบ่งแปลงให้มีเพียงดินชนิดเดียวในแปลง

3.5.3 ใช้อัตราการให้น้ำผิด

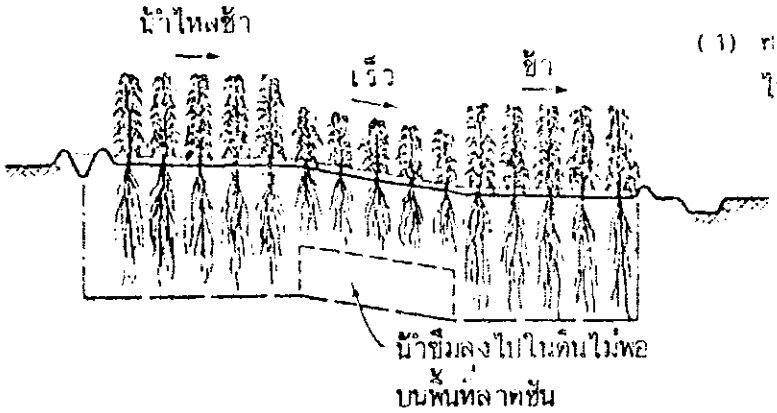
หลังจากที่ออกแบบและเตรียมแปลง Border แล้ว มีแต่เพียงอัตราการให้น้ำเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างง่าย ๆ

ถ้าอัตราการให้น้ำน้อยเกินไปน้ำจะไหลช้า จึงต้องให้น้ำเป็นเวลานานอันจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์มากเกินไป ดังรูปที่ 3.8 (1) ปัญหาดังกล่าวมักจะเกิดกับแปลงที่เป็นดินทราย

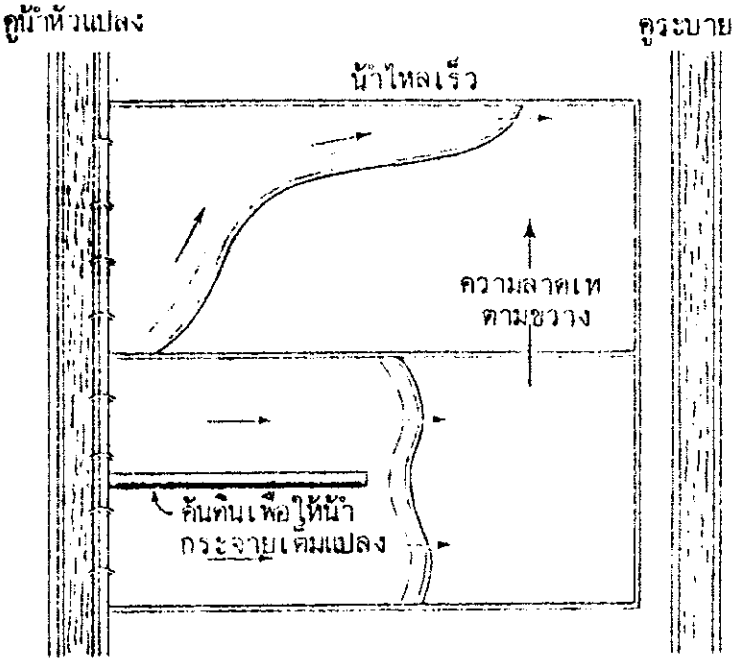
ในทางตรงกันข้าม ถ้าเลือกอัตราการให้น้ำมากเกินไป น้ำจะไหลถึงจุดที่ควรหยุดการให้น้ำเร็วเกินไป น้ำยังซึมลงไปในดินไม่เพียงพอ ดังรูปที่ 3.8 (ข) กรณีดังกล่าว ถ้าต้องการให้น้ำให้เพียงพอกับความต้องการ จะต้องปล่อยให้น้ำไหลเลยท้ายแปลงเป็นจำนวนมาก ปัญหาดังกล่าวมักเกิดกับแปลงที่เป็นดินเหนียว

3.5.4 การกำหนดเวลาการให้น้ำแน่นอนตายตัว (Fixed Irrigation Schedule)

ถึงแม้ว่าเลือกอัตราการให้น้ำได้เหมาะสม แต่บางครั้งเกษตรกรจะเลือกระยะเวลาการให้น้ำ (Ta) ให้สอดคล้องกับการทำกิจกรรมอื่น ๆ ในฟาร์มเช่น กำหนดเวลาการให้น้ำเป็น 12 ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง ทั้ง ๆ ที่ความจริงแล้วมีความต้องการน้ำเพียง 6-10 ชั่วโมงเท่านั้น ภรณีดังกล่าวจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ และยังชะล้างปุ๋ยออกจากดินอีกด้วย

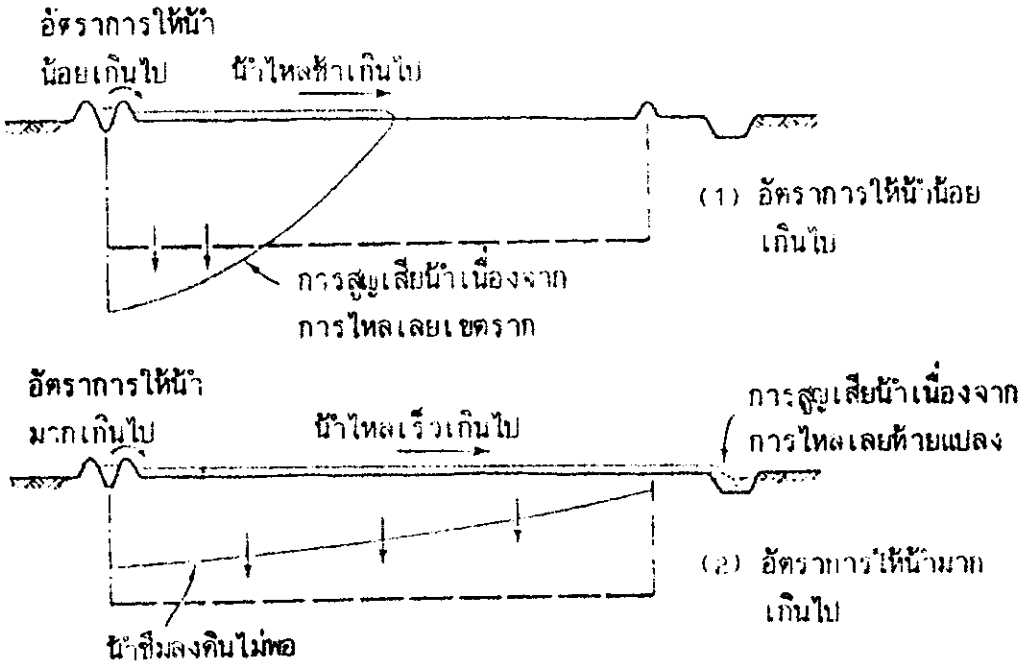


(1) ความลาดเทของแปลงไม่สม่ำเสมอ



(2) ผลของความลาดเทตามขวาง

รูปที่ 3.7 การเตรียมแปลงไม่ดี



รูปที่ 3.8 การใช้อัตราการให้น้ำผิด

3.6 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบ Border

ในแปลง Border ที่มีการออกแบบและจัดการที่ดี ประสิทธิภาพการให้น้ำอาจสูงถึง 80 % แต่ข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในข้อ 3.5 จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงดังนี้

ข้อผิดพลาด	% ประสิทธิภาพที่ลดลงจาก 80 %
1. เตรียมแปลงไม่ดี	10 - 20
2. มีดินมากกว่า 1 ชนิดในแปลง	5 - 10
3. ใช้อัตราการให้น้ำผิด	10 - 15
4. กำหนดเวลาการให้น้ำผิด	10 - 20

3.7 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว

หลังจากที่ได้ออกแบบและเตรียมแปลง Border ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้ว ควรได้มีการทดลองและประเมินผลในสนามว่าแปลงที่ออกแบบทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ มีข้อบกพร่องตรงไหน เพื่อจะได้หาวิธีการปรับปรุงการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวให้ดีขึ้น

3.7.1 ข้อมูลที่ต้องการทราบ

ในการทดลองการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวนี้ จะต้องรวบรวมและจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ไว้ คือ

1. อัตราและระยะเวลาการให้น้ำในแปลงต่าง ๆ ถ้าเป็นการทดลองเพื่อหาขนาดของแปลงที่เหมาะสม ขนาดของแปลงที่ใช้ควรจะเลือกจากตารางที่ 3.1 แต่ควรจะมีขนาดยาวกว่าเล็กน้อย การทดลองควรจะทำอย่างน้อย 3 แปลง แต่ละแปลงมีขนาดความลาดเทและคุณสมบัติอย่างอื่นคล้ายคลึงกัน แต่ให้น้ำด้วยอัตราที่ต่างกัน กล่าวคือให้น้ำด้วยอัตราที่มากกว่า เท่ากับ และน้อยกว่า ที่แนะนำไว้ในตาราง
2. กราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้ง
3. คุณสมบัติดินเกี่ยวกับการซึมของน้ำลงไปในดิน
4. ความกว้างของพื้นที่ได้รับน้ำ ถ้าน้ำไหลไม่เต็มแปลง
5. ปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดิน เพื่อให้ดินนั้นมีความชื้นที่ Field Capacity
6. เวลาและอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง (Runoff) ออกไป
7. ชนิดของดินและหน้าตัดของดิน (Soil Profile)
8. ระยะการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกและผลที่จะมีต่อการต้านทานการไหลของน้ำ

เมื่อได้รวบรวมข้อมูลต่าง ๆ แล้ว นำมาวิเคราะห์ประสิทธิผลของการให้น้ำ และแนวทางในการปรับปรุงการให้น้ำให้ดีขึ้น ในทำนองเดียวกับการประเมินผลการให้น้ำแบบร่องคูที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

3.7.2 เครื่องมือที่จะต้องใช้ในสนาม

เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดลองประเมินผลในสนาม ได้แก่

1. เทปวัดระยะแบบที่ใช้ในงานสำรวจ

2. หมุดไม้หรือเหล็กและฆ้อนสำหรับตอก

3. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาข้อมือ

4. เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเช่น ฝายแบบต่าง ๆ เพื่อใช้วัดอัตราการให้น้ำและอัตราที่น้ำไหลออกทางท้ายแปลง

5. พลั่วขุดดิน และสว่านเก็บตัวอย่างดิน

6. เครื่องมือวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltrometer) ถังตักน้ำ และตะขอวัดระดับน้ำ (Hook Gage) ประมาณ 3-5 ชุด

7. แบบฟอร์มสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ

3.7.3 วิธีทดลอง

การทดลองนี้ควรจะทำในระยะเวลาที่ดินชั้นมีความชื้นในขนาดเดียวกันกับที่ต้องการให้น้ำเมื่อมีพืชปลูกอยู่ และก่อนจะเปิดน้ำเข้าแปลงจะต้องเตรียมการดังต่อไปนี้ คือ

1. เลือกแปลงที่เป็นตัวแทนและมีคูส่งน้ำ หรือมีความสะดวกในการให้น้ำ

2. วัดความกว้างของแปลง แล้วตอกหมุดทางด้านยาวจากหัวแปลงทุก ๆ 20 - 30 เมตร และอย่างน้อย 10 หมุด

3. ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำที่หัวแปลงและท้ายแปลง

4. วัดหรือหาปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดิน เพื่อให้ดินในเขตราก (Root Zone) มีความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (Field Capacity) และกำหนดอัตราการให้น้ำที่จะใช้

5. ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltrometer) ที่จุดต่าง ๆ ในแปลงอย่างน้อย 3 จุด แล้วทำการวัดหาอัตราการซึมผ่านผิวดิน

เมื่อเตรียมทุกอย่างเรียบร้อยแล้วก็เปิดให้น้ำไหลเข้าทางหัวแปลง พยายามรักษาอัตราการให้น้ำให้คงที่ตลอดเวลา สิ่งที่จะต้องปฏิบัติในขณะให้น้ำ คือ

1. จดเวลาที่เริ่มให้น้ำ อัตราการให้น้ำ และคอยตรวจสอบอัตราการให้น้ำในระหว่างการทดลองเสมอ

2. จดเวลาที่น้ำแผ่ไปถึงหมุดต่าง ๆ ถ้าหากการแผ่กระจายของน้ำไม่สม่ำเสมอก็ให้ใช้ค่าเฉลี่ย

3. จดเวลาและอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเลยพื้นที่ออกไป จดเวลาและวัด

อัตราดังกล่าวเป็นระยะ ๆ จนกว่าจะไม่มีน้ำไหลเลยพื้นที่ออกไป

4. จดเวลาที่หยุดให้น้ำ และเวลาที่น้ำที่จุดต่าง ๆ แห้ง โดยปกติที่หัวแปลงซึ่งเป็นจุดสูงสุดจะแห้งก่อน ท้ายแปลงจะแห้งหลังสุด วัตถุประสงค์ข้อนี้ก็เพื่อจะหาระยะเวลาที่น้ำนั้นยังอยู่บนผิวดิน เพื่อที่จะได้นำไปหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่จุดต่าง ๆ ได้

5. ตรวจสอบว่าปริมาณน้ำที่ให้นั้นพอเพียงกับความต้องการหรือไม่ โดยใช้สว่านเจาะดินที่จุดต่าง ๆ มาหาปริมาณความชื้น การตรวจสอบนี้จะต้องทำหลังจากหยุดให้น้ำแล้ว 1-2 วัน

3.7.4 <u>การวิเคราะห์ข้อมูลที่หาได้</u>

เมื่อได้รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองในสนาม จะสามารถนำมาวิเคราะห์

1. กราฟการดูดซึมน้ำของดิน
2. กราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้ง
3. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ
4. ประสิทธิภาพในการให้น้ำ
5. ความเพียงพอในการให้น้ำ
6. แนวทางการปรับปรุงการให้น้ำให้ดีขึ้น

3.8 <u>ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว</u>

ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงการวิเคราะห์หาความสม่ำเสมอในการให้น้ำ ประสิทธิภาพในการให้น้ำ และความเพียงพอในการให้น้ำ ตลอดจนแนวทางการปรับปรุงการให้น้ำให้ดีขึ้น โดยใช้ข้อมูลจากการทดลองประเมินผลการให้น้ำจากพื้นที่เพาะปลูกจริงแห่งหนึ่ง ซึ่งในการทดลองนี้ได้มีการให้น้ำเพียงแปลงเดียว เนื่องจากแหล่งน้ำที่ใช้อยู่นั้นมาจากบ่อบาดาลตื้นซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำน้อย สำหรับข้อมูลอื่น ๆ ของแปลงมีดังนี้คือ

ระยะระหว่างศูนย์กลางของแปลงเท่ากับ 8 เมตร โดยมีความกว้างเฉพาะตัวแปลงเท่ากับ 7 เมตร

แปลงยาวทั้งสิ้น 420 เมตร แต่ทำการทดลองเพียง 210 เมตร (เนื่องจากการให้น้ำโดยปกติของพื้นที่ผืนนี้จะให้เพียงครั้งละครึ่งหนึ่งของความยาว เมื่อให้ช่วงต้นเสร็จแล้วจึงจะให้ช่วงท้าย โดยจะมีท่อต่อมาถึงที่ระยะ 210 เมตร)

อัตราการให้น้ำ 3.. ลิตร/วินาที

ความลึกของรากพืช 1.50 เมตร

ดินในแปลงเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)

ความชื้นที่ขาดหายไป (SMD) 70 มม.

เครื่องมือวัดน้ำที่ใช้เป็นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume)

ขนาด 6 นิ้ว

ข้อมูลที่ได้จากการหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินอยู่ในตารางที่ 3.3 และนำมาเขียนกราฟการดูดซึมสะสมดังรูปที่ 3.9 กราฟที่ได้นี้สมมติว่าเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งแปลง (ในกรณีที่ได้ทดลองหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินหลายแห่งให้เขียนกราฟดูดซึมสะสมของทุกแห่งลงบนแผ่นเดียวกันแล้วจึงลากเส้นเฉลี่ยเพื่อใช้ค่าต่าง ๆ จากเส้นเฉลี่ยนี้)

สำหรับข้อมูลการไหลของน้ำในช่วงน้ำหลากและช่วงน้ำแห้งอยู่ในตารางที่ 3.4 ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 3.10

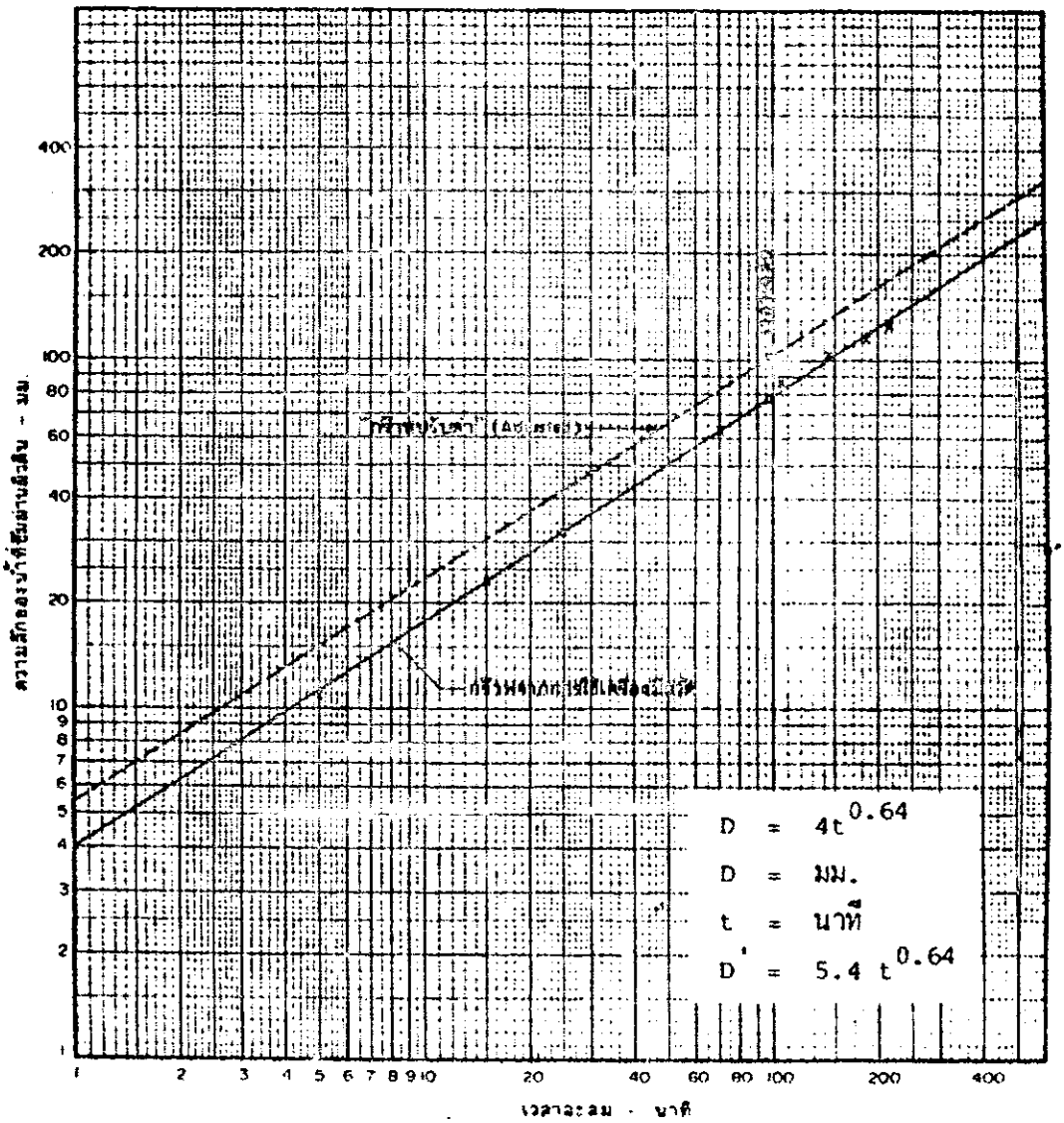
ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ซึ่งวัดโดย Infiltrometer

สถานที่ทำการวัด ..... ผู้ทำการวัด ..... วันที่ 16 สค. 2530

เนื้อดิน S L ..... ความชื้น 70 มม./150 ม. ..... พืชที่ปลูก .....

หมายเหตุ ดินสังเกตว่ายังมีความชื้นเหลืออีกมาก .....

กระบอกวัดที่ 1					
เวลา-นาที			การซึมน้ำของดิน มม.		
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	ความลึก	ห่างกัน	สะสม
11:03			31	0	0
04	1	1	35	4	4
08	4	5	42	7	11
18	10	15	54	12	23
28	10	25	63	9	32
48	20	45	78	15	47
12:13	25	70	95	17	64
48	35	105	117	22	86
13:28	40	145	133	16	102
14:08	40	185	148	15	117
38	30	215	158	10	127



รูปที่ ๓.๑ กราฟดูดซึมละลม (Cumulative intoke curves)

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว

สถานที่ทดสอบ ..... วันที่ 6 สค. 2530 ..... ผู้ทำการทดสอบ .....

วิธีการให้น้ำ ..... เนื้อดิน S.L ..... พืชที่ปลูก Alfalfa ..... ความลึกของน้ำที่ต้องการให้ .....

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของแปลงที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำ หน้าที่เพิ่งตัดใหม่ Parshall Flume 6" .....

น้ำหลาก หรือน้ำแห้ง น้ำหลาก และน้ำแห้ง .....

แปลงหรือร่องที่ .....

อัตราการให้น้ำ .....

หมายเหตุ .....

(ช่วงน้ำหลาก)

เวลา			หมุดที่ *
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
10.51		0	0
	8		
59		8	1
	12		
11.11		20	2
	15		
26		35	3
	15		
41		50	4
	17		
58		67	5
	18		
12.16		85	6
	20		
36		105	7
	25		
13.01		130	8
	31		
32		161	8.5

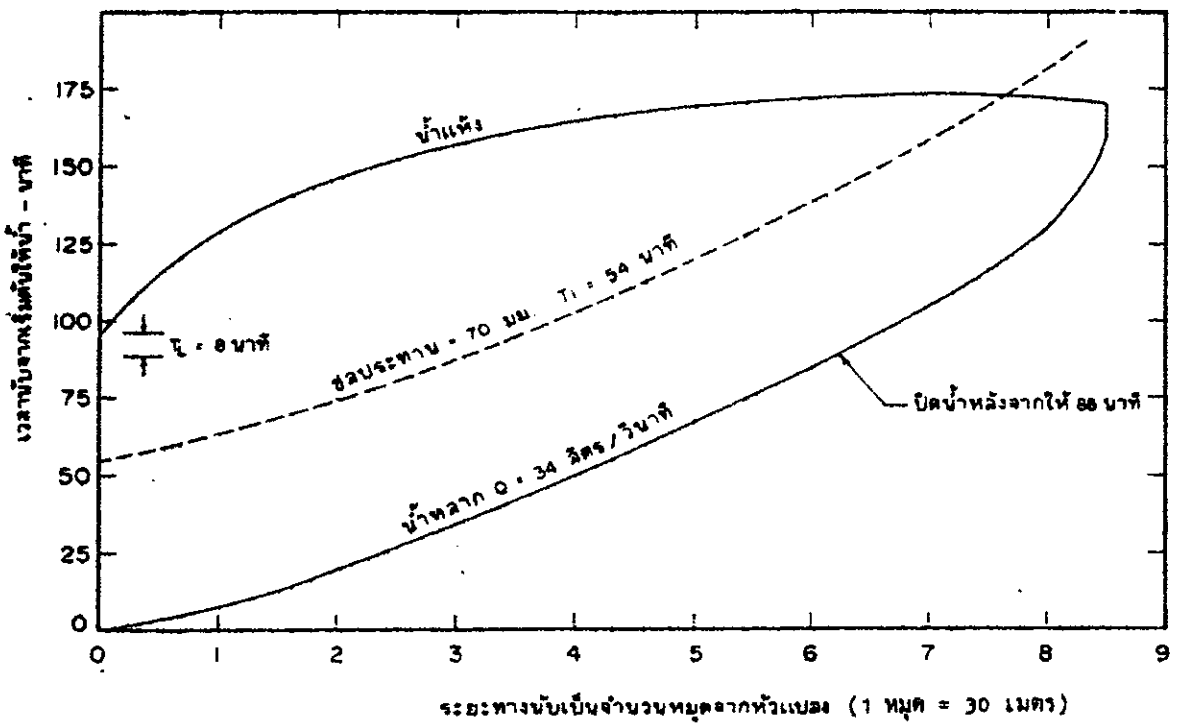
(ช่วงน้ำแห้ง)

เวลา			หมุดที่ *
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	
10.51		0	0
	88		
12.19		88	0
	8		
27		96	0
	32		
59		128	1
	19		
13.18		147	2
	11		
29		158	3
	6		
35		164	44
	3		
38		167	5
	4		
42		171	6
	2		
44		173	7
	0		
44		173	8
	3		
13.41		170	8.5

เวลา			หมุดที่ *
เวลา น.	ห่างกัน	สะสม	

ในกรณีที่เป็นข้อมูลช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ของการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว บรรทัดแรกของช่องควรเป็นเวลาที่เริ่มให้น้ำ บรรทัดที่สองเป็นเวลาที่หยุดให้น้ำ บรรทัดที่สามเป็นเวลาที่น้ำเริ่มแห้ง ทั้งสามบรรทัดนี้เป็นเวลาที่หมุดแรก

* หมุดแรกที่หัวแปลงนับเป็นศูนย์



รูปที่ 3.10 กราฟน้ำหลาก-น้ำแห้ง ของการทดลอง

3.8.1 การปรับกราฟการดูดซึมสะสม

จากกราฟน้ำหลาก-น้ำแห้ง ในรูปที่ 3.10 จะสามารถหาเวลาที่น้ำขังอยู่บนผิวดิน (T_o) ที่หมุดต่าง ๆ ได้ หลังจากนั้นจึงนำไปหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่าง ๆ ได้ โดยใช้กราฟการดูดซึมสะสมในรูปที่ 3.9 ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การคำนวณหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลง

หมุดที่ (i)	To_i (นาที) (จากรูปที่ 3.10)	D_i (มม.) จากรูปที่ 3.9
0	96	78
1	120	90
2	127	94
3	123	92
4	114	88
5	100	80
6	86	74
7	68	64
8	43	46
8.5	9	17

$$\bar{D}_{8.5} = \frac{\frac{78}{2} + 90 + ... 64 + \frac{46}{2} + (\frac{46}{2} + \frac{17}{2}) \times 0.5}{8.5}$$

$$= \frac{659.75}{8.5} \quad \text{มม.}$$

$$= 77.6 \quad \text{มม.}$$

ปริมาณน้ำที่ให้กับแปลงซึ่งวัดโดยรางวัดน้ำ จะหาได้จาก

$$QT = AD$$

พิจารณาว่า

$$A = 7 \times 8.5 \times 30 \quad \text{เมตร}^2$$

$$D = \frac{34 \times 88 \times 60}{7 \times 8.5 \times 30} = 100.6 \quad \text{มม.}$$

ซึ่งมากกว่า $\bar{D}_{8.5}$ ที่หาได้จากกราฟการดูดซึมสะสม พิจารณาว่าการวัดอัตราการซึมของน้ำโดยใช้ Infiltrometer มีโอกาสผิดมากกว่าการวัดอัตราการไหลของน้ำโดยใช้รางวัดน้ำ จึงควรปรับแก้กราฟการดูดซึมสะสม โดยการเขียนกราฟเส้นใหม่ให้ขนานกับ

ของเดิมแต่อยู่สูงกว่า และกราฟเส้นใหม่ผ่านจุด 100.6 มม. ที่เวลาซึ่งบนกราฟเดิมอ่านได้ 77.6 มม. กราฟเส้นใหม่นี้เรียกว่า "กราฟที่ปรับค่า (Adjusted Curve)" ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

การตรวจสอบความถูกต้องของกราฟที่ปรับค่าแล้ว แสดงอยู่ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การคำนวณหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลงโดยใช้กราฟที่ปรับค่า

หมุดที่ (i)	To_i (นาที)	Di (มม.)
0	96	102
1	120	118
2	127	122
3	123	120
4	114	113
5	100	104
6	86	96
7	68	82
8	43	60
8.5	9	22

$$\bar{D}_{8.5} = \frac{\frac{102}{2} + 118 \ldots + 82 + \frac{60}{2} + (\frac{60 + 22}{2}) \times 0.5}{8.5}$$

$$= \frac{856.5}{8.5} = 100.8 \text{ มม.}$$

$\bar{D}_{8.5}$ จากกราฟที่ปรับค่าแล้ว = 100.8 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับ D ที่ให้กับแปลง 100.6 มม. แสดงว่ากราฟที่ปรับค่าแล้วใช้ได้

3.8.7 ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ

พิจารณาว่าใช้ Distribution Uniformity ในสมการ 1.3 ในการหาความสม่ำเสมอในการให้น้ำในแปลง Border ที่ทดลองนี้

เมื่อนำค่า Di จากตารางที่ 3.6 ไปพล็อตเทียบกับ i จะได้กราฟรูปร่างดังรูปที่ 3.11

ความยาวแปลงที่ทดลอง = 210 เมตร หรือ 7 หมุด

พิจารณาว่า $\bar{D}_{LQ}$ คือความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดินในช่วงระยะ $\frac{1}{4}$ (หรือ $\frac{7}{4}$ = 1.75 หมุด) จากท้ายแปลง

$$D_{5.25} = 104 - (104 - 96) \times 0.25$$

$$= 102 \quad \text{มม.}$$

$$\bar{D}_{LQ} = \frac{\frac{102 + 96}{2} \times 0.75 + \frac{96 + 82}{2}}{1.75}$$

$$= 93.3 \quad \text{มม.}$$

$$\bar{D}_{7} = \frac{\frac{102}{2} + 118 + \ldots\ldots + 96 + \frac{82}{2}}{7}$$

$$= \frac{765}{7} = 109.3 \quad \text{มม.}$$

$$DU = 100 \times \frac{93.3}{109.3} = 85.4\ \%$$

3.8.3 <u>ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea) และประสิทธิภาพการเก็บกัก (Es)</u>

จากสมการที่ 1.5

$$Ea = \frac{V_{RZ}}{V_T} \times 100\ \%$$

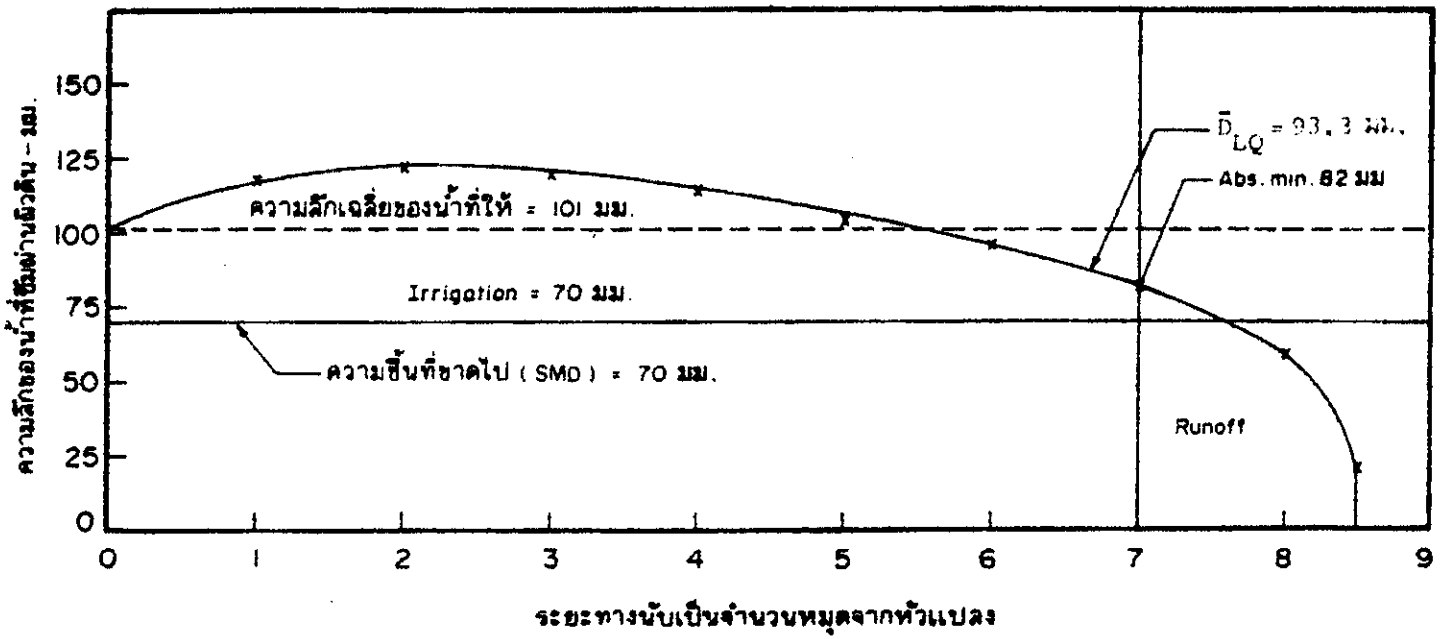
จากค่า D_i สำหรับหมุด 0-7 ในตารางที่ 3.6 จะเห็นได้ว่า

V_{RZ} = SMD = 70 มม.

แสดงว่าให้น้ำมากเกินไปหรือ Es = 100 %

$$V_T = \frac{34 \times 88 \times 60}{7 \times 7 \times 30} = 122.1 \quad \text{มม.}$$

$$Ea = \frac{70}{122.1} \times 100 = 57.3\ \%$$



รูปที่ 3.11 **ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่างๆ**

3.8.4 ปริมาณการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์

ผลการทดลองแสดงว่าให้น้ำมากเกินไป และมีการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งในรูปของการไหลเลยท้ายแปลง และไหลเลยเขตราก

$$RO = V_T - \bar{D}_7$$

$$= 122.1 - 109.3 = 12.8 \text{ มม.}$$

หรือ $$RO = \frac{12.8}{122.1} \times 100 = 10.5\ \%$$

$$DO = \bar{I}_7 - V_{RZ}$$

$$= 109.3 - 70 = 39.3 \text{ มม.}$$

หรือ $$DO = \frac{39.3}{122.1} \times 100 = 32.2\ \%$$

3.8.5 แนวทางการปรับปรุงการให้น้ำ

จากผลการวิเคราะห์หา DU, Ea, Es, RO และ DO จะเห็นได้ว่าการทดลองการให้น้ำดังกล่าวมีข้อบกพร่องที่เห็นได้ชัดเจนคือ เวลาในการให้น้ำ Ta = 88 นาที นั้นนานเกินไป ทำให้ D_i มากกว่า SMD มาก การลดระยะเวลาการให้น้ำลงหรือชะลอการให้น้ำไปอีก 2-3 วัน เพื่อให้ SMD = 82 มม. (ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลงที่มีค่าน้อยที่สุด จากตารางที่ 3.6) จะลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตราก และเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำ เช่น

ถ้าชะลอการให้น้ำเพื่อให้ SMD = 82 มม.

$$Ea = \frac{82}{122.1} \times 100 = 67.2\ \%$$

และ $$Es = 100\ \%$$

จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำอีก 9.9 % และลด DO ลง 9.9 %

ถ้าต้องลดเวลาการให้น้ำลงเพื่อให้ D_7 = 70 มม. จะหาได้จากกราฟการดูดซึมน้ำสะสมในรูปที่ 3.9 ประกอบกับความรู้เกี่ยวกับกราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้ง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงการให้น้ำให้เหมาะสม ทั้งในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายและสะดวกต่อการปฏิบัติ ควรจะได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มขึ้น

ปัจจัยหลัก 3 ประการที่ควรยึดถือและพิจารณาในการปรับปรุงการให้น้ำแบบห่วงเป็นผืนยาว คือ

1. ขนาดของอัตราการให้น้ำ ซึ่งมีผลต่อกราฟน้ำหลากและระยะเวลาให้น้ำ

2. ความชื้นของดินที่ขาดหายไปก่อนการให้น้ำ ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาให้น้ำ และความถี่ของการให้น้ำ

3. ความยาวของแปลง ซึ่งบางครั้งอาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้าใช้ท่อส่งน้ำที่เคลื่อนย้ายได้

ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความสม่ำเสมอของชนิดดินตลอดแปลง และความลาดเทของแปลงก็มีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน แต่ปัจจัยเหล่านี้ยากต่อการเปลี่ยนแปลง นอกจากสำหรับการพิจารณาในพื้นที่แห่งใหม่ที่จะออกแบบการให้น้ำแบบนี้

สำหรับการให้น้ำอย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพนั้น ควรจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้คือ

1. เวลาที่น้ำขังที่หัวแปลง (T_o) จะต้องเท่ากับเวลาที่ต้องการให้น้ำ (T_i) ซึ่งจะต้องเท่ากับระยะเวลาที่เปิดน้ำเข้าแปลง (T_a) รวมกับระยะเวลาที่น้ำที่หัวแปลงนั้นซึมลงดินจนหมดนับจากให้น้ำ (T_l) นั่นคือ

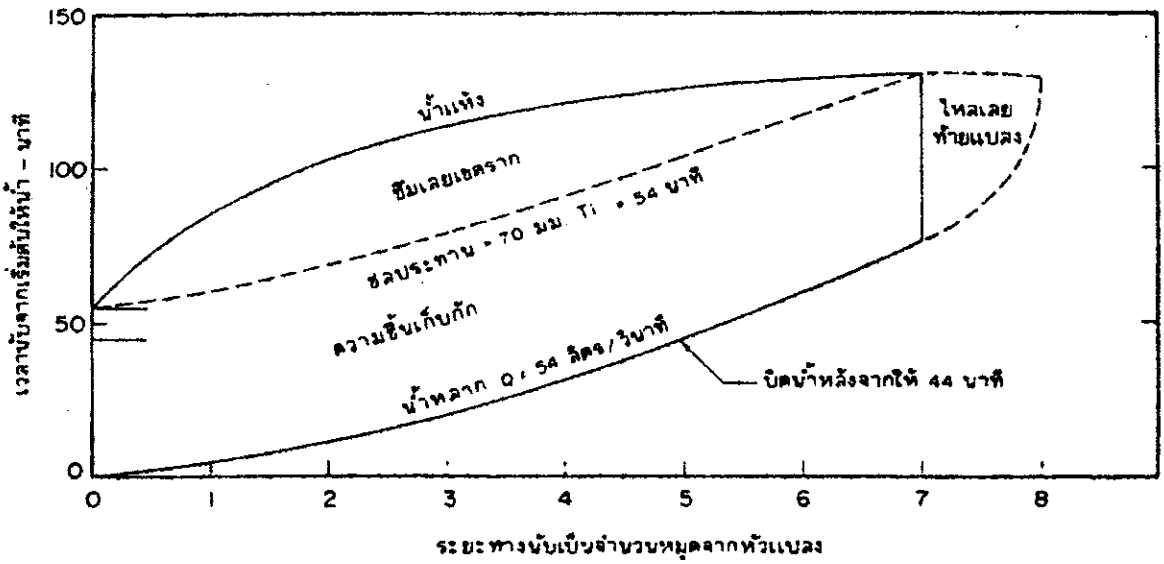
$$T_o = T_i = T_a + T_l$$

2. ทุก ๆ จุดบนกราฟชลประทาน (Irrigation Curve) ควรจะอยู่ต่ำกว่ากราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) และ

3. เมื่อปิดน้ำแล้วยังจะมีน้ำไหลไปจนถึงท้ายแปลงโดยมีปริมาณมากพอที่จะเพิ่มความชื้นของดินให้ได้ตามที่ต้องการตลอดแปลง ซึ่งโดยปกติแล้ว จะปิดน้ำที่ให้เมื่อน้ำที่ปล่อยเข้าแปลงไหลไประยะหนึ่ง ประมาณ 60-100 เปอร์เซนต์ของความยาวแปลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำ ชนิดของดิน และความลาดเทของแปลง (ตามที่ได้เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.4)

(1) การหาขนาดอัตราการให้น้ำที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับปรากฏว่าขนาดของอัตราการให้น้ำที่ใช้อยู่นั้นน้อยเกินไป ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตรากมาก ($\approx$ 30 %) ดังนั้นเพื่อหาขนาดอัตราการให้น้ำที่พอเหมาะว่าควรเป็นเท่าใด อาจหาได้ตามวิธีการดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กราฟน้ำหลาก-น้ำแห้ง จากการคาดหมายในกรณีที่เพิ่มอัตราการให้น้ำ

ในรูปที่ 3.12 นี้ กราฟต่าง ๆ ที่เขียนนั้นเป็นการประมาณหรือคาดว่าจะเกิดขึ้นภายหลังจากการเพิ่มขนาดอัตราการให้น้ำแล้ว ทั้งนี้โดยให้ได้เงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ต้องการ กล่าวคือ

1. สำหรับกรณี SMD = 70 มม. กราฟน้ำแห้งควรเริ่มต้นที่เวลา 54 นาที หลังจากเริ่มให้น้ำและลากเส้นให้โค้งไปตามรูปร่างที่ได้จากการทดลองจริง (รูปที่ 3.10)

2. ที่หมุดที่ 7 จะกำหนดจุดขึ้นสำหรับกราฟน้ำหลากโดยให้อยู่ต่ำกว่ากราฟน้ำแห้ง 54 นาที ทั้งนี้เพื่อให้แน่นอนว่าที่จุดท้ายสุดของแปลงนั้นได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ

3. กราฟน้ำหลากจะเขียนตามรูปร่างคล้ายคลึงกับที่ได้จากการทดลอง (รูปที่ 3.10) แต่จะราบกว่าเนื่องจากขนาดของอัตราการให้น้ำมากกว่า

4. เวลาที่น้ำขังหัวแปลง (T_1) ประมาณว่าเท่ากับ 10 นาที ทั้งนี้โดยการเทียบกับเมื่ออัตราการให้น้ำเท่ากับ 34 ลิตรต่อวินาทีนั้น T_1 เท่ากับ 8 นาที ถ้าเพิ่มอัตราการให้น้ำแล้ว T_1 ควรจะมากกว่า ดังนั้นระยะเวลาที่ต้องส่งน้ำเข้าแปลง (T_a) จะเท่ากับ 54-10 หรือ 44 นาที และจากกราฟน้ำหลากในรูปที่ 3.12 จะเห็นว่าขณะที่ปิดน้ำ น้ำในแปลงจะไหลไปได้ประมาณ 4.93 หมุด หรือประมาณ 148 เมตร ซึ่งคิดเป็น 70 % ของความยาวแปลง ซึ่งอาจน้อยเกินไปสำหรับดินร่วนปนทราย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าการปฏิบัติจริงพบว่าปิดน้ำเร็วเกินไปก็อาจยืดเวลาออกไปได้อีก

จากกราฟน้ำหลากและน้ำแห้งในรูปที่ 3.12 ที่สร้างขึ้นสามารถคำนวณหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลงได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่างๆ เพื่อหา Q ที่เหมาะสม

หมุดที่ (i)	To_i (นาที)	D_i (มม.)
0	54	70
1	80	90
2	91	99
3	94	101
4	88	97
5	80	90
6	68	81
7	54	70
8	20	37

$$\bar{D}_8 = \frac{\frac{70}{2} + 90 + \ldots\ldots + 70 + \frac{37}{2}}{8} \quad \text{มม.}$$

$$= \frac{681.5}{8} = 85.2 \quad \text{มม.}$$

$$QT = AD$$

$$Q = \frac{7 \times 8 \times 30 \times 85.2}{44 \times 60} = 54.2 \quad \text{ลิตร/วินาที}$$

$$\approx 54 \quad \text{ลิตร/วินาที}$$

$q = 54/7 = 7.7$ ลิตร/วินาที/เมตร ดังนั้นถ้าใช้อัตราการให้น้ำเดิม คือ $Q = 34$ ลิตร/วินาที ควรลดความกว้างแปลงลงเหลือ $34/7.7 = 4.4$ เมตร

หา DU

$$D_{5.25} = 90 - (90 - 81) \times 0.25$$

$$= 87.75 \quad \text{มม.}$$

$$\bar{D}_{LQ} = \frac{\frac{87.75 + 81}{2} \times 0.75 + \frac{81 + 70}{2}}{1.75}$$

$$= 79.3 \quad \text{มม.}$$

$$\bar{D}_7 = \frac{\frac{70}{2} + 90 + \ldots\ldots + 81 + \frac{70}{2}}{7}$$

$$= \frac{628}{7} = 89.7 \quad \text{มม.}$$

$$DU = \frac{79.3}{89.7} \times 100 = 88.4 \%$$

หา E_a และ E_s

$$V_T = \frac{54 \times 44 \times 60}{7 \times 7 \times 30} = 97 \quad \text{มม.}$$

$$E_a = \frac{70}{97} \times 100 = 72.2 \%$$

$$E_s = 100 \%$$

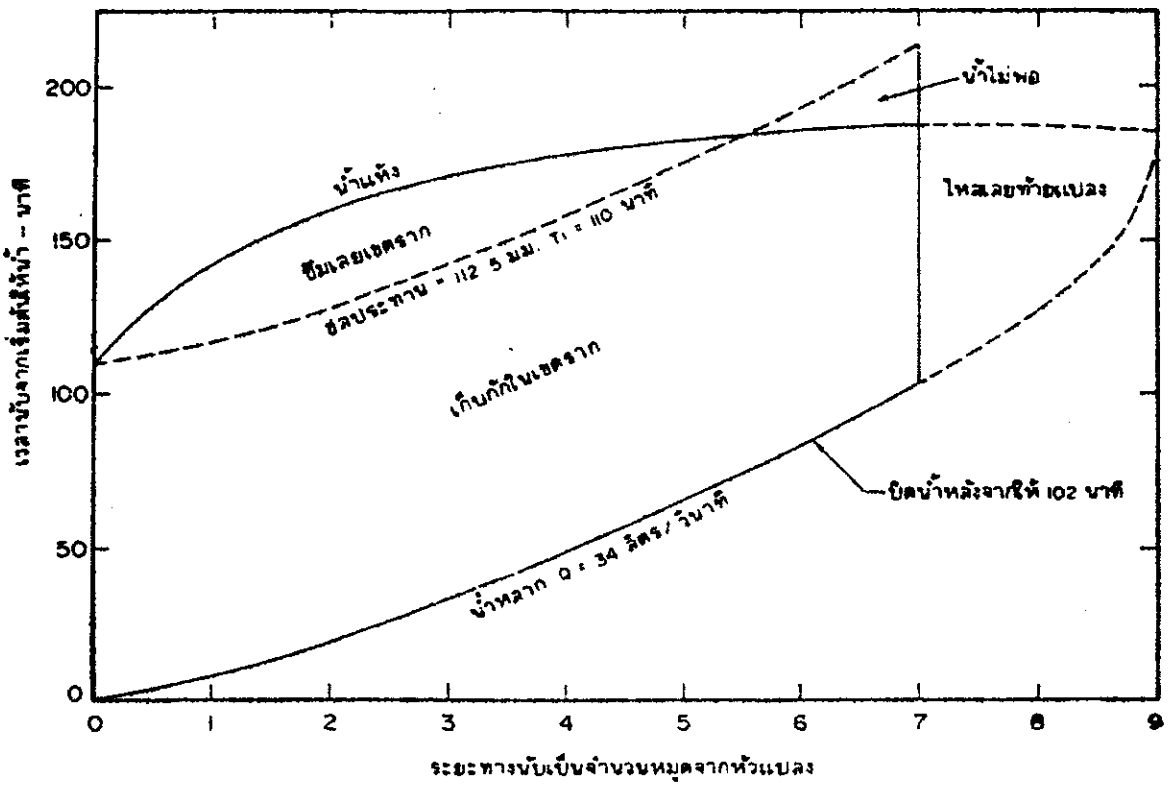
ประสิทธิภาพการให้น้ำเพิ่มขึ้น 14.9 %

(2) การปรับปรุงกำหนดการให้น้ำ

ในการกำหนดการให้น้ำแต่ละครั้ง ความชื้นที่ยอมให้ลดลงเชิงปฏิบัติ (Management Allowable Deficiency, MAD) ควรจะผันแปรไปตามความลึกของเขตรากของพืช ทั้งนี้เพราะความลึกของเขตรากจะเปลี่ยนไปตามระยะการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นความชื้นที่ยอมให้ลดลงเชิงปฏิบัตินี้อาจผันแปรภายในขอบเขตที่ยอมได้ ให้เหมาะสมกับความสะดวกในด้านแรงงาน ความเจริญเติบโตของพืช และประสิทธิภาพของการชลประทาน สำหรับในการทดลองนี้การให้น้ำกระทำเมื่อความชื้นที่ขาดไปเท่ากับ 70 มม. ซึ่งในดินร่วนปนทรายนี้มีความชื้นที่นำไปใช้ได้ (Available Moisture) ประมาณ 1.25 มม. ต่อความลึกของดิน 1 ซม. ดังนั้นในความลึกเขตราก 1.50 ม. ถ้าให้น้ำครั้งละ 70 มม. แล้วความชื้นที่ยอมให้ลดลงเชิงปฏิบัติ (MAD) จะเท่ากับ 37 % เท่านั้นซึ่งต่ำมาก และสำหรับดินและพืชที่ปลูกรวมทั้งสภาพภูมิอากาศในแปลงที่ทดลองนี้สามารถที่จะกำหนดการให้น้ำเมื่อความชื้นที่นำไปใช้ได้ลดลง 60 % ดังนั้นปริมาณความชื้นที่ขาดไป (MAD) เท่ากับ 60 % (1.25 มม./ซม. × 150 ซม.) = 112.5 มม. อาจจะนำมาพิจารณาปฏิบัติได้ในการกำหนดการให้น้ำ

รูปที่ 3.13 แสดงกราฟต่าง ๆ ที่คาดหมายว่าจะเกิดขึ้นจากการเพิ่มปริมาณน้ำที่จะต้องให้เป็น 112.5 มม. ซึ่งจากรูปที่ 3.9 จะได้ค่าเวลาที่ต้องให้น้ำ (T_i) เท่ากับ 110 นาที สำหรับอัตราการให้น้ำคงใช้อัตราเดิมคือ 34 ลิตร/วินาที การเขียนกราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้งนั้นคงใช้รูปร่างของกราฟเหมือนกับที่ได้จากการทดลองโดยไม่ดัดแปลง แต่มีข้อสังเกตุเพิ่มเติมเล็กน้อยในกรณีที่อาจจะผิดกันบ้างระหว่างกราฟที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือ เนื่องจากการให้น้ำในกรณีนี้ความชื้นในดินน้อยกว่าความชื้นในขณะทำการทดลองมาก ดังนั้นอัตราการดูดซึมน้ำของดินในช่วงแรกจะมีมากกว่าและทำให้อัตราน้ำหลากช้ากว่า นั่นคือทำให้กราฟน้ำหลากชันกว่าเล็กน้อย และเนื่องจากต้องเปิดน้ำนานกว่าจึงอาจทำให้ระยะเวลาน้ำขังหัวแปลง (Lag Time) มีมากขึ้นด้วยอย่างไรก็ตาม สิ่งที่จะชดเชยค่าที่อาจผิดกันนี้คือ กราฟน้ำแห้งที่จะเกิดขึ้นแท้จริงแล้วจะชันกว่าเช่นกัน เพราะว่าการเปิดน้ำเข้าแปลงจะต้องทำนานกว่ามาก ทำให้อัตราการดูดซึมน้ำน้อย อันเป็นผลให้มีช่วงเวลาน้ำแห้งนานกว่า อย่างไรก็ตามการใช้กราฟที่ได้จากการทดลองนั้นถึงแม้จะไม่ถูกต้องนัก แต่ก็ให้ค่าพอใช้ได้ สำหรับการศึกษาเพื่อการปรับปรุง

จากรูปที่ 3.13 แสดงให้เห็นว่ามีการให้น้ำพอดีที่หัวแปลง แต่มากเกินไปในช่วงต้นของสองในสามของความยาวแปลง และในส่วนท้ายของแปลงนั้นการให้น้ำไม่พอเพียงกับความต้องการ มีน้ำไหลเลยท้ายแปลงปริมาณมาก เพราะการปิดน้ำกระทำเมื่อน้ำไหลจนถึงท้ายแปลงแล้ว อย่างไรก็ตามในแปลงที่ทดลองนี้เป็นส่วนครึ่งแรกของแปลงซึ่งยาว 420 เมตร ดังนั้นจึงคาดว่าถ้าเปิดน้ำจากท่อที่ระยะ 210 เมตร เมื่อปิดน้ำที่หัวแปลงแล้วจะทำให้ได้รับประสิทธิภาพการให้น้ำสูงขึ้น เนื่องจากน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงในครึ่งแรกจะเป็นประโยชน์ในครึ่งหลัง และน้ำที่เปิดให้ในส่วนของครึ่งหลังของแปลงนี้จะดันน้ำให้เข้าไปทดแทนส่วนท้ายของครึ่งแรกที่น้ำไม่พอนั้นให้พอเพียงได้



รูปที่ 3.13 กราฟน้ำหลาก–น้ำแห้ง จากการคาดหมาย เมื่อเพิ่มความชื้นที่ยอมให้ลดลงในเชิงปฏิบัติ (MAD)

3.9 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 (การออกแบบระบบชลประทานในแปลงเพาะปลูก) ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

2. Vudhivanich, V. (1788), Surface Irrigation System Design, A Handout for A Training Course on Management of Rainfed Agriculture, Continuing Education Center, AIT.

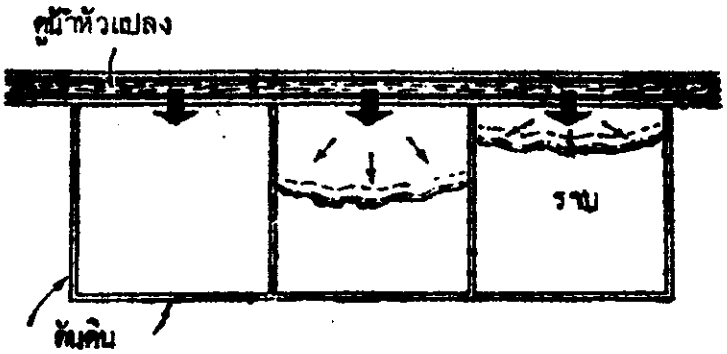
บทที่ 4

การออกแบบระบบชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง

(Basin Irrigation System Design)

4.1 คำนำ

การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันมากที่สุดของการให้น้ำทางผิวดิน หลักการให้น้ำแบบนี้คือ แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลง ๆ ระดับดินในแต่ละแปลงราบหรือเกือบราบ เมื่อให้น้ำแก่แปลง Basin น้ำจะกระจายท่วมผิวดิน แล้วค่อย ๆ ซึมลงไปในดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 บางครั้งอาจให้น้ำท่วมผิวดินอยู่ตลอดเวลาเช่น ในนาข้าว เป็นต้น



รูปที่ 4.1 การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง

การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่างสามารถนำไปใช้กับพืช ดิน และวิธีการทำฟาร์มเกือบทุกชนิด อย่างไรก็ตาม การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่างจะให้ผลดีที่สุดเมื่อมีการออกแบบแปลง อัตราการให้น้ำ และมีวิธีการจัดการที่เหมาะสม

4.2 ขนาดแปลง Basin

ขนาดแปลง Basin อาจมีขนาดเล็กเพียง 1-2 ตร.เมตร หรืออาจใหญ่ถึง 20-25 ไร่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ คือ ชนิดดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้ ขนาดพื้นที่ ความลาดเทของพื้นที่ และวิธีการปฏิบัติงานฟาร์ม

4.2.1 ผลของชนิดดิน อัตราการให้น้ำ และความลึกของน้ำชลประทานต่อขนาดแปลง Basin

องค์ประกอบทั้ง 3 ตัวนี้ ถือเป็นองค์ประกอบหลักและมีความสำคัญที่สุดต่อการเลือกขนาดแปลง Basin ซึ่งแนวทางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแปลงและองค์ประกอบทั้ง 3 ตัว ดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2

ในดินทรายซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินสูง ต้องการเบซิ่นขนาดเล็ก เพื่อให้น้ำสามารถแผ่กระจายคลุมพื้นที่แปลงอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามแปลงเบซิ่นในดินเหนียวจะมีขนาดโตกว่า

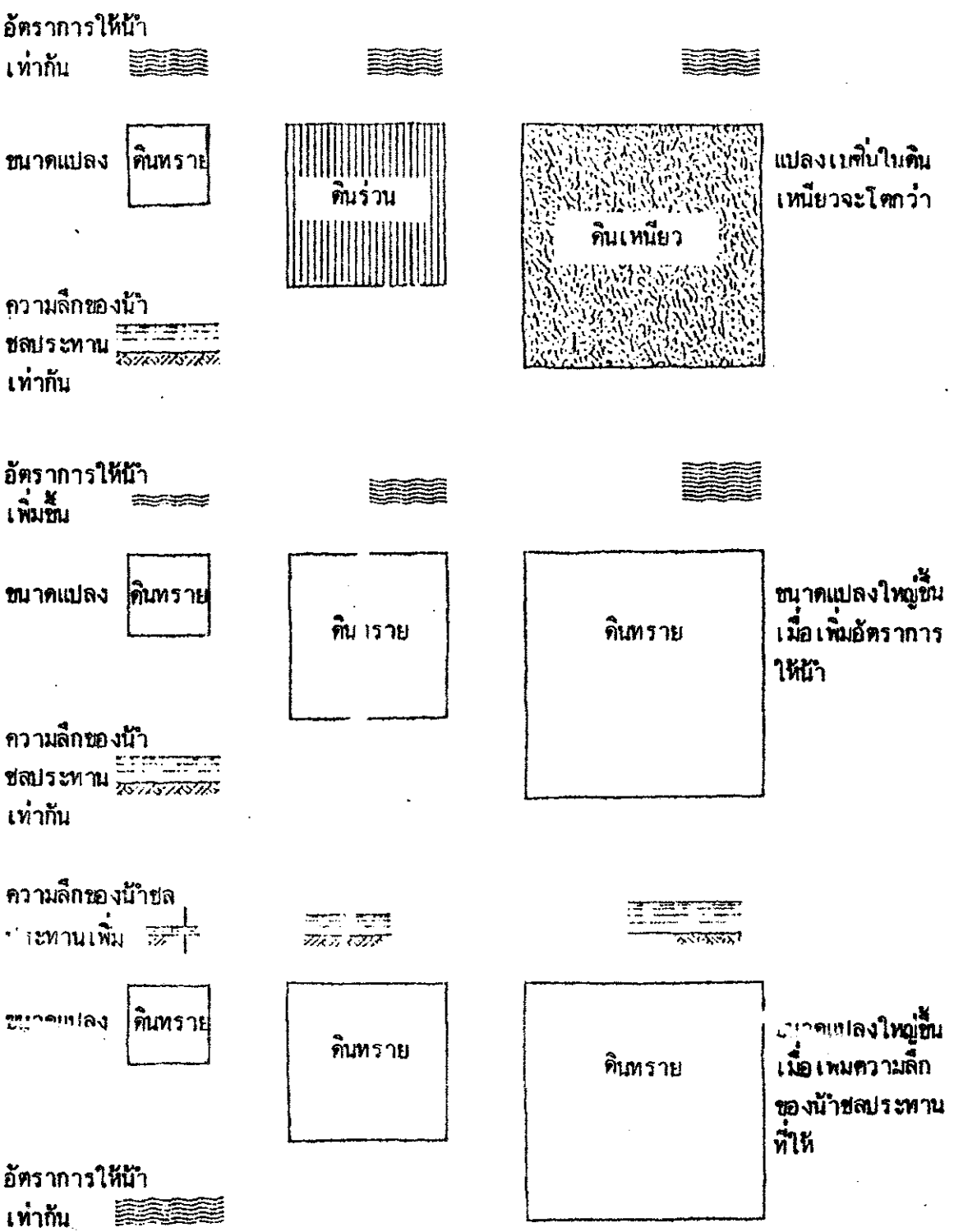
ในดินชนิดเดียวกันเช่น ในดินทราย ขนาดแปลงจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำ ถ้าอัตราการให้น้ำมากสามารถออกแบบแปลงเบซิ่นให้มีขนาดโตกว่าได้ ทั้งนี้เพราะที่อัตราการให้น้ำมาก น้ำสามารถแผ่กระจายคลุมแปลงเบซิ่นได้ในเวลาที่รวดเร็วกว่า

เมื่อองค์ประกอบอื่น ๆ เหมือนกัน ขนาดแปลงเบซิ่นจะขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง ขนาดแปลงเบซิ่นจะใหญ่ขึ้นเมื่อเพิ่มความลึกของน้ำชลประทานที่ให้

ในทำนองเดียวกับการชลประทานแบบร่องคูและแบบท่วมเป็นผืนยาวที่กล่าวมาแล้ว ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการง่าย ๆ ในการคำนวณหาขนาดแปลงเบซิ่นที่เหมาะสม การออกแบบจึงต้องอาศัยประสบการณ์การให้น้ำชลประทานในบริเวณใกล้เคียงมาเป็นแนวทางในการออกแบบแปลงเบซิ่นเบื้องต้น แล้วจึงทำการทดลองประเมินผลเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นอย่างให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 คือคำแนะนำในการหาขนาดแปลงเบซิ่น ซึ่งได้จากประสบการณ์การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

จากตารางที่ 4.1 ถ้ากำหนดให้อัตราการให้น้ำเท่ากับ 30 ลิตร/วินาที แปลงเบซิ่นที่แนะนำสำหรับดินทรายคือ 0.125 ไร่ แต่ถ้าเป็นดินเหนียวควรใช้แปลงโตขึ้นอีก 10 เท่า หรือ 1.25 ไร่



รูปที่ 4.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดแปลงเพาะ

ตารางที่ 4.1 ขนาดของแปลงเบชิ่นที่แนะนำ (ไร่)

อัตราการให้น้ำ	ชนิดของดิน			
	ทรายจัด	ดินร่วนปนทราย	ดินร่วนปนดินเหนียว	ดินเหนียว
30	.125	.375	.75	1.25
60	.250	.750	1.50	2.50
90	.375	1.125	2.25	3.75
120	.500	1.500	3.00	5.00
150	.625	1.875	3.75	6.25
180	.750	2.250	4.50	7.50
210	.875	2.625	5.25	8.75
240	1.000	3.000	6.00	10.00
270	1.125	3.375	6.75	11.25
300	1.250	3.750	7.50	12.50

4.2.2 ผลของขนาดพื้นที่ต่อขนาดแปลงเบชิ่น

ขนาดพื้นที่เป็นขีดจำกัดในการเลือกขนาดแปลงเบชิ่น ในพื้นที่ขนาดเล็กปกติจะต้องใช้เบชิ่นขนาดเล็กตามไปด้วย และขนาดแปลงเบชิ่นอาจโตเท่ากับขนาดของพื้นที่ก็ได้ ส่วนในพื้นที่ขนาดใหญ่ ปกติจะออกแบบแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงเบชิ่นหลาย ๆ แปลง โดยให้แต่ละแปลงมีขนาดเท่ากันเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการน้ำ

4.2.3 ผลของความลาดเทต่อขนาดแปลงเบชิ่น

เนื่องจากผิวดินในแปลงเบชิ่นต้องราบ ขนาดแปลงเบชิ่นจึงขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ แต่ถ้าพื้นที่ราบขนาดแปลงเบชิ่นจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำและชนิดดินในแปลง

แต่ถ้าพื้นที่มีความลาดเทหรือเป็นคลื่น อาจต้องปรับพื้นที่เป็นขั้นบันไดเพื่อให้ผิวดินในแปลงเบชิ่นราบ ในการปรับพื้นที่เป็นขั้นบันได ปกติจะกำหนดให้ความสูงของขั้นบันไดไม่เกิน 150 มม. สำหรับกรณีที่เป็นชั้นบนหนา เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการกัดเซาะ แต่ถ้าดิน

ชั้นบนต้นชั้นบันไดไม่ควรสูงกว่า 60 มม. เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียหน้าดินซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ กรณีนี้ขนาดแปลงเบชั่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของชั้นบันได แต่ขนาดชั้นบันไดขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ ดังนั้นเมื่อทราบความลาดเทของพื้นที่จะสามารถหาขนาดความกว้างของชั้นบันไดได้จากสมการ

$$W = \frac{K}{S} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.1)$$

เมื่อ W = ความกว้างของชั้นบันได เป็นเมตร

S = ความลาดเทเป็น %

K = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของดินชั้นบน

กรณีที่ดินชั้นบนหนา $K = 15$

กรณีที่ดินชั้นบนตื้น $K = 6$

4.2.4 การปฏิบัติงานฟาร์ม (Farming Practice)

ในฟาร์มขนาดเล็กซึ่งใช้แรงงานคนและสัตว์ในการทำงาน ปกติจะใช้เบชั่นขนาดเล็ก

ในฟาร์มขนาดใหญ่ซึ่งใช้เครื่องจักรเครื่องมือในการทำงาน ขนาดเบชั่นจะขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานฟาร์ม ในทำนองเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในเรื่องการให้น้ำแบบห่วมเป็นผืนยาว นั่นคือความกว้างของเบชั่นควรจะเป็นจำนวนเท่าของความกว้างของเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้

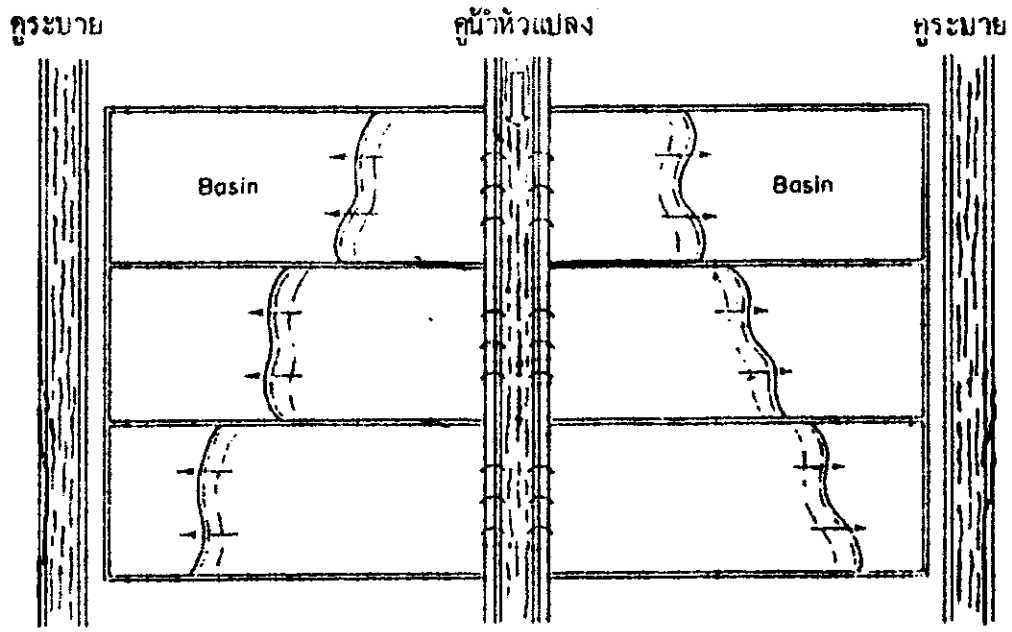
นอกจากนี้ขนาดเบชั่นยังอาจขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกเช่น การใช้เบชั่นขนาดเล็กกับไม้ยืนต้นหรือผัก เป็นต้น

4.3 รูปร่างแปลงเบชั่น

ความลาดเทคือองค์ประกอบสำคัญในการกำหนดรูปร่างแปลงเบชั่น ถ้าพื้นที่ราบหรือมีความลาดเทสม่ำเสมอจะใช้เบชั่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อให้สามารถวางแนวคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และถนนได้ง่าย และเพื่อให้สามารถใช้เครื่องจักรกลการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ถ้าพื้นที่เป็นคลื่นเป็นเนินอาจใช้เบซิ่นซึ่งมีรูปร่างคดเคี้ยวไปตามแนวเส้นชอบเนิน (Contour Basin) ถ้าไม่ต้องการเสียค่าใช้จ่ายในการปรับพื้นที่หรือทำเบซิ่นขั้นบันไดซึ่งแพงมาก

เบซิ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยทั่ว ๆ ไปจะมีรูปร่างแคบแต่ยาว โดยมีด้านยาวตั้งฉากกับแนวคูส่งและคูระบาย ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เบซิ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังกล่าวจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการทำคูส่ง คูระบาย และถนน และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาระบบการกระจายน้ำในแปลงอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าสามารถออกแบบให้สามารถให้น้ำได้ทั้ง 2 ด้านของคูน้ำ



รูปที่ 4.3 ลักษณะการจัดแปลงเบซิ่นที่เหมาะสม

4.4 พืชที่ปลูก

เบซิ่นเหมาะสำหรับใช้ให้น้ำกับพืชมากมายหลายชนิด ทั้งข้าวที่ชอบให้น้ำท่วมขัง หญ้า และพืชที่ปลูกเป็นแถวเป็นแนวเช่น ฝ้าย ข้าวโพด ถั่วลิสง และไม้ผล

ในสวนผลไม้จะสามารถดัดแปลงเบซิ่นให้เป็นไปตามความต้องการของต้นไม้ที่กำลังเจริญเติบโตได้เช่น ใช้เบซิ่นขนาดเล็กรอบโคนต้นไม้ขณะที่พืชยังเล็ก ครั้นเมื่อพืชโตขึ้นจึงขยายขนาดของเบซิ่นให้ใหญ่ขึ้น

พืชซึ่งไม่ชอบให้น้ำท่วมขังไม่เหมาะที่จะปลูกในเบซิ่นราบ (Level Basin) กรณีนี้อาจแก้ไขได้โดยยกร่องปลูกพืชในเบซิ่นเพื่อไม่ให้น้ำท่วมขังต้นพืช วิธีนี้เรียกว่าเบซิ่นแบบร่องดู (Furrow Basin) วิธีนี้ปกติจะนำไปใช้กับการปลูกผัก อย่างไรก็ตาม วิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กรณีที่ดินมีอัตราการซึมน้ำต่ำ ซึ่งน้ำมักขังอยู่ในแปลงนานกว่า 24 ชั่วโมง

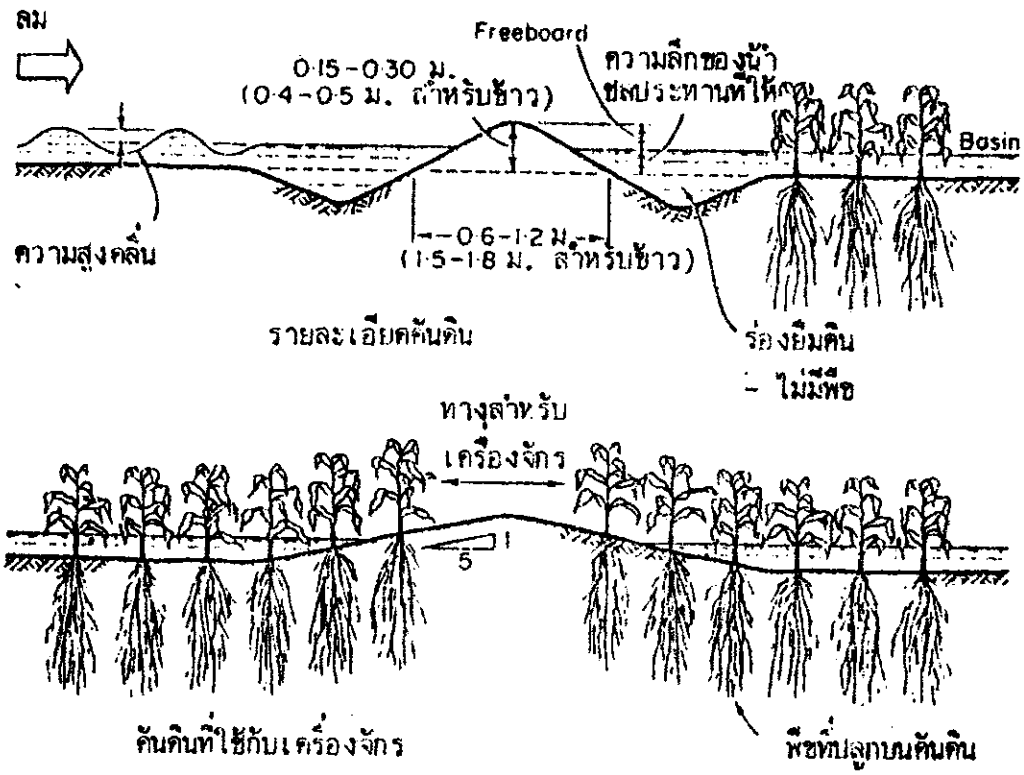
4.5 คันดิน (Earth Bunds)

รอบ ๆ แปลงเบซิ่นจะมีคันดินขนาดเล็กเพื่อเก็บน้ำไว้ในเบซิ่น ขนาดและรูปร่างของคันดินขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำชลประทานที่ให้ ฟรีบอร์ดที่ต้องการ ขนาดคลื่น และเครื่องจักรกลที่ใช้

ปกติคันดินจะสูง 150-300 มม. เหนือผิวดิน แต่ถ้ามีคลื่นขนาดใหญ่ คันดินจะต้องสูงขึ้นเพื่อให้มีฟรีบอร์ดมากขึ้น ดังรูปที่ 4.4

ฐานคันดินจะมีความกว้างอยู่ระหว่าง 0.6-1.2 เมตร เพื่อป้องกันน้ำรั่วซึมผ่านคันดิน แปลงนาปกติจะสร้างอย่างถาวรโดยทำให้ใหญ่กว่าคันดินสำหรับพืชอื่น ๆ มีความกว้างที่ฐานระหว่าง 1.5-1.8 เมตร และสูง 400-500 มม. ทั้งนี้เพราะมีการให้คันนาเป็นทางเดินไปในตัวด้วย

คันดินในแปลงที่มีการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร จะต้องสร้างให้เครื่องจักรสามารถขับผ่านคันดินได้สะดวกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 คันดินแปลงเบชิ่น

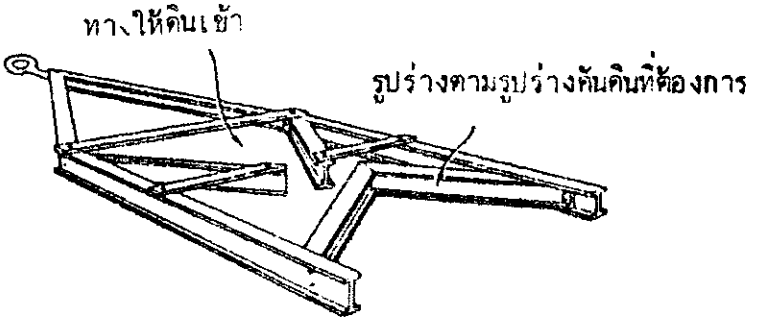
การสร้างคันดินและแปลงเบชิ่นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วางแนว (Setting Out) โดยใช้ธงหรือปูนขาวโดรทำแนว

2. หาดินมาปั้นทำคันดิน (Collecting Soil) ซึ่งอาจทำด้วยแรงคนหรือใช้รถแทรกเตอร์ลากผานไถก็ได้ ปกติจะเอาดินจากบริเวณใกล้เคียงแนวคันดิน กรณีนี้จะก่อให้เกิดร่อง (Borrow Furrow) ขึ้น พืชที่ปลูกในบริเวณร่องจะไม่ค่อยโต เนื่องจากดินในร่องเปียกเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 4.4

3. การปั้นรูปคันดิน (Shaping) หลังจากที่ได้ดินพอที่จะทำคันดินแล้ว จะทำการปั้นรูปคันดิน โดยใช้รถแทรกเตอร์ลาก A-Frame ดังรูปที่ 4.5 แล้วจึงบดอัดด้วยลูกกลิ้ง ปกติจะปั้นรูปคันดินให้สูงกว่าที่ต้องการเล็กน้อย เพื่อเผื่อไว้สำหรับการทรุดตัวเมื่อดินเปียกน้ำ

4. การปรับแต่งผิวดินในแปลงให้ราบเรียบ (Smoothing) ซึ่งอาจทำโดยแรงคนสำหรับแปลงเบชิ่นขนาดเล็ก หรือใช้ Land Plane สำหรับแปลงเบชิ่นขนาดใหญ่



รูปที่ 4.5 A-Frame สำหรับขึ้นรูปคันดิน

4.6 การให้น้ำแก่แปลงเบชิน

การให้น้ำกับแปลงเบชิ่นอาจทำได้โดยใช้ท่อไซฟอนหรือท่อสไปล์ (Spiles) ขนาดเล็ก หรือทำการฝังท่อขนาดใหญ่ผ่านคันดิน โดยจะต้องให้น้ำด้วยอัตราที่สูงพอที่น้ำจะไหลท่วมแปลงเบชิ่นได้ในเวลาอันรวดเร็ว ปกติกำหนดว่าควรใช้กฎ $\frac{T_i}{4}$ เช่นเดียวกับการให้น้ำแบบร่องดู หลังจากที่ให้น้ำเสร็จแล้วน้ำจะท่วมขังอยู่ในแปลง และซึม ๆ ซึมลงไปในดิน ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอย่างนี้จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตราก ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลง แต่ถ้าให้น้ำด้วยอัตราที่เหมาะสมการสูญเสียดังกล่าวจะน้อย

เมื่อพิจารณาจากสภาพแปลงแล้ว การให้น้ำแก่แปลงเบชิ่นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ 1. การให้กับแปลงเบชิ่นโดยตรง (Direct Supply) และ 2. การให้แบบขั้นบันได (Cascade Supply)

1. การให้กับแปลงเบชิ่นโดยตรง

กรณีที่แปลงเบชิ่นทุกแปลงอยู่ติดกับคูน้ำ จะสามารถให้น้ำกับแปลงได้โดยตรง ดังรูปที่ 4.1 วิธีการให้น้ำกับแปลงเบชิ่นโดยตรงถือเป็นวิธีที่ดีที่สุด

2. การให้น้ำแบบขั้นบันได

ในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดเท อาจมีการสร้างเบซิ่นเป็นขั้นบันได ซึ่งทำให้บางเบซิ่นไม่ได้อยู่ติดกับคูน้ำ และไม่สามารถรับน้ำจากคูน้ำได้โดยตรง การให้น้ำแบบขั้นบันไดทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 ให้น้ำกับเบซิ่น 1 ซึ่งอยู่ติดกับคูน้ำ เมื่อเสร็จแล้วจึงปล่อยน้ำจากเบซิ่น 1 เข้าเบซิ่น 2 จากเบซิ่น 2 เข้าเบซิ่น 3 จนกว่าจะหมดทุกเบซิ่น ดังรูปที่ 4.6 (1) การให้น้ำแบบขั้นบันไดวิธีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพดีก็ต่อเมื่อการให้น้ำเป็นไปตามกฎ $\frac{T_i}{4}$ การให้น้ำแบบนี้ใช้ได้กับดินเหนียวซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินต่ำ ไม่เหมาะกับดินทรายเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากการไหลเลยเขตรากมาก

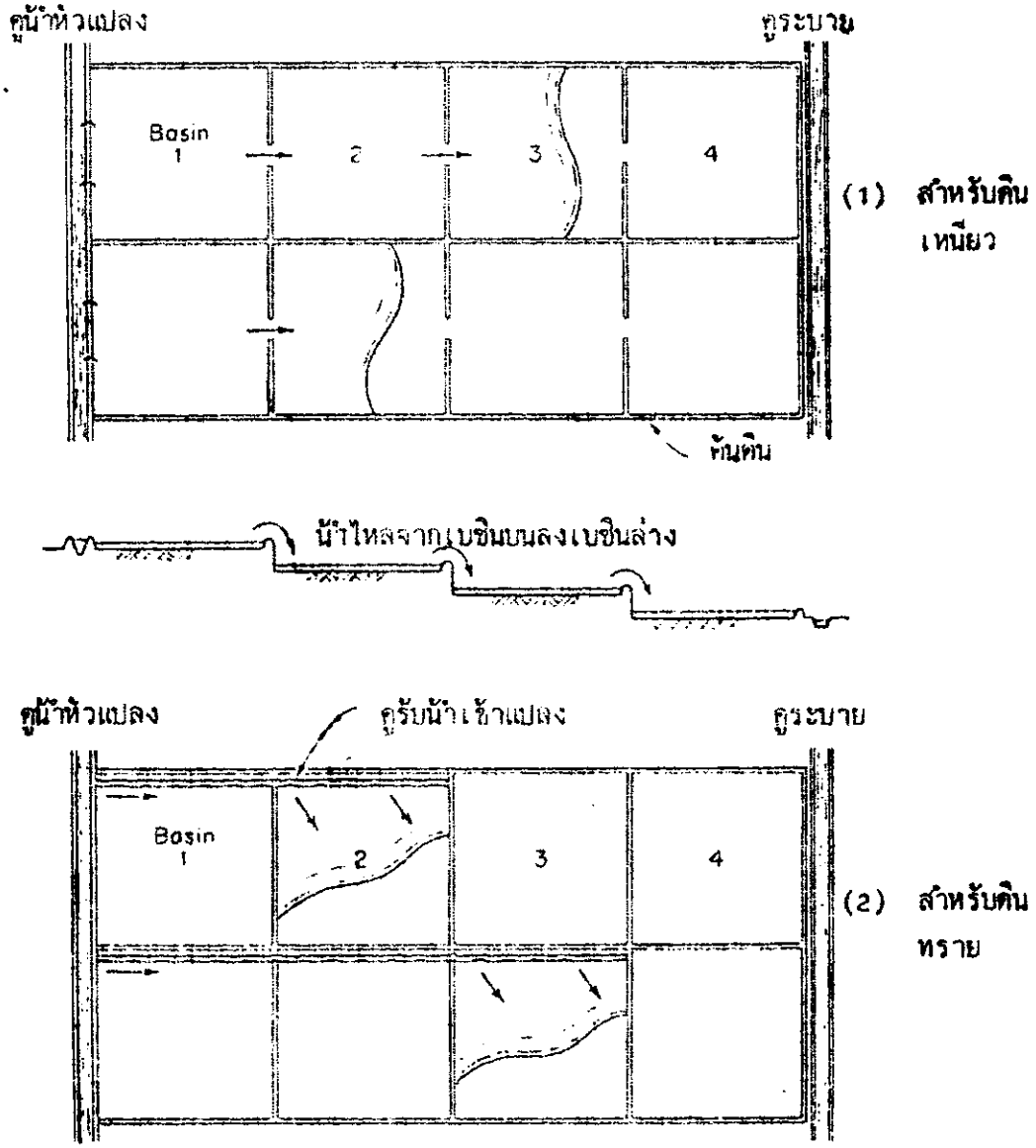
วิธีที่ 2 สามารถนำไปใช้กับดินทรายซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินสูงได้ โดยวิธีนี้จะทำร่องน้ำขนาดเล็กตามแนวคันดินเพื่อส่งน้ำให้กับเบซิ่นที่ 4 ก่อน ดังรูปที่ 4.6(2) เมื่อให้น้ำกับแปลงเบซิ่นที่ 4 เสร็จ จึงปิดคันดินระหว่างเบซิ่น 3 กับ 4 เพื่อให้น้ำกับเบซิ่น 3 ทำในทำนองเดียวกันจนหมดทุกแปลง

ในการให้น้ำแบบขั้นบันไดกับแปลงเบซิ่น จะต้องระวังปัญหาน้ำกัดเซาะดินในแปลง ถ้าให้น้ำด้วยอัตรามากเกินไป

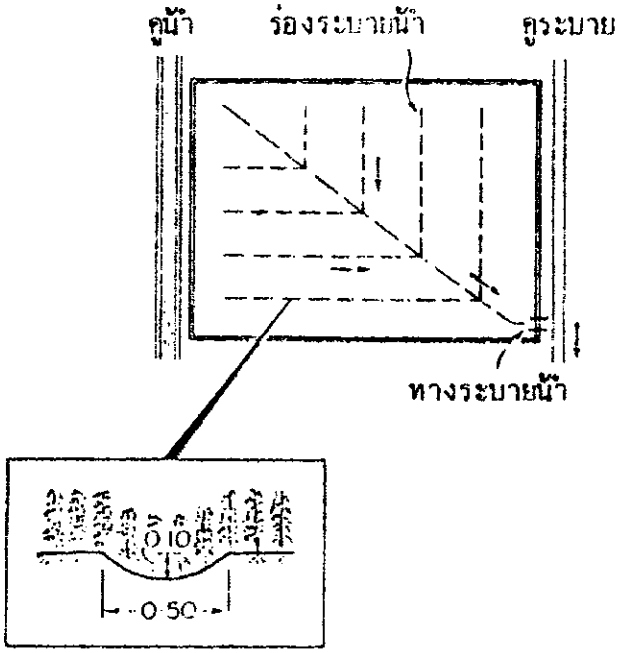
4.7 การระบายน้ำออกจากแปลงเบซิ่น

เนื่องจากผิวดินในแปลงเบซิ่นราบหรือเกือบราบ จึงต้องการทางระบายน้ำเพื่อช่วยในการระบายน้ำออกจากเบซิ่น กรณีที่มีฝนตกหนัก หรือให้น้ำชลประทานมากเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำท่วมต้นพืชนานเกินไปจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือทำให้พืชตาย

ในแปลงเบซิ่นขนาดใหญ่อาจมีการขุดร่องระบายน้ำตื้น ๆ มีลักษณะเป็นห้างปลา เพื่อช่วยในการระบายน้ำ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.6 การให้น้ำแบบขั้นบันไดกับเบซิน



รูปที่ 4.7 ร่องระบายน้ำในแปลงเบชิน

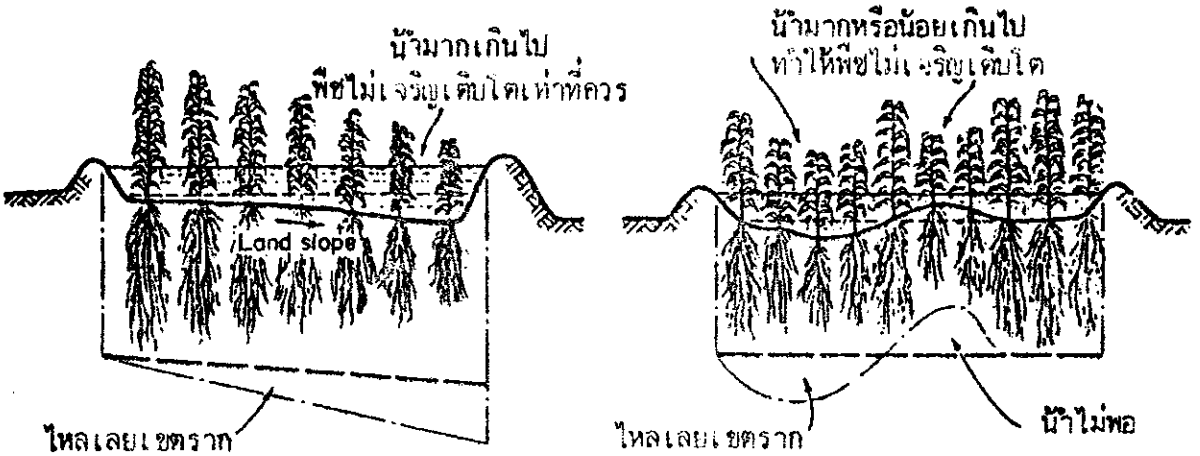
4.8 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

ในทำนองเดียวกับการให้น้ำแบบร่องคูในบทที่ 2 และการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวในบทที่ 3 การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างมีข้อผิดพลาดที่พบเห็นบ่อย ๆ คือ

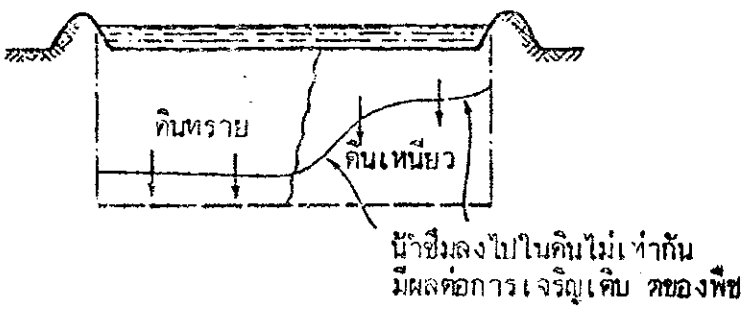
1. การเตรียมแปลงไม่ดี ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการให้น้ำและต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังรูปที่ 4.8 (1)

2. แปลงเบชินมีดินมากกว่า 1 ชนิด อัตราการซึมของน้ำลงไปในดินที่ต่างกันจะมีผลต่อความสม่ำเสมอและความเพียงพอในการให้น้ำ ดังรูปที่ 4.8 (2)

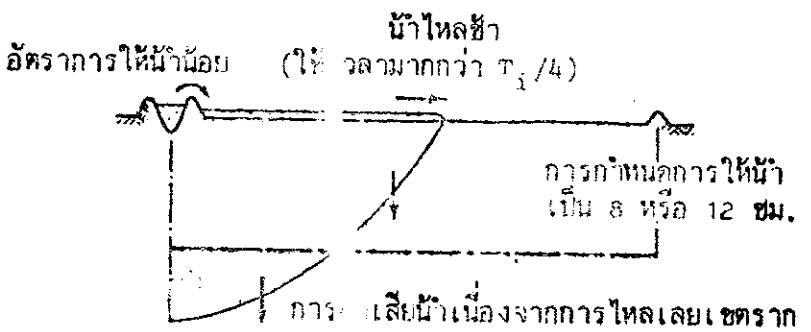
3. กำหนดเวลาการให้น้ำคงที่ เช่น 12 ชั่วโมง เพื่อให้เข้ากับโปรแกรมการทำงานอื่น ๆ ในฟาร์ม ไม่ทำตามกฎ $\frac{T_i}{4}$ ทำให้อาจต้องให้น้ำด้วยอัตราน้อยเกินไป น้ำไหลช้า เกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตรากมากเกินไป ดังรูปที่ 4.8 (3)



(1) การเตรียมแปลงไม่ดี



(2) มีดินหลายชนิดในแปลงเดียวกัน



(3) อัตราการให้น้ำมากเกินไป

รูปที่ 4.8 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

4.9 ประสิทธิภาพการให้น้ำแบบห่วมเป็นอ่าง

การให้น้ำแบบห่วมเป็นอ่างอาจมีประสิทธิภาพสูงถึง 90 % แต่ข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่กล่าวถึงจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้มาก ผลของข้อผิดพลาดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบห่วมเป็นอ่างมีดังนี้

ข้อผิดพลาด	% ที่ลดลงจาก 90
1. เตรียมแปลงไม่ดี	10 - 20
2. มีดินมากกว่า 1 ชนิดในแปลงเบชิ่น	5 - 10
3. กำหนดเวลาการให้น้ำคงที่	10 - 20

4.10 การประเมินผลการให้น้ำแบบห่วมเป็นอ่าง

การประเมินผลการให้น้ำแบบนี้จะเป็นการสังเกตและบันทึกการแผ่กระจายน้ำ วัดอัตราการให้น้ำและอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ตลอดจนสังเกตและบันทึกเวลาที่น้ำแห้งหลังจากเสร็จสิ้นการให้น้ำแล้ว ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้และวิธีการดังต่อไปนี้

4.10.1 อุปกรณ์ที่ต้องการ

อุปกรณ์ที่ต้องการมีดังต่อไปนี้คือ

1. สว่านสำหรับเก็บตัวอย่างดิน พร้อมกระป๋องเก็บตัวอย่าง

2. อุปกรณ์วัดน้ำ เช่น รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut-Throat Flume) ฝายวัดน้ำ ฯลฯ ควรจะมีตารางสำหรับบอกอัตราการไหลผ่านสำหรับเฮด (Head) ขนาดต่าง ๆ กันด้วย

3. นาฬิกา

4. เทปวัดระยะสำหรับวัดขนาดของแปลง และจะใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของหมุดไม้ในแปลง

5. หมุดไม้ หรือห่วงตะแนนที่จะตอกให้เป็นรูปตะแกรงสี่เหลี่ยมเพื่อให้สะดวกในการสังเกตการแผ่กระจายน้ำและเวลาที่น้ำแห้งเมื่อหยุดการให้น้ำ

6. กระดาษสำหรับเขียนแผนผังแปลงทดลองการให้น้ำ และสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ

4.10.2 การทดสอบเพื่อประเมินผล

การทดสอบเพื่อประเมินผลนี้เป็นการทดสอบว่าขนาดของแปลงและอัตราการให้น้ำที่ใช้อยู่นั้นมีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร เพื่อหาแนวทางปรับปรุงให้การให้น้ำนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยดำเนินการดังต่อไปนี้คือ

1. เลือกแปลงที่จะทำการทดสอบ 1 หรือ 2 แปลงที่มีลักษณะเป็นตัวแทนของแปลงและการให้น้ำทั้งหมดในเขตนั้น ทำการวัดระยะเพื่อหาขนาด ตอกหมุดเป็นรูปตะแกรงขนาด 2×2 ถึง 10×10 ม.^{2} พร้อมทั้งเขียนแผนผังที่ถูกมาตราส่วน 2 แผ่น ในแผนผังแสดงตำแหน่งของหมุดไม้ไว้อย่างถูกต้อง

2. ตรวจสอบความชื้นของดินหลาย ๆ จุด สังเกตความแตกต่างของคุณสมบัติของดิน และการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูกที่จุดต่าง ๆ ภายในแปลง เปรียบเทียบความชื้นของดินที่วัดได้กับความชื้นต่ำสุดที่ยอมให้ว่าดินนั้นแห้งพอที่ควรจะให้น้ำแล้วหรือยัง

3. ติดตั้งอุปกรณ์วัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินในแปลง เตรียมน้ำและอุปกรณ์ให้พร้อมที่จะทำการวัดได้ทันทีเมื่อน้ำที่เปิดเข้าแปลงแผ่กระจายมาถึงถังวัด

4. เปิดให้น้ำด้วยอัตรา เวลา และวิธีการที่เกษตรกรใช้ บันทึกเวลาที่เปิดและปิด วัดอัตราการให้ สังเกตและบันทึกการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้ตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการให้น้ำ

5. สังเกตและบันทึกการแผ่กระจายของน้ำจากจุดที่น้ำไหลเข้าไปถึงหมุดไม้ต่าง ๆ ในแปลงจนกระทั่งน้ำท่วมทั่วทั้งแปลง เสกตช์ชี้แนวการแผ่กระจายของน้ำที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ [illegible] 3 ถึง 8 แนว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแปลง

6. เมื่อน้ำแผ่มาถึงถังวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินก็ให้ดำเนินการวัดโดยการเติมน้ำลงในถังแล้ววัดอัตราที่น้ำซึมหายเข้าไปในดิน

7. สังเกตและเสกตช์ตำแหน่งที่น้ำที่จุดต่าง ๆ แห้งที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากหยุดให้น้ำ การบันทึกควรจะทำหลายครั้งเช่นเดียวกันกับเมื่อสังเกตการแผ่กระจายน้ำเมื่อเริ่มต้นให้น้ำ ให้สังเกตบริเวณที่เป็นที่สูงหรือเนินและบริเวณที่เป็นท้องกระทะ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ปรับปรุงระดับในภายหลัง

8. สังเกตและบันทึกตำแหน่งที่อัตราการดูดซึมของดินในบางบริเวณสูงผิดปกติ ซึ่งอาจจะสังเกตเห็นได้โดยมีการไหลของน้ำไปหาจุดดังกล่าว ลักษณะดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่อัตราการซึมแตกต่างกันมากเท่านั้น

9. หลังจากให้น้ำแล้ว 2-3 วัน ใช้สว่านเจาะดินตรวจสอบดูว่าความชื้นในดินเพิ่มขึ้นตามต้องการหรือเปล่า ในกรณีที่เป็นดินเนื้อหยาบเช่น ดินทราย การทดสอบนี้อาจทำได้ทันทีหลังจากน้ำบนผิวดินแห้ง ในกรณีนี้จะทราบถึงความลึกที่น้ำซึมลงไปถึง และความสม่ำเสมอในการให้น้ำ แต่น้ำจากดินส่วนบนจะยังคงซึมต่อไปอีก

4.10.3 การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์ในการประเมินผลก็เพื่อที่จะหาว่าวิธีการให้น้ำตามอัตราการให้น้ำขนาดแปลงและคุณสมบัติของดินตามที่ใช้อยู่นั้นมีประสิทธิภาพดีพอหรือยัง เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นอีก สำหรับค่าต่าง ๆ ที่ทำการวัดไว้ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาได้แก่

1. ขนาดแปลง อัตรา และระยะเวลาในการให้น้ำกับแปลง เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้กับแปลง

2. โค้งการซึมของน้ำลงไปในดินสะสม

3. เวลาที่น้ำหลากไปถึงหมุดต่าง ๆ และเวลาที่น้ำที่หมุดต่าง ๆ แห้ง เพื่อนำไปหาเวลาที่น้ำขังอยู่ที่หมุดต่าง ๆ ตลอดจนความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่าง ๆ

4. ความชื้นในดินที่ขาดหายไป

หลังจากนั้นถึงนำไปวิเคราะห์หา

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ สำหรับการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง ควรใช้ Christiansen Uniformity Coefficient (CU) ดังสมการที่ 1.1

2. ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (Ea)

3. ความเพียงพอในการให้น้ำ

4.10.4 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

ในการทดลองประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง ซึ่งมีขนาด 40 × 50 เมตร ในดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt loam) มีรายละเอียดดังนี้.-

1. ให้น้ำด้วยอัตรา 44 ลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 10 นาที

2. การสำรวจความชื้นในดินพบว่าดินต้องการน้ำ (SMD) ประมาณ 84 มม.

3. ผังแสดงการไหลหลากของน้ำ (Advance) และขอบเขตของพื้นที่ที่น้ำแห้ง (Recession) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4.9

4. ตำแหน่งของหมุดไม้ภายในแปลง เวลาที่เริ่มมีน้ำขัง และเวลาที่น้ำที่หมุดเหล่านี้แห้ง แสดงไว้ในรูปที่ 4.10

5. กราฟแสดงความลึกสะสมของน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน แสดงไว้ในรูปที่ 4.11

จงประเมินผลการให้น้ำครั้งนี้

1. <u>การวิเคราะห์</u>

ให้น้ำแก่แปลงด้วยอัตรา 44 ลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 10 นาที แปลงมีขนาด 40 × 50 เมตร ดังนั้นความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่แปลงคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 1.7

$$V_T = \frac{Q.t}{A}$$

$$= \frac{44 \times 70 \times 60}{40 \times 50}$$

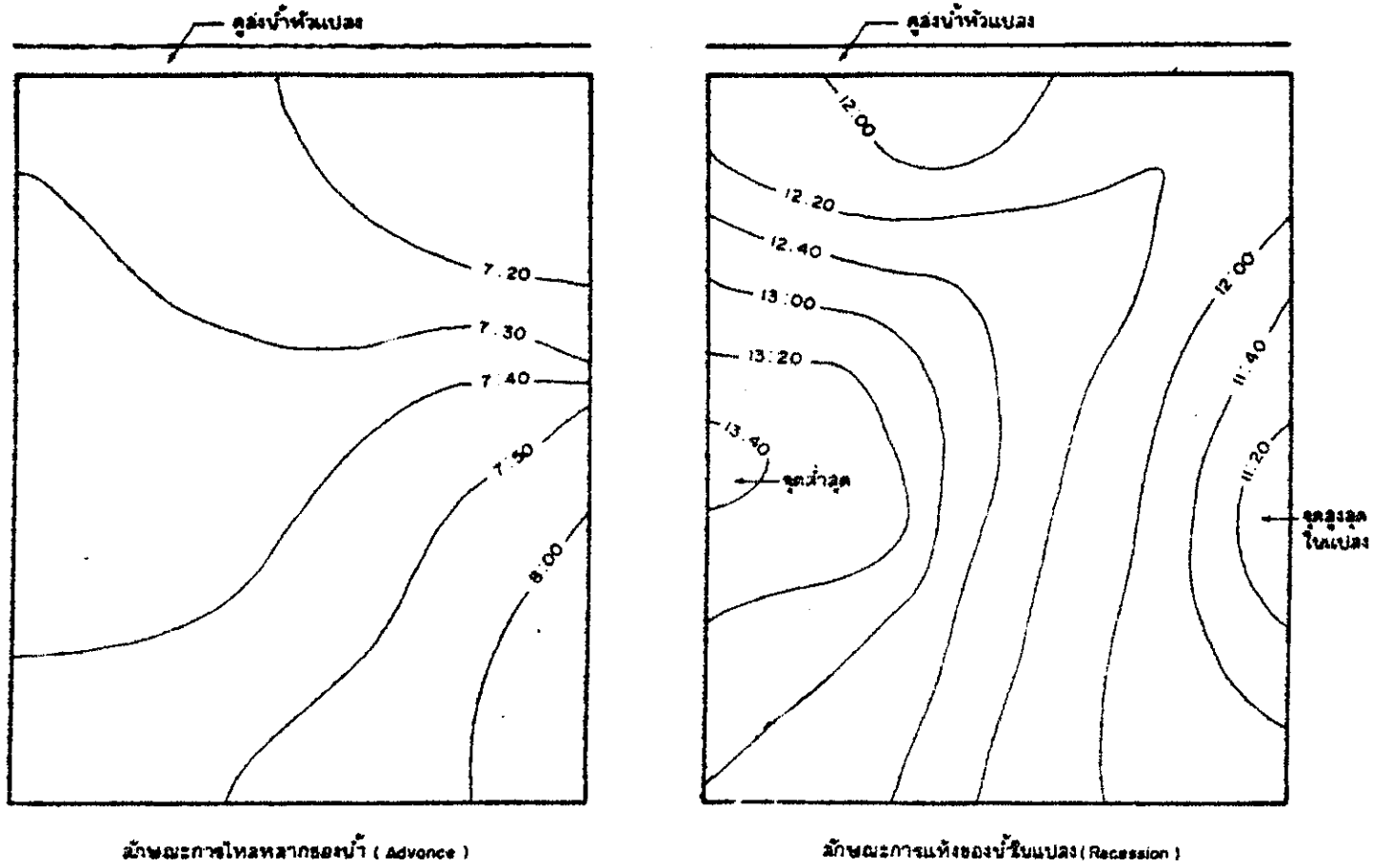
$$= 92.4 \text{ มม.}$$

จากรูปที่ 4.10 หาเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนผิวดินที่หมุดต่าง ๆ ทั่วทั้งแปลง 20 หมุด นำเวลาเหล่านี้ไปหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน ดังแสดงไว้ในคอลัมน์สุดท้ายของตารางในรูป ค่าเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดิน ($\bar{D}$) เท่ากับ 91 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลงก็ถือว่าใช้ได้ ในกรณีที่ค่าทั้งสองนี้ไม่ตรงกันก็จะต้องมีการปรับกราฟการซึมสะสม (Cumulative Depth) เพื่อให้ค่าทั้งสองตรงกันเช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.8.1 ในบทที่ 3

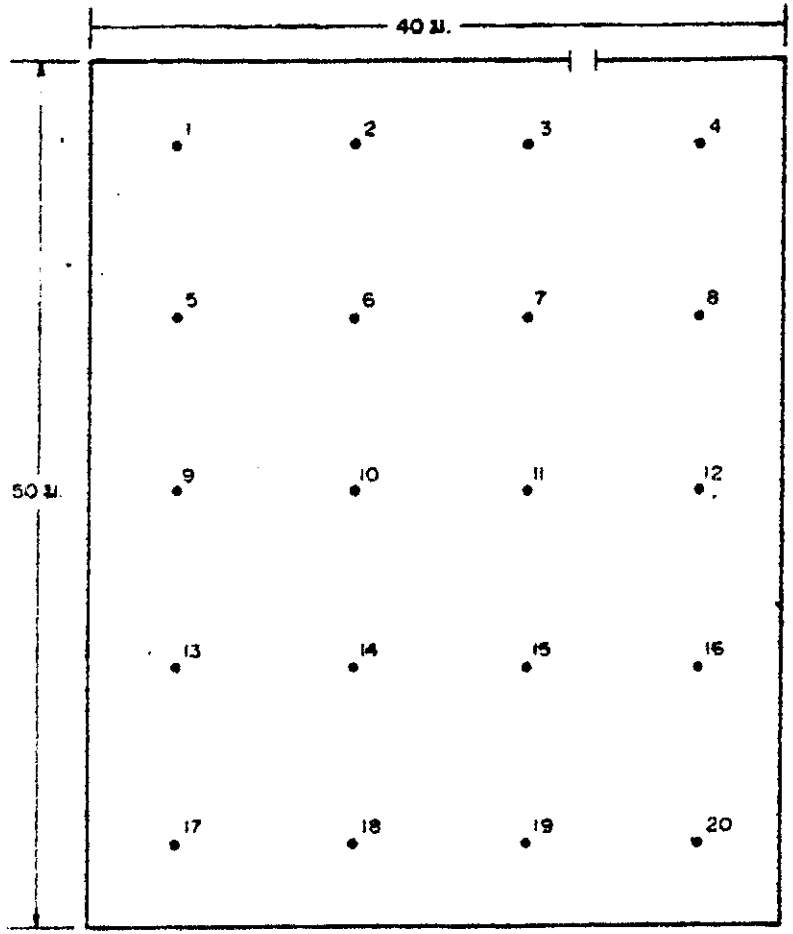
(1) <u>การหาสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ CU</u>

เนื่องจากแต่ละหมุดคลุมพื้นที่เท่ากับ จะหาค่า CU ได้จากสมการ 1.2

$$CU = 100\left(1.0 - \frac{\sum_{i=1}^{n} \left| D_i - \bar{D} \right|}{n\bar{D}}\right)$$



รูปที่ 4.9 **ลักษณะการไหลหลากของน้ำ (Advance) และการแห้งของน้ำในแปลง (Recession) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ**



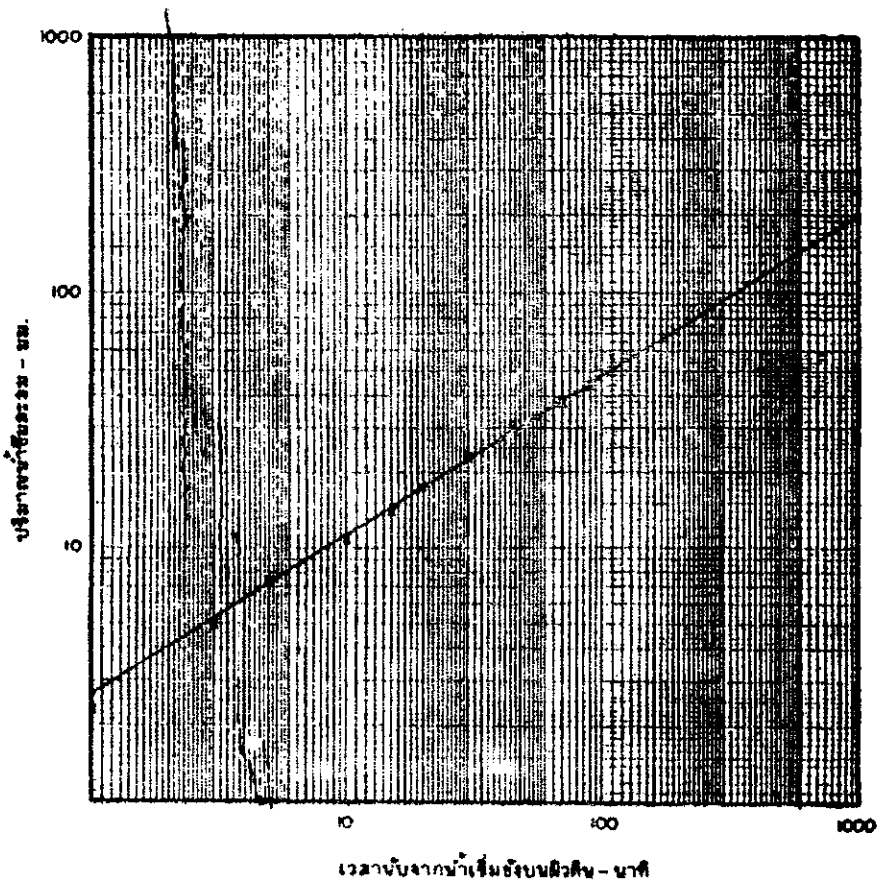
เวลาเปิดน้ำ : 7.10

เวลาปิดน้ำ : 8.20

หมุดที่ (i)	เวลาที่น้ำเริ่มท่วม น.	เวลาที่น้ำแห้ง น.	ระยะเวลาที่มีน้ำขัง นาที	น้ำซึมผ่านผิวดิน (D_i) มม.	$\lvert D_i - \bar{D} \rvert$
0					
1	7.28	12.15	287	90	1
2	7.22	12.00	278	89	2
3	7.13	12.12	299	93	2
4	7.14	12.10	296	93	2
5	7.32	13.05	333	100	9
6	7.27	12.50	323	98	7
7	7.24	12.28	304	94	3
8	7.20	11.53	273	88	3
9	7.35	13.42	367	101	10
10	7.34	13.10	336	100	9
11	7.39	12.20	281	89	2
12	7.46	11.35	229	79	12
13	7.37	13.18	341	100	9
14	7.40	12.50	310	94	3
15	7.47	12.10	263	86	5
16	7.58	11.30	212	76	15
17	7.44	12.56	312	97	6
18	7.49	12.35	286	90	1
19	7.55	12.05	250	84	7
20	8.05	11.50	225	78	13
			รวม	= 1819 มม.	121
Soil Type : Silt Loam			เฉลี่ย ($\bar{D}$)	= 91 มม.	

• หมายถึง 5 จุดที่น้ำซึมลงไปในดินน้อยที่สุด

รูปที่ 4.10 **เวลาที่น้ำเริ่มท่วม และเวลาที่น้ำแห้งที่หมุดต่างๆ ภายในแปลง**



รูปที่ 4.11 กราฟน้ำซึมละลมในแปลงให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง (Basin)

จากรูปที่ 4.10

$$CU = 100\ (1.0 - \frac{121}{20 \times 91})$$

$$= 93.3\ \%$$

อาจหาความสม่ำเสมอในการให้น้ำโดยใช้ Distribution Uniformity (DU) จากสมการที่ 1.3 ได้ดังนี้

$$DU = 100\ \frac{\bar{D}_{LQ}}{\bar{D}}$$

จากรูปที่ 4.10

$$\bar{D}_{LQ} = \frac{76 + 78 + 79 + 84 + 86}{5}$$

$$= 80.6 \text{ มม.}$$

$$DU = 100 \times \frac{80.6}{91} = 88.6\ \%$$

ทั้ง CU และ DU แสดงว่าการให้น้ำมีความสม่ำเสมอดี

(2) <u>การหาประสิทธิภาพการให้น้ำ (E_a)</u>

จากสมการที่ 1.5

$$E_a = \frac{V_{RZ}}{V_T} \times 100\ \%$$

กำหนดว่า SMD = 84 มม.

จากรูปที่ 4.10 แสดงว่ามีเพียง 3 จุด คือ D_{12} (79 มม.) D_{16} (76 มม.) และ D_{20} (78 มม.) เท่านั้นที่ได้รับน้ำไม่เพียงพอ อีก 17 จุดที่เหลือรับน้ำเท่ากับหรือมากกว่า 84 มม.

$$V_{RZ} = \frac{17 \times 84 + 79 + 76 + 78}{20} \text{ มม.}$$

$$= 83.05 \text{ มม.}$$

$$E_a = \frac{83.05}{92.4} \times 100 = 89.9\ \%$$

ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงมาก มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตรากเพียง 10.1 % เท่านั้น

(3) ความเพียงพอในการชลประทาน

กรณีนี้จะหา % ของพื้นที่ที่ได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ (84 มม.) โดยการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่สะสมตามวิธีที่กล่าวถึงในข้อ 1.5.6 บทที่ 1

เนื่องจากแต่ละหมุด (i) ครอบคลุมพื้นที่เท่ากัน โดยมีพื้นที่คิดเป็น % ของแปลง (40×50 ม.^{2})

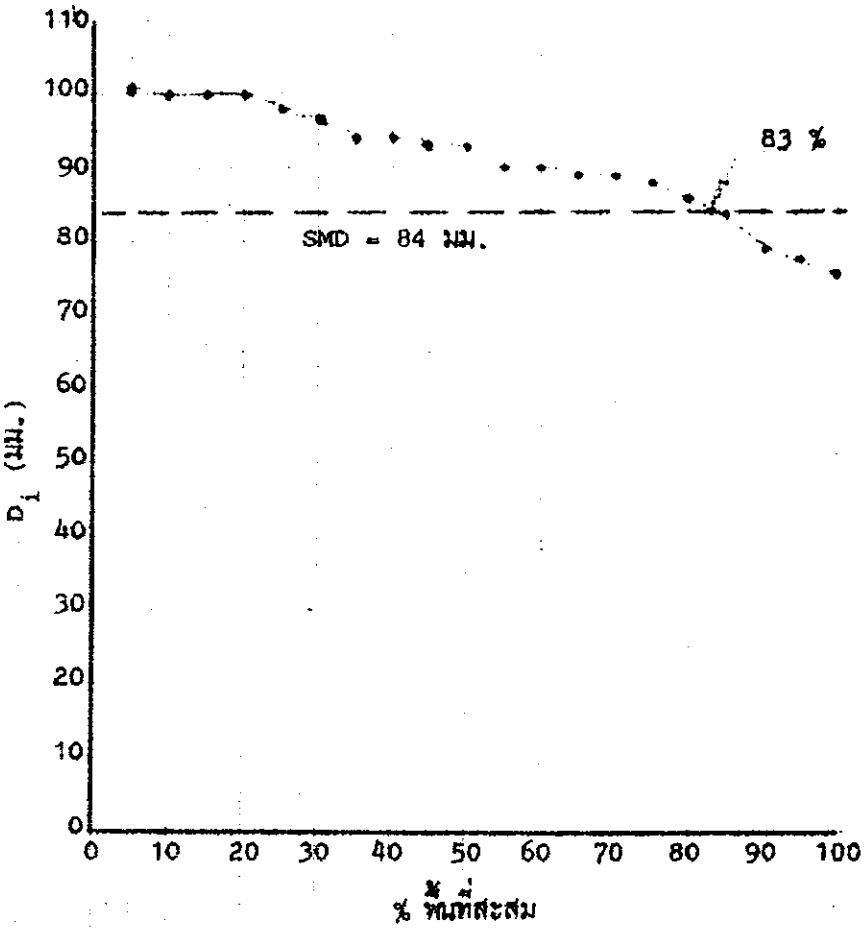
$$= \frac{100}{20} = 5 \%$$

การแจกแจงความถี่สะสมของความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินจะหาได้ดังตาราง

D_i (มม.)	% พื้นที่	% พื้นที่สะสม
101	5	5
100	5	10
100	5	15
100	5	20
98	5	25
97	5	30
94	5	35
94	5	40
93	5	45
93	5	50
90	5	55
90	5	60
89	5	65
89	5	70
88	5	75
86	5	80
84	5	85
79	5	90
78	5	95
76	5	100

นำ D_i (มม.) และ % พื้นที่สะสมไปพล็อตกราฟดังรูปที่ 4.12 จะได้ว่าความเพียงพอในการชลประทานเท่ากับ 83 %

กรณีที่ให้น้ำไม่เพียงพออาจหาดรรชนีความเพียงพอของการชลประทานได้อีกวิธีหนึ่ง โดยใช้ประสิทธิภาพการเก็บกัก E_s ดังสมการ 1.9



รูปที่ 4.12 การแจกแจงความถี่ของความลึกของน้ำที่ชื้มลงไปในดิน (D_i)

$$E_s = 100 \left(\frac{V_{RZ}}{SMD}\right) \%$$

$$= 100 \times \frac{83.05}{84} = 98.9 \%$$

2. แนวทางการปรับปรุง

ผลการวิเคราะห์ในข้อ 4.10.4 (1) แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างที่ทดลองนี้มีความสม่ำเสมอในการให้น้ำดีมาก (CU = 93.3 % หรือ DU = 88.6 %) ประสิทธิภาพการให้น้ำสูง (E_a = 89.9 %) แต่น้ำที่ให้ยังไม่เพียงพอ (ความชื้นความเพียงพอเท่ากับ 83 % หรือ E_s = 89.9 %)

ถ้าต้องการให้น้ำให้เพียงพอ ต้องเพิ่มระยะเวลาในการให้น้ำเพื่อให้ความลึกของน้ำที่จุด 16 (D_{16} = 76 มม.) เท่ากับ SMD

จากสูตร $T = \frac{AD}{Q}$

$$= \frac{40 \times 50 \times (84 - 76)}{44 \times 60} \text{ นาที}$$

$$= 6.06 \text{ นาที}$$

ซึ่งจะมีผลทำให้ E_a เปลี่ยนไปดังนี้

$$E_a = \frac{V_{RZ}}{V_T} \times 100 \%$$

$$V_T = \frac{44 \times 76.06 \times 60}{40 \times 50} \text{ มม.}$$

$$= 100.4 \text{ มม.}$$

$$E_a = \frac{84}{100.4} \times 100 = 83.7 \%$$

ค่า E_a ลดลงจาก 89.9 % เป็น 83.7 % เนื่องจากมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตรากมากขึ้น

Advance Ratio (T_{adv}/T_i)

จากรูปที่ 4.11 $T_i = 260$ นาที

จากรูปที่ 4.10 $T_{adv} = 55$ นาที

$$\frac{T_{adv}}{T_i} = \frac{55}{260} = \frac{1}{4.7}$$

แสดงว่าอัตราการให้น้ำเหมาะสมดี ซึ่งค่า CU และ E_a ที่คำนวณได้ยืนยันข้อสรุปอันนี้

4.11 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 การออกแบบระบบชลประทานในระดับไร่นา ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์.

2. Vudhivanich, V. (1988), Surface Irrigation System Design, A Handout for Training Course on "Management of Rainfed Agriculture.", 7 November - 16 December 1988, Continuing Education Center, AIT.

บทที่ 5
การปรับพื้นที่
(Land Grading)

5.1 คำนำ

การปรับพื้นที่เพื่อการชลประทานหมายถึงการปรับปรุงลักษณะพื้นผิวดินที่มีลักษณะสูง ๆ ต่ำ ๆ ให้ราบเรียบสม่ำเสมอตามระดับที่ต้องการ เพื่อให้สามารถทำการส่งน้ำและให้น้ำชลประทานทางผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการออกแบบการชลประทานแบบให้น้ำทางผิวดินจะต้องพิจารณาลักษณะของพื้นที่เสียก่อนว่าพื้นที่ราบเรียบหรือมีลาดสม่ำเสมอดีหรือไม่ ถ้าสภาพพื้นที่ไม่เหมาะสม เช่นเป็นคลื่นเป็นเนิน หรือมีความลาดชันมากเกินไป ก็จะต้องมีการปรับระดับพื้นที่ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 6 ระดับ ขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของพื้นที่และวิธีการให้น้ำทางผิวดินที่จะนำมาใช้ ดังนี้

1) <u>การปรับพื้นที่อย่างหยาบ ๆ</u> (Rough Grading) สำหรับพื้นที่ที่ค่อนข้างราบเรียบดีอยู่แล้ว การปรับพื้นที่จะทำเพียงเล็กน้อยและตามปกติจะทำการปรับระดับด้วยสายตา

2) <u>การปรับพื้นที่ให้มีลาดสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง</u> เป็นการปรับพื้นที่ให้มีลาดสม่ำเสมอตามที่ต้องการตลอดความกว้างและความยาวของพื้นที่ การปรับพื้นที่ในลักษณะนี้เหมาะสำหรับวิธีการให้น้ำแบบร่องคูตามแนวเส้นชอบเนิน (Contour Furrow) และ/หรือแบบท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นชอบเนิน (Contour Levee)

3) <u>การปรับพื้นที่ให้ด้านหนึ่งอยู่ในแนวราบและอีกด้านหนึ่งมีลาดหลายระดับผสมกัน</u> ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับวิธีการให้น้ำท่วมเป็นผืนลาด (Graded Border)

4) <u>การปรับพื้นที่ให้ด้านหนึ่งมีลาดสม่ำเสมอและอีกด้านหนึ่งมีลาดหลายระดับผสมกัน</u> วิธีนี้เหมาะสำหรับวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นชอบเนิน (Contour Levee) ซึ่งวิธีที่ 3 และ 4 อาจจะมีการขุดร่องคูรับน้ำตรงช่วงที่มีการเปลี่ยนลาด เพื่อเก็บน้ำไว้ใช้ในแปลงที่อยู่ต่ำลงมาได้

5) <u>การปรับพื้นที่ให้ด้านหนึ่งอยู่ในแนวราบและอีกด้านหนึ่งมีลาดสม่ำเสมอตลอดความยาว</u> เหมาะสำหรับวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาด (Graded Border)

6) <u>การปรับพื้นที่ให้ราบตลอดทั้งแปลง</u> เหมาะสำหรับวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบ (Level Border) หรือร่องคูราบ (Level Furrow)

5.2 สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการปรับพื้นที่

การปรับพื้นที่เป็นเรื่องใหญ่ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก และยังอาจก่อให้เกิดผลในทางลบอีกมากมายหลายประการ ในการที่จะทำการตัดสินใจว่าควรจะมีการปรับพื้นที่หรือไม่ จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์และองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) สภาพดิน ก่อนที่จะวางแผนทำการปรับพื้นที่จำเป็นจะต้องมีข้อมูลอย่างเพียงพอเกี่ยวกับลักษณะของชั้นดิน โดยเฉพาะดินชั้นบนซึ่งเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์จะต้องรู้ว่าดินชั้นบนมีความหนามากน้อยเท่าใด จะยอมให้มีการตัดหน้าดินออกมากน้อยเท่าใดจึงจะไม่กระทบกระเทือนต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินมากนัก ปัญหาที่ยุ่งยากมากที่สุดของการออกแบบปรับพื้นที่คือกรณีซึ่งดินชั้นบนอยู่ตื้นประกอบกับลักษณะภูมิประเทศเป็นแบบลูกคลื่น หรือมีความลาดชันมาก ซึ่งถ้าจะทำการปรับพื้นที่จะก่อให้เกิดการสูญเสียหน้าดินแต่ถ้าจำเป็นจะต้องมีการปรับพื้นที่ในกรณีของดินเช่นว่า จะต้องมีมาตรการในการบำรุงดินให้ดีพอ มิฉะนั้นจะทำให้การชลประทานและการเพาะปลูกไม่บรรลุตามเป้าหมาย

2) สภาพฝน จำนวนและความหนาแน่นของฝนจะเป็นองค์ประกอบสำคัญในการพิจารณาเลือกระดับความลาดชันของพื้นที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตมรสุมเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดเซาะดิน หรือเพื่อให้สามารถระบายน้ำออกได้ทันในกรณีที่ฝนตกหนัก นอกจากนี้ฝนยังเกี่ยวข้องไปถึงวิธีการให้น้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการปรับพื้นที่ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

3) ชนิดของพืชที่จะปลูก จะมีความสัมพันธ์กับการเลือกวิธีการให้น้ำ ซึ่งจะมีส่วนในการตัดสินใจว่าจำเป็นจะต้องมีการปรับพื้นที่หรือไม่ ถ้าปรับจะต้องปรับมากน้อยเท่าใด ในการเพาะปลูกแบบเน้นหนักเช่นการปลูกผักหรือพืชซึ่งมีราคาดีอาจจะยอมที่จะต้องลงทุนในระดับสูงในการปรับระดับพื้นที่ แต่ในการปลูกพืชซึ่งไม่ค่อยจะมีราคา เช่น หญ้าเลี้ยงสัตว์ ก็เป็นการไม่สมควรที่จะลงทุนในการปรับระดับพื้นที่มาก ๆ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาว่าพืชที่ปลูกเป็นไม้ยืนต้นหรือพืชต้นชิด หรือพืชที่ปลูกเป็นแถว ซึ่งมีส่วนในการเลือกวิธีการให้น้ำ ตลอดจนการปรับพื้นที่ เช่น การปลูกพืชต้นชิด ต้นพืชจะเป็นตัวคอยต้านการไหลของน้ำที่ส่งเข้าไปในแปลง ในการปรับพื้นที่อาจจะต้องพิจารณากำหนดความลาดชันให้น้ำไหลได้สะดวก แต่ต้องไม่มากจนก่อให้เกิดการกัดเซาะ

4) วิธีการให้น้ำ ก่อนที่จะพิจารณาว่าควรจะมีการปรับพื้นที่หรือไม่จะต้องพิจารณาเสียก่อนว่าพื้นที่นั้นเหมาะที่จะทำการให้น้ำแบบผิวดินหรือไม่โดยดูจากอัตราการซึมของน้ำลงไปในดิน ความลาดชันและปัญหาการระบายน้ำ หลังจากนั้นจึงพิจารณาเลือกระดับความลาดชันของพื้นที่ให้เหมาะสมกับการให้น้ำแต่ละแบบ เช่น การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบ ลักษณะพื้นที่จะต้องปรับให้

ราบเรียบเสมอกัน การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาดจะต้องปรับให้มีลาดไปทางด้านใดด้านหนึ่ง หรือการให้น้ำตามแนวเส้นขอบเนินจะต้องปรับระดับพื้นที่ให้มีลาดทั้งทางด้านกว้างและด้านยาวของพื้นที่ ตามปกติการปรับพื้นที่จะไม่นิยมทำเป็นผืนใหญ่เพราะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการปรับพื้นที่เฉพาะภายในแปลง นอกจากนี้ในการปรับพื้นที่จะต้องคำนึงถึงการเลือกความลาดเทที่เหมาะสมในการระบายน้ำที่เหลือใช้จากการให้น้ำทางผิวดินอีกด้วย

5) <u>ความต้องการของเกษตรกร</u> ในการออกแบบปรับพื้นที่ควรจะได้มีการศึกษาเสียก่อนว่าเกษตรกรมีความต้องการอย่างไร ตามปกติแล้วเกษตรกรจะต้องการให้มีการปรับพื้นที่เพื่อให้การทำงานในแปลงเพาะปลูกทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายในการปรับพื้นที่น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามวิศวกรที่ทำหน้าที่ออกแบบจะต้องพยายามออกแบบให้ตรงกับความต้องการของเกษตรกร ขณะเดียวกันก็ให้เหมาะสมกับวิธีการให้น้ำและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้น

5.3 <u>การแบ่งลักษณะผิวดินสำหรับการชลประทานผิวดิน</u>

โดยทั่ว ๆ ไปลักษณะผิวดินที่เหมาะสำหรับการเกษตร คือค่อนข้างราบเรียบสม่ำเสมอ แต่ตามสภาพความเป็นจริงเป็นการยากที่จะทำให้พื้นที่ทั้งหมดราบเรียบสม่ำเสมอได้ เนื่องจากปัญหาค่าลงทุนและองค์ประกอบต่าง ๆ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว

ตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นการแบ่งลักษณะผิวดินออกเป็นแบบต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับวิธีการให้น้ำและการปรับพื้นที่ ในบางแห่งการชลประทานแบบให้น้ำทางผิวดินจะพิจารณาทำกันเฉพาะในผิวดินแบบ A_1 แต่ในบางพื้นที่ซึ่งดินชั้นบนอยู่ตื้นและมีความลาดชันมากอาจจะต้องยอมทำการชลประทานในผิวดินแบบ E ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการชลประทานอาจจะต่ำ เนื่องจากการปรับพื้นที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากและการเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบอื่น ๆ อาจจะทำไม่ได้เนื่องจากปัญหาค่าลงทุน

ตามปกติแล้วลักษณะผิวดินแบบ C เป็นแบบที่จัดว่ามีความเหมาะสมน้อยที่สุดในการเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบผิวดิน และถ้าองค์ประกอบต่าง ๆ ไม่เหมาะสมที่จะมีการปรับพื้นที่ในบางครั้งอาจจะต้องพิจารณาเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบอื่น เช่น การชลประทานแบบฉีดฝอย

5.4 <u>การเตรียมการปรับพื้นที่</u>

เมื่อได้พิจารณาดูแล้วว่าพื้นที่นั้นมีความเหมาะสมต่อการปรับพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นก็มาถึงขั้นเตรียมการปรับพื้นที่ ซึ่งควรจะดำเนินการเป็นขั้น ๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 การแบ่งลักษณะผิวดินสำหรับการชลประทานแบบผิวดิน

ประเภท	ลาดสำหรับการชลประทาน 1/	ลาดตามขวาง	ประสิทธิผลการชลประทาน	ความต้องการแรงงานในการให้น้ำ	ข้อจำกัดสำหรับการชลประทานแบบผิวดิน	การปรับพื้นที่
A_1	สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.5 %	ไม่มี	สูง	ต่ำมาก	ไม่มี	ไม่มี
A_2	สม่ำเสมอ				ความยาวของแปลงแบบห่วนเป็นผืนระบายจำกัด	
B_1		สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.3 %			ความยาวของแปลงแบบห่วนเป็นผืนระบายจำกัด, ความกว้างของแปลงแบบห่วนเป็นผืนจำกัด	ต้องการการปรับพื้นที่เพื่อเพิ่มความกว้างและความยาวแปลงแบบห่วนเป็นผืนระบาย
B_2		ไม่สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.3%		ต่ำ		ต้องการการปรับพื้นที่เพื่อลดความต้องการแรงงานในการให้น้ำ
B_3		อาจจะสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอและลาดมากกว่า 0.3% แต่ไม่เกิน 0.5 %		ต่ำปานกลาง	ความกว้างของแปลงแบบห่วนเป็นผืนจำกัดมาก ไม่เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบร่องเป็นผืนระบาย ร่องคดไม่เหมาะสำหรับดินเนื้อหยาบปานกลางหรือหยาบมาก ร่องตื้นจะต้องวางแนวไปตามลาดของพื้นที่โดยมีลาดอย่างน้อย ½ เท่าของลาดตามแนวขวาง	
C_1	ค่อนข้างสม่ำเสมอ (เมื่อลาดมากเกินกว่า 0.5 %), สำหรับลาดสูงจะมีลาดซึ่งนับค่านัยน้อยที่สุด, สำหรับลาดเว้าระนาบลาดซึ่งนับค่านัยน้อยที่สุดไม่เกิน 1½ เท่าของลาดซึ่งนับค่านัยน้อยที่สุด, แต่ไม่ควรระเบิดลูกคลื่น	สม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้ แต่ต้องไม่เกิน 0.5 %	พอใช้ได้	ต่ำปานกลาง	ไม่เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบห่วนเป็นผืนระบาย ความกว้างของแปลงแบบห่วนเป็นผืนจำกัด	ต้องการการปรับพื้นที่เพื่อลดความต้องการแรงงานในการให้น้ำและเพิ่มประสิทธิภาพในการชลประทาน
C_2		สม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้ แต่ต้องไม่เกิน 0.5 %			ความกว้างของแปลงแบบห่วนเป็นผืนจำกัดมาก ไม่เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบห่วนเป็นผืนระบาย ร่องคดไม่เหมาะสำหรับดินเนื้อหยาบปานกลางหรือหยาบมาก ร่องตื้นจะต้องวางแนวไปตามลาดของพื้นที่โดยมีลาดอย่างน้อย ½ เท่าของลาดตามแนวขวาง	
C_3	สม่ำเสมอหรือค่อนข้างสม่ำเสมอ	อาจสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอและลาดมากกว่า 0.5%		ปานกลางถึงสูง	เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบห่วนเป็นผืนจากร่องตื้นตามแนวเส้นชอบเป็นหรือแบบร่องตื้นตามแนวเส้นชอบเป็น โดยมีข้อจำกัดอยู่ที่เนื้อดินและความลึกของร่องตื้น	
D_1	ไม่สม่ำเสมอแต่ลาดต้องไปทางเดียวกันหมด	ไม่สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.3 %	ต่ำ	ปานปลาง	ความกว้างของแปลงแบบห่วนเป็นผืนจำกัด, ไม่เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบห่วนเป็นผืนระบายหรือร่องตื้นเล็ก	ต้องการการปรับพื้นที่เพื่อให้สามารถทำการชลประทานได้
D_2		ไม่สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.5 %		สูง	ความกว้างของแปลงแบบห่วนเป็นผืนจำกัดมาก ไม่เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบห่วนเป็นผืนระบายหรือร่องตื้นเล็ก ร่องตื้นไม่เหมาะสำหรับดินเนื้อหยาบหรือหยาบมาก	
E		ไม่สม่ำเสมอและมากกว่า 0.5 %	ต่ำมาก	สูงมาก	เหมาะสำหรับการให้น้ำเป็นผืนจากร่องตื้นตามแนวเส้นชอบเป็นหรือแบบร่องตื้นตามแนวเส้นชอบเป็นโดยมีข้อจำกัดอยู่ที่เนื้อดินและความลึกของร่องตื้น	

1/ ลาดมากที่สุดและลาดน้อยที่สุดจะถูกกำหนดโดย (1) ความต้องการสำหรับการระบายน้ำ (2) การกัดเซาะเนื้อ (3) การลบและบ้างส่วนเกี่ยวกับโครงสร้างดิน (3) หลักเกณฑ์สำหรับวิธีการให้น้ำที่ใช้

5.4.1 การเลือกเวลาและเครื่องจักรเครื่องมือในการทำงาน

การปรับพื้นที่ควรจะทำในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกเพื่อความสะดวกในการทำงานและยังเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้โครงสร้างของดินเสียเนื่องจากการบดทับของเครื่องจักรเครื่องมือในขณะที่ดินเปียกเกินไป นอกจากนี้ควรเลือกใช้เครื่องจักรให้เหมาะสม เพราะการใช้เครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่โตเกินไปนอกจากจะทำให้การทำงานในแปลงนาไม่สะดวก ยังเป็นการไม่ประหยัดและก่อให้เกิดผลเสียต่อโครงสร้างดินอีกด้วย

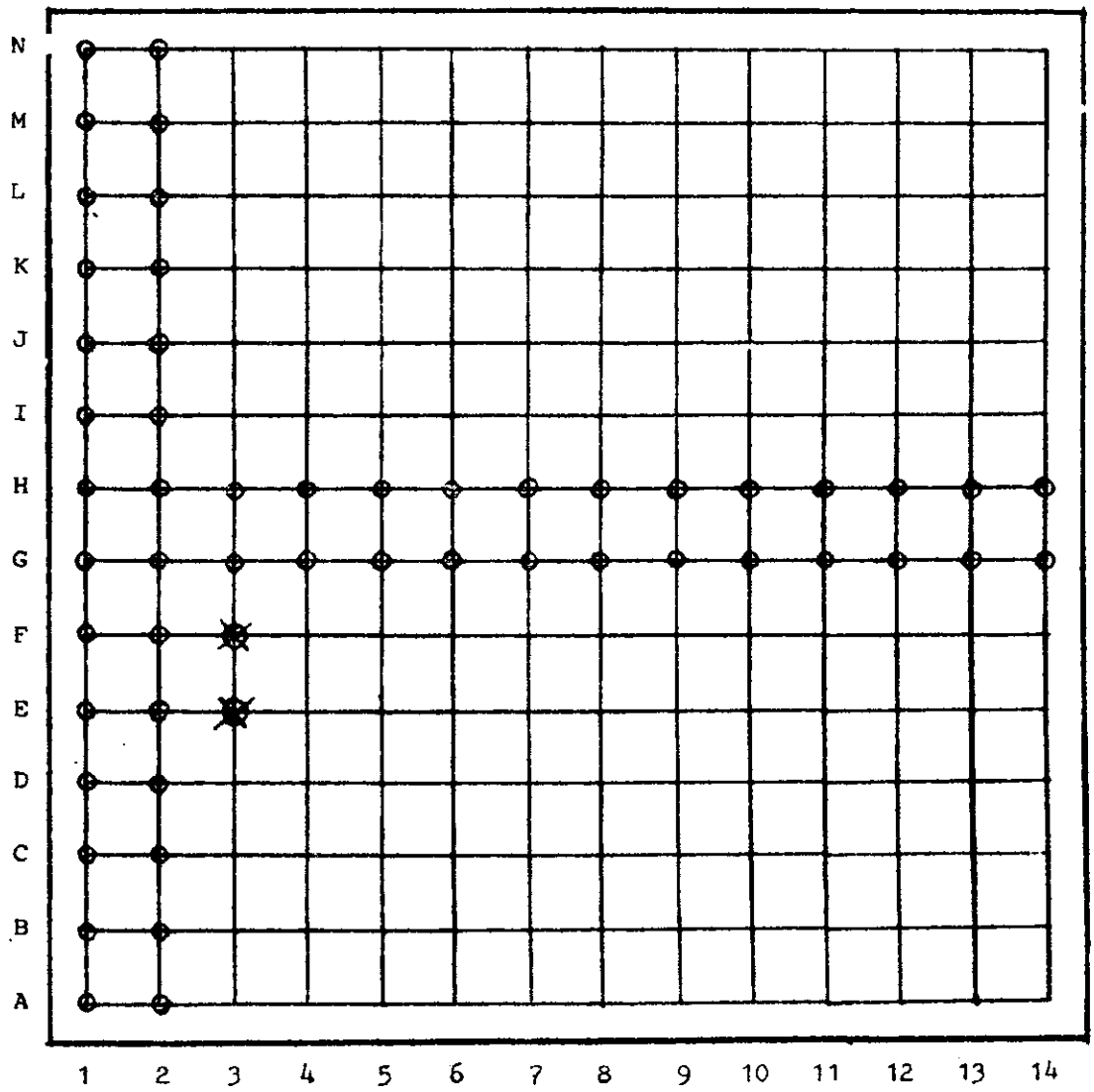
5.4.2 การถางพื้นที่

ก่อนการปรับระดับพื้นที่ควรจะทำการถางพื้นที่ให้เรียบร้อยเสียก่อน กล่าวคือถ้ามีต้นไม้ใหญ่ ตอไม้ หรือพวกหินจะต้องทำการกำจัดไปจากพื้นที่ให้หมดโดยใช้รถแทรกเตอร์ แต่ถ้าเป็นจำพวกต้นไม้เล็ก ๆ หรือพวกหญ้าอาจกำจัดได้ง่ายเข้าโดยการใช้ไฟเผา

5.4.3 การปักหมุด

เมื่อได้ทำการถางพื้นที่เรียบร้อยแล้วขั้นต่อไปคือการปักหมุดเพื่อการทำแผนที่ระดับต่อไป โดยปกติแล้วจะปักหมุดเป็นรูปตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 20×20 ตร.เมตร ถึง 50 × 50 ตร.เมตร ซึ่งระยะห่างระหว่างหมุดขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของพื้นที่ ถ้าพื้นที่เป็นเนินสูง ๆ ต่ำ ๆ จะต้องปักหมุดให้ถี่เข้าเพื่อจะได้เก็บรายละเอียดได้เพียงพอสำหรับการออกแบบขั้นต่อไป หมุดที่ใช้ตามปกติจะเป็นไม้ขนาด $\frac{3}{8}'' \times 1\frac{3}{4}''$ ยาวประมาณ 1 เมตร ถากปลายให้แหลมเพื่อจะได้ปักลงไปในดินได้สะดวกขึ้น

การปักหมุดสามารถทำได้มากมายหลายวิธีแต่เพื่อความสะดวกอีกทั้งเป็นการประหยัดเวลาและแรงงานควรจะทำดังวิธีที่แสดงในรูปที่ 5.1 การปักหมุดควรจะเริ่มจากด้านใดด้านหนึ่งซึ่งมีแนวตรงที่สุดและควรจะเป็นด้านที่ยาวที่สุดด้วย สมมติว่าเริ่มจากจุด 1 ซึ่งอยู่ห่างจากเขตของพื้นที่เท่ากับครึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่างหมุด จากจุด 1 วางแนวและปักหมุดในแนว 1 ให้ขนานไปกับขอบของพื้นที่ วางแนว G และ H ให้ตั้งฉากกับแนว 1 โดยใช้กล้องสำรวจหรือคุณสมบัติของรูปสามเหลี่ยมมุมฉากซึ่งมีด้านเป็นอัตราส่วน 3:4:5 พร้อมทั้งวัดระยะและปักหมุดต่อไปวางแนว 2 ให้ตั้งฉากกับแนว G และ H ในทำนองเดียวกัน พร้อมทั้งวัดระยะและปักหมุด ถึงขั้นนี้จะได้แนวหมุด 2 แนวในแต่ละทิศทางซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน หมุดที่เหลือจะสามารถปักได้ง่ายและสะดวกมากโดยวิธีการเล็งแนวด้วยสายตาจากหมุดที่ปักไว้แล้ว เช่น หมุด F_3 จะปักได้จากการเล็งแนวหมุด H_3, G_3 และ F_1, F_2 หรือหมุด E_3 จะได้จากการเล็งแนวหมุด F_3, G_3, H_3 และ E_1, E_2 ส่วนหมุดต่อ ๆ ไปก็จะสามารถปักได้โดยวิธีเดียวกันนี้จน



รูปที่ 5.1 การปักหมุดเพื่อทำแผนที่

หัวพื้นที่

5.4.4 การทำแผนที่

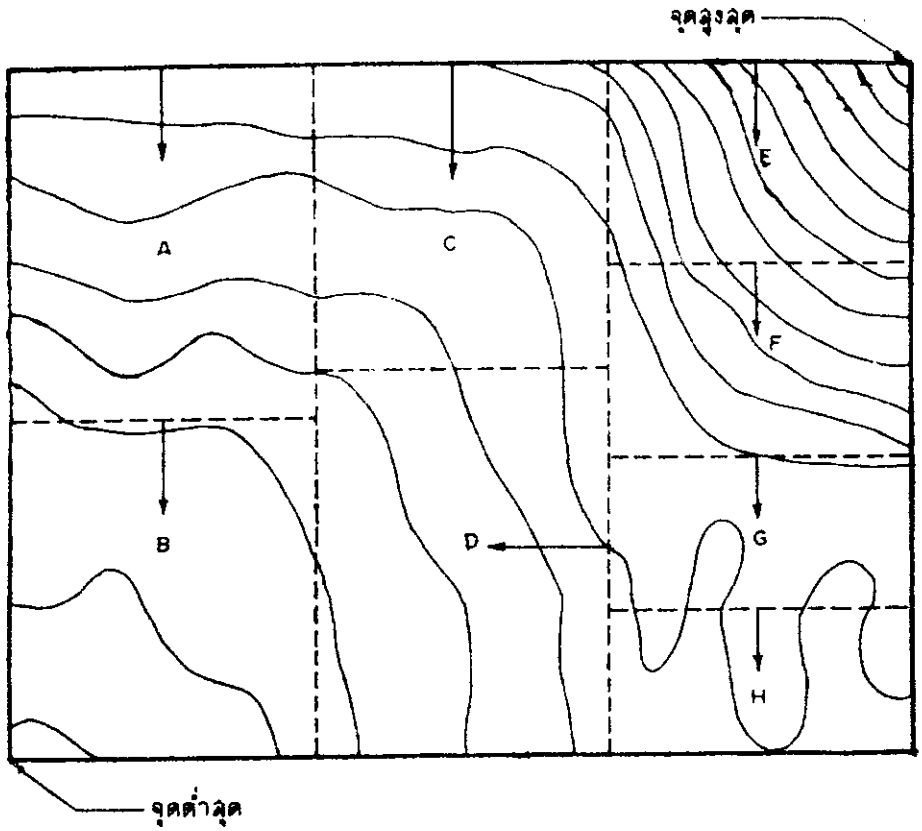
หลังจากปักหมุดเรียบร้อยแล้วก็สามารถถ่ายระดับที่จุดต่าง ๆ แล้วนำมาเขียนแผนที่ระดับได้ สำหรับหลักเกณฑ์การกำหนดมาตราส่วนของแผนที่และขนาดชั้นความสูง (Contour Interval) อย่างกว้าง ๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การกำหนดมาตราส่วนแผนที่และขนาดชั้นความสูง

พื้นที่	มาตราส่วน
น้อยกว่า 200 ไร่	1 : 1,200
มากกว่า 200 ไร่	1 : 2,400
	1 : 4,800
ลาด (%)	ระยะห่างระหว่างเส้นระดับ (ซม.)
0 - 1	10
1 - 2	20
2 - 5	30
5 - 10	50

5.4.5 การแบ่งพื้นที่

เมื่อได้ทำแผนที่ระดับเรียบร้อยแล้วอาจจะพบว่าถ้าจะทำการปรับพื้นที่ให้มีความลาดเทสม่ำเสมอตลอดทั้งแปลงอาจจะเป็นการไม่ประหยัดเพราะพื้นที่บางส่วนอาจจะมีความลาดเทมากเกินไป ขณะที่บางส่วนค่อนข้างราบ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องแบ่งแยกพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ โดยพิจารณาให้สภาพความลาดเทภายในแต่ละแปลงย่อยใกล้เคียงกันเพื่อจะได้มีการขุดและถมภายในแต่ละแปลงย่อยน้อยที่สุด ตัวอย่างการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ จะแสดงไว้ในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การแบ่งพื้นที่เป็นแปลงย่อย

จากรูปข้างบนจะเห็นได้ว่าการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ จะพิจารณาได้จากลักษณะของเส้นขอบเนินเป็นหลักดังต่อไปนี้

1) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างเส้นขอบเนิน เช่น ในกรณีของแปลง A และ B ในแปลง A เส้นขอบเนินจะอยู่ชิดกว่าในแปลง B หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าพื้นที่ในแปลง A มีความลาดชันมากกว่าในแปลง B การที่จะปรับพื้นที่ทั้งสองแปลงให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลงจึงเป็นการไม่ประหยัด ดังนั้นจึงควรแบ่งออกเป็น 2 แปลงตามแนวที่เริ่มจะมีการเปลี่ยนแปลงความลาดเท

2) เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางของความลาดเทหลัก ทิศทางของความลาดเทหลักจะอยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับเส้นขอบเนิน เนื่องจากน้ำจะไหลในทิศทางของความลาดเทหลัก ดังนั้นถ้าจะทำการให้น้ำโดยวิธีท่วมเป็นผืนหรือร่องคูที่มีแนวตรงจะต้องแบ่งพื้นที่ที่มีความลาดเทหลักอยู่ในแนวที่ต่างกันมาก ๆ ออกเป็นแปลงย่อย ๆ เช่น การแบ่งแปลง C และ D แต่ถ้าจะให้น้ำด้วยวิธีท่วมเป็นผืนจากร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน ร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินหรือท่วมขังตามแนวเส้นขอบเนิน ก็ไม่จำเป็นต้องแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ

3) [illegible] แสดงว่าพื้นที่มีความลาดชันมากหรือเป็นลูกคลื่น [illegible] ดังแปลง E, F, G และ H เพื่อลดการขุดและถมดินให้น้อยที่สุดและจะช่วยให้การให้น้ำมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

ในการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย นี้ควรจะได้มีการพิจารณาให้พื้นที่ของแต่ละแปลงย่อยมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมากที่สุดเพื่อความสะดวกในการทำงานอย่างอื่น นอกจากนั้นควรจะได้มีการพิจารณาถึงแนวคลอง ท่อส่งน้ำ ถนน ทางระบายน้ำ และอาคารอื่น ๆ ในแปลงนาในขณะที่จะทำการแบ่งพื้นที่เสียด้วย

5.5 การออกแบบการปรับพื้นที่

วิธีการในการออกแบบการปรับพื้นที่ มีมากมายหลายวิธี แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป การจะเลือกใช้วิธีไหนขึ้นอยู่กับความสะดวกและความเหมาะสมกับงาน วิธีที่นิยมใช้โดยทั่ว ๆ ไปมี 4 วิธี คือ วิธีการปรับเป็นระนาบ (Plane Method) วิธีการปรับจากแนวระดับดิน (Profile Method) วิธีการปรับตามความต้องการใช้งาน (Plan Inspection Method) และวิธีการปรับจากเส้นชั้นความสูง (Contour-Adjustment Method) ต่อไปจะกล่าวถึงในรายละเอียดเฉพาะวิธีการปรับเป็นระนาบ ส่วนรายละเอียดของวิธีอื่น ๆ ดูได้จาก USDA-SCS (1961)

5.6 วิธีการปรับเป็นระนาบ (Plane Method)

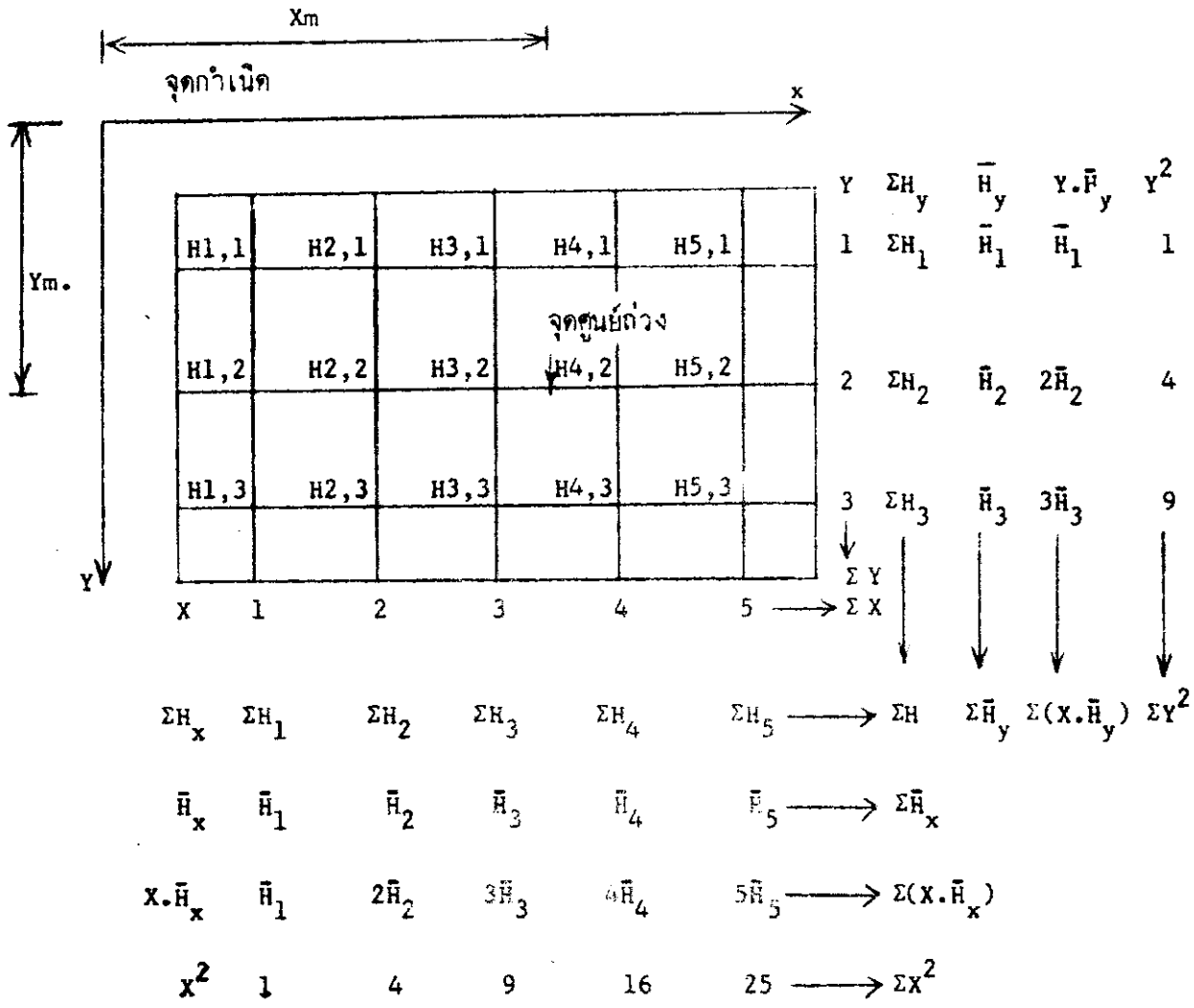
วิธีการปรับระดับพื้นที่แบบนี้เป็นแบบที่นิยมกันมากในการปรับระดับผิวดินให้มีความลาดเทสม่ำเสมอทั้งตามยาวและตามขวางของพื้นที่ โดยอาศัยหลักความสมดุลย์ของดินขุดและดินถม ในการหาแนวระนาบดังกล่าว เมื่อได้จัดทำแผนที่ระดับดินดังแสดงในรูปที่ 5.3 สามารถคำนวณหาแนวระนาบดินขุดและดินถมได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 : ตั้งแกน X และแกน Y ให้ห่างจากขอบพื้นที่เป็นระยะทางครึ่งหนึ่ง

ขั้นที่ 2 : หาจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ (X_m, Y_m)

$$X_m = \frac{\Sigma X}{n_x} \qquad \text{.....(5.1)}$$

$$Y_m = \frac{\Sigma Y}{n_y} \qquad \text{.....(5.2)}$$



รูปที่ 5.3 แผนที่แสดงระดับดินและวิธีการคำนวรดินขุด-ดินถม

เมื่อ X_m, Y_m = ระยะจากจุดกำเนิดถึงจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ตามแนวแกน X และแกน Y

X, Y = หมายเลขหมุดในแนวแกน X และ Y

ΣX, ΣY = ผลบวกของหมายเลขหมุดในแนวแกน X และ Y

n_x, n_y = จำนวนหมุดในแนวแกน X และ Y

ขั้นที่ 3 หาค่าต่าง ๆ ตามที่เขียนไว้ในรูปที่ 5.3

$$\Sigma H_x = \sum_{Y=1}^{n_y} H_{x,y} \quad ; \quad \Sigma H_y = \sum_{X=1}^{n_x} H_{x,y}$$

$$\bar{H}_x = \frac{\Sigma H_x}{n_y} \quad ; \quad \bar{H}_y = \frac{\Sigma H_y}{n_x}$$

$$\Sigma H = \sum_{1}^{n_x} (\Sigma H_x) = \sum_{1}^{n_y} (\Sigma H_y) = \sum_{1}^{n_x}\sum_{1}^{n_y} H_{x,y}$$

$$\Sigma(X.\bar{H}_x) = \sum_{1}^{n_x} (X.\bar{H}_x) \quad ; \quad \Sigma(Y.\bar{H}_y) = \sum_{1}^{n_y} (Y.\bar{H}_y)$$

เมื่อ $H_{x,y}$ = ระดับที่หมุดต่าง ๆ

ขั้นที่ 4 หาระดับเฉลี่ยที่จุดศูนย์ถ่วง (H_m)

$$H_m = \frac{\Sigma H}{n_x n_y} \qquad \text{.....(5.3)}$$

ขั้นที่ 5 หาลาดที่จะทำให้มีการชุดดิน-ถมดินน้อยที่สุด

$$G_X = \frac{\Sigma (X.\bar{H}_x) - \dfrac{(\Sigma X)(\Sigma \bar{H}_x)}{n_x}}{\Sigma (X)^2 - \dfrac{(\Sigma X)^2}{n_x}} \qquad \text{.....(5.4)}$$

และ

$$G_y = \frac{\Sigma (Y.\bar{H}_x) - \dfrac{(\Sigma Y)(\Sigma \bar{H}_y)}{n_y}}{\Sigma (Y)^2 - \dfrac{(\Sigma Y)^2}{n_y}} \qquad \text{.....(5.5)}$$

เมื่อ G_x, G_y = ความลาดเทของพื้นที่ตามแนวแกน X และ Y

ในบางครั้งสภาพพื้นที่อาจไม่เหมาะสมที่จะออกแบบให้มีการชุดดิน-ถมดินน้อยที่สุด เนื่องจากความลาดเทไม่เหมาะสมกับวิธีการให้น้ำ หรือเนื่องจากระดับดินตอนบนอยู่เหนือระดับส่งน้ำมาก ก็อาจจะต้องมีการแก้ไขให้เหมาะสม โดยพยายามให้ได้ค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ในตอนแรกมากที่สุด

ขั้นที่ 6 หาระดับใหม่ของพื้นที่ตามความลาดเทที่คำนวณได้ในขั้นที่ 5

$$H_{x,y} = a + G_x(x) + G_y(y) \qquad \text{.....(5.6)}$$

เมื่อ $H_{x,y}$ = ระดับที่จุดที่ต้องการ

a = ระดับที่จุดกำเนิด

G_x = ความลาดเทในแนวแกน x

G_y = ความลาดเทในแนวแกน y

Y = ระยะทางนับเป็นจำนวนหมุดในแนวแกน y จากจุดกำเนิดไปยังจุดที่ต้องการ

X = ระยะทางนับเป็นจำนวนหมุดในแนวแกน x จากจุดกำเนิดไปยังจุดที่ต้องการ

ขั้นที่ 7 คำนวณหาดินขุดหรือดินถมจากระดับดินเดิมกับระดับดินใหม่ที่คำนวณได้

เพื่อให้เกิดความเข้าใจในวิธีการคำนวณการปรับพื้นที่ด้วยวิธีนี้ดียิ่งขึ้นขอให้ดูตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 5.1 ให้ทำการปรับพื้นที่จากแผนที่ระดับที่ให้โดยใช้วิธีการปรับเป็นระนาบ โดยใช้ข้อมูลในรูปที่ 5.4 กำหนดให้ระยะระหว่างหมุดเท่ากับ 25 เมตร และระดับมีหน่วยเป็นเมตร

วิธีทำ **ขั้นที่** 1 ตั้งแกน X และแกน Y ให้ห่างจากขอบของพื้นที่เป็นระยะทางครึ่งหมุด ดังแสดงไว้ในแผนที่

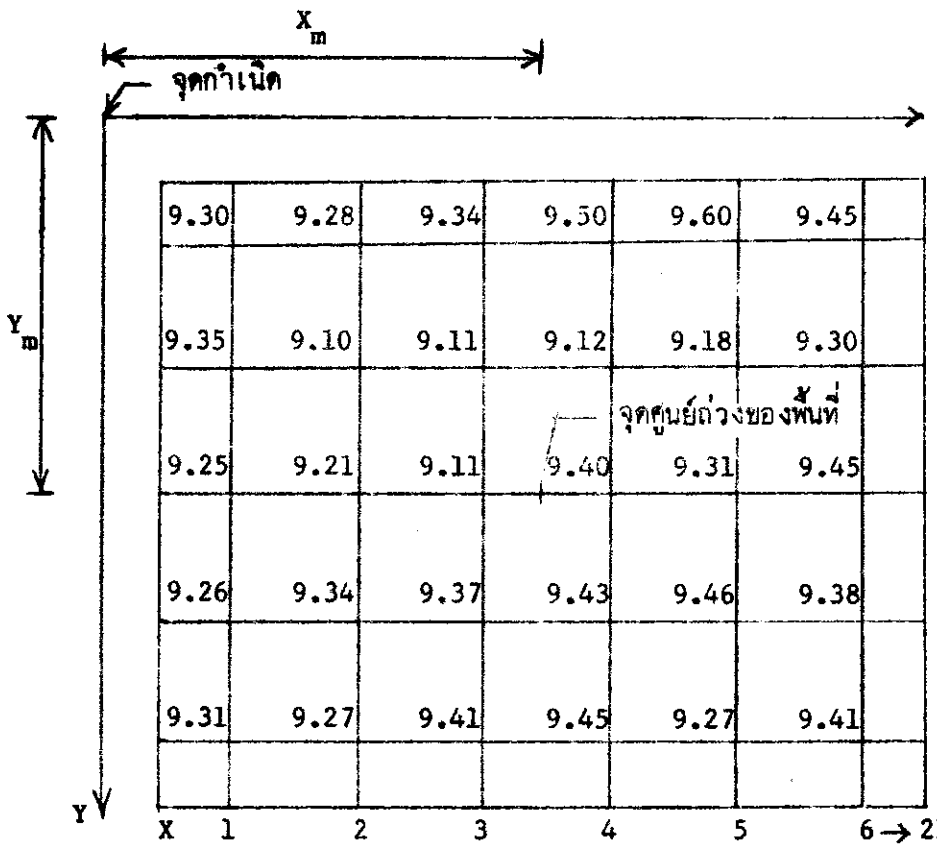
ขั้นที่ 2 $X_m = \frac{\Sigma x}{n_x} = \frac{21}{6} = 3.5$

$Y_m = \frac{\Sigma y}{n_y} = \frac{15}{5} = 3.0$

ดังนั้นจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่อยู่ที่จุด (3.50, 3.0) จากจุดกำเนิด

ขั้นที่ 3 $\Sigma H = 279.72$

$\Sigma \bar{H}_x = 55.94$; $\Sigma \bar{H}_y = 46.61$



							Y	ΣH_y	$\bar{H}_y$	$Y.\bar{H}_y$	Y^2
9.30	9.28	9.34	9.50	9.60	9.45		1	56.47	9.41	9.41	1
9.35	9.10	9.11	9.12	9.18	9.30		2	55.16	9.19	19.38	4
9.25	9.21	9.11	9.40	9.31	9.45		3	55.73	9.27	27.87	9
9.26	9.34	9.37	9.43	9.46	9.38		4	56.24	9.37	37.48	16
9.31	9.27	9.41	9.45	9.27	9.41		5	56.17	9.37	46.75	55
							↓ 15				
X 1	2	3	4	5	6 → 21						
ΣH_x	46.47	46.20	46.34	46.90	46.82	46.99 →	279.72	46.61	139.89	55	
$\bar{H}_x$	9.29	9.24	9.27	9.38	9.36	9.40 →	55.94				
$X.\bar{H}_x$	9.29	18.48	27.81	37.54	46.80	56.40 →	196.32				
X^2	1	4	9	16	25	36 →	91				

รูปที่ 5.4 วิธีการคำนวณปรับระดับพื้นที่สำหรับตัวอย่างที่ 5.1

$$\Sigma (X.\bar{H}_x) = 196.32 \quad ; \quad \Sigma (Y.\bar{H}_y) = 139.89$$

$$\Sigma X^2 = 91 \quad ; \quad \Sigma Y^2 = 55$$

$$n_x = 6 \quad ; \quad n_y = 5$$

<u>ขั้นที่</u> 4 หาระดับเฉลี่ยที่จุดศูนย์ถ่วง H_m

$$H_m = \frac{\Sigma H}{n_x . n_y} = \frac{279.72}{6 \times 5} = 9.32 \text{ เมตร}$$

<u>ขั้นที่</u> 5

$$G_x = \frac{196.32 - \frac{(21)(55.94)}{6}}{91 - \frac{(21)^2}{6}}$$

$$= 0.03 \text{ เมตร/ระยะทาง 1 หมุด}$$

ค่า G_x เป็นบวกหมายความว่าระดับพื้นที่ในแนวแกน X จะเพิ่มขึ้น 0.03 เมตร ต่อระยะทาง 25 เมตร

$$G_y = \frac{139.89 - \frac{(15)(46.61)}{5}}{55 - \frac{(15)^2}{5}}$$

$$= 0.006 \text{ เมตร/25 เมตร}$$

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วจะสามารถหาค่า $\frac{\Sigma X}{n_x}$, $\frac{\Sigma Y}{n_y}$, $\Sigma(X^2) - \frac{(\Sigma X)^2}{n_x}$ และ $\Sigma(Y)^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n_y}$ ได้จากตารางที่ 5.3 เมื่อรู้ค่า n_x และ n_y

<u>ขั้นที่</u> 6 ก่อนคำนวณหาระดับพื้นที่ที่ต้องการปรับจะต้องคำนวณหาระดับที่จุดกำเนิดก่อน โดยใช้ค่า H_m, G_x, G_y, X_m และ Y_m ที่คำนวณได้ก่อนหน้าที่

จากสมการที่ 5.6 ถ้า $H = H_m = 9.32$ เมตร $X = X_m = 3.5$; $Y = Y_m = 3.0$; $G_y = 0.03$ และ $G_y = 0.006$ จะได้

$$a = H_m - G_x(X_m) - G_y(Y_m)$$

$$= 9.32 - 0.03(3.5) - 0.006(3)$$

$$a = 9.20 \text{ เมตร}$$

ตารางที่ 5.3 ค่า $\frac{\Sigma S}{n}$ และ $\Sigma (S)^2 - \frac{(\Sigma S)^2}{n}$ เมื่อ n มีค่าระหว่าง 2 ถึง 26

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

หมายเหตุ ถ้า n คือ n_x ค่า S=X และถ้า n คือ n_y ค่า S=Y

สำหรับหมุดอื่น ๆ ก็จะคำนวณได้โดยวิธีเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 5.5 การปรับพื้นที่โดยวิธีนี้จะทำให้มีการขุดดินและถมดินน้อยที่สุด และจำนวนดินขุดจะเท่ากับดินถมโดยประมาณ แต่ในการปรับระดับพื้นที่โดยใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ซึ่งมีน้ำหนักมากพบว่าจะทำให้เกิดการยุบอัดดินทำให้ปริมาตรของดินถมลดลง ดังนั้นในการคำนวณควรจะให้ปริมาตรของดินขุดมากกว่าดินถมประมาณ 20 ถึง 45 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ในการปรับพื้นที่เพื่อการชลประทานจะต้องเผื่อดินส่วนหนึ่งในการทำถนนและคันคลองไว้ด้วย

G_x = 0.03 ม./25 ม. →

G_y = 0.006 ม./25 ม. ↓

9.30	9.28	9.34	9.50	9.60	9.45	
9.233	0.067C 9.236 0.077C	0.017C 9.293 0.027C	0.047C 9.323 0.057C	0.177C 9.353 0.187C	0.247C 9.383 0.257C	0.067C 0.077C
9.35	9.10	9.11	9.12	9.18	9.30	
9.239	0.111C 9.269 0.121C	0.169F 9.299 0.159 F	0.189F 9.329 0.179 F	0.209F 9.359 0.199 F	0.179F 9.389 0.169F	0.089F 0.079F
9.25	9.21	9.11	9.40	H_m = 9.32 เมตร 9.31	9.45	
9.245	0.005C 9.275 0.015C	0.065F 9.305 0.055F	0.195F 9.335 0.185F	0.065C 9.365 0.075C	0.055F 9.395 0.045 F	0.055C 0.065C
9.26	9.34	9.37	9.43	9.46	9.38	
9.251	0.009C 9.281 0.019C	0.059C 9.311 0.069C	0.059C 9.341 0.069C	0.089C 9.371 0.099 C	0.089C 9.401 0.099 C	0.021F 0.011F
9.31	9.27	9.41	9.45	9.27	9.41	
9.257	0.053C 9.287 0.063 C	0.017 F 9.317 0.007F	0.093C 9.347 0.103 C	0.103C 9.377 0.113C	0.107F 9.407 0.097F	0.003C 0.013C

ระดับดินเดิม	
ระดับดินที่ คำนวณได้	ขุด (C) หรื ถม (F)

รูปที่ 5.5 แผนที่แสดงดินขุด – ดินถม สำหรับตัวอย่างที่ 5.1

ขั้นที่ 7 คำนวณหาดินขุด – ดินถม จากระดับดินเดิม และระดับดินที่คำนวณได้ เช่นที่หมุด (2, 5) ระดับดินเดิมคือ 9.27 เมตร และระดับดินที่คำนวณได้คือ 9.287 เมตร ดังนั้นจะต้องถมดินเท่ากับ 9.287 – 9.27 = 0.017 เมตร ส่วนที่หมุดอื่น ๆ จะแสดงผลการคำนวณไว้ในรูปที่ 5.5

ผลบวกของดินขุดทั้งหมด (ΣC) = 1.415

ผลบวกของดินถมทั้งหมด (ΣF) = 1.295

ดังนั้นจะได้ว่า $\frac{\Sigma C}{\Sigma F} = \frac{1.415}{1.295} \times 100 = 109\ \%$

ถ้าต้องการเพิ่มหรือลดอัตราส่วนดินขุดต่อดินถม จะทำได้โดยการเพิ่มหรือลดระดับที่ทุก ๆ หมุดเท่า ๆ กัน เช่น ถ้าทำการลดระดับที่ทุก ๆ หมุดลงเท่ากับ 1 เซนติเมตรจะได้

ผลบวกของดินขุดทั้งหมด (ΣC) = 1.605

ผลบวกของดินถมทั้งหมด (ΣF) = 1.185

$$\frac{\Sigma C}{\Sigma F} = \frac{1.605}{1.185} \times 100 = 135\ \%$$

แสดงว่าถ้าลดระดับทุก ๆ จุดลง 0.01 เมตร จะได้ดินขุดมากกว่าดินถมเท่ากับ 35 เปอร์เซนต์

5.7 การคำนวณปริมาณงานดิน

การคำนวณปริมาณงานดินในการปรับพื้นที่มี 5 วิธี แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันออกไป เช่น บางวิธีอาจจะให้ค่าถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าแต่การคำนวณทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า ขณะที่บางวิธีให้ค่าถูกต้องกว่า แต่การคำนวณยุ่งยากและต้องเสียเวลามาก การจะเลือกใช้วิธีการไหนขึ้นอยู่กับวิจารณาญาณของผู้ออกแบบ และวิธีการออกแบบการปรับระดับพื้นที่เป็นสำคัญ

5.7.1 วิธีใช้สูตร Prismoidal

วิธีนี้เป็นวิธีการคำนวณปริมาตรดินขุดและดินถมได้ถูกต้องกว่าวิธีอื่น ๆ แต่การคำนวณค่อนข้างจะเสียเวลามาก ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + 4A_m + A_2) \qquad \text{.....(5.7)}$$

เมื่อ V = ปริมาตรดิน

L = ระยะทางตั้งฉากระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ปลายทั้งสองของปริมาตรดินที่กำลังพิจารณา

A_1 = พื้นที่หน้าตัดที่ปลายด้านหนึ่งของปริมาตรดินที่กำลังพิจารณา

A_2 = พื้นที่หน้าตัดที่ปลายอีกด้านหนึ่งของปริมาตรดินที่กำลังพิจารณา

A_m = พื้นที่หน้าตัดที่อยู่ตรงกลางระหว่าง A_1 และ A_2

5.7.2 วิธีคิดสี่จุด (Four-Point Method)

วิธีนี้นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะกับการออกแบบปรับพื้นที่แบบปรับเป็นระนาบ (Plane Method) หรือกรณีที่มีการสำรวจแบบปักหมุดเป็นตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส วิธีนี้จะคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$V_c = \frac{L^2}{4} \frac{(H_C^2)}{(H_C + H_F)} \quad \text{.....(5.8)}$$

$$V_F = \frac{L^2}{4} \frac{(H^2_F)}{(H_C + H_F)} \quad \text{.....(5.9)}$$

เมื่อ V_C = ปริมาตรดินขุด

V_F = ปริมาตรดินถม

L = ระยะทางระหว่างหมุด

H_C = ผลรวมความลึกของดินขุดที่หมุดทั้งสี่

H_F = ผลรวมความลึกของดินถมที่หมุดทั้งสี่

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วจะหาค่า V_C และ V_F เมื่อ L เท่ากับ 25 และ 50 เมตร ได้จากตารางภาคผนวกที่ 5.1

จากสูตรข้างบนจะสามารถคำนวณหาปริมาตรดินขุด - ดินถมที่หมุดต่าง ๆ ซึ่งประกอบเป็นรูปสี่เหลี่ยนจัตุรัสได้ดังนี้

	25 ม.	
	F 0.1 ม.	C 0.2 ม.
25 ม.		
	F 0.2 ม.	C 0.2 ม.
	.	.

$H_c = 0.4$; $H_F = 0.3$

$L = 25$

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

$= 35.71$ ลบ.ม.

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

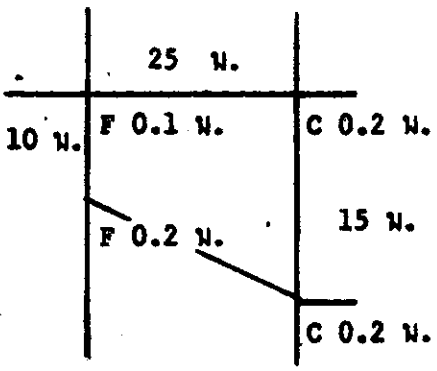
$= 20.09$ ลบ.ม.

กรณีที่หมุดทั้งสี่ไม่ประกอบกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะคำนวณหาปริมาตรดินตัดดินถม ได้ดังนี้

พื้นที่ระหว่างหมุดทั้งสี่ $\frac{10 + 15}{2} \times 25 = 312.5$ ตร.ม.

พื้นที่ระหว่างหมุดที่ประกอบกันเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25×25

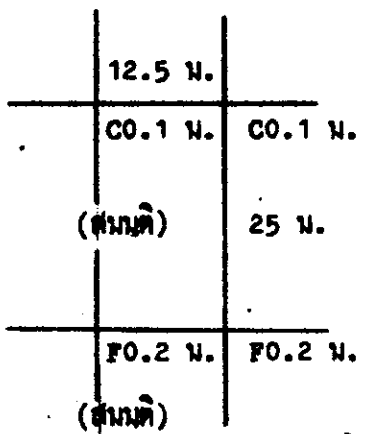
$= 625$ ตร.ม.



$V_C = \frac{312.5}{625} \times 35.71 = 17.86$ ลบ.ม.

$V_F = \frac{312.5}{625} \times 20.09 = 10.05$ ลบ.ม.

การคำนวณดินตัดดินถมบริเวณขอบของพื้นที่ซึ่งตามปกติแล้วการปักหมุดจะปักห่างจากขอบของพื้นที่ประมาณครึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่างหมุด ในทางปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะถือว่าความลึกของดินขุดหรือดินถมที่ขอบของพื้นที่จะเท่ากับค่าที่จุดซึ่งใกล้ที่สุด และคำนวณหาปริมาตรดินขุด – ดินถมได้ดังนี้



พื้นที่ระหว่างหมุด $= 12.5 \times 25 = 312.5$ ตร.ม.

สำหรับหมุด 25×25 ; $V_C = \frac{25^2(0.2)^2}{4(0.2 + 0.4)}$

$= 10.42$ ลบ.ม.

$V_F = \frac{25^2 (0.4)^2}{4(0.2 + 0.4)}$

$= 41.67$ ลบ.ม.

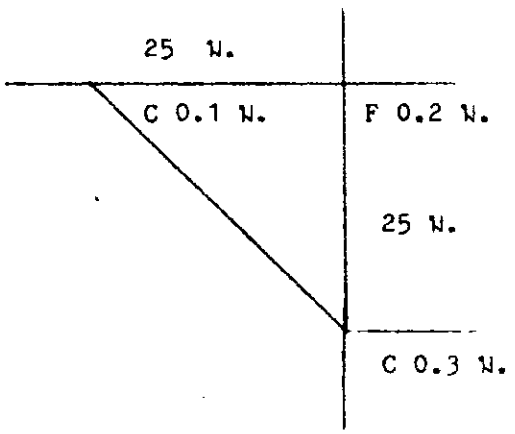
สำหรับหมุด 12.5×25 ; $V_C = \frac{312.5}{625} \times 10.42$ ลบ.ม.

$= 5.21$ ลบ.ม.

$V_F = \frac{312.5}{625} \times 41.67$ ลบ.ม.

$= 20.84$ ลบ.

กรณีที่พื้นที่ระหว่างหมุดเป็นรูปสามเหลี่ยม ปริมาตรของดินขุดดินถมจะเท่ากับ $\frac{2}{3}$ ของปริมาตรดินที่คำนวณได้จากสูตรเมื่อระยะระหว่างหมุดเท่ากัน



$H_C = 0.4$; $H_F = 0.2$

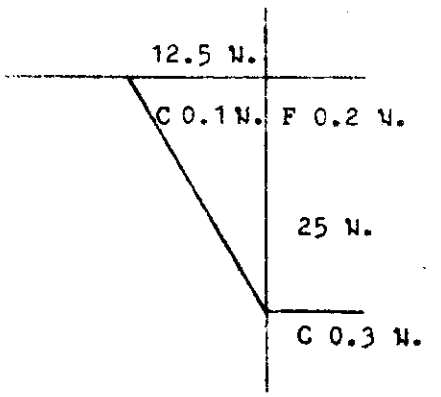
$$V_C = \frac{2}{3}\frac{(25)^2}{4}\frac{(0.4)^2}{(0.4+0.2)}$$

$$= 27.78 \text{ ลบ.ม.}$$

$$V_F = \frac{2}{3}\frac{(25)^2}{4}\frac{(0.2)^2}{(0.4+0.2)}$$

$$= 6.94 \text{ ลบ.ม.}$$

ในกรณีที่ระยะระหว่างหมุดของรูปสามเหลี่ยมไม่เท่ากันให้คิดทำนองเดียวกับรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าแล้วคูณด้วยอัตราส่วนพื้นที่สามเหลี่ยมจริงต่อพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส



$$V_C = \frac{12.5 \times 25}{25 \times 25} \times \frac{2}{3} \times \frac{(25)^2}{4}\frac{(0.4)^2}{(0.4+0.2)}$$

$$= 13.89 \text{ ลบ.ม.}$$

$$V_F = \frac{12.5 \times 25}{25 \times 25} \times \frac{2}{3} \times \frac{(25)^2}{4}\frac{(0.2)^2}{(0.4+0.2)}$$

$$= 3.47 \text{ ลบ.ม.}$$

5.7.3 <u>วิธีคิดจากพื้นที่หน้าตัดปลาย</u> (End-Area Method)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาตรดินขุดดินถมด้วยวิธีนี้คือ

$$V = \frac{L(A_1 + A_2)}{2} \quad \text{.....(5.10)}$$

เมื่อ V = ปริมาตรดินขุดหรือดินถม

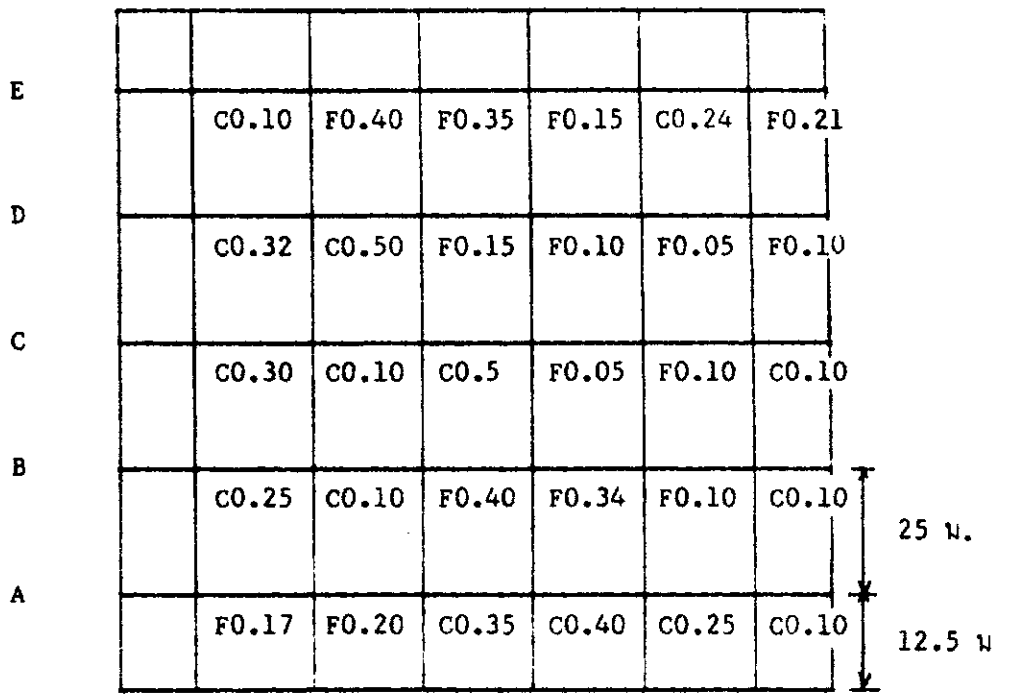
L = ระยะทางระหว่างพื้นที่หน้าตัดของดินขุดหรือดินถม

A_1 = พื้นที่หน้าตัดของดินขุดหรือดินถมที่หมุดแถวใดแถวหนึ่ง

A_2 = พื้นที่หน้าตัดของดินขุดหรือดินถมที่หมุดอีกแถวหนึ่ง

การคำนวณหาปริมาตรดินขุดหรือดินถมด้วยวิธีนี้จะแสดงไว้ในตัวอย่างที่ 5.2

ตัวอย่างที่ 5.2 การคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมโดยวิธีคิดจากพื้นที่หน้าตัดปลาย โดยมีข้อมูลดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ดินขุด - ดินถม สำหรับตัวอย่าง 5.2

วิธีทำ จากข้อมูลข้างบนจะคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมได้ดังแสดงในตาราง

แนวหมุด	L (ม.)	ดินขุด			ดินถม		
		พื้นที่หน้าตัดในแต่ละแนว (ตร.ม.)	พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย (ตร.ม.)	ปริมาตรดิน (ตร.ม.)	พื้นที่หน้าตัดในแต่ละแนว (ลบ.ม.)	พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ย (ตร.ม.)	ปริมาตรดิน (ลบ.ม.)
E + 12.5	12.5	5.03			24.25		
			5.03	62.88		24.25	303.13
E	25	5.03			24.25		
			12.04	301.00		15.28	382.00
D	25	19.05			6.30		
			15.94	398.50		4.57	114.25
C	25	12.83			2.83		
			11.23	280.75		11.11	277.75
B	25	9.63			19.38		
			17.77	444.25		13.52	338.00
A	25	25.90			7.65		
			25.90	323.75		7.65	95.63
A - 12.5	12.5	25.90			7.65		
รวม				1811.13			1510.76

5.7.4 <u>วิธีคิดจากพื้นที่ระนาบในแนวราบ</u> (Horizontal-Plane Method)

วิธีนี้คล้าย ๆ กับวิธีคิดจากพื้นที่หน้าตัดปลาย (End-Area Method) แต่ใช้วิธีพิจารณาพื้นที่ระนาบในแนวราบตามเส้นชั้นความสูงแทนพื้นที่หน้าตัดปลาย เหมาะที่จะใช้คำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถม สำหรับการออกแบบการปรับพื้นที่แบบปรับจากเส้นชั้นความสูง (Contour-Adjustment Method) ซึ่งสูตรที่ใช้คำนวณคือ

$$V = \frac{H(A_1 + A_2)}{2} \qquad \text{.....(5.11)}$$

เมื่อ V = ปริมาตรดินขุด – ดินถม

A_1 = พื้นที่ระนาบในแนวราบที่ระดับหนึ่ง

A_2 = พื้นที่ระนาบในแนวราบที่อีกระดับหนึ่ง

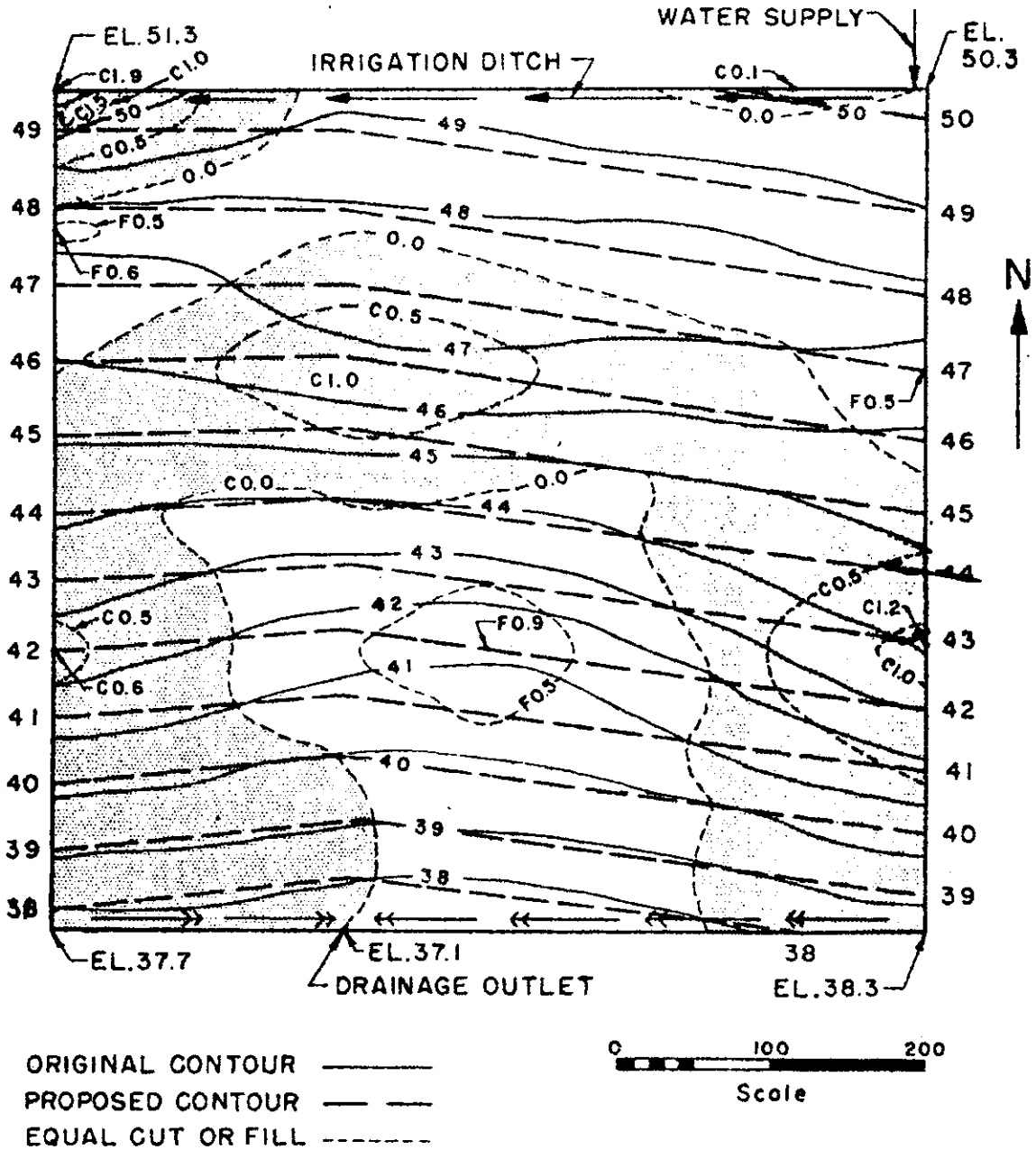
H = ระยะระหว่างระดับทั้งสอง

ความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับค่า H ถ้า H ยิ่งน้อยยิ่งให้ค่าถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

จากแผนที่แสดงการออกแบบการปรับระดับพื้นที่แบบปรับจากเส้นชั้นความสูง (Contour-Adjustment Method) ดังแสดงในรูปที่ 5.7 จะสามารถลากเส้นแสดงแนวที่มีการตัดดิน-ถมดินเท่ากันได้ ซึ่งจะสามารถหาพื้นที่ระนาบในแนวราบที่ระดับต่าง ๆ ได้โดยใช้ Planimeter และสามารถคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมได้ดังแสดงไว้ในตัวอย่างที่ 5.3

ตัวอย่างที่ 5.3 การคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมโดยวิธีคิดจากพื้นที่ระนาบในแนวราบ โดยใช้ข้อมูลดินขุดและดินถมจากรูปที่ 5.7

ดินขุดหรือดินถม		พื้นที่ในแนวราบ	พื้นที่เฉลี่ย	ปริมาตรดินขุดหรือดินถม
ระดับ	ระยะ			
(ฟุต)	ฟุต	ตร.ฟุต	ตร.ฟุต	ลบ.ฟุต
ดินขุด				
0.0		189,100		
	0.5		110,000	55,000
0.5		30,900		
	0.5		16,500	8,250
1.0		2,100		
	0.5		2,300	1,150
1.5		200		
	0.4		100	40
1.9		0		
ดินขุดทั้งหมด				64,440
ดินถม				
0.0		170,900		
	0.5		90,200	45,100
0.5		9,500		
	0.44		4,750	1,900
0.9		0		
ดินถมทั้งหมด				47,000



รูปที่ 5.7 การปรับระดับพื้นที่โดยวิธีการปรับจากเส้นชั้นความสูง

(Contour - Adjustment Method)

5.7.5 วิธีคิดจากผลบวก (Summation Method)

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยการคิดว่าความลึกของดินขุดหรือดินถมที่หมุดใดหมุดหนึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่หมุดนั้นครอบคลุมอยู่ ดังนั้นปริมาตรของดินขุดหรือดินถมจะหาได้จากสูตร

$$V_C = (\Sigma C) A \quad \text{.....(5.12)}$$

$$V_F = (\Sigma F) A \quad \text{.....(5.13)}$$

เมื่อ V_C = ปริมาตรของดินขุดของทั้งแปลง

V_F = ปริมาตรของดินถมของทั้งแปลง

ΣC = ผลรวมของความลึกของดินขุดที่หมุดต่าง ๆ ตลอดทั้งแปลง

ΣF = ผลรวมของความลึกของดินถมที่หมุดต่าง ๆ ตลอดทั้งแปลง

A = พื้นที่ระหว่างหมุดทั้งสี่

5.8 การเตรียมการปรับพื้นที่ในสนาม

เครื่องจักรที่ใช้ในการปรับพื้นดินขั้นต้นได้แก่พวก Bulldozer และ Motor Scraper ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ซึ่งทั้ง 2 ชนิดสามารถที่จะทำการตัดดินและขนย้ายดินไปได้ในตัว ผลการปรับพื้นที่จะให้ความราบเรียบ $\pm$ 100 มม.

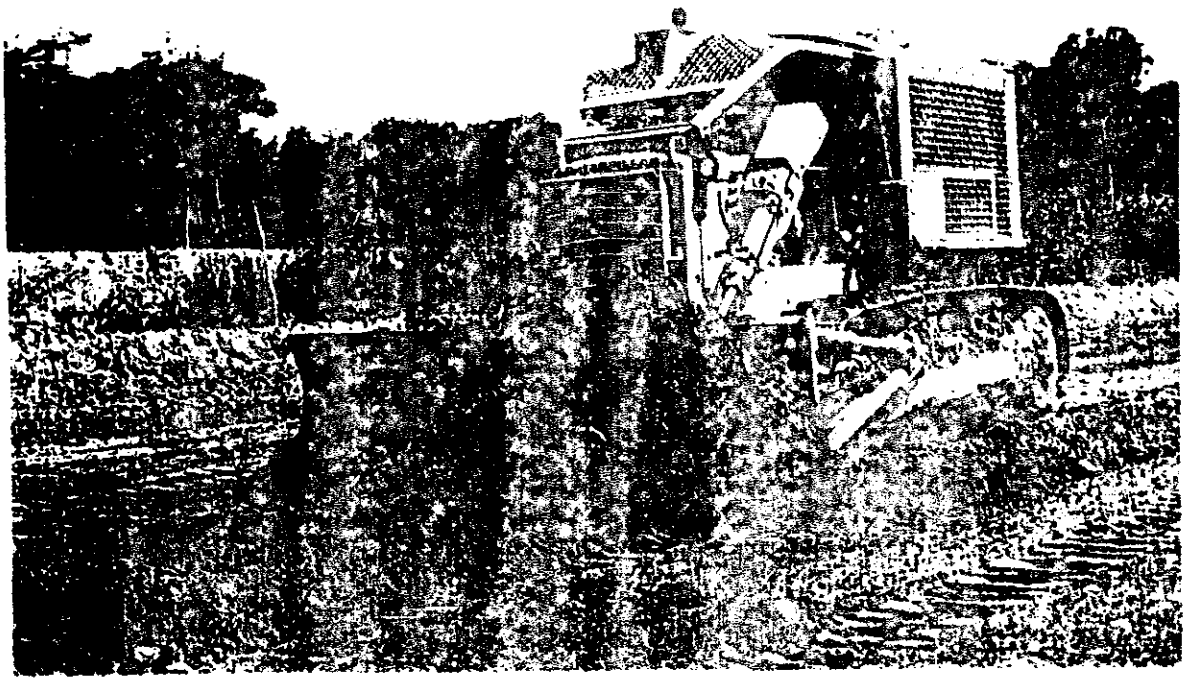
ส่วนการปรับพื้นที่ขั้นที่สองเพื่อให้พื้นดินราบเรียบตามความลาดชันที่ต้องการตามปกติจะใช้พวก Motor Grader และ Land Plane ดังรูปที่ 5.9 ซึ่งสามารถปรับได้ละเอียดถึง $\pm$ 25 มม.

กรณีที่ต้องการความละเอียดในการปรับพื้นที่สูง จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เช่น เครื่องควบคุมการปรับพื้นที่ด้วยแสงเลเซอร์ ดังรูปที่ 5.10

5.9 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525), เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 (การออกแบบการชลประทานในระดับไร่นา). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์

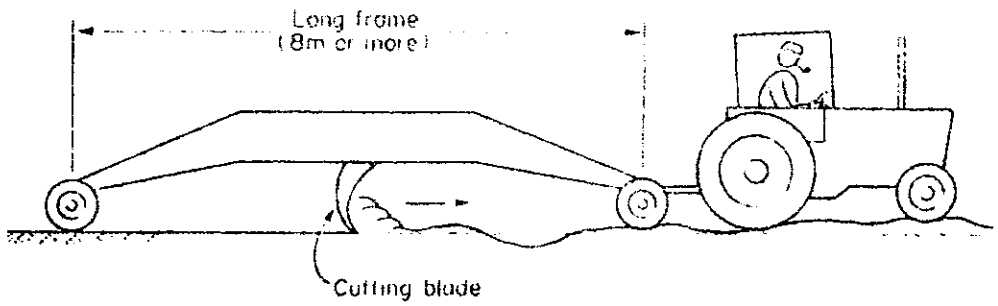
2. USBR (1961), National Engineering Handbook, Section 15, Irrigation, Chapter 12, Land Levelling, Soil Anservation Service.



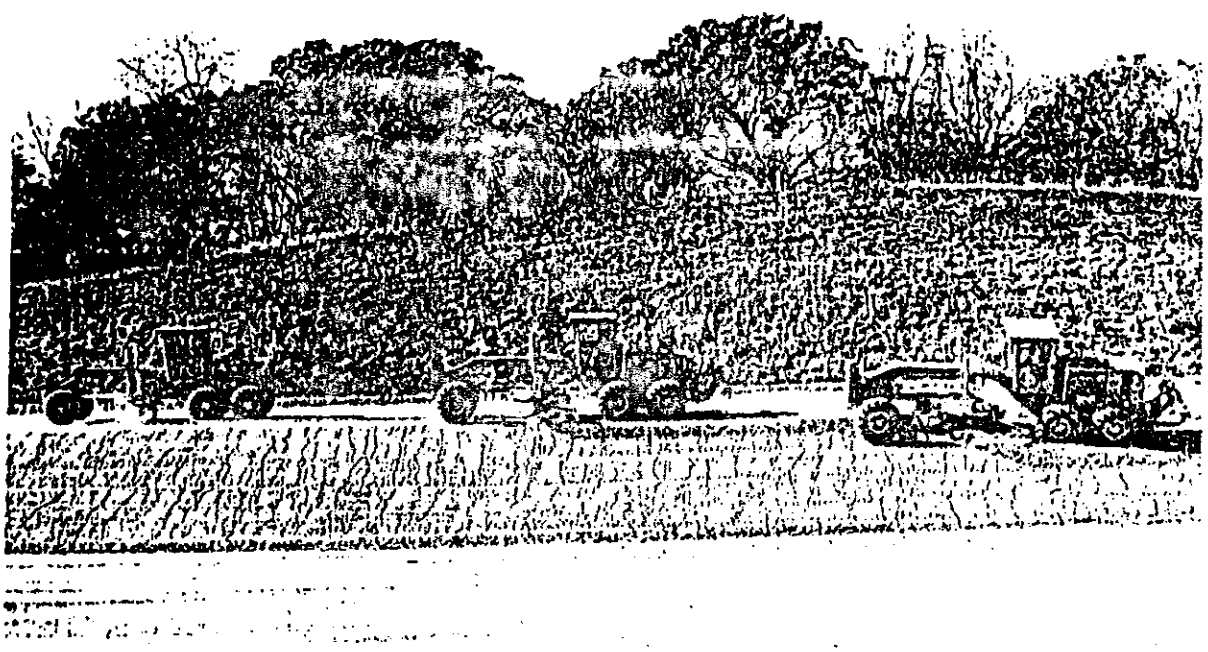
(1) Bulldozer

(2) Motor Scraper

รูปที่ 5.8 Bulldozer และ Motor Scraper

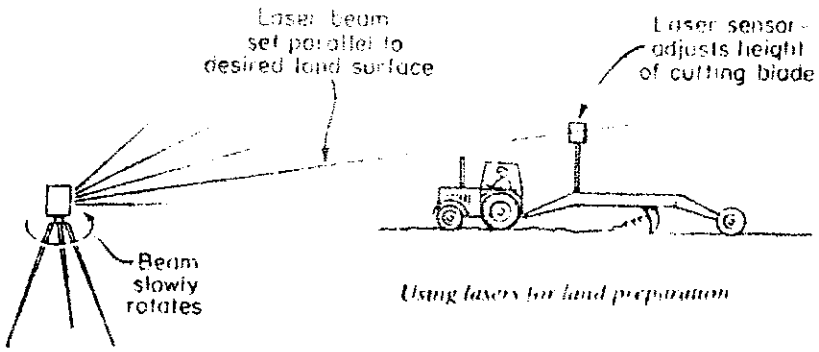


(1) Land Plane

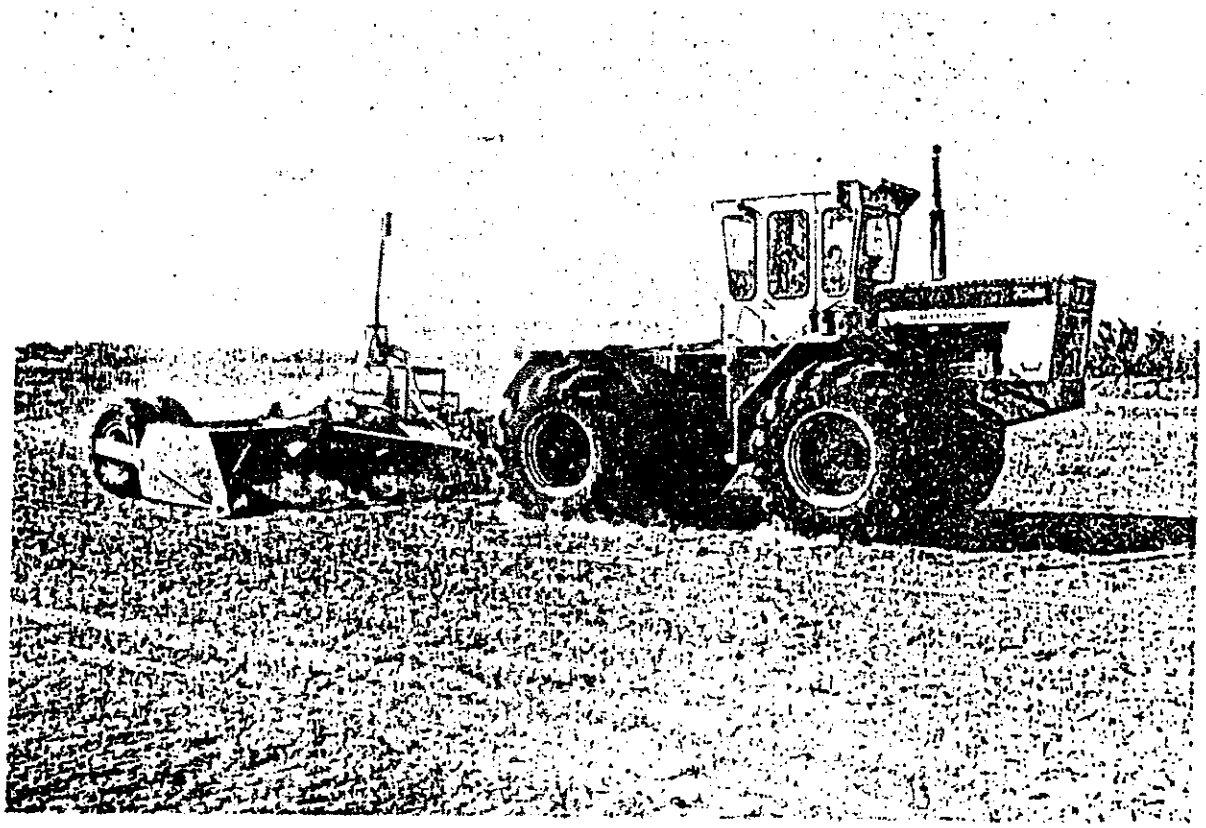


(2) Motor Grader

รูปที่ 5.9 Motor Grader และ Land Plane



Using lasers for land preparation



รูปที่ 5.9 เครื่องมือปรับระดับพื้นที่ควบคุมด้วยแสงเลเซอร์

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method

(ระดับดินเป็นทศนิยมเมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

		0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
0.00	CUT	0	5	14	23	31	39	47	55	62	70	78	86	94	102	109	117	125	133	141	148	156
	FILL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.05	CUT	0	4	10	18	25	33	40	48	56	63	71	79	87	94	102	110	118	125	133	141	149
	FILL	5	4	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0.10	CUT	0	3	8	14	21	28	35	43	50	58	65	73	80	88	96	103	111	119	127	134	142
	FILL	15	13	9	7	5	4	3	3	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1
0.15	CUT	1	2	6	12	18	24	31	38	45	53	60	68	75	83	90	98	105	113	121	128	136
	FILL	23	18	14	11	10	9	8	7	6	6	5	5	5	4	4	4	4	4	3	3	3
0.20	CUT	0	2	5	11	16	22	28	35	42	49	56	63	70	78	85	93	100	108	115	123	130
	FILL	31	25	21	16	14	12	11	10	10	9	8	8	8	7	7	7	6	6	6	5	5
0.25	CUT	0	1	4	9	14	20	26	32	38	45	52	59	66	73	81	88	95	103	110	118	125
	FILL	39	33	28	24	22	20	18	16	15	14	13	12	11	11	10	10	9	9	8	8	8
0.30	CUT	0	1	4	8	12	18	23	29	36	42	49	56	62	69	77	84	91	98	105	113	120
	FILL	47	40	35	31	28	26	23	22	20	19	18	17	16	15	14	13	13	12	12	11	11
0.35	CUT	0	1	3	7	11	16	22	27	33	40	46	53	59	66	73	80	87	94	101	108	116
	FILL	55	48	43	38	35	32	29	27	26	24	23	21	20	19	18	17	17	16	15	15	14
0.40	CUT	0	1	3	6	10	15	20	26	31	37	43	50	56	63	70	76	83	90	97	104	112
	FILL	62	56	50	45	42	38	36	33	31	29	28	26	25	24	23	22	21	20	19	19	18
0.45	CUT	0	1	3	6	10	14	19	24	29	35	41	47	54	60	67	73	80	87	94	101	108
	FILL	70	63	58	53	49	45	42	40	37	35	33	32	30	29	28	26	25	24	23	23	22
0.50	CUT	0	1	3	5	9	13	18	23	28	33	39	45	51	57	64	70	77	84	90	97	104
	FILL	78	71	65	60	56	52	49	46	43	41	39	37	36	34	33	31	30	29	28	27	26
0.55	CUT	0	1	2	5	8	12	17	21	26	32	37	43	49	55	61	68	74	81	87	94	101
	FILL	86	79	73	68	63	59	56	53	50	47	45	43	41	39	38	36	35	34	33	32	30
0.60	CUT	0	1	2	5	8	11	16	20	25	30	36	41	47	53	59	65	71	78	84	91	98
	FILL	94	87	80	75	70	66	62	59	56	54	51	49	47	45	43	42	40	39	37	36	35
0.65	CUT	0	1	2	4	7	11	15	19	24	29	34	39	45	51	57	63	69	75	82	88	95
	FILL	102	94	88	83	78	73	69	66	63	60	57	55	53	51	49	47	46	44	43	41	40
0.70	CUT	0	1	2	4	7	10	14	18	23	28	33	38	43	49	55	61	67	73	79	85	92
	FILL	109	102	96	90	85	81	77	73	70	67	64	61	59	57	55	53	51	49	48	46	45
0.75	CUT	0	1	2	4	6	10	13	17	22	26	31	36	42	47	53	59	65	71	77	83	89
	FILL	117	110	104	99	93	88	84	80	76	73	70	68	65	63	61	59	57	55	53	52	50
0.80	CUT	0	1	2	4	6	9	13	17	21	25	30	35	40	45	51	57	63	69	74	81	87
	FILL	125	118	112	107	100	95	91	87	83	80	77	74	71	69	67	65	63	61	59	57	56
0.85	CUT	0	1	2	4	6	9	12	16	20	24	29	34	39	44	50	55	61	66	72	78	84
	FILL	133	126	119	113	108	103	98	94	90	87	84	81	78	75	73	71	69	68	65	63	61
0.90	CUT	1	1	2	3	5	8	12	15	19	23	28	33	37	43	48	53	59	65	70	76	82
	FILL	141	133	127	121	115	110	105	101	97	94	91	88	86	83	81	79	77	75	73	72	70
0.95	CUT	1	1	2	3	5	8	11	15	19	23	27	32	36	41	46	52	57	63	68	74	80
	FILL	148	141	134	128	123	118	113	108	104	101	97	94	91	89	86	84	81	79	76	74	72
1.00	CUT	1	1	2	3	4	7	11	14	18	22	26	31	35	40	44	49	54	59	64	70	76
	FILL	156	149	142	136	131	125	120	115	112	108	104	101	98	95	93	90	88	86	84	82	80

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

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

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

Sum of Cut on Four Corners

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

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 25 เมตร × 25 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

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

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

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

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

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

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

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

ตารางภาคผนวกที่ 5.1 ปริมาตรดินขุด-ดินถมโดยวิธี Four Point Method (ต่อ)

(งานดินเป็นลูกบาศก์เมตรสำหรับตาราง 50 เมตร × 50 เมตร)

ผลรวมของดินขุดทั้งสี่หมุด (เมตร)

ผลรวมของดินถมทั้งสี่หมุด (เมตร)

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

บทที่ 6

ลักษณะระบบชลประทานในแปลงนา

(Basics of On-Farm Irrigation System)

6.1 ความต้องการน้ำชลประทานและสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ

ระบบชลประทานในแปลงนาของโครงการชลประทานแม่กลองได้ออกแบบไว้ โดยถือว่าข้าวเป็นพืชหลักในการส่งน้ำชลประทาน และกำหนดให้ส่งน้ำแก่พื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้งให้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ข้าวมีความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดสุทธิจะเท่ากับ 9.0 มม./วัน การระเหยและคายน้ำเท่ากับ 8.0 มม./วัน และการซึมเลยเฉลี่ยรากเท่ากับ 1.0 มม./วัน กำหนดให้ประสิทธิภาพที่ระดับแฉกส่งน้ำเท่ากับ 75 เปอร์เซนต์ ความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดจะเท่ากับ 0.23 ลิตร/วินาที/ไร่

การออกแบบคูระบายน้ำใช้สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 46 มม./วัน หรือ 0.85 ลิตร/วินาที/ไร่ สัมประสิทธิ์การระบายน้ำนี้สามารถระบายน้ำฝนปริมาณสูงสุดที่ตกติดต่อกัน 5 วัน ซึ่งมีรอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี (= 190 มม.) ได้หมดภายใน 3-4 วัน

6.2 รูปแบบของการพัฒนาระบบชลประทานในแปลงนา

ในระบบชลประทานในแปลงนาของโครงการชลประทานแม่กลอง จะจัดให้มีคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และถนนเข้าถึงทุกแปลง หรือประมาณ 100 เปอร์เซนต์ จะไม่มีการจัดรูปแปลงใหม่ และไม่มีการปรับระดับดินให้ราบในแปลงเพาะปลูกที่มีการขุดดินออกไปเพื่อสร้างคูส่งน้ำและถนน ในบริเวณที่ได้มีการขุดคูส่งน้ำตาม "แผนงานส่งน้ำและคูน้ำ" ไว้แล้ว คูที่มีอยู่เดิมจะต้องทำการกลบและปรับให้เรียบร้อย

6.3 วิธีการจัดสรรน้ำชลประทานในระดับคูส่งน้ำ

พื้นที่รับน้ำของแต่ละคู (พื้นที่แฉกส่งน้ำ) จะแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยหรือแฉกย่อย ซึ่งแต่ละแฉกย่อยจะประกอบด้วยแปลงนาจำนวนหนึ่ง แฉกย่อยนี้จะได้รับน้ำชลประทานสัปดาห์ละครั้งตามรอบเวรการส่งน้ำ สำหรับในแง่การจัดสรรน้ำควรที่จะกำหนดรอบเวรการส่งน้ำในระดับคูนาให้คงที่ ส่วนปริมาณน้ำในคูจะต้องปรับให้เหมาะสมตามความต้องการใช้น้ำ

- กำหนดเวลาการส่งน้ำประจำสัปดาห์ให้แต่ละแฉกย่อย ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของแฉกย่อยนั้น อาคารอัตน้ำหรืออาคารแบ่งน้ำ (ซึ่งทำหน้าที่เป็นอาคารอัตน้ำด้วย) ที่ตั้งอยู่บริเวณ

ของคู ซึ่งควบคุมการส่งน้ำให้แก่แฉกย่อยนั้น จะต้องเปิดเมื่อถึงรอบเวรที่แฉกย่อยนั้นจะต้องรับน้ำ และเปิดในวันอื่น ๆ ที่เหลือของสัปดาห์

การแบ่งปันกันรับน้ำชลประทานระหว่างแปลงต่าง ๆ ที่อยู่ในแฉกย่อยเดียวกัน ทำได้โดยการเปิดท่อส่งน้ำเข้านาในช่วงเวลาหนึ่งที่กำหนดให้ ท่อส่งน้ำเข้านาดังกล่าวซึ่งส่งน้ำให้แก่แปลงต่าง ๆ ที่อยู่ในแฉกย่อยเดียวกัน จะเปิดได้เฉพาะในช่วงเวลาที่เป็นรอบเวรของแฉกย่อยนั้นเท่านั้น ส่วนในช่วงอื่น ๆ ของสัปดาห์จะต้องปิดไว้

ท่อส่งน้ำเข้านาจะออกแบบให้สามารถส่งน้ำได้จำนวน 30 ลิตร/วินาที ปริมาณน้ำ 30 ลิตร/วินาทีนั้น โดยทั่วไปแล้ว เป็นอัตราที่สามารถควบคุมได้โดยสะดวกในแปลงนา ท่อส่งน้ำเข้านากำหนดไว้ให้ส่งน้ำให้แก่พื้นที่ได้มากที่สุด 15 ไร่ เพื่อที่จะจำกัดเวลาของการส่งน้ำประจำสัปดาห์เป็นหนึ่งวัน ต่อสัปดาห์ ในกรณีที่แปลงเพาะปลูกมีพื้นที่เกินกว่า 15 ไร่ จะเพิ่มจำนวนท่อส่งน้ำเข้านา เกณฑ์ในการเพิ่มท่อส่งน้ำเข้านาจะได้กล่าวถึงในหัวข้อ 6.4.3

6.4 ตัวอย่างการคำนวณการส่งน้ำแบบหมุนเวียนในคูน้ำ

ตัวอย่างที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นวิธีการที่ใช้กันอยู่ในโครงการชลประทานแม่กลอง

6.4.1 เกณฑ์ในการส่งน้ำแบบหมุนเวียน

1. จะส่งน้ำแบบหมุนเวียนในรอบสัปดาห์
2. จะส่งน้ำตามความต้องการของพืช ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละสัปดาห์ แต่รอบเวรและระยะเวลาที่จัดสรรน้ำให้เกษตรกรแต่ละรายจะไม่เปลี่ยนแปลง
3. แต่ละคูน้ำจะมีตารางการส่งน้ำหมุนเวียนเฉพาะคู
4. วันพฤหัสเวลา 6 โมงเช้าคือเวลาที่เริ่มรอบเวรการส่งน้ำ

6.4.2 การคำนวณหาเวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละหน่วยหมุนเวียน

เวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละหน่วยหมุนเวียน (แฉกย่อย) Tu_i จะหาได้จากสูตร

$$Tu_i = \frac{Au_i}{Ad} \times 7 \quad \text{.....(6.1)}$$

เมื่อ Tu_i = เวลาในการจัดสรรน้ำให้หน่วยหนุนเวียนที่ i (วัน)

Au_i = พื้นที่หน่วยหนุนเวียนที่ i (ไร่)

Ad = พื้นที่แฉก (ไร่)

ตัวอย่างที่ 6.1 จงคำนวณหาเวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละหน่วยหนุนเวียน สำหรับคูน้ำขนาด 245 ไร่ ซึ่งมี 5 หน่วยหนุนเวียนดังรูปที่ 6.1

Au_1 = 35 ไร่; $Tu_1 = \frac{35}{245} \times 7 = 1$ วัน

Au_2 = 70 ไร่; $Tu_2 = \frac{70}{245} \times 7 = 2$ วัน

Au_3 = 70 ไร่; $Tu_3 = \frac{70}{245} \times 7 = 2$ วัน

Au_4 = 35 ไร่; $Tu_4 = \frac{35}{245} \times 7 = 1$ วัน

Au_5 = 35 ไร่; $Tu_5 = \frac{35}{245} \times 7 = 1$ วัน

รวม = 7 วัน

6.4.3 การคำนวณเวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละแปลง

สมมติให้

N = จำนวนท่อส่งน้ำเข้าแปลงที่สามารถเปิดพร้อม ๆ กัน

Q_d = ความจุคูน้ำ (ลิตร/วินาที)

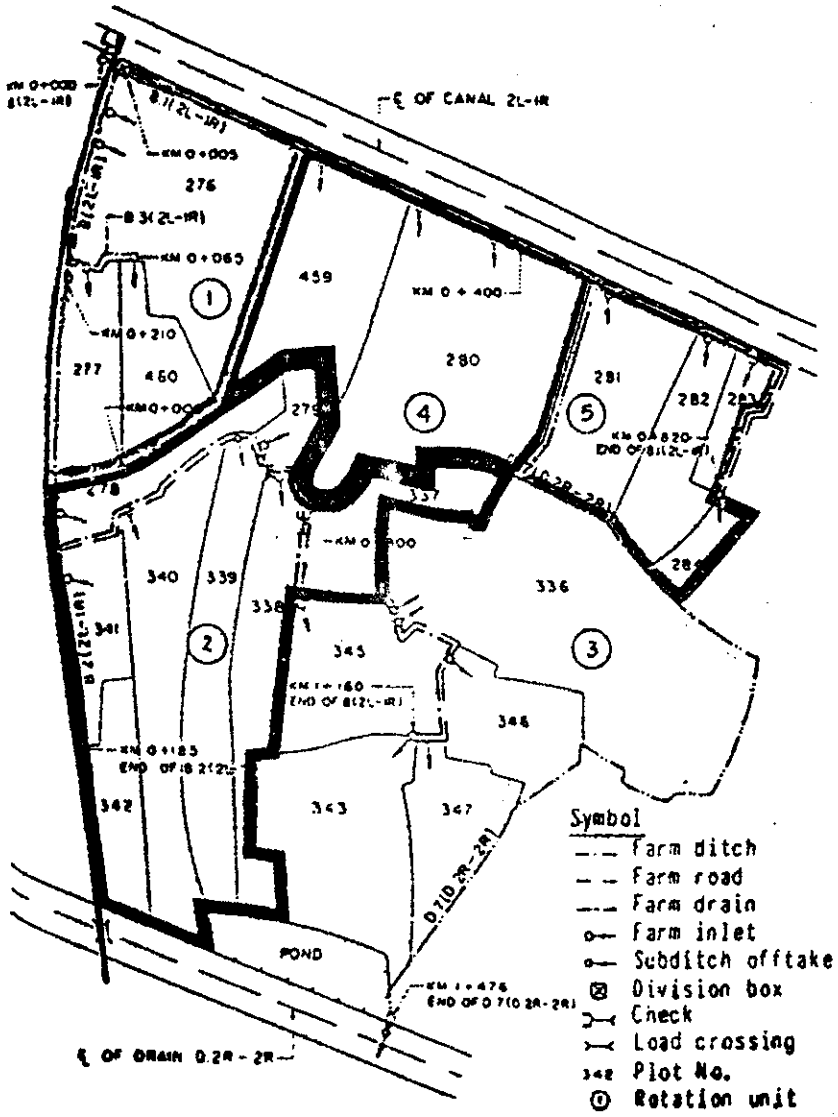
Q_{FI} = ขนาดท่อส่งน้ำเข้าแปลง (ลิตร/วินาที)

$$N = \frac{Q_d}{Q_{FI}} \qquad \text{.....(6.2)}$$

เวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละแปลง (Tp_j) เป็นชั่วโมง

$$Tp_j = \frac{Ap_j}{Au_i} \times Tu_i \times N \times 24 \qquad \text{.....(6.3)}$$

เมื่อ Ap_j = พื้นที่แปลง j ในหน่วยหนุนเวียนที่ i



รูปที่ 6.1 ผู้น้ำซึ่งประกอบด้วย 5 หน่วยหมุนเวียน สำหรับตัวอย่างที่ 6.1

ตัวอย่างที่ 6.2 ให้ระบบชลประทานในไร่นามีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

พื้นที่แฉกส่งน้ำ (ไร่)	ขนาดคูน้ำ (ลิตร/วินาที)	จำนวนท่อส่งน้ำเข้านา ที่สามารถเปิดได้พร้อม ๆ กัน
0 - 140	30	1
141 - 285	60	2
285 - 430	90	3

คูน้ำในตัวอย่างที่ 6.1 มีพื้นที่ส่งน้ำ 245 ไร่ ตามข้อกำหนดดังกล่าว คูน้ำจะมีขนาด 60 ลิตร/วินาที และสามารถเปิดท่อส่งน้ำเข้านาได้ 2 ท่อพร้อม ๆ กัน

หน่วยหมุนเวียนที่ 1 ซึ่งมีพื้นที่รวม 35 ไร่ ประกอบด้วยแปลงนา 3 แปลง แปลงที่ 1 มีพื้นที่ 22 ไร่ แปลงที่ 2 และ 3 มีพื้นที่ 7 และ 6 ไร่ตามลำดับ จงจัดตารางการส่งน้ำสำหรับหน่วยหมุนเวียนที่ 1

วิธีทำ จากสมการที่ 6.3

$$Tp_1 = \frac{22}{35} \times 1 \times 2 \times 24 = 30 \text{ ชม.}$$

$$Tp_2 = \frac{7}{35} \times 1 \times 2 \times 24 = 10 \text{ ชม.}$$

$$Tp_3 = \frac{6}{35} \times 1 \times 2 \times 24 = 8 \text{ ชม.}$$

ถ้าเกณฑ์ในการติดตั้งท่อส่งน้ำเข้านาคือ

ขนาดแปลง (ไร่)	จำนวนท่อส่งน้ำเข้านา
0 - 15	1
15 - 30	2
30 - 45	3

จะสามารถจัดตารางการส่งน้ำได้ดังแสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางการส่งน้ำสำหรับหน่วยหมุนเวียนที่ 1

แปลงที่	ท่อส่งน้ำเข้านาที่	จำนวนชั่วโมง	ตารางเวลาการจัดส่งน้ำ				
			พฤหัส				ศุกร์
			6 AM	12 AM	6 PM	12 PM	6 AM
1	1	30		16			
	2			14			
2	3	10				10	
3	4	8				8	

6.4 ความจุและการออกแบบทางชลศาสตร์ของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ

ความจุของคูส่งน้ำและคูซอย คำนวณได้โดยคูณพื้นที่แฉกส่งน้ำด้วย 0.23 ลิตร/วินาที/ไร่ (= ความต้องการน้ำชลประทาน) และเนื่องจากการส่งน้ำตามรอบเวรในทางปฏิบัตินับว่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการส่งน้ำในระดับคูนา ดังนั้น ความจุของคูส่งน้ำและคูซอยจะต้องเท่ากันโดยตลอดตั้งแต่ต้นจนถึงปลายคู

ความจุของคูระบายน้ำ จะเท่ากับจำนวนพื้นที่ที่จะระบายน้ำคูณด้วย 0.85 ลิตร/วินาที/ไร่ (= สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ) ในกรณีนี้ความจุจะเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจากต้นจนถึงปลายคูระบาย

การคำนวณขนาดของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำใช้สูตรของ Manning ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \qquad \text{.....(6.4)}$$

โดย Q = ปริมาณน้ำหน่วยเป็น $ม^3$/วินาที

n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิว หน่วยเป็น $ม^{-1/3}$ วินาที

A = พื้นที่หน้าตัดที่น้ำไหล หน่วยเป็น $ม^2$

R = รัศมีชลศาสตร์ หน่วยเป็น ม.

S = ความลาดเอียงตามยาวของท้องคลอง

เกณฑ์การออกแบบทางชลศาสตร์ของคูส่งน้ำและคูระบายแสดงไว้ในตารางที่ 6.2

6.5 อาคารต่าง ๆ

6.5.1 ทั่วไป

ระบบงานชลประทานในแปลงนาประกอบด้วยอาคารชลประทานประเภทต่าง ๆ ลักษณะโครงสร้างของอาคารชลประทานเหล่านี้ได้แสดงไว้โดยละเอียดแล้วในแบบมาตรฐาน (Standard Drawings)

หลักการและลักษณะต่าง ๆ ในการออกแบบทางชลศาสตร์ของอาคารชลประทานเหล่านี้ จะบรรยายไว้ในหัวข้อต่าง ๆ ต่อไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลักการในด้านชลศาสตร์เหล่านี้ควรจะได้มีการทบทวนและทำความเข้าใจเป็นพิเศษอย่างสม่ำเสมอ โดยเจ้าหน้าที่ส่งน้ำบำรุงรักษา เพื่อให้สามารถให้คำแนะนำได้อย่างถูกต้องเหมาะสมเกี่ยวกับการส่งน้ำของระบบชลประทานในแปลงนา หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้อาคารในคูส่งน้ำแบบต่าง ๆ มีดังนี้

6.5.2 สูตรต่าง ๆ ในการหาปริมาณน้ำ

ในการออกแบบด้านชลศาสตร์ของอาคารต่าง ๆ ของระบบชลประทานในแปลงนานั้น ได้มีผู้ใช้สูตรในการหาปริมาณน้ำตามลักษณะการไหลของน้ำแบบต่าง ๆ ดังนี้

(1) ฝาย

$$Q = cwh_1^{3/2} \quad \text{เมื่อ} \quad dh_1 \geq 1/3 \; h_1 \qquad \text{.....(6.5)}$$

โดย Q = ปริมาณน้ำ หน่วยเป็น ม.^{3}/วินาที

c = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับลักษณะของสันฝาย

w = ความกว้างของฝาย หน่วยเป็น เมตร

h_1 = ความลึกของน้ำเหนือสันฝายด้านเหนือน้ำ หน่วยเป็นเมตร

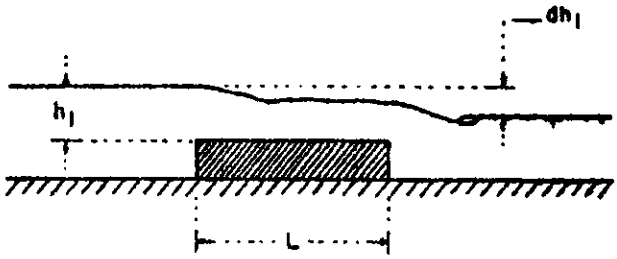
dh_1 = Headloss เหนือฝาย หน่วยเป็นเมตร

ค่าของ c จะสัมพันธ์กับความยาวของสันฝาย (L) และความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำของสันฝาย (รูปที่ 6.2)

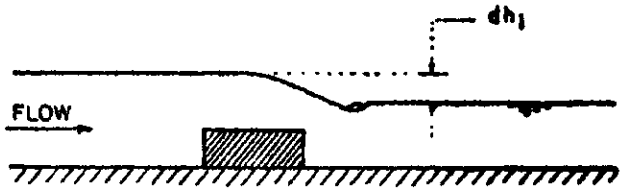
ตารางที่ 6.2 เกณฑ์การออกแบบคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ

คูส่งน้ำ	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิว (= n)		
	- คูส่งน้ำไม่ดาดคอนกรีต	:	0.03 $ม^{-1/3}$. วินาที
	- คูส่งน้ำดาดคอนกรีต	:	0.016 $ม^{-1/3}$. วินาที
	ความลึกของน้ำต่ำสุด	:	0.30 ม.
	ความกว้างท้องคูต่ำสุด	:	0.30 ม.
	ความลาดท้องคูต่ำสุด	:	0.02 %
	ความเร็วสูงสุด		
	- คูส่งน้ำไม่ดาดคอนกรีต	:	0.5 ม/วินาที
	- คูส่งน้ำดาดคอนกรีต	:	1.5 ม/วินาที
	ความลาดด้านข้าง	:	1:1
	ความลาดด้านนอก		
	- ความสูงของคันถม $\leq$ 0.75 ม.	:	1:1
	- ความสูงของคันถม > 0.75 ม.	:	1:1.5
	Freeboard	:	0.30 ม.
	ความกว้างหลังคันคู	:	0.50 ม.
คูระบายน้ำ	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของพื้นผิว	:	0.030 $ม.^{-1/3}$. วินาที
	ความลึกของน้ำต่ำสุด	:	0.50 ม.
	ความกว้างท้องคูต่ำสุด	:	0.50 ม.
	ความลาดท้องคูต่ำสุด	:	0.02 %
	ความเร็วสูงสุด	:	0.3 ม./วินาที
	ความลาดด้านข้าง	:	1:1.5
	Freeboard	:	0.10 ม.

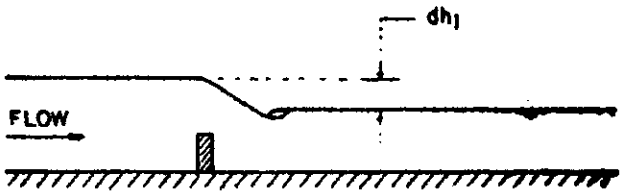
Broad - crested weir : $L > 2h_1$



Short - crested weir : $0.6\,h_1 < L \leq 2h_1$



Sharp - crested weir : $L \leq 0.6\,h_1$



รูปที่ 6.2 ฝายแบบต่าง ๆ

เมื่อ $L > 2\ h_1$, $c = 1.5$: broad-crested weir

$0.6\ h_1 < L \leq 2h_1$, $c = 1.7$: short-crested weir

$L \leq 0.6\ h_1$, $c = 1.9$: sharp-crested weir

การไหลของน้ำผ่านสันฝายต้องถือว่าเป็นอิสระ (Free Flow) กล่าวคือ ระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำจะไม่มีการกระทบกระเทือนต่อปริมาณน้ำ ถ้า $dh_1 \geq 1/3\ h_1$

(2) Orifices

สูตรหาปริมาณน้ำสำหรับ Submerged orifice flow (ดูรูปที่ 6.3)

$$Q = cA\sqrt{2gdh_1} \qquad \text{.....(6.6)}$$

โดย Q = ปริมาณน้ำ หน่วยเป็น ม.^{3}/วินาที

c = สัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับช่องเปิดของทางน้ำเข้า

A = พื้นที่ตัดขวางของช่องเปิด หน่วยเป็น ม.^{2}

dh_1 = Headloss ที่ช่องเปิด หน่วยเป็นเมตร

g = อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

(g = 9.8 ม./วินาที^{2})

6.5.3 อาคารน้ำตก (Drops)

อาคารน้ำตกเป็นอาคารที่ใช้ในระบบคูส่งน้ำและคูระบายน้ำเมื่อต้องการลดระดับน้ำ อาคารน้ำตกมี 2 ประเภท คือ อาคารน้ำตกทางดิ่ง (Vertical drop) และท่อน้ำตก (Culvert Drop) (ดูรูปที่ 6.4)

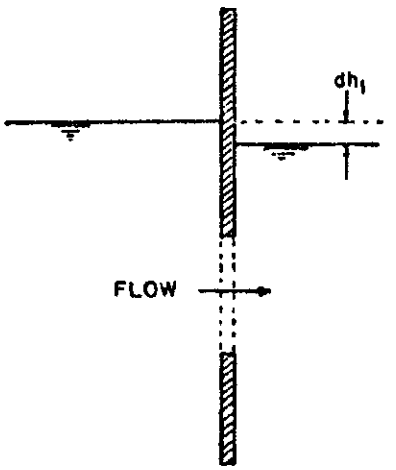
ก) อาคารน้ำตกทางดิ่ง (Vertical drop)

ในกรณีที่ใช้อาคารน้ำตกทางดิ่ง จะต้องสร้างอ่างรับน้ำ (stilling basin) เพื่อทำลายกำลังน้ำที่พุ่งตกลงมา ดังรูปที่ 6.4

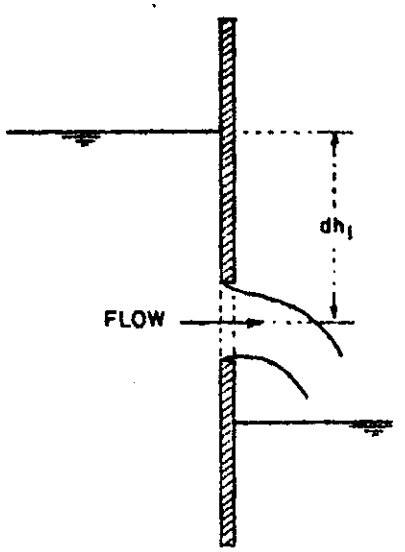
ข) อาคารท่อน้ำตก (Culvert Drop)

อาคารท่อน้ำตกประกอบด้วยท่อที่วางลาดเอียงและท่อที่วางตามแนวราบ มิติของท่อ เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของท่อที่วางในแนวราบจะต้องเลือกให้สามารถทำลายกำลังน้ำได้ภายในช่วงท่อโดยการทำให้เกิด Hydraulic Jump ในท่อตามแนวราบ

Submerged flow

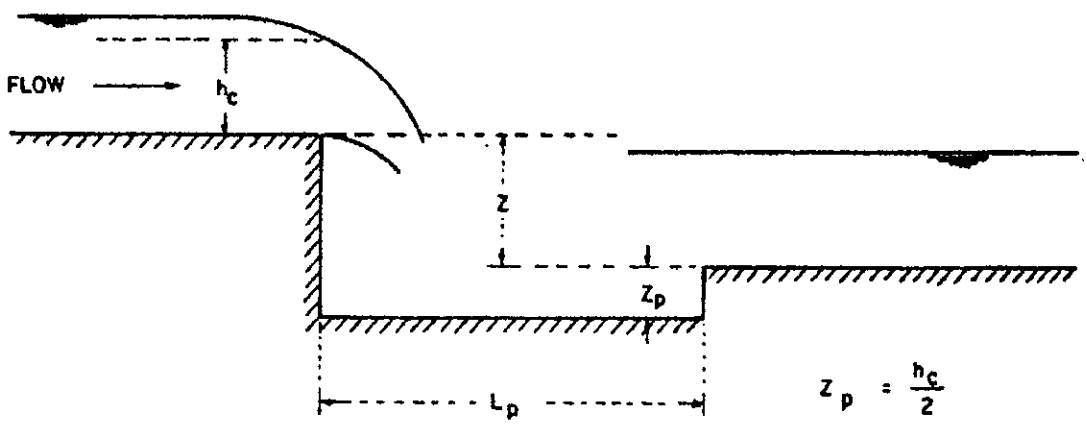


Free flow

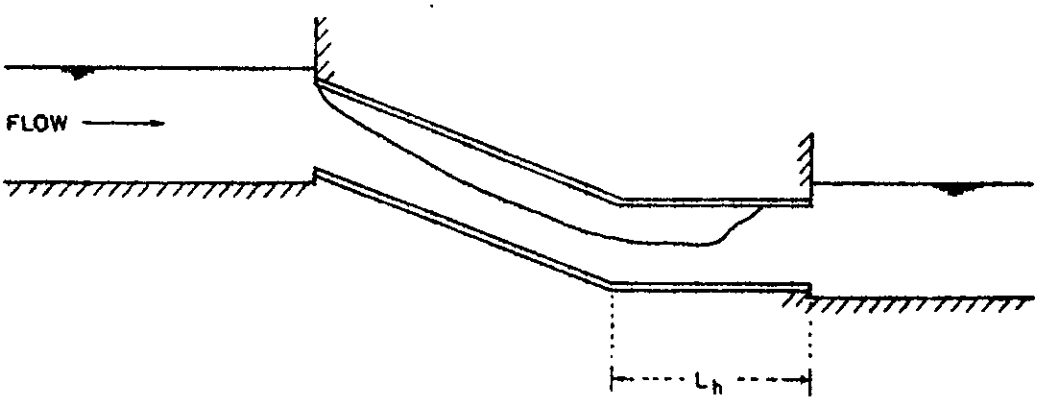


รูปที่ 6.3 Orifices แบบต่าง ๆ

อาคารน้ำตกทางดิ่ง



อาคารท่อน้ำตก



รูปที่ 6.4 อาคารน้ำตก

สำหรับมิติของอาคารน้ำตกในระบบคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ ได้กำหนดระยะน้ำตกสูงสุดไว้เท่ากับ 1.25 ม.

6.5.4 ลักษณะของอาคารควบคุมน้ำชลประทาน

(1) ฝายแบบ Romijn

ฝายแบบ Romijn นี้นำมาใช้เป็นอาคารรับน้ำเข้าคูส่งน้ำ (ditch offtake) โดยทำหน้าที่บังคับและวัดประมาณน้ำด้วย (ดูรูปที่ 6.5)

สูตรการหาปริมาณน้ำต่อไปนี้ใช้สำหรับคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝายแบบ Romijn

$$Q = 1.71\ wh_1^{3/2} \quad \text{.....(6.7)}$$

โดย Q = ปริมาณน้ำหน่วยเป็น $ม.^3$/วินาที

w = ความกว้างของฝายหน่วยเป็น เมตร

h_1 = ความลึกของระดับน้ำด้านเหนือน้ำเหนือสันฝาย เป็นเมตร

ระดับส่งน้ำสูงสุด (FSL) ในคูส่งน้ำทางด้านท้ายน้ำของอาคารควรจะมีระดับต่ำกว่าระดับส่งน้ำต่ำสุด (LSL) ของคลองส่งน้ำอย่างน้อย 10 ซม.

(2) Constant Head Orifice

Constant Head Orifice เป็นอาคารรับน้ำเข้าคูส่งน้ำอีกแบบหนึ่ง ซึ่งมีหน้าที่ทั้งในการบังคับและวัดประมาณน้ำ (ดูรูปที่ 6.5)

สูตรการหาปริมาณน้ำมีดังนี้

$$Q = 0.65\ yw\ \sqrt{2\ gdh_1} \quad \text{.....(6.8)}$$

โดยที่ Q = ปริมาณน้ำ หน่วยเป็น $ม.^3$/วินาที

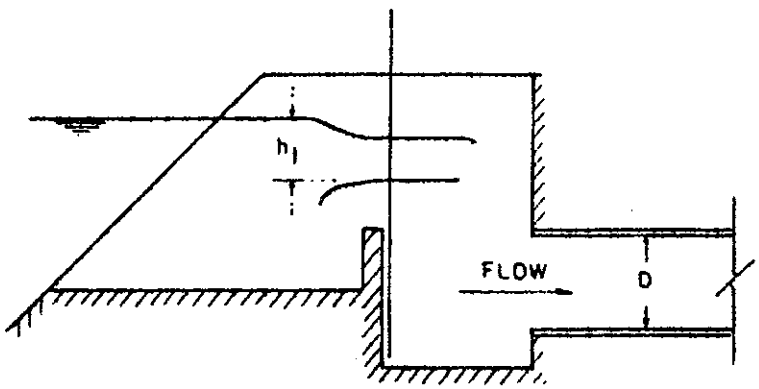
w = ความกว้างของช่อง Orifice หน่วยเป็น เมตร

(= 0.50 ม. มาตรฐาน)

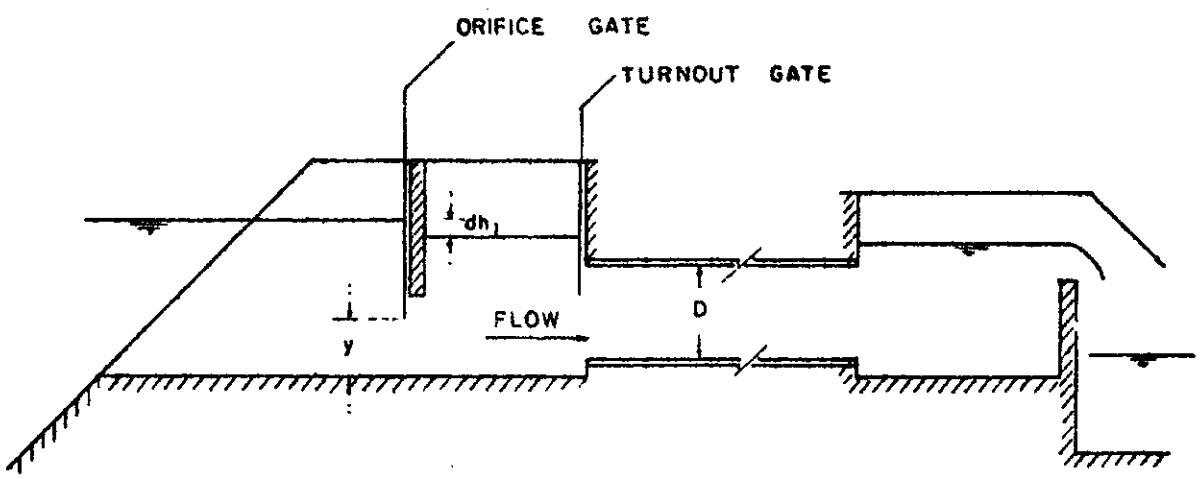
y = ความสูงของช่องเปิดของ Orifice หน่วยเป็นเมตร

dh_1 = headloss เหนือ orifice หน่วยเป็นเมตร

ฝายแบบ Romijn



Constant head orifice : ชนิดมีฝายและน้ำตกทางตั้งที่ด้านท้ายของอาคาร



รูปที่ 6.5 อาคารรับน้ำเข้าคูส่งน้ำ

การสูญเสีย Standard Headloss ที่ช่องเปิด (Orifice Opening) สำหรับ Constant Head Orifices ซึ่งใช้เป็นอาคารรับน้ำเข้าคูส่งน้ำจะเท่ากับ 0.06 ม. ส่วน Headloss ต่ำสุดที่ต้องการเหนืออาคารนี้ ในกรณีที่ไม่มีฝายทางด้านปากทางที่น้ำออก (Constant Head Orifice Type I) จะเท่ากับประมาณ 10 ซม.

(3) อาคารอัดน้ำและอาคารอัดน้ำพร้อมน้ำตก

(Check and Check Drop Structures)

อาคารอัดน้ำที่ใช้กันอยู่มีสามแบบคือ ท่ออัดน้ำ (Check culvert) อาคารอัดน้ำพร้อมท่อน้ำตก (Sheck with drop culvert) และอาคารอัดน้ำพร้อมน้ำตกทางดิ่ง (Check with verticle drop)

ท่ออัดน้ำและอาคารอัดน้ำพร้อมท่อน้ำตก ประกอบด้วยทางรับน้ำรูปกล่อง (Box) ติดต่อกับท่อลอด ปากกล่องมีความกว้างมาตรฐาน 0.4 ม. ส่วนปากอาคารอัดน้ำพร้อมอาคารน้ำตกทางดิ่งมีความกว้างมาตรฐาน 0.4 ม. เช่นเดียวกัน อาคารอัดน้ำนี้ออกแบบให้มี Freeboard 0.05 ม. เหนือระดับส่งน้ำสูงสุดของคูน้ำ Freeboard ทำเผื่อไว้ในกรณีที่ปริมาณน้ำในคูส่งมีน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ออกแบบไว้ และเมื่อปิดประตูอาคารและปริมาณน้ำในคูส่งไม่สามารถผันไปใช้ได้หมดทางด้านเหนือน้ำของอาคารอัดน้ำนี้ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่จะไหลข้ามสันของทางรับน้ำรูปกล่องแล้วไหลเข้าไปยังคูส่งน้ำทางด้านท้ายน้ำได้

ในกรณีของท่ออัดน้ำ น้ำจะไหลเข้าทางปากทางรูปกล่องแล้วไหลผ่านท่อทำให้เกิด Headloss ขึ้นเหนือปากอาคารเนื่องจากน้ำที่ไหลมารวมกันและที่ในท่อส่งน้ำ เนื่องจากเกิดการเสียดทาน Headloss ต่ำสุดทั้งหมดที่ต้องการ (dh_{min}) เหนือท่ออัดน้ำจะเท่ากับ 2 ซม.

การคำนวณ Headloss เหนืออาคารอัดน้ำพร้อมท่อน้ำตกและอาคารอัดน้ำพร้อมน้ำตกทางดิ่งนั้นไม่จำเป็นเพราะความแตกต่างของระดับน้ำเหนือ และท้ายอาคารนั้นกำหนดขึ้นจากระดับน้ำท้ายน้ำที่ต้องการลดต่ำลงไปตามลักษณะภูมิประเทศ นอกจากนี้ อาคารทั้งสองแบบยังสามารถใช้ทำหน้าที่เป็นอาคารน้ำตกเพียงอย่างเดียวได้ และในกรณีเช่นนี้จะไม่มีการติดตั้งบานปิด-เปิด ระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำจะไม่สามารถควบคุมได้ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำที่ไหลจริง

(4) อาคารฝายน้ำตก (Weir Drop) ในคูส่งน้ำ

อาคารประเภทนี้จะใช้ในบริเวณที่มีความลาดต่อนข้างชันมาก และมีคูส่งน้ำทอดไปในแนวที่เกือบจะตั้งฉากกับเส้นขอบเนิน ในสภาพเช่นนี้ อาจจะต้องติดตั้งอาคารน้ำตกจำนวนหลายตัวในช่วงระยะสั้น ๆ โดยในระหว่างอาคารน้ำตกแต่ละตัวอาจมีท่อส่งน้ำเข้านาเพียงไม่กี่ตัว สำหรับคูส่งน้ำซึ่งมีความจุ 60 ลิตร/วินาที หรือมากกว่านี้ อาจจะต้องเปิดท่อส่งน้ำเข้านาทางด้านเหนือน้ำของอาคารน้ำตกพร้อมกับท่อส่งน้ำซึ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำ

อาคารดังกล่าวเป็นอาคารน้ำตกทางดิ่งซึ่งมีฝายควบคุมระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคาร ความกว้างของสันฝายนั้น จะต้องคำนวณให้พอเหมาะสำหรับกรณีที่บานอยู่ในตำแหน่งที่ปิดแล้ว จะทำให้ระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคารเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝายเปลี่ยนแปลงไป (ดูตารางที่ 6.3) ถ้าหยุดส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำเข้านาทางด้านเหนือน้ำของอาคาร ก็ไม่จำเป็นต้องเปิดบานระบาย ปริมาณน้ำเต็มที่จะสามารถไหลข้ามฝายโดยทำให้ระดับน้ำในคูส่งน้ำจะสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดเพียง 2-3 เซนติเมตรเท่านั้น อย่างไรก็ตามในการสร้างฝายน้ำตกจะทำการติดตั้งบานด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้เกษตรกรซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ทางด้านท้ายน้ำของอาคารฝายน้ำตกเชื่อว่าฝายจะลดปริมาณการส่งน้ำชลประทานไปยังพื้นที่เพาะปลูกของตน ดังนั้นการเปิดบานสามารถทำได้เมื่อหยุดการส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำเข้านาทางด้านเหนือน้ำของอาคารนั้นทั้งหมด อาคารนี้มิได้ทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำเพราะไม่สามารถกั้นระดับน้ำไว้ได้ทั้งหมดและสันฝายอยู่ต่ำกว่าระดับส่งน้ำสูงสุด

ตารางที่ 6.3 ความลึกของน้ำเหนือสันฝายและระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคารฝายน้ำตกในคูส่งน้ำ

Q (m^3/sec)	w (m)	h_1 (cm)	จำนวนท่อส่งน้ำเข้านาที่จะปิดพร้อมกัน		ระดับน้ำด้านเหนือน้ำช่องอาคาร (1)
			เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	
0.060	1.50	8	1	1	FSL
			0	2	FSL + 3 cm
0.090	1.50	11	2	1	FSL
			1	2	FSL + 3 cm
			0	3	FSL + 6 cm

หมายเหตุ (1) เมื่อปิดบาน

(5) อาคารแบ่งน้ำ (Division Box)

อาคารแบ่งน้ำซึ่งทำหน้าที่ผันน้ำทั้งหมดลงสู่คูซอยมีลักษณะเป็นอาคารที่มีช่องรับน้ำเข้าหนึ่งช่องส่งน้ำออกสองหรือสามช่อง นอกจากนี้อาคารแบ่งน้ำยังทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำด้วยเมื่อปิดบานของช่องส่งน้ำออกทุกช่องอาคารแบ่งน้ำนี้ออกแบบให้มี Freeboard 0.05 ม. เหนือระดับน้ำสูงสุดของคูส่งน้ำ อาคารแบ่งน้ำแบบที่ 1 ไม่ทำหน้าที่เป็นอาคารตัดผ่านถนน แบบที่ 2 และแบบที่ 3 ทำหน้าที่เป็นอาคารตัดผ่านถนนด้วย

(6) อาคารรับน้ำเข้าคูซอย (Offtake for Sub-ditches)

อาคารรับน้ำเข้าคูซอยนี้จะใช้ร่วมกับท่ออัดน้ำหรืออาคารอัดน้ำพร้อมท่อน้ำตก/อาคารอัดน้ำพร้อมน้ำตกทางดิ่ง อาคารนี้จะติดตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของอาคารอัดน้ำ การใช้อาคารร่วมกันในลักษณะเช่นนี้ใช้สำหรับในกรณีที่ไม่สามารถใช้อาคารแบ่งน้ำได้ เช่น กรณีที่ต้องลดระดับน้ำมากกว่า 0.20 เมตรทันที ในคูส่งน้ำช่วงที่ติดกับด้านท้ายน้ำของอาคารรับน้ำเข้าคูซอยและ/หรือเมื่อระดับน้ำในคูส่งน้ำกับคูซอย ที่ตรงอาคารรับน้ำเข้าคูซอยมีความแตกต่างกันเกิน 0.20 ม. อาคารแบ่งน้ำนี้อนุญาตให้ใช้ลดระดับน้ำได้อย่างมากไม่เกิน 0.20 ม. ส่วนอาคารรับน้ำเข้าคูซอยจะเป็นท่อตรงแบบที่ 1 หรือท่อน้ำตกแบบที่ 2 ก็ได้ ทั้งสองแบบจะมีบานชัก ปิด-เปิด (Slide Gate) ติดอยู่ตรงปากท่อ อาคารนี้จะทำหน้าที่กันน้ำชลประทานทั้งหมดเข้าคูซอยเมื่อปิดอาคารอัดน้ำหรืออาคารอัดน้ำพร้อมน้ำตกในคูส่งน้ำ

(7) ท่อส่งน้ำเข้านา/คูซอย (Farm/Ditch Inlet)

ท่อส่งน้ำเข้านาประกอบด้วยท่อซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.20 ม. ท่อส่งน้ำเข้านามีสองแบบคือ แบบที่ 1 ใช้สำหรับสภาพการไหลแบบ submerged flow และแบบที่ 2 ใช้สำหรับสภาพการไหลแบบ free flow

สำหรับคูซอยซึ่งส่งน้ำให้แก่พื้นที่เล็ก ๆ จะใช้ท่อส่งน้ำเข้าคูซอย (ditch inlet) แทนอาคารแบ่งน้ำหรืออาคารรับน้ำเข้าคูซอย (Offtake for sub-ditches) ท่อส่งน้ำเข้าคูซอยจะสร้างแบบเดียวกับท่อส่งน้ำเข้านา สำหรับคูซอยที่มีมีความจุ 30 ลิตร/วินาที ซึ่งสามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่ได้สูงสุด 15 ไร่นั้น จะติดตั้งท่อส่งน้ำเข้าคูเพียงแถวเดียว ส่วนท่อส่งน้ำเข้าคูสองแถว จะใช้สำหรับคูซอยซึ่งมีความจุ 60 ลิตร/วินาที ซึ่งสามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่ 16-30 ไร่

(8) <u>อาคารทิ้งน้ำปลายคู</u> (Tail Structures)

อาคารทิ้งน้ำปลายคูประกอบด้วยทางรับน้ำเข้ารูปกล่องเชื่อมกับท่อ น้ำในอาคารนี้จะเริ่มไหลล้นออกไปยังคูระบายเมื่อระดับน้ำสูงถึงสันของทางรับน้ำ (Box) ซึ่งกำหนดให้อยู่ในระดับ 0.05 ม. เหนือระดับน้ำสูงสุดของคูส่งน้ำ ความลึกของน้ำเหนือสัน (h_1) ที่ปริมาณน้ำต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 6.4

อาคารทิ้งน้ำปลายคูแบบที่ 1 และแบบที่ 3 จะติดตั้งไว้ที่ปลายคูส่งน้ำ (หรือคูซอย) ส่วนอาคารแบบที่ 2 ทำหน้าที่เป็นทางระบายน้ำล้นด้านข้าง (Side Spillway) และอาจจะติดตั้งไว้ทางด้านเหนือน้ำในระยะไม่เกิน 200 ม. จากปลายคูส่งน้ำ (หรือคูซอย) ในช่วงระยะไม่เกิน 200 ม. ดังกล่าวนี้ จะยังคงทำให้มี Freeboard เหลืออยู่มากกว่า 0.10 ม. ที่ปลายคู (ความลาดเทของท้องคูส่งน้ำ = 0.02 %)

<u>ตารางที่</u> 6.4 ความลึกของน้ำเหนือสันและความสูงของระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคารทิ้งน้ำปลายคู

ประเภทของอาคาร	Q (m^3/sec)	w (m)	h_1 (cm)	ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคาร (1)
แบบที่ 1	0.030	2.70	4	FSL + 9 cm
	0.060	3.00	5	FSL + 10 cm
	0.090	3.20	7	FSL + 12 cm
แบบที่ 2	0.030	1.60	5	FSL + 10 cm
	0.060	1.80	8	FSL + 13 cm
	0.090	2.10	8	FSL + 13 cm
แบบที่ 3	0.030	3.40	3	FSL + 8 cm
	0.060	3.40	5	FSL + 10 cm
	0.090	3.40	7	FSL + 12 cm

<u>หมายเหตุ</u> (1) เมื่อปิดบาน

(9) อาคารลอดถนน (Crossing Structures)

อาคารลอดถนนประกอบด้วยท่อลอดหนึ่งท่อ ท่อลอดจะต้องวางให้อยู่ในระดับที่จมอยู่ใต้น้ำ เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่เกิดจากภาวะน้ำท่วม (Backwater) จะต้องเลือกใช้ขนาดท่อลอดในคูส่งน้ำให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางในขนาดที่จะไม่ทำให้เกิด Headloss เกิน 1 ซม. ส่วนท่อลอดในคูระบายน้ำได้ออกแบบให้มี Headloss เกินกว่านี้ได้ แต่ต้องไม่เกินกว่า 5 ซม. เนื่องจากมีท่อลอดในคูระบายน้ำเป็นจำนวนน้อย

6.6 เอกสารอ้างอิง

(1) อิลาโก/เอ็มไพร์ เอ็มแอนด์ที (2528). การออกแบบระบบชลประทานในแปลงนาสำหรับพื้นที่ชลประทานแม่กลองฝั่งขวาและนาลัยแมน ระยะที่ 1. รายงานการออกแบบเลขที่ 6 กรมชลประทาน.