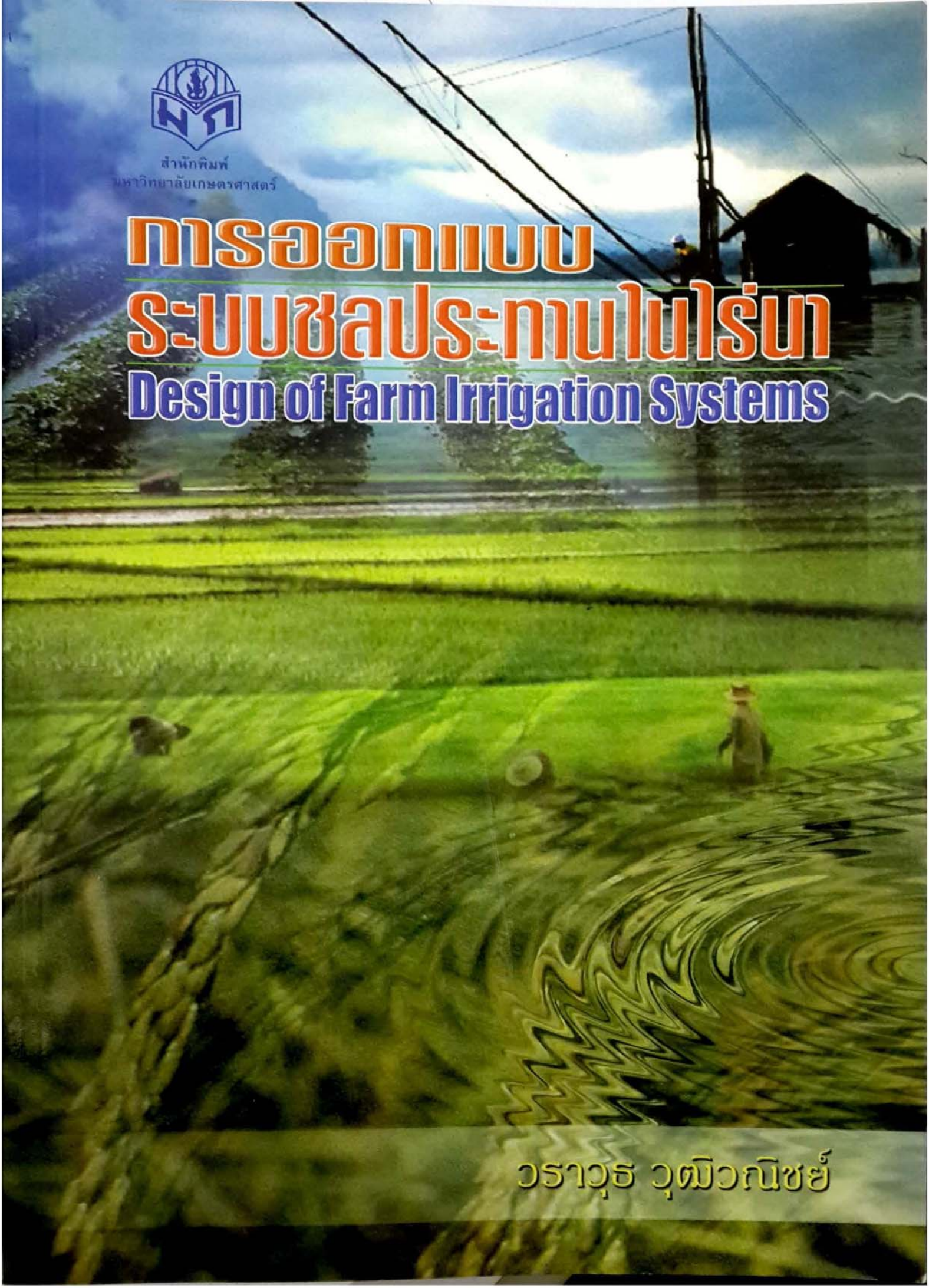
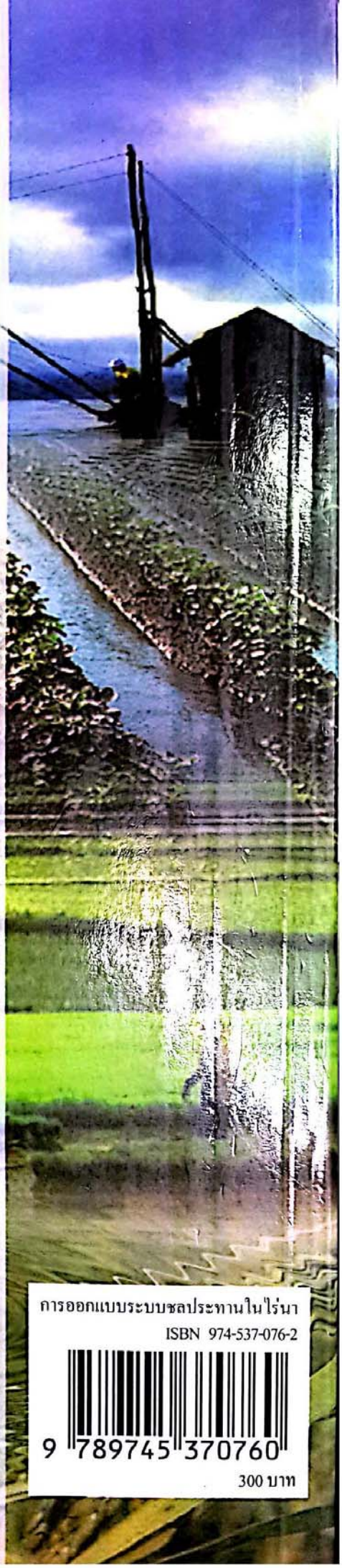

สำนักพิมพ์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
การออกแบบ
ระบบชลประทานในไร่นา
Design of Farm Irrigation Systems
วราวุธ วุฒิวณิชย์

วราวุธ วุฒิวณิชย์

**ประวัติ**

| | |
|---|---|
| ตำแหน่งปัจจุบัน | รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม |
| การศึกษา | วศ.บ. (วิศวกรรมชลประทาน) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ในปี พ.ศ. 2518<br>M.Eng (Irrigation Engineering), Asian Institute of Technology, Thailand, ในปี พ.ศ. 2521<br>Ph.D.(Water Resources Planning and Management), Colorado State University, USA, ในปี พ.ศ. 2529 |
| ประสบการณ์ในการสอน | สอนวิชาทางด้านวิศวกรรมชลประทาน การจัดการน้ำและอุทกวิทยา นานกว่า 20 ปี ปัจจุบันสอนทั้งระดับปริญญาตรี โท และเอก |
| งานเขียนและวิจัย | มีบทความทางวิชาการที่ตีพิมพ์ในวารสารต่าง ๆ ประมาณ 50 เรื่อง |

หนังสือการออกแบบระบบการชลประทานในไร่นาเล่มนี้กล่าวถึงแนวความคิดและองค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทาน การพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำชลประทานที่เหมาะสมกับระบบไร่นา วิธีการให้น้ำชลประทานทางผิวดินแบบต่างๆ ได้แก่ แบบร่องดู(Furrow) แบบท่วมเป็นผืนลาด (Graded Border) และแบบท่วมเป็นอ่าง(Basin) ชลศาสตร์ของการไหลของน้ำบนผิวดิน การประเมินประสิทธิผลของการให้น้ำ ข้อพิจารณาในการออกแบบและการประเมินผลการให้น้ำทางผิวดิน การออกแบบปรับพื้นที่เพื่อการชลประทานทางผิวดิน ข้อกำหนดในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา การหาขนาดระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำในไร่นา การออกแบบจัดรูปที่ดินและการออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน



การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา
ISBN 974-537-076-2
9 789745 370760
300 บาท

# คำนำ

ตำราการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา เล่มนี้เขียนขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนวิชา การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา (Design of Farm Irrigation Systems) ซึ่งเป็นวิชาบังคับตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมชลประทาน และสำหรับวิศวกรชลประทานเพื่อใช้เป็นคู่มือในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา

ตำราชุดนี้มี 11 บท มีเนื้อหาเกี่ยวกับแนวความคิดในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา การออกแบบระบบชลประทานบนผิวดินแบบต่าง ๆ ได้แก่ แบบร่องคู แบบท่วมเป็นผืน และแบบท่วมเป็นอ่าง รวมถึงการประเมินผลการให้น้ำทางผิวดินโดยละเอียด การออกแบบปรับพื้นที่เพื่อการชลประทานแบบผิวดิน ข้อกำหนดในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา การหาขนาดระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำในไร่นา การออกแบบจัดรูปที่ดิน และยังรวมถึงการออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน

ท้ายบทจะมีแบบฝึกหัด และบทปฏิบัติการ เพื่อให้นิสิตได้ฝึกฝนเพื่อให้เข้าใจเนื้อหาได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

เนื้อหาในตำราเล่มนี้เขียนขึ้นจากประสพการณ์การสอนวิชาที่เกี่ยวกับการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา เป็นเวลานานกว่า 10 ปี โดยดัดแปลงเนื้อหาบางส่วนมาจากเอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก และหนังสือการออกแบบการชลประทานบนผิวดิน ซึ่งผู้เขียนได้เขียนขึ้นเพื่อใช้ประกอบการสอนวิชาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมชลประทาน ในช่วงปี พ.ศ. 2523-2525 และ 2530-2543

ผู้เขียนต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล อาจารย์ผู้ถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการชลประทานในไร่นาให้ผู้เขียน ต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ปฏิภาณ อมาตยกุล และอาจารย์มงคล โชติศศิธร ซึ่งเคยสอนวิชานี้มาก่อน และได้มอบเอกสารประกอบการสอนให้ผู้เขียนใช้เป็นแนวทางในการเขียนตำรา เล่มนี้จนสำเร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน

# สารบาญ


| | | | หน้า |
|---|---|---|---|
| **คำนำ** | | | (i) |
| สารบาญ | | | (ii) |
| บทที่ 1 | ระบบชลประทานในไร่นา | | 1 |
| | 1.1 | คำนำ | 1 |
| | 1.2 | หน้าที่ของระบบชลประทานในไร่นา | 1 |
| | 1.3 | แนวความคิดในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา | 3 |
| | 1.4 | องค์ประกอบสำคัญในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา | 4 |
| | 1.5 | ลักษณะระบบชลประทานในไร่นา | 5 |
| | 1.6 | วิธีการส่งน้ำชลประทาน | 10 |
| | 1.7 | การคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน | 15 |
| | 1.8 | เอกสารอ้างอิง | 25 |
| | | บทปฏิบัติการที่ 1 | 26 |
| บทที่ 2 | การให้น้ำทางผิวดิน | | 27 |
| | 2.1 | คำนำ | 27 |
| | 2.2 | วิธีการให้น้ำทางผิวดิน | 27 |
| | 2.3 | การออกแบบการให้น้ำทางผิวดิน | 29 |
| | 2.4 | ชลศาสตร์ของการไหลของน้ำบนผิวดิน | 33 |
| | 2.5 | ประสิทธิผลของการชลประทานบนผิวดิน | 39 |
| | 2.6 | เอกสารอ้างอิง | 49 |
| | | บทปฏิบัติการที่ 2 | 51 |
| บทที่ 3 | การออกแบบระบบการชลประทานแบบร่องคู | | 54 |
| | 3.1 | คำนำ | 54 |
| | 3.2 | รูปร่างและขนาดของร่องคู | 54 |
| | 3.3 | ระยะห่างระหว่างร่องคู | 56 |
| | 3.4 | ความยาวของร่องคู | 58 |
| | 3.5 | ความลาดเทของร่องคู | 62 |
| | 3.6 | พืชที่ควรให้น้ำโดยร่องคู | 63 |
| | 3.7 | วิธีการให้น้ำแก่ร่องคู | 63 |
| | 3.8 | การให้น้ำทางร่องคูแบบให้ร่องเว้นร่อง | 64 |

# สารบาญ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| | 3.9 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบร่องคู | 67 |
| | 3.10 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบร่องคู | 67 |
| | 3.11 วิธีการทดลองและประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู | 69 |
| | 3.12 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู | 72 |
| | 3.13 เอกสารอ้างอิง | 85 |
| | 3.14 แบบฝึกหัด | 86 |
| | บทปฏิบัติการที่ 3 | 90 |
| บทที่ 4 | การออกแบบระบบการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนยาว | 98 |
| | 4.1 คำนำ | 98 |
| | 4.2 ขนาดและรูปร่างแปลง | 99 |
| | 4.3 ความลาดเทของ Border | 105 |
| | 4.4 การให้น้ำกับแปลง Border | 106 |
| | 4.5 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบ Border | 106 |
| | 4.6 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบ Border | 109 |
| | 4.7 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว | 110 |
| | 4.8 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว | 112 |
| | 4.9 เอกสารอ้างอิง | 128 |
| | 4.10 แบบฝึกหัด | 129 |
| | บทปฏิบัติการที่ 4 | 131 |
| บทที่ 5 | การออกแบบระบบชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง | 137 |
| | 5.1 คำนำ | 137 |
| | 5.2 ขนาดแปลง Basin | 137 |
| | 5.3 รูปร่างแปลงเบซิ่น | 141 |
| | 5.4 พืชที่ปลูก | 142 |
| | 5.5 คันดิน | 143 |
| | 5.6 การให้น้ำแก่แปลงเบซิ่น | 145 |
| | 5.7 การระบายน้ำออกจากแปลงเบซิ่น | 147 |
| | 5.8 ข้อผิดพลาดที่เป็นเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง | 148 |
| | 5.9 ประสิทธิภาพการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง | 148 |

# สารบาญ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| | 5.10 การประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง | 148 |
| | 5.11 เอกสารอ้างอิง | 160 |
| | 5.12 แบบฝึกหัด | 161 |
| | บทปฏิบัติการที่ 5 | 163 |
| บทที่ 6 | การปรับพื้นที่ | 171 |
| | 6.1 คำนำ | 171 |
| | 6.2 สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการปรับพื้นที่ | 172 |
| | 6.3 การแบ่งลักษณะผิวดินสำหรับการชลประทานผิวดิน | 173 |
| | 6.4 การเตรียมการปรับพื้นที่ | 173 |
| | 6.5 การออกแบบการปรับพื้นที่ | 179 |
| | 6.6 วิธีการปรับเป็นระนาบ | 179 |
| | 6.7 การคำนวณปริมาณงานดิน | 186 |
| | 6.8 การเตรียมการปรับพื้นที่ในสนาม | 194 |
| | 6.9 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณปรับพื้นที่ | 194 |
| | 6.10 เอกสารอ้างอิง | 195 |
| | บทปฏิบัติการที่ 6 | 207 |
| บทที่ 7 | ข้อกำหนดในการออกแบบระบบชลประทานในแปลงนา | 209 |
| | 7.1 ความต้องการน้ำชลประทานและสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ | 209 |
| | 7.2 รูปแบบของการพัฒนาระบบชลประทานในแปลงนา | 209 |
| | 7.3 วิธีการจัดสรรน้ำชลประทานในระดับคูส่งน้ำ | 209 |
| | 7.4 ตัวอย่างการคำนวณการส่งน้ำแบบหมุนเวียนในคูน้ำ | 210 |
| | 7.5 ความจุและการออกแบบทางชลศาสตร์ของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ | 214 |
| | 7.6 อาคารต่าง ๆ | 216 |
| | 7.7 เอกสารอ้างอิง | 226 |
| | บทปฏิบัติการที่ 7 | 227 |
| บทที่ 8 | การหาขนาดระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูก | 230 |
| | 8.1 คำนำ | 230 |
| | 8.2 แนวความคิดเบื้องต้นในการหาขนาดระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูก | 230 |

# สารบาญ


| | | หน้า |
|---|---|---|
| | 8.3 วิธีการหาขนาดระบบส่งน้ำสำหรับการปลูกข้าว | 231 |
| | 8.4 วิธีการหาขนาดระบบส่งน้ำสำหรับการปลูกพืชไร่ | 248 |
| | 8.5 เอกสารอ้างอิง | 252 |
| | 8.6 แบบฝึกหัด | 253 |
| | บทปฏิบัติการที่ 8 | 256 |
| บทที่ 9 | การหาขนาดระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก | 259 |
| | 9.1 คำนำ | 259 |
| | 9.2 ความเสียหายเนื่องจากน้ำท่วม | 259 |
| | 9.3 การเลือกฝนในการออกแบบระบบระบายน้ำในแปลงนา | 261 |
| | 9.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำโดยพิจารณาผลประโยชน์และค่าลงทุน | 263 |
| | 9.5 เอกสารอ้างอิง | 278 |
| | 9.6 แบบฝึกหัด | 279 |
| | บทปฏิบัติการที่ 9 | 281 |
| บทที่ 10 | การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา | 283 |
| | 10.1 คำนำ | 283 |
| | 10.2 ลักษณะของระบบชลประทานในไร่นา | 283 |
| | 10.3 ขั้นตอนการดำเนินการจัดรูปที่ดิน | 285 |
| | 10.4 ข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบ | 287 |
| | 10.5 เกณฑ์การออกแบบและขั้นตอนในการดำเนินการ | 287 |
| | 10.6 เอกสารอ้างอิง | 346 |
| | บทปฏิบัติการที่ 10 | 347 |
| บทที่ 11 | การออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน | 350 |
| | 11.1 คำนำ | 350 |
| | 11.2 ชนิดของระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน | 350 |
| | 11.3 ส่วนประกอบของระบบส่งน้ำเพื่อการชลประทาน | 354 |
| | 11.4 การออกแบบ | 365 |
| | 11.5 เอกสารอ้างอิง | 392 |
| | บทปฏิบัติการที่ 11 | 393 |

# การออกแบบ
# ระบบชลประทานในไร่นา

## (Design of Farm Irrigation Systems)

**รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์**

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน



2544

# การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา

# (Design of Farm Irrigation Systems)

รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์

2544

# บทที่ 1
# ระบบชลประทานในไร่นา
# (Farm Irrigation Systems)

## 1.1 คำนำ

ระบบชลประทานโดยทั่วไปจะต้องประกอบไปด้วย แหล่งน้ำ ระบบส่งน้ำ ระบบแจกจ่ายน้ำ ระบบให้น้ำ และระบบระบายน้ำ ถนนและทางลำเลียง พืช เกษตรกร และเจ้าหน้าที่ชลประทาน ดังแสดงในรูปที่ 1.1

ระบบชลประทานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ระดับ คือ (1) ระบบชลประทานหลัก (Main Irrigation System) และ (2) ระบบชลประทานในไร่นา (Farm Irrigation System หรือ Tertiary System) ระบบชลประทานหลักเริ่มจากแหล่งน้ำ ระบบคลองส่งน้ำสายใหญ่และสายซอย จนถึงอาคารควบคุมน้ำปากคู ระบบชลประทานส่วนนี้ได้แก่ส่วนที่เรียกว่า Primary และ Secondary Systems มีเจ้าหน้าที่ชลประทานควบคุมดูแลการส่งน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อส่งน้ำให้ระบบชลประทานในไร่นา ซึ่งมีกลุ่มเกษตรกรเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบในการควบคุมการกระจายน้ำจากคูน้ำให้เกษตรกรแต่ละราย เพื่อนำไปให้กับพืช ซึ่งเป็นจุดหมายปลายทางของการชลประทาน

ความสำเร็จของการชลประทานขึ้นอยู่กับความสามารถของระบบลำเลียงน้ำทั้งในระบบหลักและระบบไร่นา ตลอดจนเจ้าหน้าที่และเกษตรกร ในอันที่จะวางแผน และควบคุมการส่งน้ำชลประทานให้พืชได้ตามปริมาณที่พืชต้องการและในเวลาที่พืชต้องการ การให้น้ำมากเกินไป น้อยเกินไป หรือให้ในเวลาที่พืชไม่ต้องการล้วนมีผลเสียต่อการปลูกพืชทั้งสิ้น

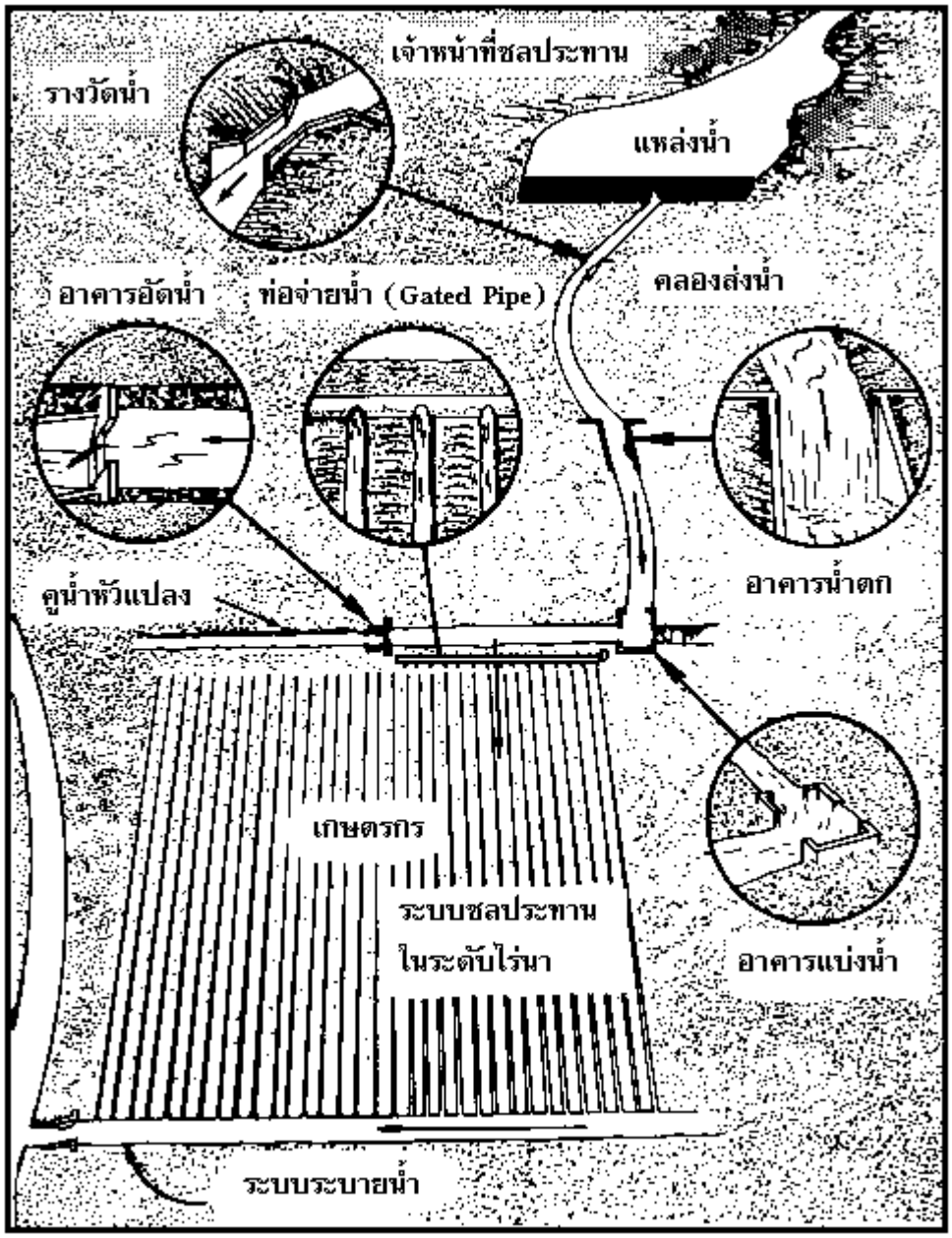
ต่อไปจะกล่าวเฉพาะระบบชลประทานในไร่นาเท่านั้น

## 1.2 หน้าที่ของระบบชลประทานในไร่นา

หน้าที่และความมุ่งหมายของระบบชลประทานในไร่นาที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

(1) เพื่อทำหน้าที่กระจายน้ำที่ส่งจากคลองส่งน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้สะดวก รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

(2) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการส่งน้ำเข้าไปในแปลงเพาะปลูกตามความต้องการในการทำการเกษตร




<u>รูปที่</u> 1.1 ลักษณะระบบชลประทานโดยทั่วไป

(3) เพื่อทำหน้าที่ระบายน้ำเกินความต้องการออกจากแปลงเพาะปลูกเพื่อให้สามารถทำการเกษตรที่ได้ผลดี ทันตามกำหนดเวลา และมีโอกาสที่จะปลูกพืชปีละหลายครั้งได้มากขึ้น

(4) เพื่อให้การสูญเสียน้ำชลประทานน้อย และทำให้การใช้น้ำชลประทานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

(5) เพื่อส่งเสริมให้การทำการเกษตรสะดวก ประหยัดเวลาและเป็นปัจจัยเบื้องต้นในการพัฒนาการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไป เช่น การมีถนนตามคันคูส่งน้ำหรือคูระบายเพื่อการขนส่งผลผลิตจากแปลงเพาะปลูก

อย่างไรก็ตามการออกแบบระบบชลประทานในไร่นาให้ทำหน้าที่ได้สมบูรณ์ จะต้องพิจารณาปัญหาต่าง ๆ ประกอบหลายประการ เป็นต้นว่า น้ำต้นทุน ลักษณะดิน ภัยธรรมชาติ ความเหมาะสมทางเศรษฐกิจและสังคม และความคุ้มค่าในการลงทุน เป็นต้น ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มีขีดจำกัดบังคับที่ทำให้การออกแบบระบบชลประทานในไร่นามีรูปแบบต่าง ๆ กัน แต่ทุกระบบจะต้องทำหน้าที่สำคัญตามข้อ (1) และ (3) เป็นอันดับแรก ระบบชลประทานที่ไม่สามารถทำหน้าที่ในข้อหนึ่งข้อใดดังกล่าวข้างบนหรือมีแต่ไม่สมบูรณ์ก็ย่อมมีผลทำให้การใช้ที่ดินเพื่อทำการเกษตรมีขีดจำกัดมากขึ้น เพราะเหตุนี้เมื่อต้องการพัฒนาการเกษตรจึงจำเป็นจะต้องพัฒนาระบบชลประทานในไร่นาซึ่งอาจมีผลสะท้อนทำให้ต้องปรับปรุงระบบคลองส่งน้ำชลประทานตามไปด้วย

**1.3 แนวความคิดในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา**

ระบบชลประทานในไร่นาเป็นระบบชลประทานที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่เพาะปลูกและเกษตรกรผู้ทำการเพาะปลูกโดยตรง อาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ ของระบบนี้แม้จะมีขนาดเล็ก แต่มีจำนวนมากและแผ่กระจายถึงแปลงเพาะปลูกของเกษตรกร การทำงานของระบบจะต้องสัมพันธ์กับความต้องการใช้น้ำเพื่อทำการเกษตรของเกษตรกร ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วกลุ่มเกษตรกรซึ่งได้ประโยชน์จากระบบจะต้องรับผิดชอบในการควบคุมการทำงานของระบบกันเอง หรือกล่าวได้ว่าระบบชลประทานในไร่นาทำขึ้นเพื่อให้เกษตรกรเป็นผู้ใช้ ฉะนั้นการออกแบบระบบชลประทานในไร่นาควรจะคำนึงถึงผู้ใช้คือเกษตรกร จึงควรที่จะออกแบบให้ใช้ได้ง่าย สะดวก และได้ผลดี

การออกแบบระบบการชลประทานในไร่นาในที่นี้หมายรวมถึงการออกแบบระบบกระจายน้ำในพื้นที่เพาะปลูกของโครงการชลประทาน และในแปลงเพาะปลูกของเกษตรกร ตลอดจนการออกแบบระบบระบายน้ำออกจากแปลง ทั้งในแบบของระบบคูน้ำและระบบท่อส่งน้ำ เพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำอย่างทั่วถึง และเพื่อควบคุมการกระจายน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูกให้มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการชลประทานแบบผิวดิน

เนื่องจากระบบชลประทานในไร่นามิได้เกี่ยวข้องกับปัญหาทางด้านวิศวกรรมอย่างเดียวเท่านั้น ยังมีปัญหาที่สำคัญเกี่ยวข้องอีก 2 ประการซึ่งจะต้องคำนึงถึงคือ ปัญหาทางด้านเศรษฐกิจ-สังคม และปัญหาทางด้านการเกษตร เพราะปัญหาทั้งสองนี้เป็นปัจจัยที่จะทำให้การออกแบบระบบชลประทานในไร่นาถูกต้องกับความเป็นจริงในทางปฏิบัติ และช่วยลดข้อขัดแย้งต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสนามลงได้ ซึ่งจะทำให้ระบบชลประทานในไร่นาที่ออกแบบไว้นั้นได้รับความร่วมมือจากเกษตรกรผู้ใช้ระบบและจะประสบความสำเร็จตามแผนที่วางไว้ได้ง่ายขึ้น ฉะนั้นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบชลประทานในไร่นาทั้งสองประการจะได้กล่าวถึงโดยสังเขปในหัวข้อต่อไป เพื่อชี้ให้เห็นว่าปัญหาทั้งสองเกี่ยวข้องและมีความสำคัญต่อการออกแบบระบบชลประทานอย่างไร เพื่อจะได้นำความรู้ทางด้านวิศวกรรมไปใช้ให้สอดคล้องเป็นประโยชน์ทางด้านเศรษฐกิจ-สังคม และด้านการเกษตร

## 1.4 องค์ประกอบสำคัญในการออกแบบระบบชลประทานในไร่นา

การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา เพื่อให้ระบบทำงานได้ดี จะต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ประการ (วราวุธ, 2525) คือ

(1) องค์ประกอบทางด้านวิศวกรรม

(2) องค์ประกอบทางด้านการเกษตร และ

(3) องค์ประกอบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม

ซึ่งองค์ประกอบทั้ง 3 มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบเป็นอย่างมาก ดังนั้นในการวางแผน ออกแบบ และจัดการระบบชลประทานในไร่นา จะต้องพิจารณาให้งานขององค์ประกอบทั้ง 3 เอื้ออำนวยซึ่งกันและกัน จึงจะทำให้ระบบชลประทานนั้นทำงานได้สำเร็จตามเป้าหมายที่วางไว้ นั่นคือช่วยเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้กับเกษตรกรในเขตโครงการ

### 1.4.1 องค์ประกอบทางวิศวกรรม

องค์ประกอบทางวิศวกรรมที่เกี่ยวข้องได้แก่ สภาพภูมิประเทศ ลักษณะดิน ลักษณะการแพร่กระจายและปริมาณฝนที่ตก ปริมาณน้ำต้นทุน ความต้องการน้ำของพืช วิธีการส่งน้ำ และวิธีการให้น้ำแก่พืช ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนและออกแบบทางวิศวกรรมของระบบ เพื่อให้ได้ระบบซึ่งมีขนาดความจุเพียงพอที่จะส่งน้ำให้แก่พืชได้ตามความต้องการ และ

สามารถกระจายน้ำเข้าสู่ไร่นาของเกษตรกรได้อย่างทั่วถึง มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับขีดความรู้ความสามารถของเกษตรกรในอันที่จะควบคุมดูแลและบำรุงรักษาต่อไป

**1.4.2 องค์ประกอบทางด้านการเกษตร**

องค์ประกอบที่สำคัญต่อการออกแบบได้แก่ แผนการปลูกพืช หรือปฏิทินการปลูกพืช (Cropping Pattern หรือ Cropping Calendar) แรงงานและการใช้เครื่องจักรเครื่องมือในการเกษตรและความสัมพันธ์ระหว่างน้ำกับพืชที่ให้ผลผลิตสูง ความเข้าใจเกี่ยวกับองค์ประกอบทางการเกษตร จะทำให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบระบบชลประทานที่สามารถจ่ายน้ำได้ทันเวลา และเพียงพอกับความต้องการของพืช ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง ซึ่งมีความต้องการน้ำชลประทานแตกต่างกันไป

**1.4.3 องค์ประกอบทางด้านเศรษฐกิจและสังคม**

การกระตุ้นให้เกษตรกรเพิ่มผลผลิตมีความสำคัญต่อความสำเร็จของโครงการชลประทาน เครื่องกระตุ้นที่สำคัญคือ การจัดถนนและทางลำเลียงในไร่นา ตลอดจนสิ่งอำนวยความสะดวกในการส่งน้ำและระบายน้ำ แต่เนื่องจากค่าลงทุนในสิ่งอำนวยความสะดวกเหล่านั้นค่อนข้างสูง จึงต้องคำนึงถึงความคุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย

ความสำเร็จของโครงการชลประทานขึ้นอยู่กับการยอมรับทางสังคมและการให้ความร่วมมือของเกษตรกรเป็นประการสำคัญ การเรียนรู้ถึงรายละเอียดโครงสร้างของสังคมวัฒนธรรม และรูปแบบของผู้นำสังคมจะช่วยให้การวางแผนและออกแบบเหมาะสมยิ่งขึ้น การเปลี่ยนแปลงความรู้สึกนึกคิดจากการเพาะปลูกแบบดั่งเดิม และการใช้แรงงาน เป็นการเกษตรแผนใหม่ และการใช้เครื่องจักรย่อมต้องใช้เวลา จึงควรมีการออกไปส่งเสริมแนะนำเกษตรกรให้รู้จักแต่เนิ่น ๆ เพื่อให้เกษตรกรสามารถปรับตัวได้ทันกับเทคโนโลยีสมัยใหม่

การกำหนดขนาดของแฉกส่งน้ำ (Tertiary Unit) จะพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศและขนาดพื้นที่แต่เพียงอย่างเดียวไม่ได้ จะต้องพิจารณาถึงจำนวนเกษตรกรและกลุ่มเกษตรกรที่จะเข้ามาใช้น้ำร่วมกันด้วย ถ้ามีเกษตรกรที่ชอบทำอะไรตามความพอใจของตัวเป็นหลักจะต้องเพิ่มสิ่งอำนวยความสะดวกหรือออกแบบให้แฉกมีขนาดเล็กลง

**1.5 ลักษณะระบบชลประทานในไร่นา**

ในเชิงกายภาพระบบชลประทานในไร่นา ประกอบด้วย
- แหล่งน้ำ
- ระบบกระจายน้ำ
- ระบบให้น้ำ
- ระบบระบายน้ำ
- ทางลำเลียง

ดังแสดงในรูปที่ 1.1

### 1.5.1 แหล่งน้ำ

แหล่งน้ำที่ทำหน้าที่เป็นน้ำต้นทุนให้กับระบบไร่นา อาจได้แก่คลองชลประทาน บ่อน้ำในไร่นา บ่อน้ำบาดาล การสร้างฝายทดน้ำจากแม่น้ำ หรือการสูบน้ำจากแม่น้ำเข้าสู่ระบบไร่นาโดยตรง แหล่งน้ำแต่ละประเภทที่กล่าวถึงจะจ่ายน้ำให้ระบบไร่นาในรูปแบบที่แตกต่างกัน เช่น คลองชลประทานจะจ่ายน้ำตามรอบเวรการส่งน้ำชลประทานของโครงการ บ่อน้ำในไร่นาจะจ่ายน้ำได้ตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ขณะนั้น และที่คาดว่าจะไหลลงบ่อเวลาฝนตก น้ำต้นทุนของบ่อบาดาลจะขึ้นอยู่กับผลผลิต (Yield) ขอบ่อและการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใต้ดินของบ่อ การทดน้ำจากแม้ำโดยตรงปริมาณน้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำ และการสูบน้ำจากแม่น้ำจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำและขีดความสามารถในการสูบน้ำของเครื่องสูบน้ำเป็นต้น ผู้ออกแบบระบบชลประทานในไร่นา จำเป็นต้องรู้ถึงประเภทของแหล่งน้ำและปริมาณน้ำต้นทุนที่สามารถนำมาใช้ในการชลประทานในช่วงเวลาต่าง ๆ ได้ และความเชื่อถือได้ของปริมาณน้ำต้นทุนจากแหล่งน้ำนั้น ๆ จึงจะออกแบบระบบกระจายน้ำ และระบบให้น้ำที่เหมาะสมได้

### 1.5.2 ระบบกระจายน้ำ

ระบบกระจายน้ำทำหน้าที่กระจายน้ำจากแหล่งน้ำสู่แปลงเพาะปลูก ระบบกระจายน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ระบบทางน้ำเปิด (ระบบคลอง-คูส่งน้ำ) และระบบท่อส่งน้ำ ระบบทางน้ำเปิดจะเหมาะกับแหล่งน้ำต้นทุนที่มีเฮดไม่มากและพื้นที่ค่อนข้างราบเรียบ ส่วนระบบท่อส่งน้ำเหมาะกับแหล่งน้ำที่มีเฮดมากเช่นอ่างเก็บน้ำซึ่งอยู่ที่สูง หรือโครงการสูบน้ำ และสภาพภูมิประเทศของโครงการไม่ราบเรียบสม่ำเสมอ ไม่เหมาะต่อการขุดคลอง-คูส่งน้ำ

นอกจากระบบคลองหรือระบบท่อส่งน้ำแล้ว ยังต้องมีอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ เช่น ประตูน้ำ อาคารอัดน้ำ อาคารน้ำตก อาคารแบ่งน้ำ อาคารวัดน้ำและท่อส่งน้ำเข้าแปลง สำหรับระบบคลองส่งน้ำ หรือพวกวาล์วและหัวจ่ายน้ำแบบต่าง ๆ สำหรับระบบท่อส่งน้ำ เป็นต้น

### 1.5.3 ระบบให้น้ำ

หลังจากที่ส่งน้ำผ่านระบบกระจายน้ำในไร่นา เข้าสู่แปลงเพาะปลูก เกษตรกรเจ้าของแปลงจะเป็นผู้นำน้ำไปให้กับพืช วิธีการให้น้ำแก่พืช (Irrigation Methods) ที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปมี 4 วิธี (Vudhivanich, 1994) คือ

(1) วิธีการให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation)

(2) วิธีการให้น้ำแบบสปริงเกลอร์ (Sprinkler Irrigation)

(3) วิธีการให้น้ำแบบไมโคร (Micro Irrigation)

(4) วิธีการให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Sub-Surface Irrigation)

ลักษณะวิธีการให้น้ำทั้ง 4 วิธีสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1.1 แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันออกไป การเลือกใช้วิธีการให้น้ำที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ สภาพดิน ชนิดพืชที่ปลูก วิธีการเพาะปลูก ค่าลงทุน และปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ ฯลฯ ดังแสดงในตารางที่ 1.2

### 1.5.4 ระบบระบายน้ำ

ระบบระบายน้ำถือเป็นสิ่งจำเป็นไม่ยิ่งหย่อนกว่าระบบส่งน้ำ โดยเฉพาะกับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตมรสุมจึงต้องมีการออกแบบระบบระบายน้ำในไร่นา ควบคู่กับระบบชลประทานเสมอ และเช่นเดียวกับระบบส่งน้ำในไร่นา ระบบระบายน้ำอาจแบ่งออกได้ 2 แบบ คือ ระบบท่อระบายน้ำใต้ดิน และระบบคู-คลองระบายน้ำผิวดิน สำหรับประเทศโดยปกติแล้วเกือบไม่มีการใช้ระบบท่อระบายน้ำใต้ดินเลยเนื่องจากค่าลงทุนสูงมาก

### 1.5.5 ถนนและทางลำเลียง

ถนนและทางลำเลียง ถือเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกทั้งเพื่อให้เจ้าหน้าที่เข้าไปควบคุมการส่งน้ำให้เกษตรกร ดูแลบำรุงรักษาระบบชลประทาน และเพื่อให้เกษตรกรสามารถใช้

ลำเลียงปัจจัยการผลิตไปสู่แปลงและลำเลียงผลผลิตจากแปลงสู่ตลาด ปกติจะออกแบบถนนและทางลำเลียงตามแนวคลอง-คูส่งน้ำหรือระบายน้ำโดยออกแบบไว้ที่ตลิ่งคลอง-คูด้านในด้านหนึ่ง

**ตารางที่ 1.1** วิธีการให้น้ำแก่พืช 4 วิธี

| วิธีการให้น้ำทางผิวดิน | วิธีการให้น้ำแบบสปริงเกลอร์ | วิธีการให้น้ำแบบไมโคร | วิธีการให้น้ำทางใต้ผิวดิน |
|---|---|---|---|
| *การให้น้ำแบบท่วมขัง | *ระบบเคลื่อนย้ายด้วยมือ | *หัวน้ำหยด | |
| (Check irrigation) | . ท่อแข็ง | 50-150 Kpa,2-8 l/hr | *คูน้ำเปิด |
| . ท่วมจากแม่น้ำ | . ท่ออ่อนซึ่งเชื่อมต่อหัวสปริงเกลอร์ที่ | . in line | |
| (ควบคุมได้บางส่วน) | ตั้งบนเลื่อน | . on line (มีหลายชนิด) | *ท่อดินเผาหรือท่อเจาะรูผังไว้ใต้ดิน |
| . ท่วมเป็นผืนราบ | | | |
| (ควบคุมได้) | *ระบบเคลื่อนย้ายด้วยเครื่องกล | *ท่อน้ำหยด | |
| -แบบบอร์เดอร์ราบ | . ชุดสปริงเกลอร์แบบลากเคลื่อนย้ายได้ | 50-150 Kpa, 2-6 l/hr | |
| -ร่องคูราบ | -rotating boom | . ท่อสองชั้นเจาะรู | |
| *การให้น้ำแบบไหลผ่าน | -travelling rain gun | . ท่อพรุน | |
| (พื้นที่ลาดเท) | . ชุดสปริงเกลอร์แบบติดเครื่องยนต์ | | |
| . ท่วมตามยถากรรม | -ท่อติดลูกล้อ | *หัวฉีด (nozzle jet) | |
| (ควบคุมได้บางส่วน) | -Center Piivot | 50-150 Kpa,50-100 l/hr | |
| . ร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน | | ป้องกันการอุดตันใช้ใน | |
| (ควบคุมได้บางส่วน) | *ระบบกึ่งถาวร | สวนผลไม้ | |
| . ร่องคูเล็ก (กึ่งควบคุม) | | | |
| . ท่วมเป็นผืนลาด (ควบคุมได้) | *ระบบถาวร ซึ่งอาจให้สำหรับการ | *หัวสเปรย์ | |
| -graded borders | ควบคุม frost ในสวนผลไม้ | 50-150 Kpa,20-40 l/hr | |
| -graded Furrows | | ใช้ในดินทรายและดินเหนี่ยว | |

**ตารางที่ 1.2** การพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม

| **สิ่งที่พิจารณา** | **วิธีการให้น้ำทางผิวดิน** | **วิธีการให้น้ำแบบสปริงเกลอร์** | **วิธีการให้น้ำแบบไมโคร** | **วิธีการให้น้ำทางใต้ผิวดิน** |
|---|---|---|---|---|
| พืช | ทุกชนิดโดยเฉพาะข้าวและพืชรากลึก | สามารถประยุกต์ใช้กับพืชได้เกือบทุกชนิด | สามารถประยุกต์ใช้กับพืชได้เกือบทุกชนิด | สามารถประยุกต์ใช้กับพืชได้เกือบทุกชนิด |
| ดิน | เหมาะกับดินเนื้อละเอียดถึงปานกลาง | เหมาะกับดินเกือบทุกชนิด | เหมาะกับดินเกือบทุกชนิด | -ดินที่น้ำสามารถเคลื่อนที่ด้วยแรง Capillary ได้ดี<br>-ดินชั้นล่างทึบน้ำ |
| ภูมิประเทศ | ความลาดเทสม่ำเสมอระหว่าง 0-1 % | เหมาะกับภูมิประเทศเกือบทุกแบบ | เหมาะกับภูมิประเทศเกือบทุกแบบ | พื้นที่ราบ |
| ค่าลงทุน | ปานกลาง | สูง | สูงถึงสูงมาก | ต่ำถึงปานกลาง |
| ค่า 0&M | ปานกลาง | สูง | ปานกลางถึงสูง | ต่ำ |
| การใช้พลังงาน | ต่ำ | สูงถึงสูงมาก | ปานกลางถึงสูง | ต่ำ |
| ประสิทธิภาพการใช้น้ำ | ต่ำถึงปานกลาง | ต่ำถึงสูง | สูงถึงสูงมาก | ต่ำถึงสูง |
| ปัญหา | น้ำท่วมขัง/การกัดเซาะ | - | เกลือในดิน/การอุดตันที่หัวจ่าย | เกลือในดิน |
| สิ่งที่ต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ | การเตรียมดิน/การกัดเซาะ | ลม/อะไหล่/เทคนิเชี่ยน | อะไหล่/เทคนิเชี่ยน | |

## 1.6 วิธีการส่งน้ำชลประทาน

การส่งน้ำชลประทานทำได้หลายวิธี แต่ละวิธีจะมีผลต่อการออกแบบคลองและอาคารควบคุม โดยทั่ว ๆ ไปจะแบ่งวิธีการส่งน้ำออกเป็น 3 วิธี คือ

- วิธีส่งแบบตลอดเวลา (Continuous Method)
- วิธีส่งแบบหมุนเวียน (Rotation Method)
- วิธีส่งตามความต้องการผู้ใช้น้ำ (On Demand Method)

แต่ละวิธีย่อมมีความเหมาะสม และมีข้อดี-ข้อเสียต่างกันออกไป การพิจารณาเลือกใช้วิธีหนึ่งวิธีใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

(1) จำนวนน้ำต้นทุน
(2) อัตราการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยและการรั่วซึม
(3) ความสมบูรณ์ของระบบแจกจ่ายน้ำ
(4) ความรู้ความชำนาญและความต้องการของผู้ใช้น้ำ
(5) สภาพฝนและลักษณะภูมิประเทศ

การส่งน้ำแบบตลอดเวลาเหมาะสำหรับโครงการชลประทานที่มีน้ำต้นทุนพอ และมีขนาดเนื้อที่เพาะปลูกของแต่ละท่อส่งน้ำเข้ามาเป็นจำนวนมาก ส่วนการส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำนั้นเหมาะสำหรับโครงการชลประทานที่มีแหล่งน้ำต้นทุนสำรองพร้อมที่จะส่งได้ตลอดเวลา และเกษตรกรผู้ใช้น้ำมีความรู้ความชำนาญเรื่องการใช้น้ำเป็นอย่างดี สำหรับการส่งแบบหมุนเวียนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในโครงการชลประทานที่มีน้ำต้นทุนน้อย หรือโครงการชลประทานที่ได้รับน้ำโดยการผันจากแหล่งน้ำซึ่งอยู่ภายนอกโครงการ นอกจากผู้ใช้น้ำจะต้องมีความรู้-ความเข้าใจเกี่ยวกับการส่งน้ำหมุนเวียนแล้ว ระบบแจกจ่ายน้ำจะต้องมีอาคารควบคุมน้ำที่มีประสิทธิภาพด้วย

การพิจารณาเลือกใช้วิธีการส่งน้ำแบบใดจะต้องพิจารณาจากองค์ประกอบต่าง ๆ หลายด้านดังกล่าวมาแล้ว และควรจะกำหนดวิธีการส่งน้ำตั้งแต่ขั้นวางโครงการ เพื่อจะได้ออกแบบระบบส่งน้ำได้อย่างถูกต้อง

### 1.6.1 วิธีการส่งน้ำแบบตลอดเวลา

ในระบบส่งน้ำแบบตลอดเวลา น้ำชลประทานจะส่งไปยังพื้นที่เพาะปลูกของเกษตรกรทุก ๆ แปลงอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา (ตลอด 24 ชั่วโมง) ติดต่อกันตลอดฤดูกาลเพาะปลูก

การส่งน้ำแบบตลอดเวลานี้ค่าลงทุนก่อสร้างระบบส่งน้ำและระบบแจกจ่ายน้ำจะมีราคาถูกกว่าการส่งน้ำโดยวิธีอื่น ๆ เพราะขนาดของระบบจะเล็กลงไปเรื่อย ๆ แต่การใช้น้ำจากระบบนี้จะได้ผลดีและมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเกษตรกรมีพื้นที่เพาะปลูกเป็นแปลงใหญ่ สามารถจะขุดสระเก็บน้ำสำรองไว้ในพื้นที่เพาะปลูกเพื่อเก็บน้ำไว้ในช่วงที่ต้องการน้ำมากได้ มิฉะนั้นจะต้องออกแบบขนาดระบบส่งน้ำจากความต้องการน้ำสูงสุด ซึ่งโอกาสที่จะทำการส่งน้ำในช่วงที่มีความต้องการน้ำสูงสุดมีเพียงไม่กี่วันตลอดฤดูกาล และมีผลทำให้การส่งน้ำในช่วงที่ต้องการน้ำน้อยทำได้ลำบากเพราะระดับน้ำปกติ (Normal Depth) ในคูจะต่ำกว่าระดับน้ำใช้การ (Full Supply Level) ต้องใช้อาการอัดน้ำเป็นช่วง ๆ ซึ่งการอัดน้ำดังกล่าวอาจจะมีผลต่อปริมาณการไหลของน้ำเข้าคูหรือคลองซึ่งยากแก่การควบคุม แต่ถ้าเกษตรกรมีพื้นที่เพาะปลูกน้อย ๆ การขุดสระเก็บน้ำสำรองก็ไม่สามารถจะทำได้ เพราะทำให้เสียพื้นที่เพาะปลูก และค่าลงทุนสูงเกินไป เว้นแต่ว่าเกษตรกรจะรวมกันเป็นกลุ่มแล้วขุดสระเก็บน้ำสำรองใช้ร่วมกัน อย่างไรก็ตามถ้าไม่มีสระเก็บน้ำสำรอง การส่งน้ำแบบนี้จะทำให้การใช้น้ำไม่ค่อยมีประสิทธิภาพนัก

การส่งน้ำแบบตลอดเวลานี้เป็นวิธีการส่งน้ำที่ง่ายที่สุดใช้คนน้อย แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะมีประสิทธิภาพต่ำ เพราะเกิดการสูญเสียน้ำมาก และในช่วงที่การเพาะปลูกในระบบต้องการน้ำมากจะเกิดปัญหาการแก่งแย่งน้ำระหว่างเกษตรกร ปริมาณน้ำที่ต้องการในระบบส่งน้ำสำหรับการส่งแบบตลอดเวลานี้จะสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$Q = \frac{Ad}{54Ei} \quad \text{----------(1.1)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ต้องการ (ลิตร/วินาที)

A = พื้นที่ส่งน้ำ (ไร่)

d = ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (มม./วัน)

Ei = ประสิทธิภาพของการชลประทาน (เป็นทศนิยม)

ในแง่ของการออกแบบ ถ้าสมมติว่า Ei และ d มีค่าคงที่ ขนาดของคลองส่งน้ำหรือคูส่งน้ำจะแปรผันไปตามส่วนของพื้นที่ (A) ที่จะต้องส่งน้ำให้ นั่นคือขนาดของคลองหรือคูน้ำจะค่อย ๆ เล็กลงจากต้นคลองหรือคูไปยังปลายคลองหรือคู

### 1.6.2 วิธีการส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ

วิธีการส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำนี้จะปฏิบัติกันเฉพาะในประเทศได้พัฒนาทางด้านการเกษตรแล้ว ซึ่งเกษตรกรแต่ละรายมีพื้นที่เพาะปลูกจำนวนมาก และรู้จักการใช้น้ำ

ชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพ ประกอบกับโครงการชลประทานนั้นจะต้องมีอ่างเก็บน้ำหรือแหล่งน้ำที่สามารถจะส่งน้ำให้แก่เกษตรกรได้อย่างเพียงพอตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เมื่อเกษตรกรต้องการน้ำชลประทานก็จะต้องแจ้งความต้องการปริมาณน้ำชลประทานที่จะใช้แต่ละครั้งให้เจ้าหน้าที่ชลประทานทราบล่วงหน้าประมาณ 2 - 3 วัน วิธีการส่งน้ำแบบนี้จะใช้ได้ผลก็ต่อเมื่อมีการเก็บค่าน้ำตามปริมาตรที่เกษตรกรใช้ และต้องมีมาตรการป้องกันการลักขโมยน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบชลประทานตามวิธีการส่งน้ำแบบนี้จะต้องให้สามารถส่งน้ำได้เพียงพอกับความต้องการน้ำสูงสุดของฤดูกาลเพาะปลูกได้ ซึ่งจะทำให้ระบบส่งน้ำมีขนาดใหญ่และราคาแพงกว่าแบบอื่น ๆ ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามถ้าได้มีการวางแผนการปลูกพืชที่เหมาะสมโดยพยายามให้ช่วงที่ต้องการน้ำสูงสุดของพื้นที่แต่ละแปลงเกิดไม่พร้อมกันก็จะช่วยให้สามารถลดขนาดของระบบลงได้มาก และถ้าเป็นโครงการไม่ใหญ่นักสามารถที่จะปรับระยะเวลาการส่งน้ำแต่ละครั้งให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่พืชต้องการได้ ก็จะช่วยลดค่าลงทุนในการก่อสร้างอาคารอัดน้ำลงได้มาก เพราะสามารถที่จะส่งน้ำที่ระดับน้ำใช้การได้ตลอดเวลา เช่น ถ้าสมมติว่าออกแบบคลองหรือคูจากความต้องการน้ำสูงสุด 15 มม./วัน

$$Q = \frac{15A}{54Ei} \quad \text{ลิตร/วินาที}$$

ในกรณีที่พืชต้องการน้ำเพียง 3 มม./วัน ก็ยังสามารถส่งน้ำที่ระดับน้ำใช้การเต็มที่ได้ แต่ระยะเวลาการส่งน้ำจะเหลือเพียง

$$T = \frac{1600 \times A \times 3}{Ei \times Q}$$

$$= \frac{1600 \times A \times 3}{Ei} \times \frac{54Ei}{15A}$$

$$= 17280 \text{ วินาที หรือ } 4.8 \text{ ชั่วโมง}$$

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการส่งน้ำแบบนี้จะต้องมีอาคารควบคุมน้ำอย่างทั่วถึงเพื่อให้สามารถส่งน้ำกับพื้นที่ที่กำลังต้องการน้ำโดยเฉพาะได้

### 1.6.3 วิธีการส่งน้ำแบบหมุนเวียน

การส่งน้ำแบบหมุนเวียน หมายถึง วิธีการส่งน้ำให้ผู้ใช้น้ำตามจำนวนและเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเป็นช่วง ๆ ด้วยวิธีการนี้ผู้ใช้น้ำชลประทานจะไม่ได้รับน้ำชลประทานพร้อมกันทั้งโครงการ แต่เจ้าหน้าที่ชลประทานจะเป็นผู้กำหนดจำนวนน้ำชลประทานและจัดระยะเวลาส่งน้ำให้โดยการแบ่งพื้นที่รับน้ำออกเป็นส่วนย่อย ๆ แล้วกำหนดรอบเวรการส่งน้ำตามความเหมาะสมซึ่งจำนวนน้ำที่ส่งให้แต่ละครั้งจะต้องมากพอให้พืชใช้ไปจนกว่าจะถึงกำหนดการส่งน้ำครั้งต่อไป

การส่งน้ำแบบหมุนเวียนอาจแบ่งตามลักษณะของการหมุนเวียนได้ 3 ประเภทคือ หมุนเวียนในคลองสายใหญ่ หมุนเวียนในคลองซอย และหมุนเวียนในคูน้ำ

(1) การหมุนเวียนในคลองสายใหญ่

การส่งน้ำโดยวิธีนี้ น้ำจะถูกส่งไปตามคลองสายใหญ่ทีละส่วนตามที่ได้กำหนดไว้ เมื่อส่งน้ำเข้าไปในตอนใดของคลองสายใหญ่ คลองซอยและคูน้ำในส่วนนั้นจะได้รับน้ำพร้อมกัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.2 (1)

(2) การหมุนเวียนในคลองซอย

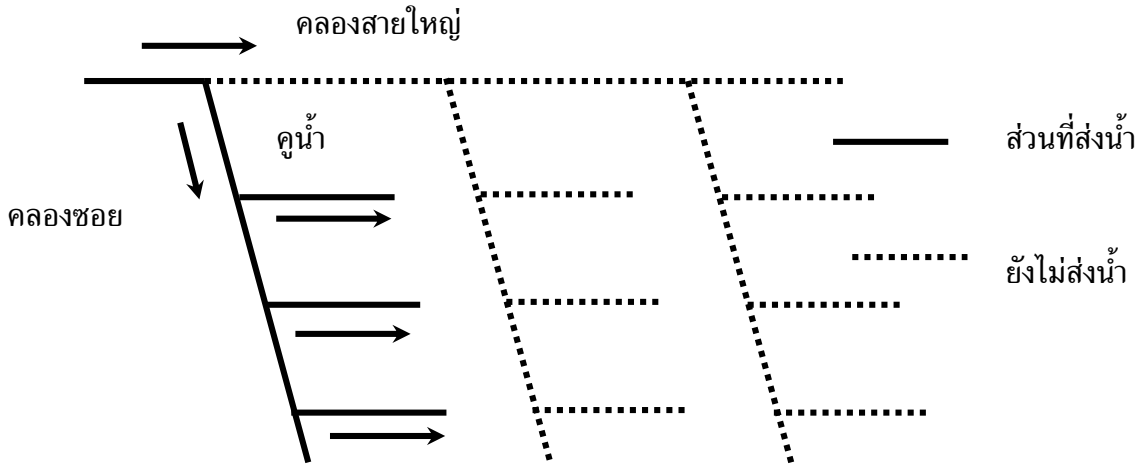
วิธีนี้น้ำจะถูกส่งเข้าคลองสายใหญ่ตลอดเวลา แต่คลองซอยสายต่าง ๆ จะถูกแบ่งเป็นส่วน ๆ และแต่ละส่วนของคลองซอยและคูน้ำที่รับน้ำจากคลองซอยจะได้รับน้ำเป็นช่วง ๆ ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1.2 (2)

(3) การหมุนเวียนในคูน้ำ

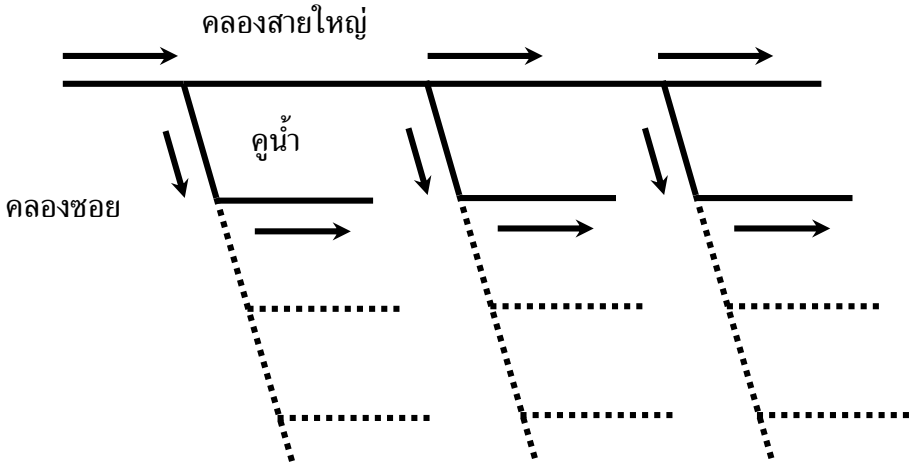
การหมุนเวียนโดยวิธีนี้ คูน้ำจะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ แล้วจัดการส่งน้ำให้แต่ละส่วนตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ โดยวิธีนี้จะมีน้ำในคลองสายใหญ่และคลองซอยตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 1.2 (3)

นอกจากนี้การส่งน้ำหมุนเวียนอาจจะหมุนเวียนกันระหว่างคลองสายใหญ่ ระหว่างคลองซอย หรือระหว่างคูน้ำแต่ละสายก็ได้

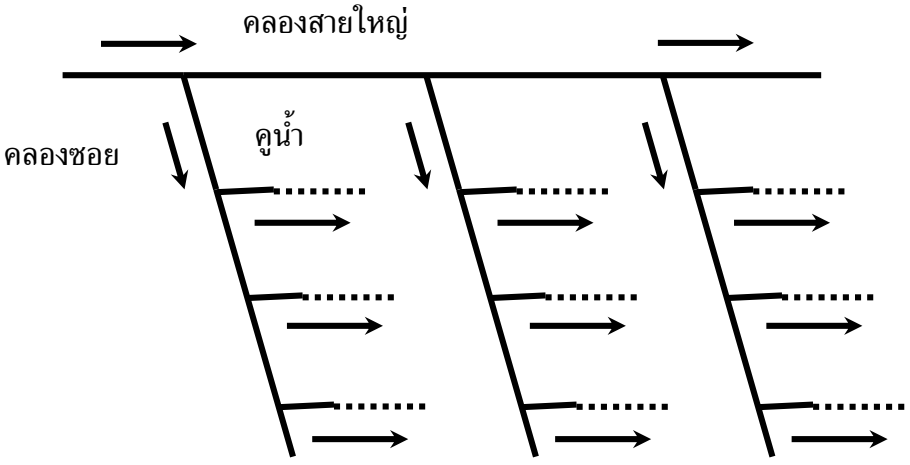
การออกแบบขนาดความจุของคลองและคูน้ำ ตลอดจนอาคารบังคับน้ำต่าง ๆ จะต้องสัมพันธ์กับวิธีการส่งน้ำหมุนเวียนที่จะนำมาใช้ เช่น การหมุนเวียนในคลองสายใหญ่จะต้องมีขนาดของคลองสายใหญ่เท่ากันตลอดสาย ส่วนคลองซอยและคูน้ำจะมีขนาดลดลงตามส่วนของพื้นที่เป็นต้น ลักษณะการหมุนเวียนทั้ง 3 ประเภทในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและการส่งน้ำจะแสดงเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 1.3




(1) การส่งน้ำหมุนเวียนในคลองสายใหญ่




(2) การส่งน้ำหมุนเวียนในคลองซอย




(3) การส่งน้ำหมุนเวียนในคูน้ำ

**รูปที่ 1.2** วิธีการส่งน้ำแบบหมุนเวียน

**ตารางที่ 1.3** การเปรียบเทียบการส่งน้ำหมุนเวียนทั้ง 3 ประเภท

| ประเภทการหมุนเวียน | ความจุของคลองและคู | | | ลักษณะการส่งน้ำในคลองและคู | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | สายใหญ่ | สายซอย | คูน้ำ | สายใหญ่ | สายซอย | คูน้ำ |
| ในคลองสายใหญ่ | เท่ากันตลอดสาย | ลดลงตามส่วน | ลดลงตามส่วน | หมุนเวียน | หมุนเวียน | หมุนเวียน |
| ในคลองซอย | ลดลงตามส่วน | เท่ากันตลอดสาย | ลดลงตามส่วน | ตลอดเวลา | หมุนเวียน | หมุนเวียน |
| ในคูน้ำ | ลดลงตามส่วน | ลดลงตามส่วน | เท่ากันตลอดสาย | ตลอดเวลา | ตลอดเวลา | หมุนเวียน |

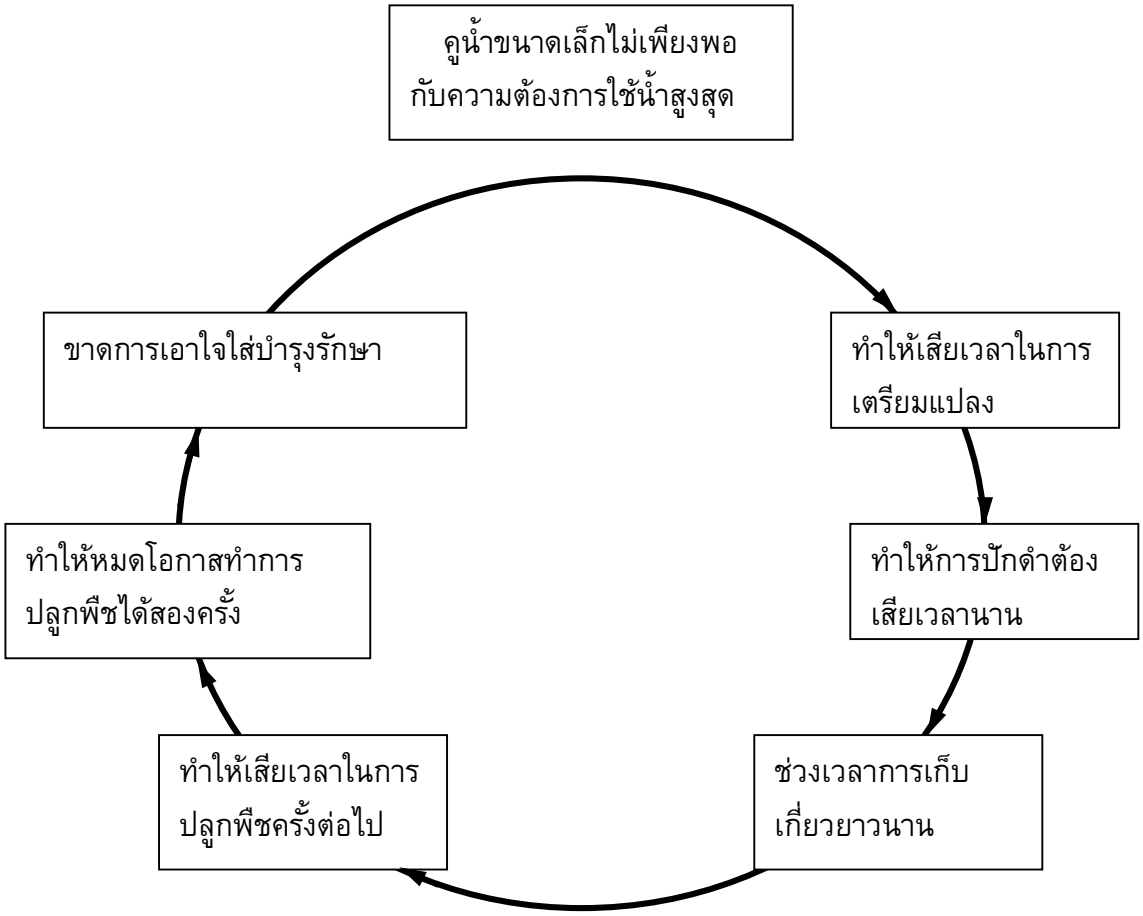
ในแง่ของการลงทุนถึงแม้ว่าวิธีการหมุนเวียนในคลองสายใหญ่และคลองซอยจะเสียค่าลงทุนในการก่อสร้างมากกว่าแบบที่ 3 แต่จะช่วยลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในคลองและในคูลงได้มาก เพราะระยะเวลาและช่วงความยาวคลองและคูที่มีน้ำขังน้อยกว่า และตามทฤษฎีแล้วการส่งน้ำหมุนเวียนในคลองสายใหญ่จะทำการควบคุมน้ำได้สะดวกกว่าแบบอื่น ๆ เพราะจำกัดพื้นที่รับน้ำแต่ละครั้งเป็นบริเวณ ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการหมุนเวียนในคูน้ำซึ่งพื้นที่รับน้ำกระจายเป็นจุด ๆ ออกไปทั่วพื้นที่ แต่อย่างไรก็ตามถ้าเป็นโครงการขนาดใหญ่และเกษตรกรไม่มีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการส่งน้ำหมุนเวียนดีพอก็จะก่อให้เกิดปัญหาในการบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษาโครงการซึ่งจะทำให้การส่งน้ำและใช้น้ำไม่เกิดประสิทธิภาพเท่าที่ควร เช่น ผู้ใช้น้ำบริเวณปลายคลองหรือคูอาจไม่ได้รับน้ำตามจำนวนที่ต้องการเนื่องจากการลักขะโมยน้ำบริเวณต้นคลองหรือคู

สำหรับการชลประทานในบ้านเราปัจจุบันโดยทั่วไป เลือกใช้วิธีการส่งน้ำแบบหมุนในคูน้ำ

## 1.7 การคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน

การคำนวณหาความต้องการปริมาณน้ำชลประทานในระบบส่งน้ำสำหรับการวางแผนและออกแบบจะใช้ข้อมูลฝน และอัตราการใช้น้ำของพืชเป็นรายเดือน ตามรูปแบบการปลูกพืชที่วางไว้ ซึ่งจะแตกต่างจากการคำนวณหาความต้องการปริมาณน้ำชลประทานสำหรับการจัดสรรน้ำที่ใช้ข้อมูลปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นเป็นประจำวันในระยะที่มีการปลูกพืชจริง ๆ ซึ่งอาจผิดแผกไปจากรูปแบบการปลูกพืชที่วางไว้ก็ได้ อย่างไรก็ตามการคำนวณหาความต้องการน้ำ

ชลประทานเพื่อการออกแบบนั้นจะต้องพิจารณาให้ขนาดของระบบส่งน้ำมีความจุเพียงพอสำหรับส่งน้ำชลประทานให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตามปริมาณที่ต้องการใช้และทันกับเวลาที่ต้องการในการปลูกพืชตามรูปแบบการปลูกพืชที่กำหนดไว้ มิฉะนั้นแล้วจะทำให้การทำงานของระบบต้องล่าช้าและยากที่จะได้รับความร่วมมือจากเกษตรกรภายในระบบ ผลเสียหายต่าง ๆ จะเกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 1.3 แต่ทั้งนี้การออกแบบระบบส่งน้ำจะต้องพิจารณาถึงความประหยัดในเชิงเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย




รูปที่ 1.3 วงจรข้อเสียของการส่งน้ำที่ล่าช้า (Early.1978)

### 1.7.1 ข้อมูลที่จำเป็นในการหาความต้องการน้ำชลประทาน

ในการหาความต้องการน้ำชลประทานต้องทราบข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับสภาพดินฟ้าอากาศของโครงการ เกี่ยวกับพืช วิธีการทางการเกษตร วิธีการส่งน้ำ ตลอดจนแรงงานที่มีอยู่ในพื้นที่ของโครงการ ซึ่งพอจะแยกออกได้ดังนี้

(1) รูปแบบการปลูกพืช ซึ่งแสดงถึงชนิดของพืชที่ปลูก ช่วงเวลาที่ปลูก ตลอดจนจำนวนพื้นที่ที่ปลูกพืชแต่ละชนิด

(2) คุณสมบัติของพืช เช่น ความลึกของเขตราก จุดวิกฤต (Critical Point) ความต้องการการใช้น้ำประจำวัน ประจำเดือน ประจำฤดูกาล หรือความต้องการน้ำสูงสุด (Peak Consumptive Use)

(3) สภาพอากาศ เช่น อุณหภูมิ การระเหย รังสีอาทิตย์ ความเร็วลมและความชื้นสัมพันธ์ เพื่อใช้ในการประเมินความต้องการน้ำของพืชและการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยในระบบส่งน้ำ และปริมาณฝนใช้การที่จะนำมาหักลบหาความต้องการน้ำชลประทาน

(4) คุณสมบัติดิน ได้แก่ ความชื้นในดิน ความสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืช การดูดซึมน้ำและการรั่วซึม (Percolation and Seepage)

(5) ปริมาณน้ำที่จำเป็นต้องใช้ในด้านอื่น ๆ ในการปลูกพืช เช่น การเตรียมแปลง ตกกล้า การควบคุมเกลือในดิน ฯลฯ

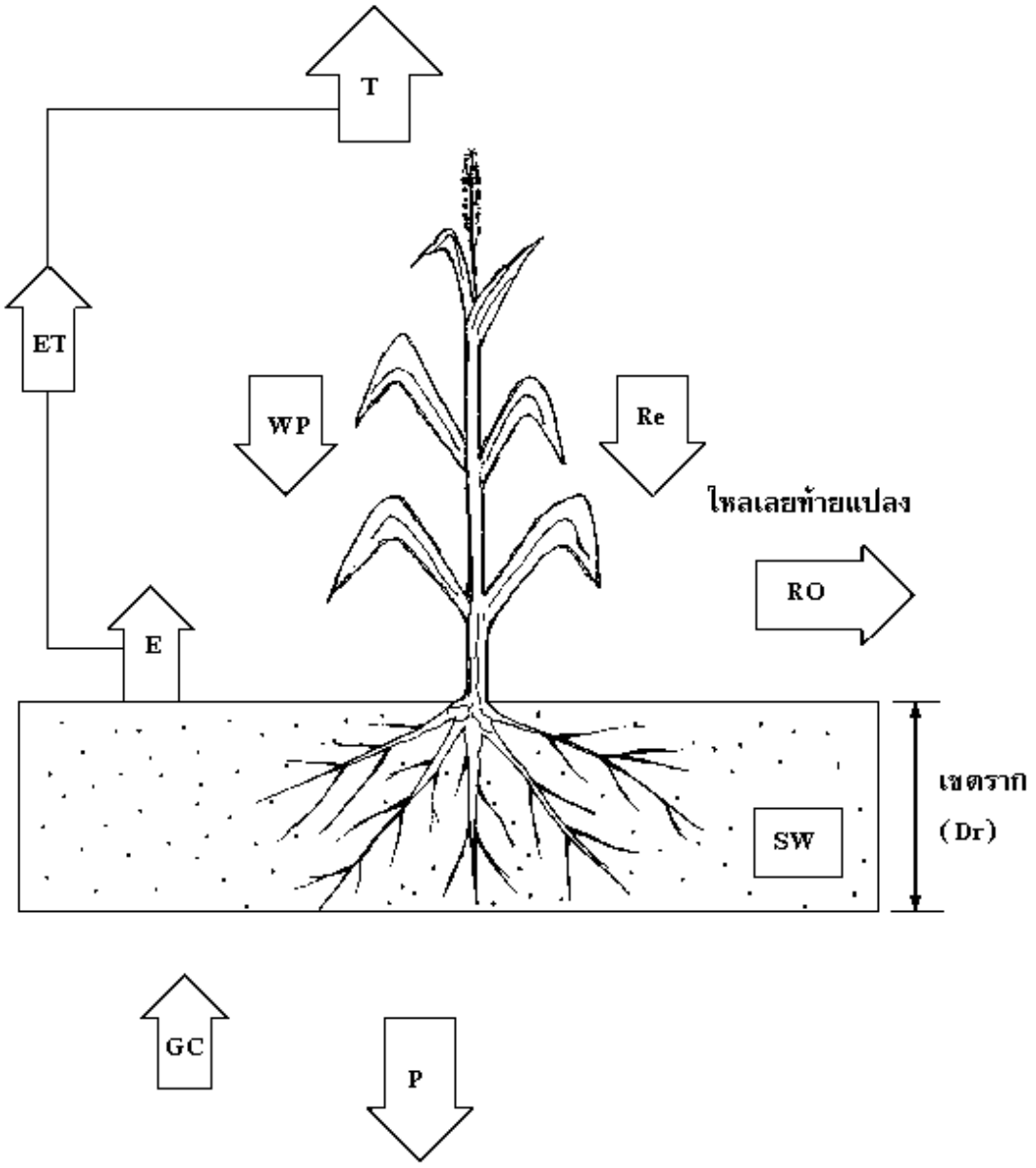
(6) ประสิทธิภาพในการใช้น้ำ ประสิทธิภาพของระบบคู และประสิทธิภาพของคลองส่งน้ำ

การคำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน จะเริ่มมาจากการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช และความต้องการน้ำเพื่อการอื่น เช่น การเตรียมแปลง การตกกล้า และการควบคุมเกลือในดิน ประเมินปริมาณฝนใช้การ แล้วจึงนำมาหาความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (Net Irrigation Water Requirement) โดยใช้หลักการสมดุลของน้ำ (Water Balance) ในแปลงเพาะปลูก หลังจากนั้นจึงทำการประเมินปริมาณการสูญเสียน้ำในส่วนต่าง ๆ ของระบบจากแปลงไปสู่แหล่งน้ำ ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปปริมาณการสูญเสียน้ำในส่วนต่าง ๆ ของระบบมักจะกล่าวถึงในรูปของประสิทธิภาพในการให้น้ำและประสิทธิภาพในการส่งน้ำ เนื่องจากความต้องการน้ำชลประทานในช่วงเวลาต่าง ๆ จะแตกต่างกันออกไปตามสภาพฝนและการใช้น้ำของพืช ดังนั้นจึงต้องคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานในช่วงเวลาต่าง ๆ ตลอดฤดูกาลเพาะปลูก แล้วพิจารณานำเอาค่าที่เหมาะสมไปทำการออกแบบขนาดของระบบส่งน้ำ

เนื่องจากองค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการใช้น้ำ การสูญเสียน้ำ และปริมาณฝนใช้การในแปลงเพาะปลูกพืชไร่และข้าวต่างกันออกไป ดังนั้นการหาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับการปลูกพืชไร่และข้าวจึงมักพิจารณาแยกออกจากกัน และนำมารวมกันเป็นความต้องการน้ำชลประทานของโครงการทีหลัง

### 1.7.2 การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับพืชไร่

การหาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับพืชไร่จะพิจารณาจากหลักการสมดุลของความชื้นในเขตรากพืช ซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในรูปที่ 1.4




รูปที่ 1.4 ไดอะแกรมแสดงสมดุลของความชื้นในแปลงพืชไร่

จากรูปที่ 1.4 จะสามารถเขียนสมการสำหรับคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานของแปลงพืชไร่ได้ดังนี้

$$Wp + Re + Gc = ET + P + RO + \triangle Sw \text{----------(1.2)}$$

เมื่อ Wp = ปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมดที่ให้กับแปลง

Re= ปริมาณฝนใช้การ

Gc= ปริมาณน้ำใต้ดินที่ซึมเข้าสู่เขตรากพืช

ET= ปริมาณการใช้น้ำของพืช

P = ปริมาณน้ำที่ไหลซึมเลยเขตราก

RO = ปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง

$\triangle$ Sw = ปริมาณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน

การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานของแปลงพืชไร่ตามวิธีในสมการที่ 1.2 เป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้องแน่นอน แต่ในทางปฏิบัติการคำนวณค่าความต้องการน้ำชลประทานเพื่อการวางแผนและออกแบบจะใช้วิธีการพิจารณาเป็นช่วง ๆ เช่น รายสัปดาห์ หรือรายเดือน ดังนั้นจะถือว่าค่า $\triangle$ Sw เป็นศูนย์ และโดยทั่ว ๆ ไปจะไม่พิจารณาว่าน้ำใต้ดิน (Gc) มีประโยชน์ต่อพืช ส่วนปริมาณน้ำที่ไหลเลยเขตราก (P) และปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง (RO) จะนำไปคิดรวมในประสิทธิภาพในการให้น้ำ ดังนั้นจะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$Wn = Wp - P - RO = ET - Re \text{----------(1.3)}$$

เมื่อ Wn = ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ

และ $$Wp = 100 \frac{Wn}{Ea} \text{----------(1.4)}$$

เมื่อ Ea = ประสิทธิภาพในการให้น้ำ

ในกรณีที่มีการใช้น้ำชลประทานเพื่อการอื่น เช่น การเตรียมดิน หรือการชะล้างเกลือ จะต้องนำปริมาณน้ำส่วนนั้นมารวมอยู่ในค่า Wn ด้วย

**ตัวอย่างที่ 1.1**ให้คำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน สำหรับการปลูกข้าวโพดในพื้นที่ 5,000 ไร่ โดยมีข้อมูลดังนี้

| | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1* 2* | 1 2 | 1 2 | 1 2 | 1 2 |
| พื้นที่ปลูกข้าวโพด 5,000 ไร่ | | | | | |
| ฝนเฉลี่ยในรอบ 20 ปี (มม.) | 15 | 30 | 70 | 100 | 130 |
| การระเหยเฉลี่ยในรอบ **20 ปี (มม.) | 105 | 130 | 170 | 100 | 150 |
| KP′ | 0.26 0.47 | 0.86 1.07 | 1.09 0.97 | 0.5 | |

*1 หมายถึงครึ่งเดือนแรก 2 หมายถึงครึ่งเดือนหลัง ** การระเหยจากถาดมาตรฐานแบบ เอ
ระยะรากข้าวโพดที่ต้องควบคุมความชื้น 60 ซม. จากผิวดิน
ขีดความชื้นที่ Field Capacity ของดินในแปลง 30 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ขีดความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาอย่างถาวร 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ความชื้นในดินก่อนเริ่มทำการปลูกข้าวโพด 13 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร
ประสิทธิภาพของการชลประทานในพื้นที่ 5,000 ไร่ เฉลี่ย 50 เปอร์เซ็นต์

**วิธีทำ** หลังจากหยอดเมล็ดจะต้องทำการส่งน้ำเพื่อทำดินในเขตรากมีความชื้นอยู่ที่ Field Capacity เพื่อให้เมล็ดงอก

ปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเตรียมแปลง $= \frac{(30-13)}{100} 600 = 102$ มม.

ความสามารถอุ้มน้ำของดินในเขตราก $= \frac{(30-10)}{100} 600 = 120$ มม.

| | ก.พ. | | มี.ค. | | เม.ย. | | พ.ค. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| A (พ.ท.ส่งน้ำ,%) | 50 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 50 |
| $Kp'_1$ (ปลูก 1 กพ.) | 0.26 | 0.47 | 0.86 | 1.07 | 1.09 | 0.97 | 0.5 | - |
| $Kp'_2$ (ปลูก 15 กพ.) | - | 0.26 | 0.47 | 0.86 | 1.07 | 1.09 | 0.97 | 0.5 |
| Kp′ เฉลี่ย | 0.26 | 0.365 | 0.665 | 0.965 | 1.08 | 1.03 | 0.735 | 0.5 |
| Epan (มม.) | 53 | 53 | 65 | 65 | 85 | 85 | 80 | 80 |
| ET1(=Kp′เฉลี่ย x Epan,มม.) | 14 | 19 | 43 | 63 | 92 | 88 | 58 | 40 |
| 1. ET2(เฉลี่ยตามส่วน พ.ท.,มม.) | 7 | 19 | 43 | 63 | 92 | 88 | 58 | 20 |
| 2. น้ำใช้เตรียมแปลง (มม.) | 102 | - | - | - | - | - | - | - |
| 3. Re1(ฝนใช้การของUSDA) | 5 | 5 | 11 | 11 | 28 | 28 | 30 | 30 |
| Re2(เฉลี่ยตามส่วน พ.ท.,มม.) | 3 | 5 | 11 | 11 | 28 | 28 | 30 | 15 |
| 4. ความต้องการน้ำ ชป.สุทธิ,มม. (1+2-3) | 106 | 14 | 32 | 52 | 64 | 60 | 28 | 5 |
| 5. ความต้องการน้ำ ชป.ทั้งหมด (Ei = 50%) | 212 | 28 | 64 | 102 | 128 | 120 | 56 | 10 |
| 6. ความต้องการน้ำ ชป.ของพื้นที่ 5,000 ไร่ (1,000ม.$^3$) | 1696 | 224 | 512 | 816 | 1024 | 960 | 448 | 80 |
| รวมความต้องการน้ำ ชป.ตลอดฤดูกาล (1,000 ม.$^3$) | 5760 | | | | | | | |

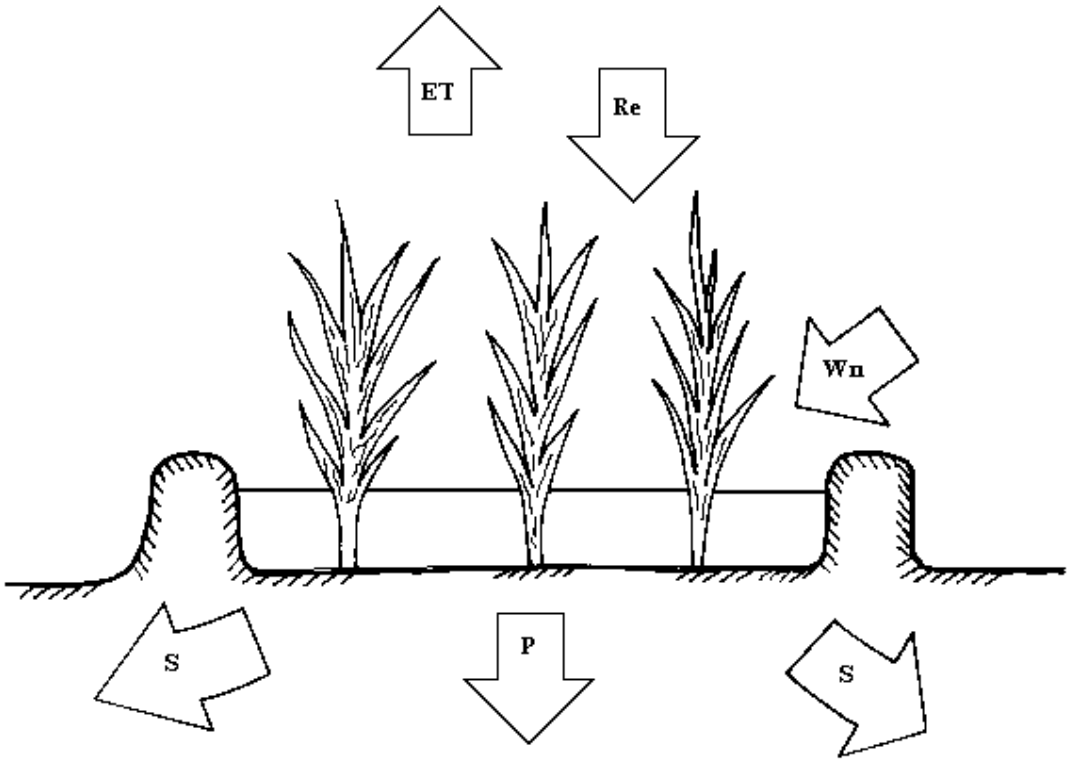
จากการคำนวณความต้องการน้ำชลประทานในแต่ละช่วงครึ่งเดือนจะเห็นว่าในช่วงครึ่งเดือนแรกของเดือนกุมภาพันธ์ มีความต้องการน้ำชลประทานมากที่สุด ดังนั้นการออกแบบระบบส่งน้ำจะต้องคิดจากความต้องการน้ำชลประทานในช่วงเดือนแรกของเดือนกุมภาพันธ์เป็นเกณฑ์ จึงจะได้ขนาดของระบบที่จะสามารถส่งน้ำได้เพียงพอกับความต้องการของข้าวโพดตลอดฤดูกาลเพาะปลูก

ในกรณีที่มีการปลูกพืชหลายอย่างในพื้นที่เพาะปลูก จะต้องคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานของพืชแต่ละอย่างในแต่ละช่วงเวลา แล้วจึงคูณกับพื้นที่เพาะปลูกแต่ละอย่าง

จะได้ปริมาณน้ำชลประทานที่จะต้องส่งให้แก่พืชแต่ละชนิด และเมื่อรวมปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้พืชแต่ละชนิดเข้าด้วยกันจะได้ปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมดที่จะต้องส่งให้กับโครงการ

### 1.7.3 การคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับข้าว

การหาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับนาข้าว โดยใช้หลักการสมดุลของน้ำในแปลงนาซึ่งมีตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องดังแสดงในรูปที่ 1.5




รูปที่ 1.5 ไดอะแกรมแสดงสมดุลของน้ำในแปลงนา

จากรูปที่ 1.5 จะสามารถเขียนสมการแสดงความสมดุลของน้ำในแปลงนาได้ว่า

$$Wn + Re = ET + P + S \quad \text{---------- (1.5)}$$

เมื่อ S = การรั่วซึมทางด้านข้าง (Seepage)

Wn, Re, ET และ P มีความหมายเหมือนเดิม

ในกรณีที่แปลงนาที่อยู่ข้าง ๆ มีน้ำขังเหมือนกัน การรั่วซึมทางด้านข้างจะมีค่าไม่มาก และโดยทั่ว ๆ ไปจะรวมค่า S และ P เข้าด้วยกันและเรียกว่าการรั่วซึมในแปลงนา (PS) ดังนั้นสมการ 1.5 สามารถเขียนให้ใหม่เป็น

$$Wn = ET + PS - Re \quad \text{----------(1.6)}$$

เช่นเดียวกับการคำนวณหาความต้องการน้ำของพืชไร่ ถ้ามีการใช้น้ำชลประทานเพื่อการอื่น เช่น เตรียมดิน และตกกล้าจะต้องนำเอามาติดรวมในค่า Wn ด้วย

**ตัวอย่างที่ 1.2** ให้หาความต้องการน้ำชลประทานสำหรับการทำนาในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตามแผนการปลูกพืชดังแสดงในรูปข้างล่าง และมีข้อมูลอื่น ๆ เพิ่มเติมดังต่อไปนี้.-

| | มค. | กพ. | มีค. | เมย. | พค. | มิย. | กค. | สค. | กย. | ตค. | พย. | ธค. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ข้าว-ข้าว | | เตรียมดิน+ตกกล้า | | | | | | เตรียมดิน+ตกกล้า | | | | |
| Epan (มม.) | 155 | 144 | 169 | 155 | 191 | 152 | 163 | 143 | 147 | 155 | 158 | 159 |
| ฝนเฉลี่ยประจำเดือน (มม.) | 6 | 14 | 27 | 75 | 221 | 189 | 193 | 234 | 292 | 74 | 9 | 4 |

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงในฤดูฝน = 250 มม.

ในฤดูแล้ง = 300 มม.

ปริมาณน้ำที่ต้องใช้เพื่อการตกกล้าอายุ 1 เดือน = 40* มม.

ความสัมพันธ์ระหว่าง ET กับ Epan

ฤดูฝน ET = 0.8 Epan + 0.25

ฤดูแล้ง ET = 0.9 Epan + 0.25

---

* ปริมาณน้ำที่เฉลี่ยโดยพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด

การรั่วซึมในแปลงนา ในฤดูฝนเฉลี่ย = 1 มม./วัน

ในฤดูแล้งเฉลี่ย = 3 มม./วัน

ประสิทธิภาพของการชลประทานในแปลงเพาะปลูก = 65 %

**วิธีทำ**

| | มค. | กพ. | มีค. | เมย. | พค. | มิย. | กค. | สค. | กย. | ตค. | พย. | ธค. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A (พ.ท.ส่งน้ำ ,%) | 50 | 50/50 | 100 | 87.5 | 12.5 | - | 50 | 50/50 | 100 | 100 | 50 | - |
| ET (มม.) | - | 130 | 152 | 140 | 172 | - | - | 115 | 118 | 124 | 127 | - |
| PS (มม.) | - | 84 | 93 | 90 | 93 | - | - | 31 | 30 | 31 | 30 | - |
| ET+PS (มม.) | - | 214 | 245 | 230 | 265 | - | - | 146 | 148 | 155 | 157 | - |
| 1. ET+PS(เฉลี่ยตามส่วน พ.ท) | - | 107 | 245 | 201 | 33 | - | - | 73 | 148 | 155 | 79 | - |
| 2. DLP (เฉลี่ยตามส่วน พ.ท, มม.) | 150 | 150 | - | - | - | - | 125 | 125 | - | - | - | - |
| 3. น้ำใช้ตกกล้า(มม.) | 20 | 20 | - | - | - | - | 20 | 20 | - | - | - | - |
| 4. Re1 (ฝนใช้การของ ECI.) | 6 | 14 | 27 | 75 | 221 | - | 193 | 207 | 183 | 74 | 9 | - |
| Re2(เฉลี่ยตามส่วน พ.ท) | 3 | 14* | 27 | 66 | 14 | - | 97 | 207* | 183 | 74 | 5 | - |
| 5. ต้องการการน้ำ ชป. สุทธิ (มม.) (1+2+3-4) | 167 | 263 | 218 | 135 | 19 | - | 28 | - | - | 81 | 74 | - |
| 6. ความต้องการน้ำ ชป.ทั้งหมด (Ei=65%) | 257 | 405 | 335 | 208 | 29 | - | 43 | - | - | 125 | 114 | - |

จากการคำนวณและเห็นว่าความต้องการน้ำชลประทานมากที่สุดอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเท่ากับ 405 มม.

---

* ฝนใช้การในเดือน กพ. และ สค. คิดเต็มพื้นที่ 100 % เพราะถือว่าฝนใช้การส่วนหนึ่งมีประโยชน์ในแปลงปักดำ (50 % ของ พ.ท.) และอีกส่วนหนึ่งมีประโยชน์ในการเตรียมแปลง (50 % ของ พ.ท.)

** 50/50 = พื้นที่เตรียมแปลง 50 % และปักดำ 50 %

## 1.8 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา “การออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก” . ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน.

2. Early, A.C (1978), Background Papers on Water Requirements, Agronomic, Soil and Field Response Concepts in Irrigation Water Management, Irrigation and Soil Mamagement Department, International Rice Research Institute, Philippines.

3. Vudhivanich, V. (1994), Water Application Methods for Selected Crops, Training Material for Irrigation Water Management, Training Course Organized by IRRI-KU., Department of Irrigation Engineering , Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakorn Pathom.

# บทปฏิบัติการที่ 1
# ระบบชลประทานในไร่นา

1. จงเขียนภาพระบบชลประทานในไร่นาสมบูรณ์แบบตามแนวความคิดของท่านโดยละเอียด
2. จงเขียนแผนภูมิการบริหารงานของกลุ่มผู้ใช้น้ำ (Water User Group) ในไร่นา ระบุองค์ประกอบสำคัญที่มีผลต่อการจัดการน้ำชลประทานในไร่นา และความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มผู้ใช้น้ำและโครงการชลประทาน
3. ถ้าท่านเป็นหัวหน้ากลุ่มผู้ใช้น้ำ ท่านคาดหวังอะไรต่อการบริหารงานชลประทานในระบบชลประทานหลักของเจ้าหน้าที่โครงการ
4. จงวิจารณ์สรุป/เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีการส่งน้ำแบบตลอดเวลา แบบรอบเวนและแบบตามความต้องการผู้ใช้น้ำ

# บทที่ 2
# การให้น้ำทางผิวดิน
# (Surface Irrigation)

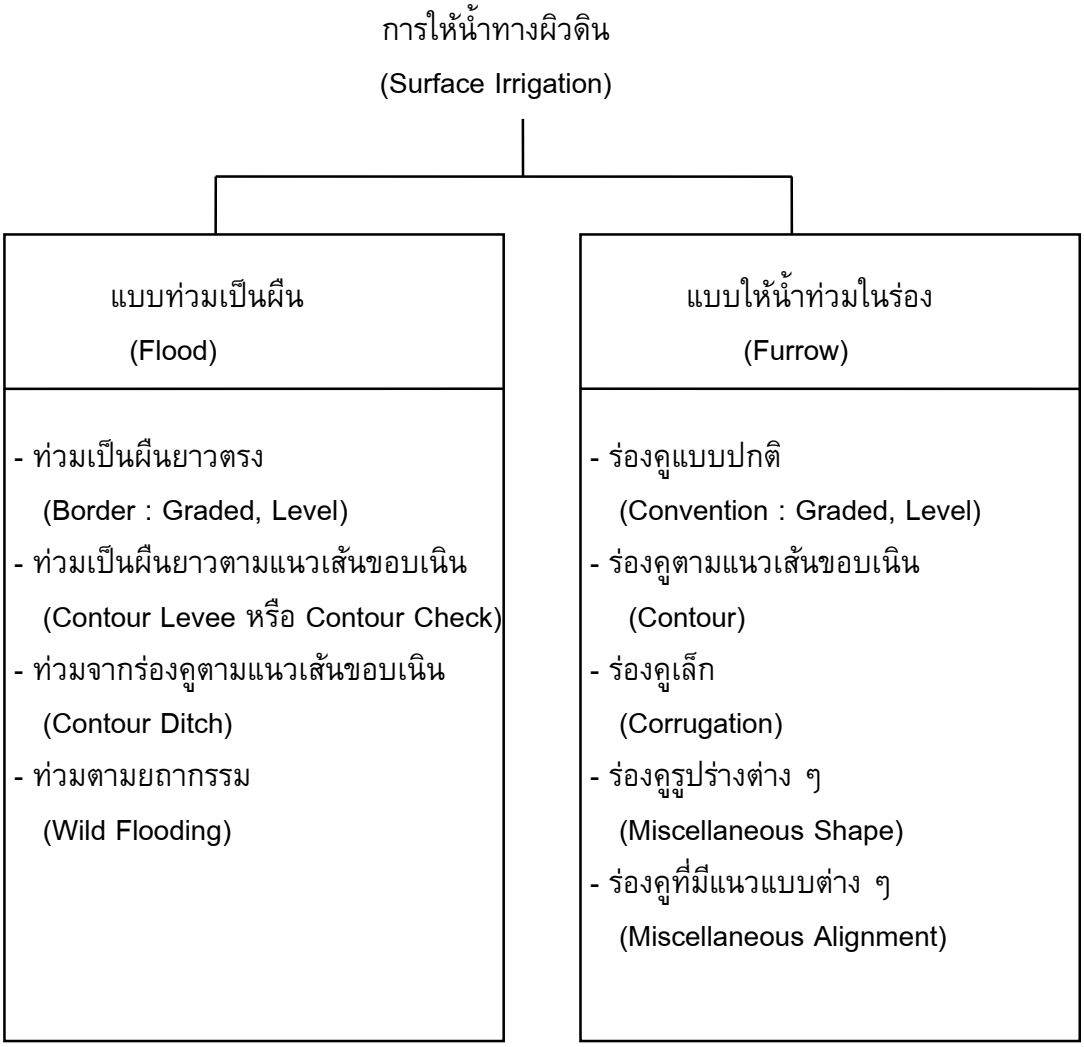
## 2.1 คำนำ

ระบบการชลประทานในไร่นาจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเกษตรกรผู้ใช้น้ำรู้ถึงวิธีการควบคุมน้ำที่จะต้องให้แก่แปลงเพาะปลูก เช่น การเลือกวิธีการให้น้ำอัตราการให้น้ำ ระยะเวลาในการให้น้ำ และขนาดของแปลง ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และต้องสัมพันธ์กับอัตราการดูดซึมน้ำของดิน ความต้องการน้ำของพืช ชนิดของพืชที่ปลูก ตลอดจนสภาพแปลงด้วย เพื่อให้การกระจายน้ำเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและลดการสูญเสียน้ำระหว่างการให้น้ำให้น้อยที่สุด

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการให้น้ำชลประทานผิวดินแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ทั่ว ๆ ไป โดยจะเน้นเกี่ยวกับเรื่องการเลือกวิธีการให้น้ำทางผิวดิน หลักการเบื้องต้นในการออกแบบการให้น้ำทางผิวดิน ตลอดจนการวิเคราะห์เพื่อปรับแก้การให้น้ำทางผิวดินให้เหมาะสมกับสภาพดิน สภาพพืช และอัตราน้ำชลประทานที่ส่งไปยังแปลง เพื่อให้การใช้น้ำในไร่นามีประสิทธิภาพ และการเพาะปลูกได้ผลผลิตดี

## 2.2 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) และแบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่อง (Furrow) จากทั้งสองแบบนี้เรายังสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีกดังไดอะแกรมต่อไปนี้




วิธีการให้น้ำทางผิวดินที่จะกล่าวถึงต่อไปโดยละเอียดคือ Graded Furrow ในบทที่ 3 Graded Border ในบทที่ 4 และแบบ Level Border หรือ Basin ในบทที่ 5

การให้น้ำทางผิวดินนี้รู้จักใช้กันมาเป็นเวลานานหลายศตวรรษแล้ว และในปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมกันอยู่โดยทั่วไป มากกว่า 90 % ของการชลประทานในโลกใช้วิธีการให้น้ำทางผิวดิน ทั้งนี้เพราะการให้นำแบบนี้มีข้อดีหลายอย่างซึ่งพอจะสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ (วราวุธ และพงศธร. 2536)

1. สามารถที่จะใช้ได้กับดินและพืชเกือบทุกชนิด นอกจากนั้นระบบการให้น้ำยังสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับขนาดและวิธีการส่งน้ำทุกประเภท

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

3. ค่าลงทุนถูกเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบอื่น ๆ เนื่องจากว่าการชลประทานแบบนี้ให้น้ำไหลไปบนผิวดินด้วยแรงดึงดูดของโลก ในกรณีที่ต้องการเครื่องสูบน้ำจึงมักจะไม่ต้องการแรงม้าสูง นอกจากนั้นยังไม่ค่อยมีอาคารชลประทานหรือเครื่องมือที่ต้องการการบำรุงรักษาอยู่เสมอด้วย

4. ไว้วางใจได้ 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

## 2.3 การออกแบบการให้น้ำทางผิวดิน

### 2.3.1 การรวบรวมข้อมูลสำหรับการออกแบบ

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

1. ข้อมูลที่เกี่ยวกับน้ำซึ่งได้แก่ปริมาณน้ำที่จะได้รับทั้งหมดตลอดปีหรือตลอดฤดูกาลเพาะปลูก 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 คุณสมบัติของดินที่อาจเปลี่ยนไปหลังจากที่มีน้ำท่วมผิวดินเช่น อาจเกิดการแตกระแหง อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากให้น้ำขังบนผิวดินในขนาดเดี่ยวกันกับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในขณะที่ให้น้ำแก่พืช ปริมาณของเกลือที่อยู่ในดิน ความง่ายต่อการถูกกัดเซาะ และความสามารถในการระบายน้ำของดิน

4. ข้อมูลที่เกี่ยวกับพืชซึ่งได้แก่ ชนิดของพืช และขนาดของพื้นที่ที่จะปลูกพืชความลึกของราก ความต้องการน้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุพืช วิธีการปลูกและเก็บเกี่ยว การปลูกพืชหมุนเวียน เป็นต้น

5. ข้อมูลอื่น ๆ เช่น เครื่องมือเตรียมดินและเก็บเกี่ยวที่มีอยู่แล้ว เครื่องมือก่อสร้างหรือเครื่องมืออื่น ๆ ที่จะหามาหรือว่าจ้างมาทำงานได้ จำนวนเงินที่จะนำมาใช้ลงทุน ฯลฯ

### 2.3.2 การเลือกวิธีการให้น้ำ

การเลือกวิธีการให้น้ำแก่พืชให้เหมาะสมกับดิน พืชที่ปลูก และสภาพแวดล้อมเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง การเลือกวิธีการให้น้ำที่ไม่เหมาะสมนอกจากจะทำให้ค่าลงทุนสูงและได้ประโยชน์ไม่คุ้มค่าแล้วยังอาจทำให้พื้นที่เพาะปลูกเสียหายได้เช่น ทำให้เกิดการชะล้างผิวดินและพาเอาปุ๋ยหรือแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไป ทำให้มีการสูญเสียน้ำมากขึ้น ทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นจนพื้นที่นั้นไม่เหมาะสมแก่การเพาะปลูกและทำให้เกิดดินเค็ม เป็นต้น แนวทางการพิจารณาการเลือกวิธีการให้น้ำเบื้องต้น ระหว่างการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง ท่วมเป็นผืนลาด และร่องคูแสดงอยู่ในตารางที่ 2.1

### 2.3.3 หลักการเบื้องต้นในการออกแบบ

เพื่อที่จะให้การใช้น้ำและดินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบชลประทานควรจะต้องได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ ดิน น้ำ และพืช และองค์ประกอบอื่น ๆ ซึ่งอาจสรุปได้ดังต่อไปนี้ (วราวุธ. 2525)

**ตารางที่ 2.1** แนวทางการพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำทางผิวดินที่เหมาะสม (Vudhivanich, 1989)

| วิธีการให้น้ำ | ภูมิประเทศ | | | | อัตราการซึมของน้ำลงไปในดิน (มม./ชม.) | รูปร่างแปลง | พืชที่ปลูก | | | | แรงงานที่ต้องการ (ชม./ 10 ไร่/การให้น้ำ 1 ครั้ง) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ผนตกชุก | | ไม่ค่อยมีฝน | | | | ปลูกเป็นแถวเป็นแนว | ปลูกโดยการหว่าน | ข้าว | ไม้ผล | |
| | ไม่ได้เพาะปลูก | มีพืชปกคลุมดี | ไม่ได้เพาะปลูก | มีพืชปกคลุมดี | | | | | | | |
| ท่วมเป็นอ่าง | ราบหรือมีความลาดเทน้อยกว่า 0.1 % (ถ้ามีความลาดเทมากกว่านี้ต้องทำเป็นขั้นบันได) | | | | < 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 |
| ร่องคู | 0.3 ความลาดเทขวางแปลง 3% | – | 2.0 ความลาดเทขวางแปลง 3% | – | < 30 | แต่ละร่องควรยาวเท่ากัน | เหมาะ | ไม่เหมาะ | ไม่เหมาะ | เหมาะ | 3.2 – 6.4 |

1. จะต้องสามารถให้น้ำตามความต้องการของพืชได้ ความต้องการน้ำของพืชขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิด อายุ และฤดูกาลเพาะปลูก การให้น้ำแก่พืชอย่างพอเพียงนั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ไม่ยากถ้าไม่คำนึงถึงค่าลงทุน การออกแบบที่ดีจะต้องให้ระบบชลประทานนั้นสามารถให้น้ำแก่พืชได้ตามความต้องการโดยเสียค่าลงทุนน้อยที่สุด

2. จะต้องสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอและทั่วถึงกัน เนื่องจากลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำ พืชที่แต่ละจุดอาจจะได้รับน้ำไม่เท่ากัน บางแห่งอาจจะได้รับมากเกินไป บางแห่งอาจจะได้รับน้ำไม่พอกับความต้องการ ผู้ออกแบบจะต้องออกแบบให้ระบบชลประทานนั้นสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอและทั่วถึงกันโดยให้มีความแตกต่างดังกล่าวน้อยที่สุด

3. จะต้องให้มีการกัดเซาะ (Erosion) น้อยที่สุด การกัดเซาะในวิธีการให้น้ำนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำและความลาดเทของพื้นที่ การออกแบบที่ดีจะต้องใช้อัตราการให้น้ำที่พอเหมาะ กล่าวคือ น้ำจะต้องไหลไปถึงปลายของพื้นที่ในเวลาพอสมควรโดยเกิดการกัดเซาะน้อยที่สุดหรืออยู่ในขนาดที่จะไม่เกิดความเสียหายแก่พื้นที่

4. จะต้องมีการสูญเสียน้ำน้อยที่สุด ในการให้น้ำแก่พืชน้ำบางส่วนอาจจะไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกหรือไหลซึมเลยเขตรากไป เพราะฉะนั้นจะต้องมีการออกแบบให้มีการสูญเสียน้ำดังกล่าวน้อยที่สุด น้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกออกไปหรือที่เราเรียกว่า “Runoff” นี้อาจจะควบคุมหรือลดปริมาณได้โดยการลดอัตราการให้น้ำลงเมื่อน้ำที่ให้นั้นไหลไปเกือบถึงท้ายแปลงเพาะปลูกแล้ว

5. ควรจะนำเอาน้ำเหลือท้ายแปลงเพาะปลูกมาใช้ให้เป็นประโยชน์ถ้าหากว่าไม่ต้องลงทุนเพิ่มอีกมาก หรือมิฉะนั้นจะต้องจัดการระบายออกจากพื้นที่ไปเพื่อป้องกันมิให้เกิดน้ำขัง ซึ่งจะทำให้เป็นอุปสรรคต่อการใช้เครื่องจักรกลเกษตรหรือเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ยุง

6. จะต้องออกแบบให้ใช้แรงงานในการให้น้ำน้อยที่สุด การออกแบบและวางแผนที่ดีจะทำให้ลดแรงงานในการให้น้ำลงได้มาก

7. ควรจะใช้พื้นที่สำหรับคลอง คูส่งน้ำ และอาคารอื่น ๆ ให้น้อยที่สุด ตามปกติแล้วอาคารดังกล่าวจะใช้พื้นที่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด อย่างไรก็ตาม พื้นที่ดังกล่าวจะลดลงได้อีกถ้ามีการออกแบบที่เหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กอยู่แล้วจะต้องระมัด
ระวังในเรื่องนี้มาก ในบางครั้งอาจจะต้องยอมลดประสิทธิภาพในการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency) ลง โดยการเพิ่มความยาวของร่องคู หรือแปลงให้น้ำแบบท่วมเป็นผืน เพื่อลดพื้นที่ที่จะต้องเสียไปและเพื่อให้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานได้สะดวกขึ้น

8. จะต้องออกแบบระบบชลประทานให้เหมาะกับรูปร่างของพื้นที่ ในบางครั้งพื้นที่เพาะปลูกมิได้มีรูปสี่เหลี่ยม การออกแบบจึงควรจัดให้ใช้พื้นที่ได้มากที่สุด

9. จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับดินและลักษณะของภูมิประเทศ เนื่องจากความแตกต่างของเนื้อดิน ความลาดเทของพื้นที่ ความลึกของดิน ตลอดจนความสามารถในการเก็บกักน้ำของดิน จำนวนครั้งในการให้น้ำจึงแตกต่างกันออกไป ดังนั้นจะต้องออกแบบให้แต่ละส่วนที่จะได้รับน้ำในเวลาเดียวกันมีความแตกต่างกันน้อยที่สุด

10. จะต้องคำนึงถึงความสะดวกในการใช้เครื่องจักรกลเกษตรด้วย ในขณะที่เกษตรกรกำลังนิยมใช้เครื่องจักรกลเกษตรกันมากขึ้น การออกแบบจึงควรคำนึงถึงความต้องการข้อนี้ด้วย

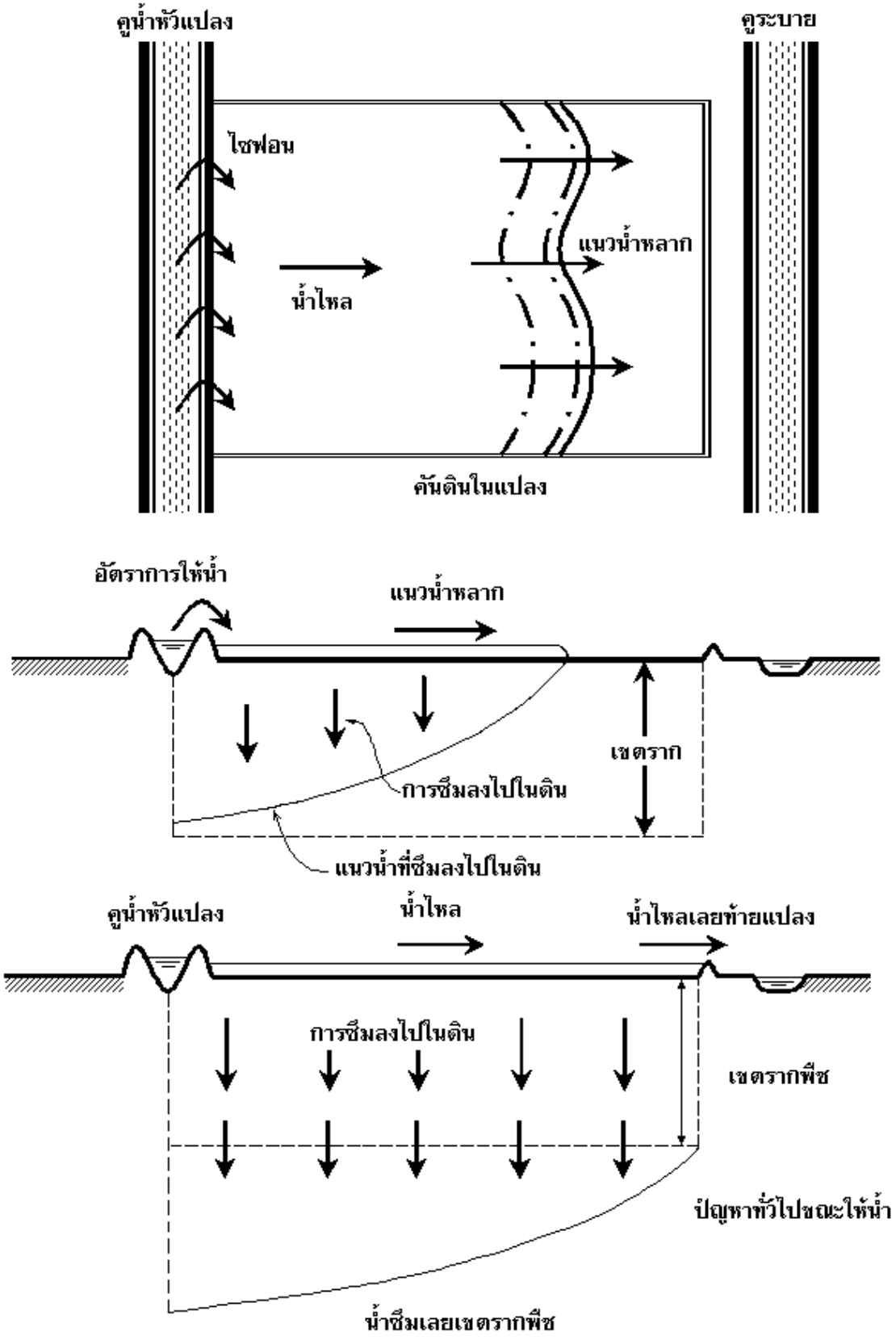
**2.4 ชลศาสตร์ของการไหลของน้ำบนผิวดิน**

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ในการให้น้ำทางผิวดินเราให้น้ำแก่พืชโดยการปล่อยให้น้ำไหลไปบนผิวดินแล้วให้มันซึมลงไปเก็บไว้ให้พืชใช้ โดยหลักการแล้วเราอาจถือว่าผิวดินนั้นทำหน้าที่เป็นทางน้ำ แต่ทางน้ำดังกล่าวนี้แตกต่างจากทางน้ำอื่นที่เข้าใจกันโดยทั่ว ๆ ไปตรงที่ว่าโดยปกติแล้วมันจะแห้งและพื้นท้องน้ำมีการรั่วซึมได้มาก เมื่อเริ่มต้นให้น้ำโดยเปิดให้น้ำไหลเข้าทางหัวแปลง น้ำจะเคลื่อนตัวเป็นแผ่นบาง ๆ ไปตามความลาดเทของพื้นที่ บางส่วนจะซึมเข้าไปในดิน ที่เหลือก็จะเคลื่อนตัวไปข้างหน้า ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ถ้าหากอัตราการให้น้ำสูงกว่าผลรวมของอัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินน้ำก็จะเคลื่อนตัวไปข้างหน้าต่อไปเรื่อย ๆ ช่วงระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้น้ำจนกระทั่งน้ำเคลื่อนตัวไปถึงท้ายแปลงเรียกว่า ช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) กราฟซึ่งพล๊อตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำ (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 ช่วงระยะเวลานับจากน้ำที่หัวแปลงแห้งถัดต่อ ๆ มาจนแห้งถึงท้ายแปลงเรียกว่า ช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) กราฟซึ่งเขียนแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลานับจากเริ่มต้นให้น้ำ กับระยะทาง จากหัวแปลงถึงจุดต่าง ๆ ที่น้ำเริ่มแห้งเรียกว่า กราฟน้ำแห้ง (Recession Curve)




**รูปที่ 2.1 ลักษณะของการชลประทานแบบบนผิวดิน**

**(วราวุธ และพงศธร. 2536)**

ลักษณะการไหลหลากของน้ำในช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) กราฟน้ำหลาก (Advance Curve) และกราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 และ 2.3

### 2.4.1 ลักษณะการชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง

การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างหรือท่วมเป็นผืนราบจะต้องให้น้ำด้วยอัตราสูง เพื่อให้น้ำสามารถไหลไปถึงท้ายแปลงได้อย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ทั้งนี้เพราะพื้นดินในแปลงแบบท่วมเป็นอ่างราบหรือเกือบราบมีความลาดเทน้อยกว่า 0.01 % ถ้าให้น้ำด้วยอัตราน้อยน้ำจะไหลไม่ถึงท้ายแปลง หรือใช้เวลามากเกินไปจนก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากการไหลเกินเขตรากมากเกินไป

โดยทั่ว ๆ ไป สำหรับการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างควรให้น้ำด้วยอัตราสูงพอที่น้ำจะไหลไปถึงท้ายแปลงภายใน 1/4 ของเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปในดิน

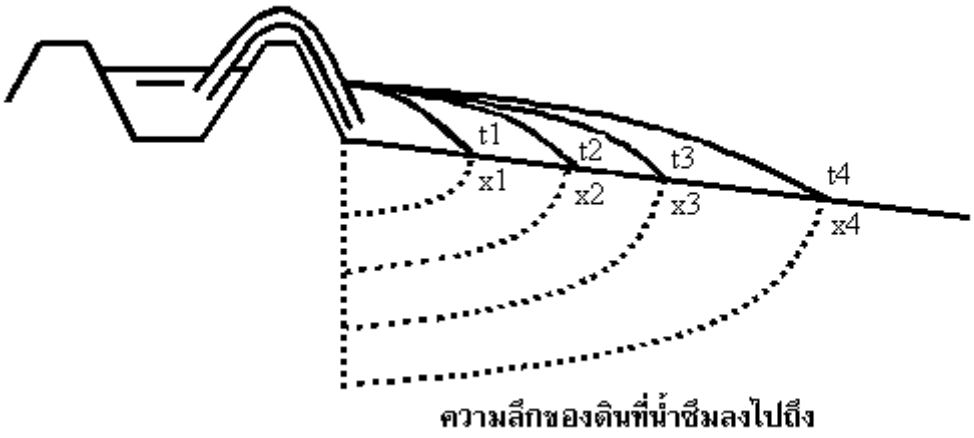
วิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างเป็นวิธีการที่มีผู้นิยมใช้กันมากเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย เหมาะกับพืช ดิน และสภาพพื้นที่เกือบทุกแบบ ถ้าหากออกแบบและมีการจัดการที่เหมาะสม ทั้งนี้เพราะวิธีการให้น้ำแบบนี้ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก ดังรูปที่ 2.4

### 2.4.2 ลักษณะการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนลาด

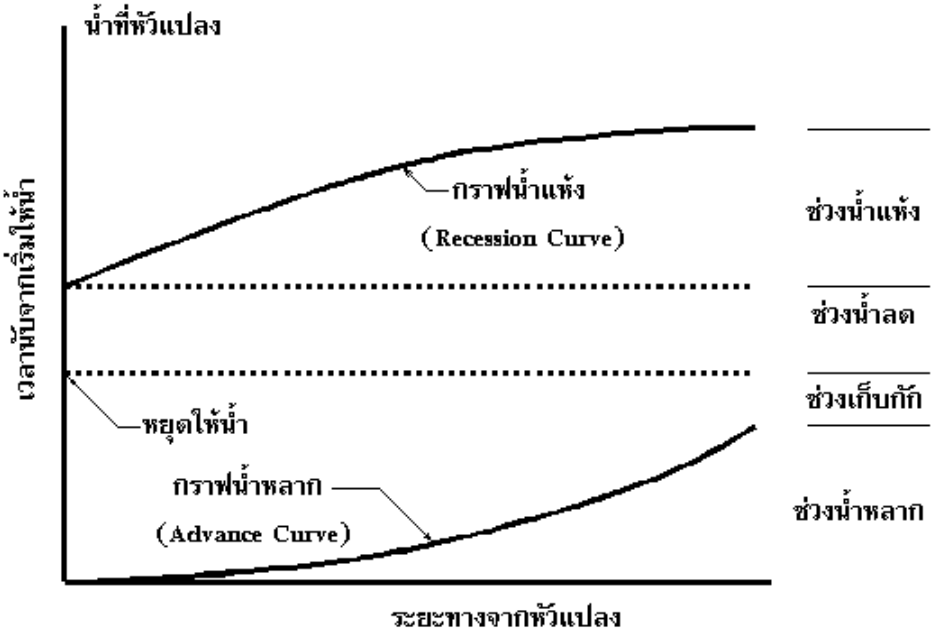
วิธีการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนลาดมีข้อแตกต่างจากแบบท่วมเป็นอ่างที่สำคัญ คือ แปลงมีความลาดเทจากหัวแปลงสู่ท้ายแปลงทำให้ต้องให้น้ำด้วยอัตราน้อย เพื่อให้น้ำไหลสู่ท้ายแปลงอย่างช้า ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

วิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาดมีความยุ่งยากมากกว่าแบบท่วมเป็นอ่างตรงที่ผู้ให้น้ำต้องเลือกอัตราการให้น้ำและหยุดการให้น้ำให้เหมาะสม หยุดการให้น้ำก่อนที่จะไหลไปถึงท้ายแปลง จึงจะทำให้การให้น้ำโดยวิธีนี้เพียงพอกับความต้องการของพืช โดยไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงมากเกินไป

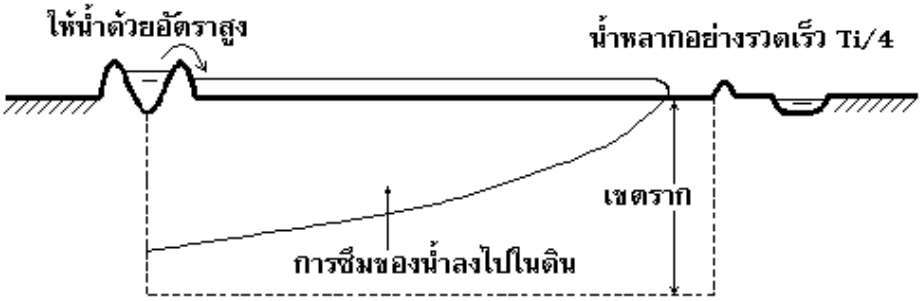
หลังจากหยุดการให้น้ำที่หัวแปลงแล้ว น้ำที่เหลือค้างอยู่บนผิวดินในแปลง จะยังคงไหลต่อไปยังท้ายแปลงตามความลาดเทของพื้นที่ หัวแปลงจะเริ่มแห้งก่อนขณะที่บริเวณท้ายแปลงน้ำจะยังคงไหลต่อไป




**รูปที่ 2.2 ลักษณะของการชลประทานแบบผิวดินในช่วงน้ำหลาก**

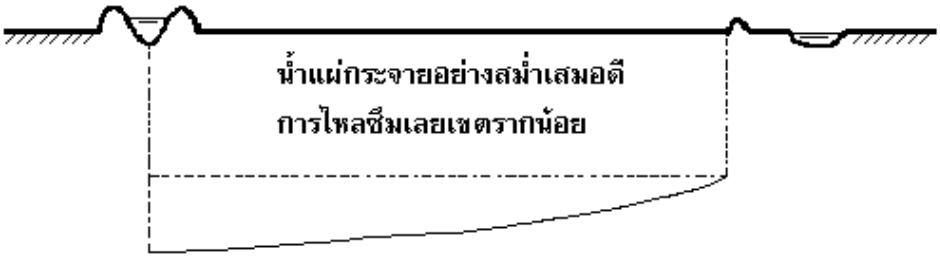



**รูปที่ 2.3 ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ในการชลประทานแบบผิวดิน**




(a) น้ำไหลเร็ว ซึมลงไปในดินน้อย

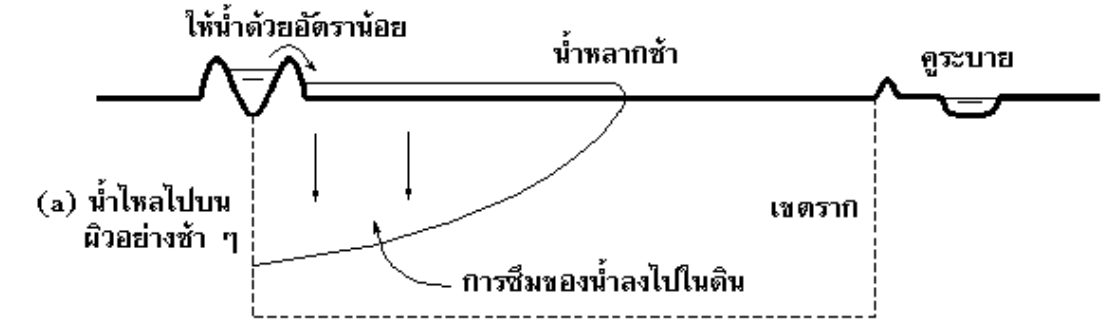
(b) น้ำท่วมขังบนผิวดิน และค่อย ๆ ซึมลงไปในดิน

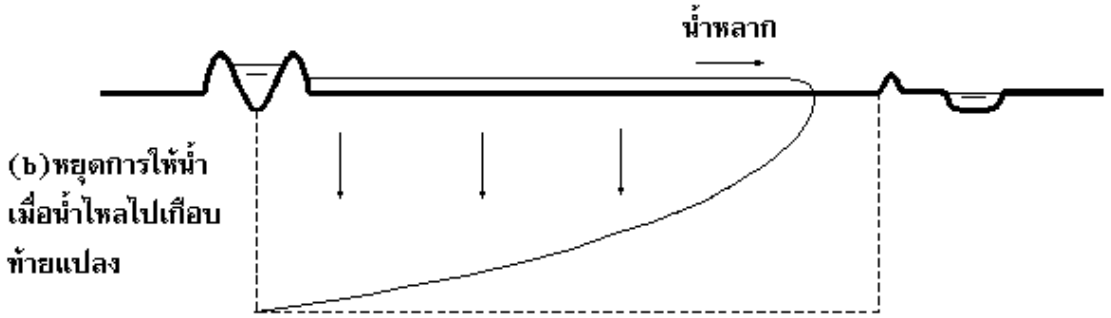


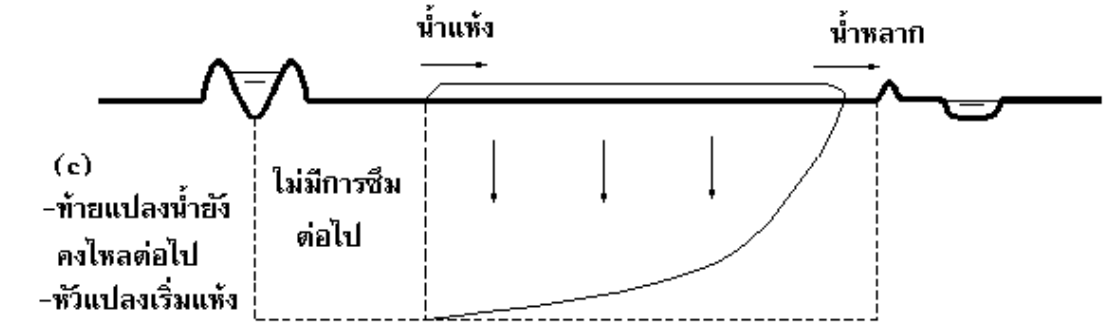

( c ) เมื่อให้น้ำเสร็จเรียบร้อย

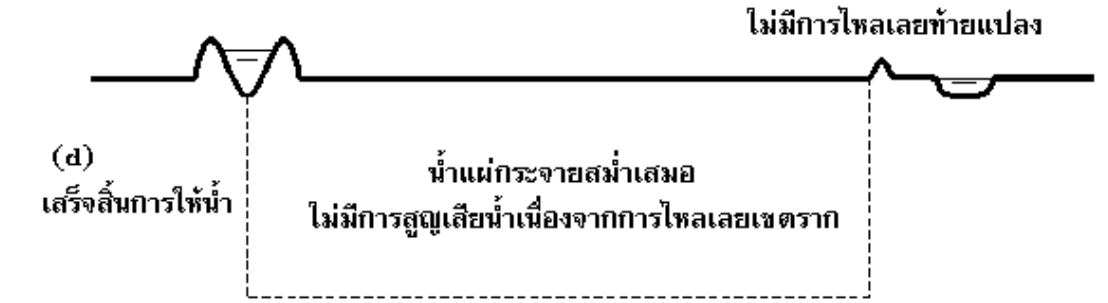
**รูปที่ 2.4 การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง**

**(วราวุธ และพงศธร. 2536)**


ให้น้ำด้วยอัตราน้อย
น้ำหลากช้า
คูระบาย
(a) น้ำไหลไปบน
ผิวอย่างช้า ๆ
เขตราก
การซึมของน้ำลงไปในดิน


น้ำหลาก
(b)หยุดการให้น้ำ
เมื่อน้ำไหลไปเกือบ
ท้ายแปลง


น้ำแห้ง
น้ำหลาก
(c)
-ท้ายแปลงน้ำยัง
คงไหลต่อไป
-หัวแปลงเริ่มแห้ง
ไม่มีการซึม
ต่อไป


ไม่มีการไหลเลยท้ายแปลง
(d)
เสร็จสิ้นการให้น้ำ
น้ำแผ่กระจายสม่ำเสมอ
ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตราก

**รูปที่ 2.5 การชลประทานแบบท่วมเป็นผืนลาด (วราวุธ และพงศธร. 2536)**

เมื่อเสร็จสิ้นการให้น้ำ การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนลาดจะมีการสูญเสียน้ำ 2 ส่วนคือ การไหลเลยท้ายแปลงและการไหลเลยเขตราก

### 2.4.3 ลักษณะการชลประทานแบบร่องคู

ในทางกายภาพแล้ว การชลประทานแบบร่องคูจะแตกต่างจากวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างและท่วมเป็นผืนลาดเป็นอย่างมาก เพราะน้ำจะไหลเฉพาะในร่องคูเล็ก ไม่ได้ท่วมผิวดินแบบ 2 วิธีที่กล่าวถึงมาแล้ว

แต่การให้น้ำแบบร่องคูมีลักษณะที่สำคัญประการหนึ่งที่เหมือนกับการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างคือ ต้องให้น้ำด้วยอัตราสูง สูงพอที่น้ำจะไหลไปถึงท้ายแปลงได้ภายใน 1/4 ของเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปในดิน และโดยปกติจะยังไม่หยุดการให้น้ำถึงแม้ว่าน้ำจะไหลเลยท้ายแปลงดังรูปที่ 2.6 จึงทำให้มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงจำนวนมาก แต่อาจแก้ได้โดยการ Cutback ซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดในบทที่ 3

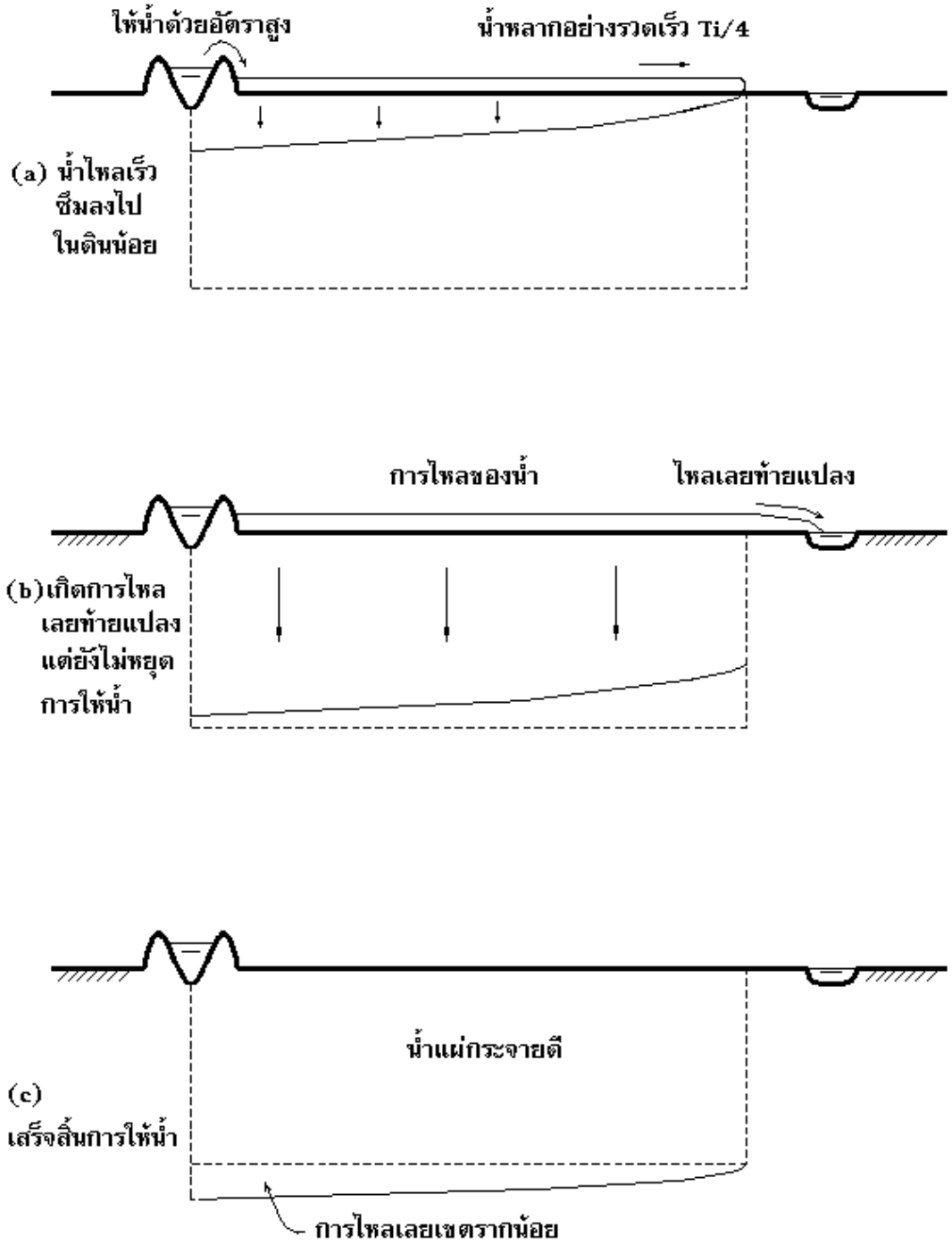
## 2.5 ประสิทธิผลของการชลประทานบนผิวดิน
## (Effectiveness (Quality) of Surface Irrigations)

การที่จะบอกว่าระบบการชลประทานทางผิวดินนั้น ๆ ดีหรือมีความเหมาะสมมากน้อยเพียงใด จะดูได้จากดรรชนีในการชลประทาน 3 ตัว คือ

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

### 2.5.1 ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ

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




**รูปที่ 2.6 การชลประทานแบบร่องคู**

**(วราวุธ และพงศธร. 2536)**

ในทางปฏิบัติไม่สามารถจะให้น้ำทางผิวดินได้สม่ำเสมอ 100 % แต่ถ้าเลือกอัตราการให้น้ำ และกำหนดเวลาการให้น้ำให้เหมาะสมกับสภาพแปลง จะสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอพอสมควร

ความสม่ำเสมอในการให้น้ำจะประเมินได้โดยใช้ Christiansen Uniformity Coefficient (CU) ดังสมการ

$$CU = 100\left(1.00 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |X_i|}{V_T}\right) \qquad \text{----------(2.1)}$$

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 2.1 ได้ใหม่ดังนี้

$$CU = 100\left(1.00 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |d_i|}{nD}\right) \qquad \text{----------(2.2)}$$

เมื่อ $d_i = D_i - \bar{D}$

$\bar{D}$ = ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลง

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

อีกวิธีหนึ่งในการหาความสม่ำเสมอในการให้น้ำคือ ใช้ Distribution Uniformity (DU) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$DU = 100 \frac{\bar{D}_{LQ}}{\bar{D}} \quad \text{----------(2.3)}$$

เมื่อ $\bar{D}_{LQ}$ = ความลึกเฉลี่ยของค่าต่ำสุดของน้ำที่ซึมลงไปในดินจำนวน1/4 ของจุดที่ทำการวัด (Low Quarter Average Depth)

**ตัวอย่างที่ 2.1** 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**

$$\bar{D} = 3.66 \text{ ซม.}$$

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

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

$$= 95.6 \%$$

**2.5.2 ประสิทธิภาพการให้น้ำ**

คำว่า “ประสิทธิภาพ (E)” โดยทั่ว ๆ ไปมีความหมายดังสมการ

$$E = \frac{Output}{Input} \times 100\ \% \qquad \text{----------(2.4)}$$

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

ในระบบชลประทานทางผิวดิน Output จะหมายถึงปริมาณน้ำให้เก็บกักอยู่ในเขตรากในแปลงซึ่งพืชสามารถดูดเอาไปใช้ประโยชน์ได้ ส่วน Input จะหมายถึงปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้กับแปลง

โดยนัยดังกล่าว จะหาประสิทธิภาพการให้น้ำได้จากสมการ

$$E_a = \frac{V_{RZ}}{V_T} 100 \qquad \text{----------(2.5)}$$

กรณีที่การให้น้ำเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (Complete Irrigation)

$$V_{RZ} = \frac{D_{RZ}(FC-\theta)}{100} \qquad \text{----------(2.6)}$$

$$V_T = \frac{Q.T}{A} \qquad \text{----------(2.7)}$$

เมื่อ $E_a$ = ประสิทธิภาพการให้น้ำ เป็น %

$V_{RZ}$ = ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตราก

$V_T$ = ปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้กับแปลง

$D_{RZ}$ = ความลึกของเขตราก

FC และ $\theta$ = ความชื้นที่ Field Capacity และความชื้นก่อนการให้น้ำ เป็น % โดยปริมาตร ตามลำดับ

Q = อัตราการให้น้ำเฉลี่ย

T = ระยะเวลาการให้น้ำ

ปริมาณน้ำที่เก็บกักในเขตราก ($V_{RZ}$) อาจหาได้อีกวิธีหนึ่งจากสมการ

$$V_{RZ} = V_T - DP - RO \qquad \text{----------(2.8)}$$

เมื่อ DP = ปริมาณน้ำที่ไหลเลยเขตราก

RO = ปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง

ปริมาณน้ำที่ไหลเลยเขตรากและปริมาณน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลง (หรือประสิทธิภาพการให้น้ำ Ea) จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างเวลาที่น้ำหลากไปถึงท้ายแปลง (Ta) กับเวลาที่การให้น้ำซึมลงไปในดินตามปริมาณที่ต้องการ ($T_i$ หรือ $T_0$) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 อัตราส่วนดังกล่าว $Tadv/T_i$ เรียกว่า Advance Ratio

**ตัวอย่างที่ 2.2** การให้น้ำแก่แปลงข้าวโพดทางร่องคู สามารถให้น้ำได้วันละ 26 ร่องคู ครอบคลุมพื้นที่ 3.75 ไร่ โดยให้น้ำด้วยอัตรา 1 ลิตร/วินาที/ร่องคู ถ้ากำหนดว่าความชื้นในดินที่ขาดหายไป (Soil Moisture Depletion, SMD) ในแปลงข้าวโพดเท่ากับ 8 ซม. จงหาประสิทธิภาพในการให้น้ำ กำหนดว่าใน 1 วันจะให้น้ำ 8 ชั่วโมง

**วิธีทำ**

พิจารณาว่าการให้น้ำชลประทานเป็นไปอย่างสมบูรณ์ และคิดปริมาณน้ำเป็นปริมาตร

$V_{RZ}$ = SMD

= 80 มม.

$V_T$ = QT/A

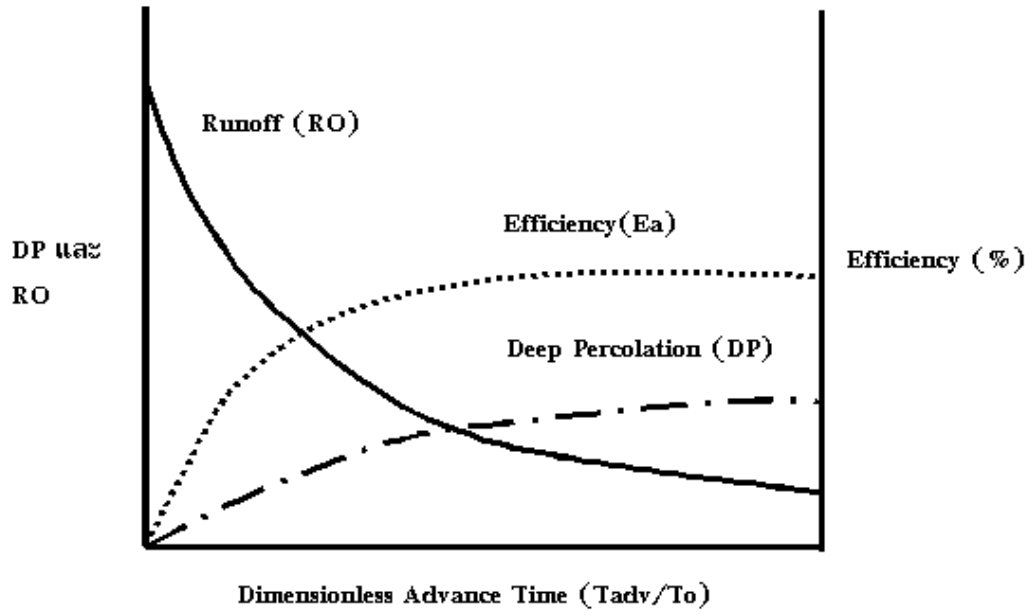
$$= \left(\frac{26 \times 1 \times 8 \times 3{,}600}{3.75 \times 1{,}600}\right) = 124.8 \quad \text{ม}^3.$$

$$Ea = 100 \left(\frac{80}{124.8}\right) = 64.1\%$$

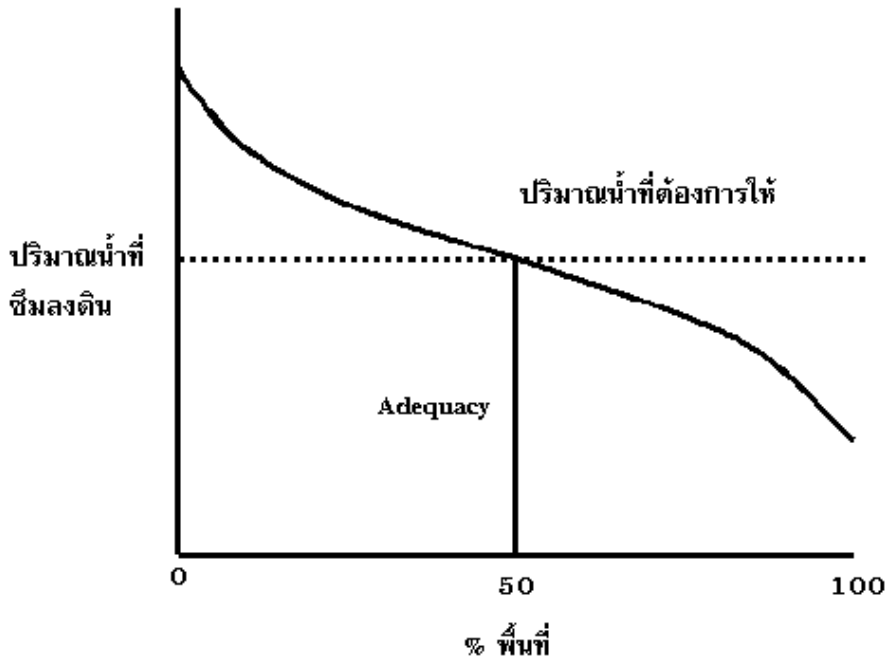
### 2.5.3 ความเพียงพอของการชลประทาน (Adequacy of Irrigation)

กรณีที่การให้น้ำไม่สม่ำเสมอมีบางจุดได้รับน้ำมากเกินไป และบางจุดได้รับน้ำน้อยเกินไป กรณีดังกล่าวจะบอกความเพียงพอของการชลประทานได้จาก % ของพื้นที่ให้น้ำที่ได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ

เปอร์เซ็นต์ดังกล่าวจะหาได้โดยวิธีวิเคราะห์การแจกแจงความถี่สะสม (Cumulative Frequency Distribution) ดังรูปที่ 2.8 จากรูปจะเห็นได้ว่ามี 50 % ของพื้นที่ได้รับน้ำมากกว่าที่ต้องการ แสดงว่าความเพียงพอของการชลประทานเท่ากับ 50 %




**รูปที่ 2.7 ผลของ Advance Ratio ต่อ DP, RO และ Ea**




**รูปที่ 2.8 ลักษณะของการแจกแจงความถี่สะสม ซึ่งใช้วัดความเพียงพอใน**

## การชลประทาน (Larry, G.J., 1988)

**ตัวอย่างที่ 2.3** 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 | 3.6 | 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 มีพื้นที่

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

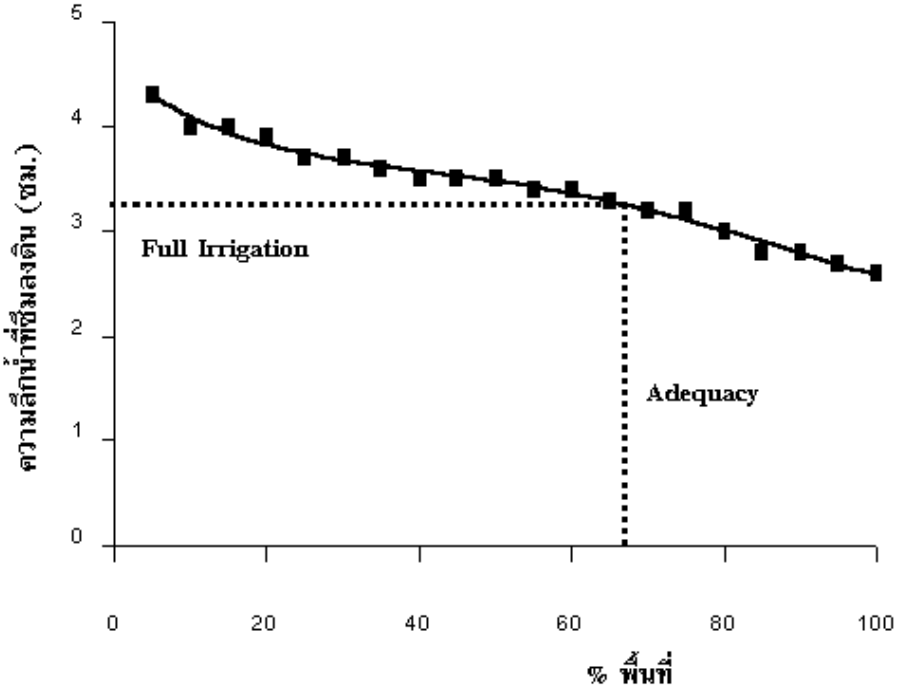
2. หาการแจกแจงความถี่สัมพันธ์สะสมดังตาราง

| ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน (ซม.) | % พื้นที่ | % พื้นที่สะสม |
|---|---|---|
| 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 |

| | | |
|---|---|---|
| 3.2 | 5 | 75 |

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

3. นำความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน และ %พื้นที่สะสมไปพล๊อตกราฟจะได้ดังรูป



จากกราฟจะได้ว่า ความเพียงพอในการชลประทานเท่ากับ 67 %

กรณีที่การให้น้ำไม่สมบูรณ์ (Under Irrigation) ดรรชนีความเพียงพอของการชลประทานอีกตัวหนึ่งที่ใช้กันอยู่คือประสิทธิภาพการเก็บกัก (Storage Efficiency, $E_s$) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$E_s = 100\left(\frac{V_{RZ}}{SMD}\right)\% \qquad \text{----------(2.9)}$$

เมื่อ $V_{RZ}$ = ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากหลังการให้น้ำ

SMD = ปริมาณน้ำในดินที่ขาดหายไป

**ตัวอย่างที่ 2.4** จงหาประสิทธิภาพการเก็บกัก กำหนดว่าความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่จุดต่าง ๆ มีค่าดังตัวอย่างที่ 2.3 กำหนดว่าเขตรากพืชลึก 60 ซม. ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ และความชื้นในดินที่ Field Capacity เท่ากับ 18 และ 25 % โดยปริมาตรตามลำดับ

**วิธีทำ**

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

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

มีเพียงจุดเดียวเท่านั้นที่ได้รับน้ำเกินไปนอกนั้นได้รับน้ำไม่พอ

$$V_{RZ} = \frac{4.2+(4.0+4.0+\text{-----}+2.7+2.6)}{20} \quad 3.4 \quad \text{ซม.}$$

$$E_s = 100\left(\frac{3.4}{4.20}\right) = 81\ \%$$

## 2.6 เอกสารอ้างอิง

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

2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบการชลประทานบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.

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

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

## 2.7 แบบฝึกหัด

1. ในการให้น้ำทางผิวดินแก่แปลงข้าวโพดขนาดกว้าง 20 เมตร ยาว 400 เมตร ด้วยอัตรา 60 ลิตร/วินาที เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ปรากฏว่าเวลาที่น้ำขังที่หมุดต่าง ๆ ในแปลงมีค่าดังตาราง

| หมุด (i) | To (i), นาที | หมุด (i) | To (i), นาที |
|---|---|---|---|
| 0 | 105 | | |
| 1 | 100 | 11 | 65 |
| 2 | 80 | 12 | 101 |
| 3 | 95 | 13 | 67 |
| 4 | 60 | 14 | 51 |
| 5 | 66 | 15 | 53 |
| 6 | 87 | 16 | 62 |
| 7 | 80 | 17 | 76 |
| 8 | 50 | 18 | 48 |
| 9 | 55 | 19 | 45 |
| 10 | 60 | 20 | 46 |

ถ้าดินในแปลงมีคุณสมบัติการซึมของน้ำลงไปในดินดังสมการ

$$D = 1.55\ t^{0.55}$$

เมื่อ D = ความลึกของน้ำที่ซึมลงดินสะสม (ซม.)

t = เวลา (นาที)

และมีข้อมูลอื่น ๆ ดังนี้

เขตรากข้าวโพดลึก = 90 ซม.

ความชื้นที่ Field Capacity = 30 % โดยปริมาตร

ความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ = 17 % โดยปริมาตร

**จงหา** 1. CU 2. DU 3. DP 4. RO 5. Ea

6. Adequacy of Irrigation 7. Es

# บทปฏิบัติการที่ 2
# การให้น้ำทางผิวดิน

2.1 ให้นักเรียนดูวีดีโอเทปชุดหลักการชลประทานที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการให้น้ำแบบต่าง ๆ เพื่อศึกษาถึงข้อดี-ข้อเสีย ของวิธีการให้น้ำแต่ละแบบ การพิจารณาเลือกวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม ตลอดจนการประเมินประสิทธิผลวิธีการให้น้ำแบบต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับ การออกแบบการชลประทานบนผิวดิน แล้วตอบคำถามต่อไปนี้

(1) ชุดที่ 22 : การเลือกและออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก ความยาว 7 นาที
- จงบอกถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกวิธีการชลประทาน

(2) ชุดที่ 23 : การชลประทานแบบร่องคูและร่องลูกฟูก ความยาว 9 นาที
- จงบอกสิ่งที่เหมือนกันและแตกต่างกันระหว่างการชลประทานแบบร่องคูและแบบลูกฟูก
- เกณฑ์การเลือกอัตราการให้น้ำที่เหมาะกับร่องคู
- เทคนิคการลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก

(3) ชุดที่ 24 : การชลประทานแบบขังเป็นอ่างและท่วมเป็นผืน ความยาว 11 นาที
- สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบการชลประทานแบบขังเป็นอ่าง
- ข้อแตกต่างระหว่างการให้น้ำแบบขังเป็นอ่างและแบบร่องคู
- สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบการชลประทานแบบท่วมเป็นผืน

(4) ชุดที่ 27 : วิธีการชลประทานแบบอื่น ๆ ความยาว 11 นาที
- อธิบายวิธีการชลประทานแบบอื่น ๆ พอเป็นสังเขป

(5) ชุดที่ 28 : การชลประทานแบบระลอกคลื่น ความยาว 8 นาที
- อธิบายวิธีการชลประทานแบบระลอกคลื่น
- ข้อดี-ข้อเสีย

(6) ชุดที่ 29 : แนวความคิดพื้นฐานสำหรับการประเมินระบบชลประทาน ความยาว 11 นาที
- ดรรชนีที่ใช้ในการประเมินว่าระบบชลประทานทำงานได้ดีเพียงใด

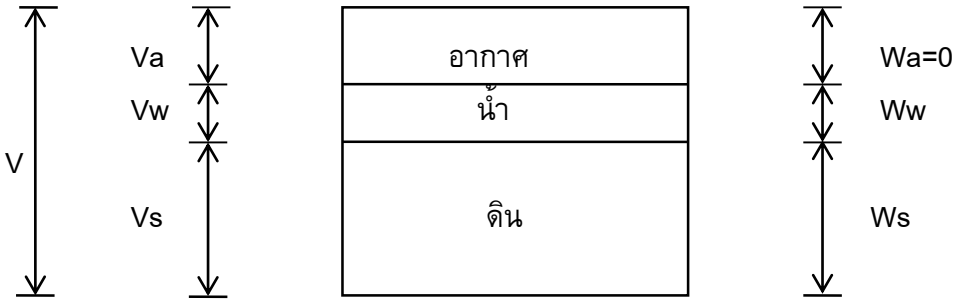
(7) ชุดที่ 30 : ชนิด จุดมุ่งหมาย และคำศัพท์ต่าง ๆ ในการประเมินผลระบบชลประทาน ความยาว 8 นาที
- วิธีการประเมินผลระบบชลประทานทำได้กี่วิธี
- การประเมินผลมีประโยชน์อย่างไร

(8) ชุดที่ 33 : การประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู ความยาว 10 นาที
- กล่าวถึงวิธีการประเมินผลการให้น้ำทางร่องคูโดยละเอียด

(9) ชุดที่ 34 : การประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนและแบบขังเป็นอ่าง ความยาว 12 นาที
- กล่าวถึงวิธีการประเมินผลอย่างละเอียด

2.2 จงหาความชื้นในดินและความสามารถอุ้มน้ำของดินที่ Field Capacity และ Permanent Wilting Point

(1) วิธีการหาค่าความชื้นในดิน ($\theta$)




ตัวอย่างดิน

$$P_w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad \text{----------(1)}$$

$$A_s = \frac{W_s}{V\gamma_w} \quad \text{----------(2)}$$

$$\theta = P_w \cdot A_s \quad \text{----------(3)}$$

$\gamma_w$ = ความหนาแน่นของน้ำ = gm/cc.

$W_s$ = นน. ดินแห้ง, gm.

V = ปริมาตรดิน, cc.

$W_s$ = นน. น้ำในดิน, gm.

$\theta$ = ความชื้นในดิน เป็น % โดยปริมาตร

**อุปกรณ์ที่ใช้**

1. Soil Core Sampler 2. เตาอบ

**วิธีการ**

1. เก็บตัวอย่างดินแบบ Undisturbed ตรงจุดที่เป็นตัวแทนของชั้นดินก่อนการให้น้ำด้วย Soil Core Sampler
2. ชั่งหาน้ำหนักดินเปียก ($W_s + W_w$)
3. วัดปริมาตรดิน (V)
4. เข้าเตาอบที่ 100 $^{\circ}$ C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. ชั่งหาน้ำหนักดินแห้ง ($W_s$)
6. คำนวณหา $P_w$ , $A_s$ และ $\theta$

(2) การหาค่า Field Capacity และ Permanent Wilting Point

หาความชื้นที่ Field Capacity และ Permanent Wilting Point โดยใช้ Soil Moisture Extractor

โดยกำหนดว่า

Field Capacity คือระดับความชื้นที่แรงดึงความชื้น 0.1 - 0.3 บรรยากาศ

Permanent Wilting Point คือ ระดับความชื้นที่แรงดึงความชื้น 15 บรรยากาศ

# บทที่ 3
# การออกแบบระบบการชลประทานแบบร่องคู
# (Furrow Irrigation System Design)

## 3.1 คำนำ

การชลประทานแบบร่องคูให้น้ำโดยการปล่อยให้น้ำไหลไปในคูขนาดเล็กและให้น้ำค่อย ๆ ซึมเข้าไปในดินทางด้านข้าง ๆ และท้องร่องคู การให้น้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกเป็นแถวและพืชที่ไม่ชอบน้ำท่วมโคน เช่น พืชไร่ และผักต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.1 วิธีการชลประทานแบบนี้สามารถประยุกต์ใช้กับพืช ดิน และวิธีการเพาะปลูกแบบต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง อย่างไรก็ตามการชลประทานแบบนี้จะให้น้ำแก่พืชได้อย่างเพียงพอ สม่ำเสมอทั่งทั้งแปลงและจะมีประสิทธิภาพดี ก็ต่อเมื่อมีการเลือกรูปร่างร่องคู ระยะห่างระหว่างร่อง ความยาวร่อง ความลาดเทและมีการจัดการที่เหมาะสม

## 3.2 รูปร่างและขนาดของร่องคู

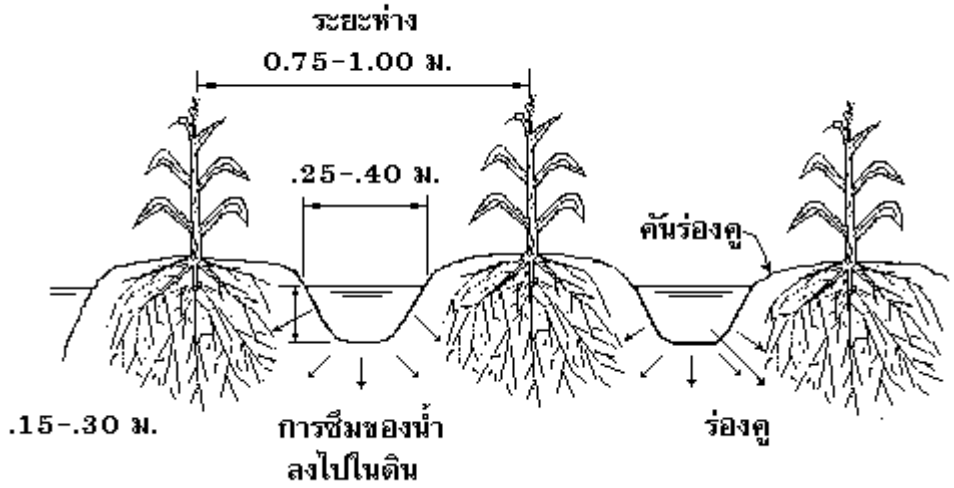
รูปร่างและขนาดร่องคูนับว่ามีความสำคัญต่อความเพียงพอและประสิทธิภาพในการให้น้ำเป็นอย่างมาก ปกติโดยทั่ว ๆ ไป ร่องคูมักมีรูปร่างเป็นรูปตัว V โดยมีความกว้างของร่องคูระหว่าง 250-400 มม. และลึก 150-300 มม. ดังรูปที่ 3.2 อย่างไรก็ตามขนาดร่องคูที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำ ชนิดดิน และพืช

### 3.2.1 อัตราการให้น้ำ (Stream Size)

ร่องคูจะต้องมีขนาดใหญ่พอให้น้ำไหลได้โดยไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะ ขนาดร่องคูจึงขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำที่เลือก ปกติอัตราการให้น้ำแก่ร่องคูแต่ละร่องจะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 3 ลิตร/วินาที

อัตราการให้น้ำในร่องคูเป็นองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการให้น้ำ การที่จะให้พืชแต่ละจุดตลอดความยาวของร่องได้รับน้ำสม่ำเสมอกันนั้น น้ำที่ให้จะต้องไหลไปถึงจุดเหล่านั้นในเวลาที่สั้นที่สุด เพื่อให้ระยะเวลาที่น้ำขังอยู่ที่จุดต่าง ๆ นั้นแตกต่างกันน้อยที่สุด ดังนั้นการให้น้ำแก่ร่องคูจึงต้องให้ด้วยอัตราที่มากที่สุดเท่าที่ร่องคูนั้นจะสามารถรับได้ แต่ในขณะเดียวกันก็ต้องไม่เกิดผลเสียอย่างอื่น เช่น เกิดการกัดเซาะในร่องด้วย จากการทดลองพบว่าพืชจะได้

**รูปที่ 3.1 ลักษณะการชลประทานแบบร่องคู**




**รูปที่ 3.2 รูปตัดขวางของร่องคู**

รับน้ำสม่ำเสมอกันดีถ้าน้ำที่ไหลนั้นไหลไปสุดร่องโดยใช้เวลาเพียง 1/4 ของเวลาที่จะต้องให้น้ำ เช่น สมมติว่าถ้าต้องการให้น้ำแก่พืช 80 มม. ต้องใช้เวลาให้น้ำ 4 ชั่วโมง ดังนั้นน้ำควรจะไหลไปถึงปลายร่องโดยใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เป็นต้น

การกัดเซาะในร่องคูเป็นอุปสรรคอย่างหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถให้น้ำด้วยอัตราที่ต้องการ การกัดเซาะนี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของน้ำไหลในร่องหรืออัตราการให้น้ำและความลาดเทของพื้นที่ จากการทดลองพบว่าอัตราการให้น้ำที่มากที่สุดที่จะไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะร่องคู จะประมาณได้จากสมการที่ 3.1

$$Q = \frac{C}{S} \qquad \text{----------(3.1)}$$

โดย Q = อัตราการให้น้ำสูงสุดที่จะไม่เกิดการกัดเซาะ

S = ความลาดเทของร่องเป็นเปอร์เซ็นต์

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

**3.2.2 ชนิดดิน**

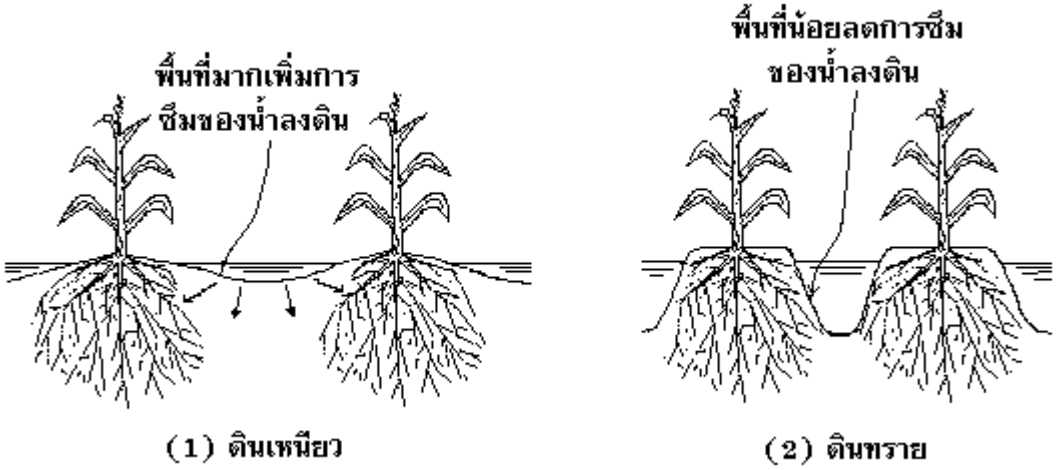
ในดินเหนียวซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินต่ำ ร่องคูจึงควรมีรูปร่างกว้างและตื้นเพื่อให้ร่องคูสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วขึ้น ตรงกันข้ามในดินทรายซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินสูง ควรลดอัตราการดูดซึมน้ำของร่องคูเพื่อให้น้ำไหลในร่องคูดังกล่าวได้เร็วขึ้น โดยการทำร่องคูให้แคบและลึกเพื่อลดเส้นขอบเปียกดังแสดงในรูปที่ 3.3

**3.2.3 ชนิดพืช**

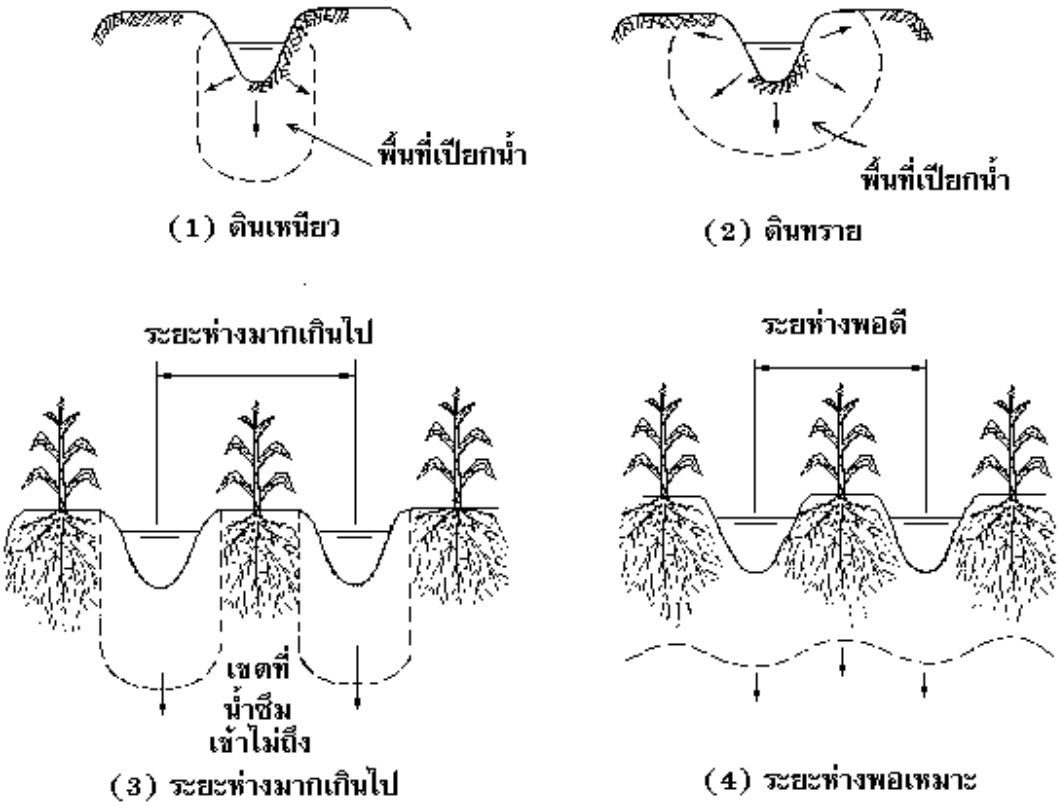
ช่วงที่พืชยังเล็กหรือช่วงที่เมล็ดพืชกำลังงอกต้องการให้ดินบนสันร่องเปียกอย่างทั่วถึง ซึ่งสามารถทำได้โดยการทำร่องคูตื้น ๆ ครั้นเมื่อพืชเจริญเติบโต เขตรากขยายตัวควรขุดร่องคูให้ลึกลงไปเพื่อเพิ่มอัตราการดูดซึมน้ำของร่องคู และอัตราการให้น้ำแก่ร่องคูไปในตัว

**3.3 ระยะห่างระหว่างร่องคู (Furrow Spacing)**

ระยะห่างระหว่างร่องคูขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน ชนิดพืช และวิธีการเพาะปลูก ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้




**รูปที่ 3.3 รูปร่างร่องคูสำหรับดินชนิดต่าง ๆ**




**รูปที่ 3.4 การซึมของน้ำเข้าไปในดินในร่องคูและระยะห่างระหว่างร่องคู**

### 3.3.1 การเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดิน

ขณะที่น้ำไหลไปในร่องคู น้ำจะซึมลงไปในแนวดิ่งและแนวราบ และจะเคลื่อนตัวขึ้นสู่สันร่องคูโดย Capillary Action ดังนั้นร่องคูควรมีระยะห่างที่เหมาะสมเพื่อให้ดินในเขตรากได้รับน้ำอย่างทั่วถึงดังแสดงในรูปที่ 3.4

ในดินทรายน้ำเคลื่อนตัวทางด้านข้างไม่ดี ระยะห่างระหว่างร่องคูจึงควรจะน้อย (0.5 เมตร) แต่ในดินเหนียวซึ่งน้ำเคลื่อนตัวทางด้านข้างได้ดี ร่องคูควรมีระยะห่าง (1.2 เมตร หรือมากกว่า) ถ้าร่องคูมีระยะห่างมากเกินไปจะทำให้น้ำซึมเข้าไปไม่ถึงเขตรากทำให้ได้รับน้ำไม่เพียงพอ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 (4)

### 3.3.2 ชนิดพืช

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

### 3.3.3 วิธีการเพาะปลูก

กรณีที่มีการใช้เครื่องจักรเครื่องมือช่วยในการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวบางครั้งอาจใช้ร่องคูที่มีระยะห่างเท่ากันสำหรับพืชและดินชนิดต่าง ๆ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสะดวกในการทำงานของเครื่องจักรเครื่องมือที่มีอยู่ แต่อย่างไรก็ตามต้องแน่ใจว่าร่องคูต้องไม่ห่างเกินไปจนทำให้พืชได้รับน้ำไม่พอ

## 3.4 ความยาวของร่องคู (Furrow Length)

ความยาวของร่องคูขึ้นอยู่กับชนิดของดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้ ความลาดเทของพื้นที่ ขนาดและรูปร่างแปลง และวิธีการเพาะปลูก

### 3.4.1 ชนิดดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทานและความลาดเท

องค์ประกอบทั้ง 4 ตัวดังกล่าวมีผลต่อความยาวร่องคูดังรูปที่ 3.5 ชนิดดินมีผลต่อความยาวร่องคูดัง รูปที่ 3.5 (1) ดินทรายมีอัตราการซึมน้ำลงไปในดินสูง ร่องคูจึงต้องสั้น (100 เมตร หรือน้อยกว่า) เพื่อให้น้ำไหลไปถึงท้ายร่องคูได้อย่างรวดเร็ว (ประมาณ 1/2-1/4 ของเวลาที่ต้องการให้น้ำซึมลงไปในดิน) เพื่อลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตราก ในทางตรงกันข้าม ดินเหนี่ยวควรใช้ร่องคูยาว (800 เมตร หรือมากกว่า) เพื่อลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก ทั้งนี้เพราะไม่สามารถทำคันกั้นน้ำที่ท้ายร่องคูเพื่อเก็บกักน้ำไว้ในร่องได้

รูปที่ 3.5 (2) ในดินชนิดเดียวกัน ถ้าเพิ่มอัตราการให้นำ (Stream Size) จะสามารถเพิ่มความยาวร่องคูได้ แต่อย่างไรก็ตามอัตราการให้น้ำสูงสุดจะถูกจำกัดโดยความลาดเทดังสมการ 3.1

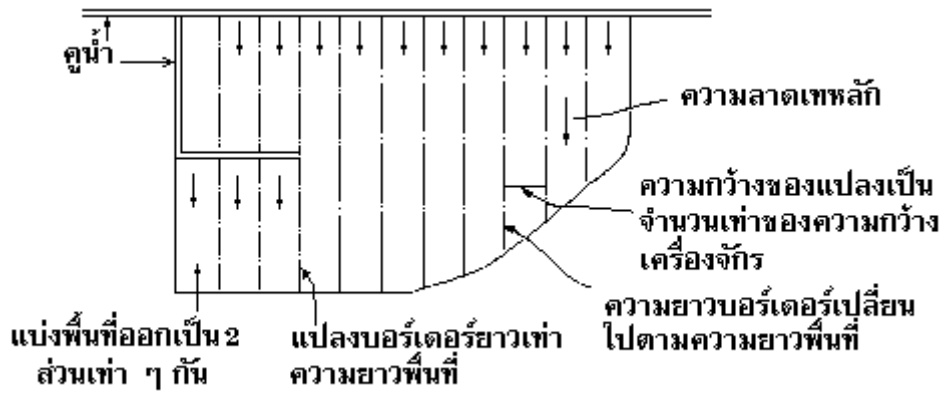
รูปที่ 3.5 (3) แสดงให้เห็นว่าในดินชนิดเดียวกัน อัตราการให้น้ำเท่ากัน ถ้าเพิ่มความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง จะสามารถเพิ่มความยาวร่องคูได้

รูปที่ 3.5 (4) เมื่อความลาดเทมากขึ้นน้ำในร่องคูจะไหลเร็วขึ้น ทำให้ต้องการร่องคูที่ยาวมากขึ้น แต่เมื่อความลาดเทของพื้นที่มากกว่า 0.3 % จะต้องลดอัตราการให้น้ำลงเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดเซาะร่องคู ซึ่งจะมีผลทำให้ต้องการร่องคูที่สั้นลง

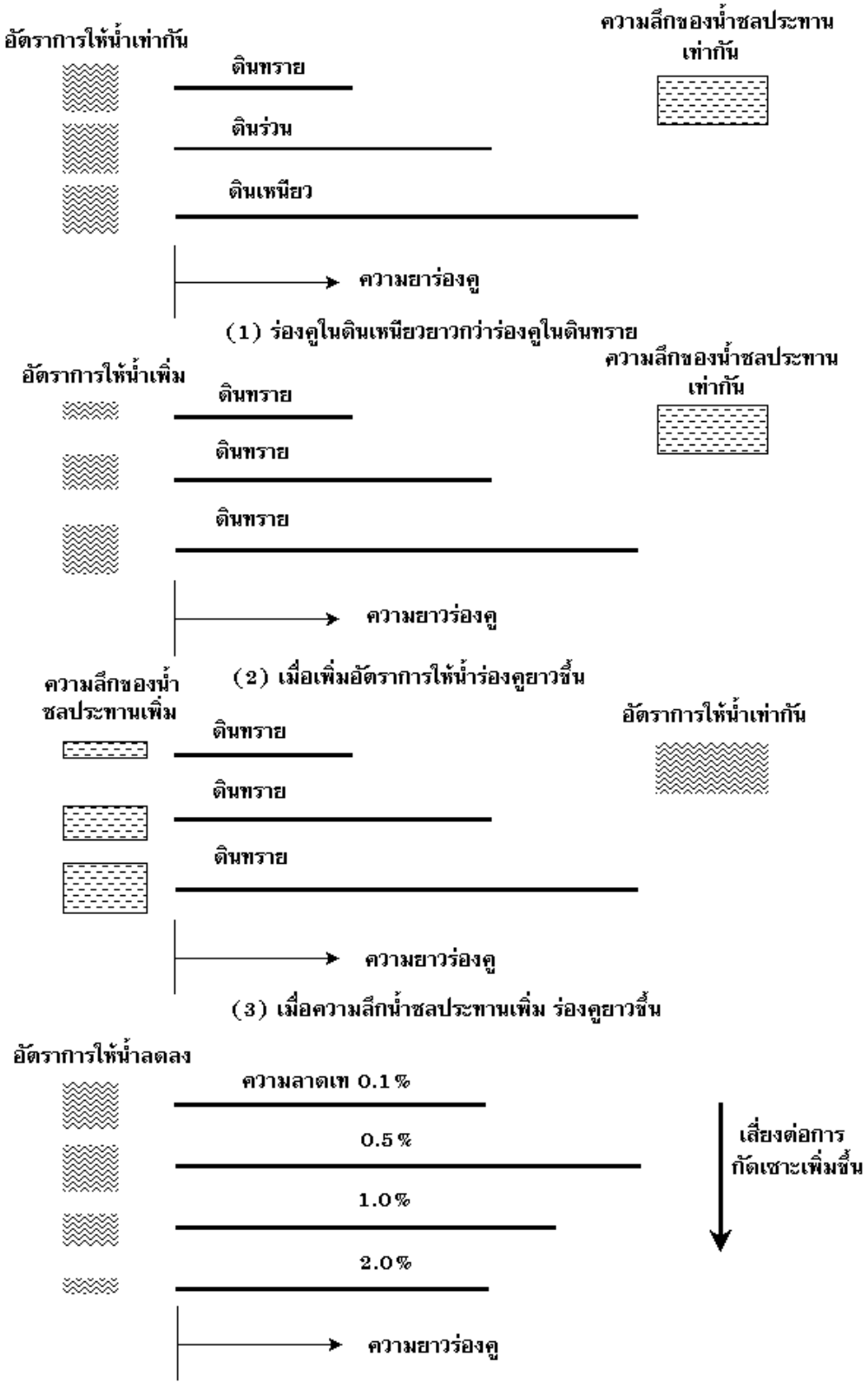
ในปัจจุบันยังไม่ทราบความสัมพันธ์ที่แน่ชัดระหว่างความยาวร่องคูกับองค์ประกอบทั้ง 4 ตัวที่กล่าวถึงจึงยังไม่สามารถคำนวณหาความยาวร่องคูโดยตรงได้ แต่ได้มีผู้จัดทำตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวร่องคูกับชนิดดิน ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้งและความลาดเทของพื้นที่ไว้ดังแสดงในตารางที่ 3.1

### 3.4.2 ขนาดและรูปร่างแปลง

ในทางปฏิบัติความยาวของร่องคูจะถูกจำกัดโดยขนาดและรูปร่างของแปลงเพาะปลูก ในพื้นที่ขนาดเล็กปกติจะออกแบบให้ความยาวร่องคูเท่ากับความยาวแปลง แต่ในพื้นที่ขนาดใหญ่ อาจแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ส่วนหรือมากกว่าตามความเหมาะสม โดยพื้นที่แต่ละส่วนควรมีความยาวเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6




**รูปที่ 3.6 ผลของขนาดและรูปร่างแปลงต่อความยาวร่องคู**




**รูปที่ 3.5 องค์ประกอบที่มีผลต่อความยาวร่องคู**

**(วราวุธ และพงศธร. 2536)**

**ตารางที่ 3.1 ความยาวร่องคูที่แนะนำ เป็นเมตร**

| ความลาดเท ของร่องคู % | อัตราการให้น้ำ สูงสุด ลิตร/วินาที | ดินเหนี่ยว (Clays) | | | | ดิน (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 | 6 | 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 |

### 3.4.3 วิธีการเพาะปลูก (Farming Practices)

เมื่อพิจารณาถึงการจัดการการเพาะปลูก และการให้น้ำแล้ว ร่องคูควรยาวที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ควรออกแบบให้มีคูส่งน้ำและคูระบายให้น้อยที่สุด เพื่อลดการสูญเสียพื้นที่ และเพื่อให้เครื่องจักรกลทำงานได้สะดวก

การใช้เครื่องจักร เช่น รถแทรกเตอร์ในแปลง จะมีผลต่อความยาวร่องคูด้วยเหมือนกัน เนื่องจากล้อรถแทรกเตอร์จะอัดดินทำให้อัตราการซึมของน้ำลงไปในดินลดลง ซึ่งจะเป็นผลดีสำหรับดินทราย เพราะจะทำให้สามารถขยายความยาวร่องคูได้มากขึ้น แต่ต้องระวังว่าการบดอัดดิน
ในร่องคูจะต้องทำอย่างสม่ำเสมอ มิฉะนั้นจะทำให้อัตราการหลากของน้ำแตกต่างกันไปในแต่ละส่วนของร่องคู

## 3.5 ความลาดเทของร่องคู

ร่องคูควรมีความลาดเทสม่ำเสมอ โดยมีความลาดเทอย่างน้อย 0.05 % เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำจะไหลในร่องคูได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และสามารถระบายน้ำส่วนเกินได้ทันความต้องการ

ความลาดเทสูงสุดของร่องคูจะกำหนดจากความเสี่ยงต่อการกัดเซาะร่องคูซึ่งปกติแล้วน้ำจะกัดเซาะร่องคูได้ง่ายกว่าวิธีการให้น้ำทางผิวดินแบบอื่น ๆ

ในเขตที่ไม่ค่อยมีฝน ปกติร่องคูจะมีความลาดเทได้มากที่สุด 2 % ส่วนในเขตที่ฝนตกชุก ความลาดเทร่องคูสูงสุดจะเท่ากับ 0.3 %

ความลาดเทสูงสุดของร่องคูจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำตามที่กล่าวถึงในสมการที่ 3.1 จากสมการดังกล่าวจะเห็นได้ว่า ร่องคูที่มีความลาดเท 0.05 และ 0.1 % จะสามารถให้น้ำได้มากกว่า 3 ลิตร/วินาที โดยไม่ก่อให้เกิดการกัดเซาะร่องคู แต่ในทางปฏิบัติ พบว่าถ้าให้น้ำด้วยอัตรามากกว่า 3 ลิตร/วินาที แก่ร่องคูทั่ว ๆ ไป จะเกิดการไหลล้นร่องคู

โดยทั่ว ๆ ไปร่องคูควรมีแนวตรงและขนานกับขอบของพื้นที่ โดยมีความลาดเทของร่องคูเท่ากับความลาดเทของพื้นที่ แต่ถ้าพื้นที่มีความลาดเทมากเกินไป อาจออกแบบร่องคูให้มีแนวขวางความลาดเท หรือวิ่งไปตามแนวเส้นขอบเนิน เพื่อลดความลาดเทของร่องคูดังรูปที่ 3.7 กรณีดังกล่าวพื้นที่ควรมีความลาดเทไม่เกิน 3 % เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการกัดเซาะอย่างรุนแรงเวลาเกิดน้ำไหลล้นร่องคูที่อยู่บริเวณที่สูงของพื้นที่

การให้น้ำกับร่องคูบนพื้นที่ลาดชันมาก ๆ หรือตามแนวเส้นขอบเนิน ดังรูปที่ 3.7 (3) และ (4) จะต้องให้ด้วยความระมัดระวัง และปกติไม่ควรใช้ร่องคูดังกล่าวบนพื้นดินที่เป็นทราย หรือดินเหนียวซึ่งมีรอยแตกหลังการให้น้ำ

**3.6 พืชที่ควรให้น้ำโดยร่องคู**

วิธีการให้น้ำแบบร่องคูเหมาะสำหรับพืชที่ปลูกเป็นแถวเป็นแนว เช่น ผัก ข้าวโพด อ้อย ฝ้าย และไม้ยืนต้นทั่วไป ๆ ฯลฯ โดยการปลูกพืชดังกล่าวบนสันร่อง

ในการให้น้ำกับไม้ยืนต้นด้วยร่องคู ขณะที่พืชยังเล็กอยู่อาจใช้ร่องคูเพียงร่องเดียว ระหว่างแถวพืช แต่เมื่อพืชโตขึ้นอาจจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนร่องคูระหว่างแถวต้นพืชเพื่อให้ต้นพืชได้รับน้ำอย่างเพียงพอ ดังรูปที่ 3.8 หรืออาจใช้ร่องคูพิเศษ เช่นแบบซิกแซก เพื่อเพิ่มการดูดซึมน้ำของร่องคู ข้อดีของวิธีการให้น้ำแบบร่องคู คือ ผิวดินเปียกเพียงบางส่วน ทำให้เกษตรกรสามารถเข้าไปดูแลพืชในแปลงได้สะดวกขึ้น

นอกจากนี้กรณีที่มีปัญหาเรื่องเกลือ ยังสามารถเลี่ยงปลูกพืชบริเวณด้านข้างของสันร่องดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจะช่วยบรรเทาหรือลดปัญหาเรื่องดินเค็ม เนื่องจากเกลือจะสะสมตัว บริเวณสันร่อง

ในบริเวณเขตแห้งแล้งไม่ค่อยมีน้ำ อาจปลูกพืชในร่องเพื่อให้พืชได้รับน้ำมากขึ้น และหลีกเลี่ยงปัญหาเรื่องเกลือ

**3.7 วิธีการให้น้ำแก่ร่องคู (Irrigating Furrows)**

ในการให้น้ำแก่ร่องคูปกติจะให้น้ำโดยใช้ไซฟอน หรือสไปล์ (Spiles) สามารถให้น้ำทีละหลาย ๆ ร่องพร้อมกัน จำนวนร่องคูที่สามารถให้พร้อมกันได้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำในคูน้ำหัวแปลง

เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอในการให้น้ำดี จะต้องให้น้ำกับร่องคูแต่ละร่องด้วยอัตราสูงพอที่น้ำจะไหลไปถึงท้ายร่องคูได้ภายในเวลาอันพอเหมาะ ซึ่งวิธีการให้น้ำแก่ร่องคูดังกล่าวจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ 2 ส่วน คือ การไหลเลยเขตราก และการไหลเลยท้ายแปลง ตามที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2

ประสิทธิภาพของการให้น้ำแบบร่องคูจะขึ้นอยู่กับการลดการไหลเลยท้ายแปลงเป็นสำคัญ โดยทั่ว ๆ ไปพบว่าจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงถึง 30 % ในการให้น้ำแบบร่องคู ถึงแม้จะมีการจัดการที่ดีก็จำเป็นต้องมีคูระบายน้ำที่ท้ายแปลงเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาน้ำท่วมขังบริเวณท้ายร่อง

แนวทางในการลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลงทำได้ดังนี้

1. ทำคันดินปิดท้ายร่องคู วิธีนี้จะทำให้น้ำท่วมบริเวณท้ายร่อง เพิ่มปริมาณน้ำที่ซึมลงไปในดิน แต่ต้องระบายน้ำที่เหลือทิ้งภายใน 24 ชั่วโมงก่อนที่น้ำท่วมจะทำให้เกิดความเสียหายแก่ต้นพืช

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

3. ใช้วิธีลดอัตราการให้น้ำเมื่อน้ำไหลไปถึงท้ายร่อง (Cut-back) ดังแสดงในรูปที่ 3.10

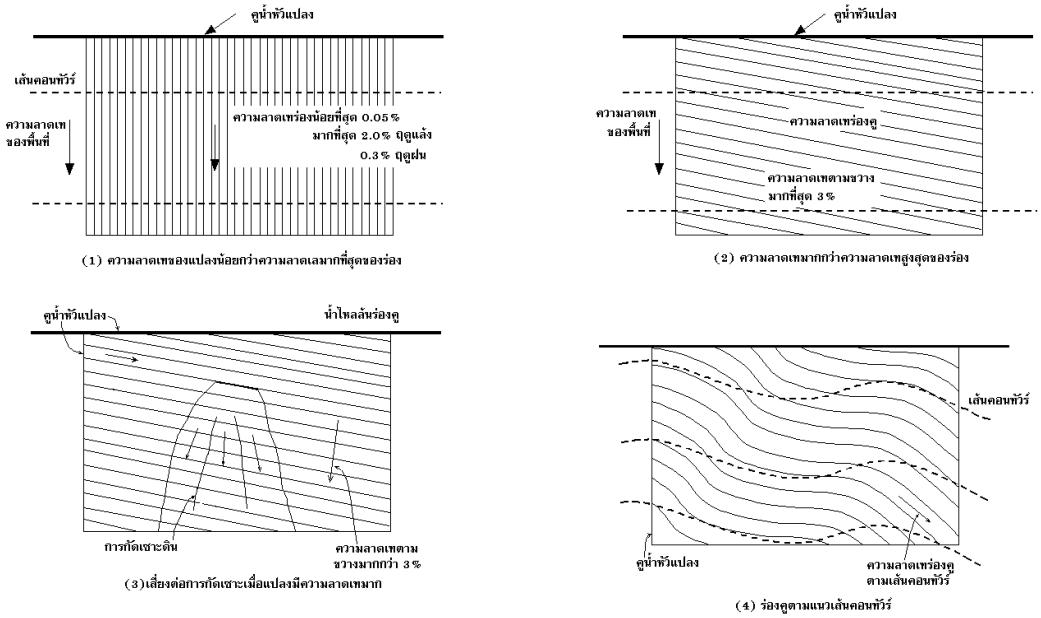
4. ใช้ระบบนำน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงกลับมาใช้ใหม่ (Return Flow System) ดังรูปที่ 3.11 แต่ต้องระวังปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำ

5. ใช้วิธีการชลประทานแบบ Surge Flow ซึ่งแทนที่จะให้น้ำแก่ร่องคูแบบต่อเนื่อง วิธีนี้จะให้น้ำแบบ “ให้และหยุด” สลับกันไปเป็นวงจร โดยอาจออกแบบให้มีวงจร “ให้และหยุด” หลายวงจรก่อนหมดช่วงน้ำหลาก ช่วงหยุดการให้น้ำจะต้องนานพอที่น้ำจะซึมลงไปในดินหมด หรือเกือบหมดเพื่อให้เกิดการตกตะกอน อันจะทำให้อัตราการดูดซึมน้ำในร่องคูลดลง ก่อนเริ่มวงจรการให้น้ำต่อไป

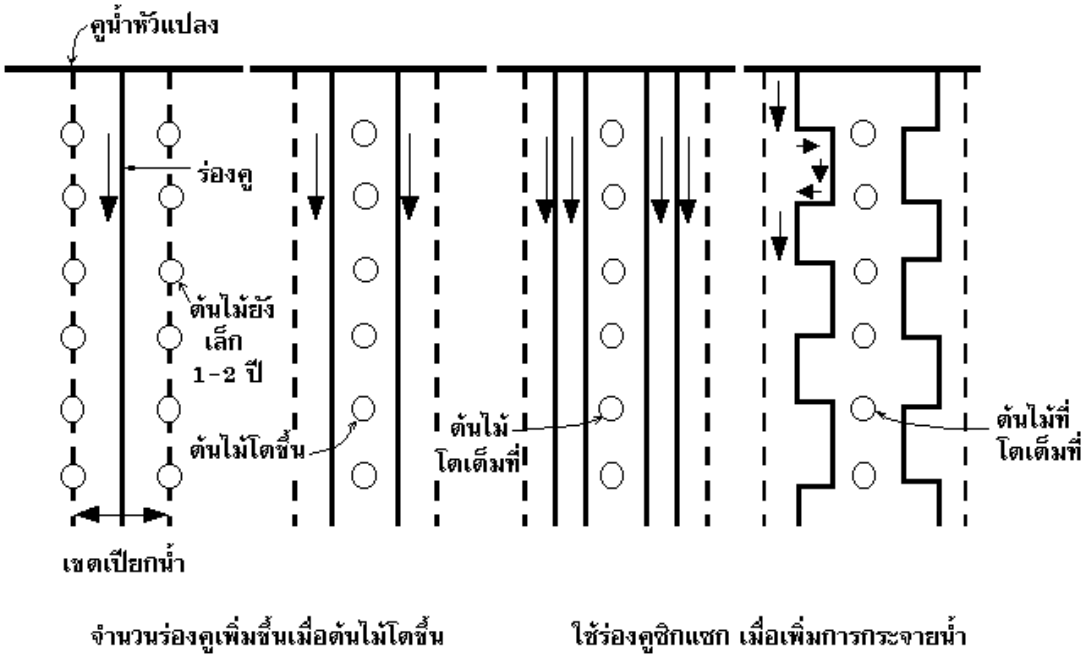
### 3.8 การใช้น้ำทางร่องคูแบบให้ร่องเว้นร่อง (Alternate Furrow Irrigation)

วิธีนี้เหมาะที่จะนำมาใช้กรณีที่น้ำขาดแคลน เพื่อให้สามารถกระจายน้ำได้ทั่วพื้นที่และพืชได้รับน้ำบางส่วน ถึงแม้ว่าจะไม่เพียงพอกับความต้องการ (Vudhivanich, V. 1988) เช่น

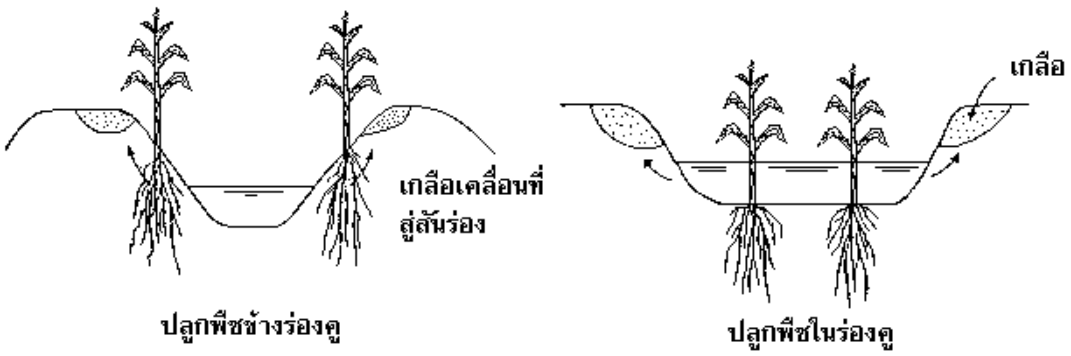
การให้ร่องเว้นร่อง (Alternate) ดังรูปที่ 3.12 ถ้าสมมติว่าคิดตามปกติต้องให้น้ำแก่ทุกร่องคูทุก 10 วัน วิธีให้น้ำร่องเว้นร่องจะให้น้ำกับร่องที่ 1,3,5 และ 7 ในวันที่ 5 และในร่อง 2,4 และ 6 วันที่ 10 โดยวิธีนี้จะทำให้พืชได้รับน้ำทุก 5 วัน แทนที่จะเป็น 10 วัน ซึ่งปกติจะก่อให้เกิดผลดีแก่พืชมากกว่าด้วยน้ำจำนวนที่เท่ากัน



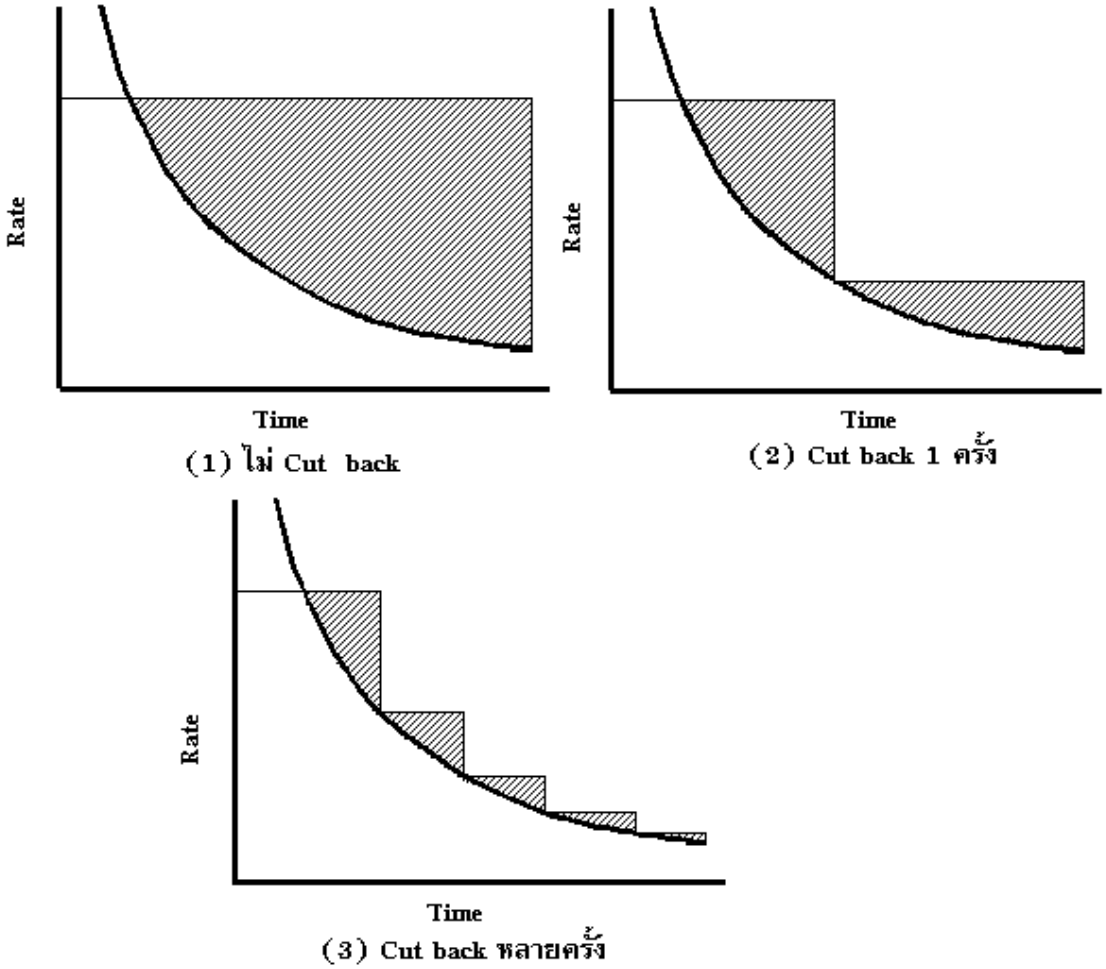

**รูปที่ 3.7 การวางแนวร่องคูบนพื้นที่ลาดชัน**




**รูปที่ 3.8 การให้น้ำแบบร่องคูกับไม้ยืนต้น**




**รูปที่ 3.9 การให้น้ำแบบร่องคูกรณีที่น้ำมีเกลือ**




**รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการให้น้ำกับอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินเมื่อใช้ Cut-back ต่าง ๆ กัน**

หรือถ้าน้ำขาดแคลนอาจต้องขยายระยะเวลาในการให้น้ำจาก 10 วันต่อครั้งเป็น 14 วันต่อครั้ง ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบกระเทือนต่อผลผลิต Alternate Furrow คือใช้วิธีการให้น้ำทุก 7 วัน ด้วยจำนวนครึ่งหนึ่งของน้ำที่ต้องให้ทุก 14 วัน

**3.9 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบร่องคู (Common Faults)**

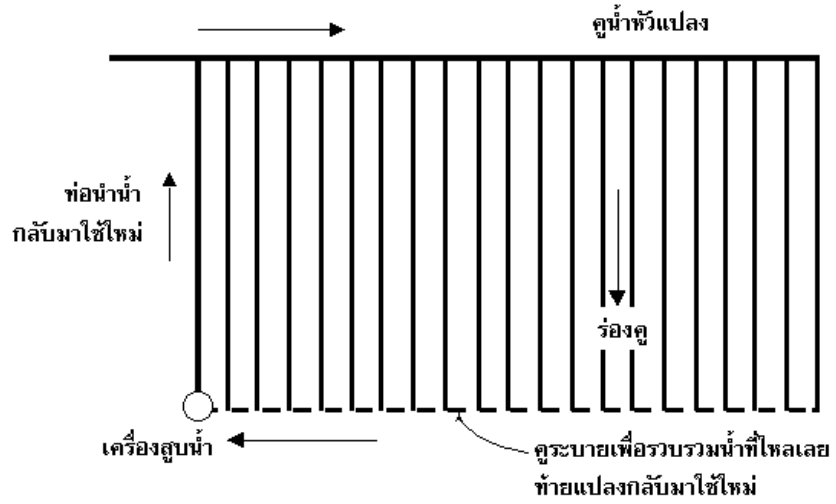
การให้น้ำแบบร่องคูเป็นวิธีการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพ แต่ถ้าผู้ใช้น้ำขาดความรู้ความเข้าใจ และขาดประสบการณ์อาจทำให้ประสิทธิภาพการให้น้ำโดยวิธีนี้ต่ำได้ ข้อผิดพลาดที่มักพบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบร่องคู (วราวุธ และพงศธร. 2536) คือ

1. การเตรียมแปลงไม่ดี
2. การเลือกอัตราการให้น้ำ และความลาดเทของร่องคูมากเกินไปสำหรับดินเหนี่ยว ทำให้น้ำไหลเร็วเกินไป
3. มีดินซึ่งมีอัตราการซึมต่าง ๆ กันในร่องคู
4. น้ำไหลช้าเกินไป ไม่ทำตามกฎ 1/4
5. หยุดให้น้ำเร็วเกินไป ท้ายแปลงได้รับน้ำไม่เพียงพอ
6. ทำคันดินปิดท้ายร่องคู เพื่อขังน้ำไว้ในร่องคู

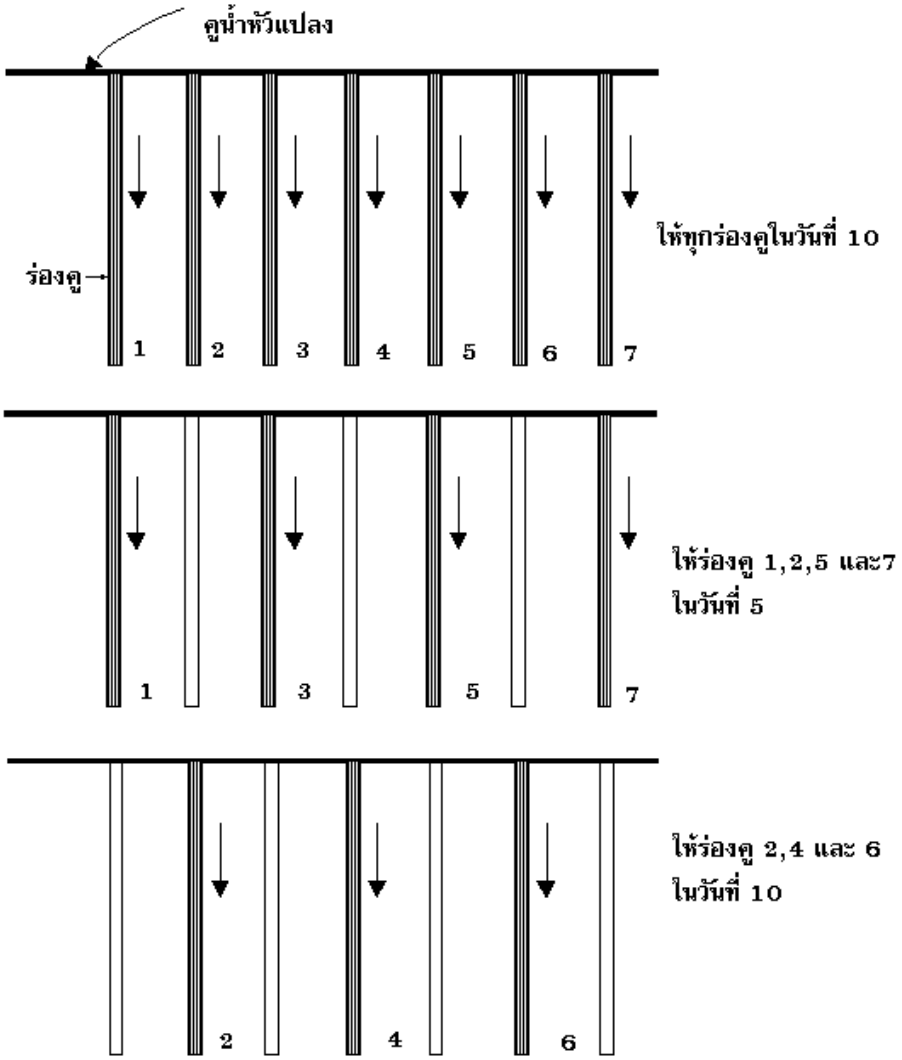
**3.10 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบร่องคู**

การให้น้ำแบบร่องคูที่มีการออกแบบและจัดการที่ดีจะให้ประสิทธิภาพการชลประทานในแปลงสูงถึง 90 % แต่ข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในข้อ 3.9 อาจทำให้ประสิทธิภาพการชลประทานลดลงได้มาก ดังตาราง (วราวุธ และพงศธร. 2536)

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




**รูปที่ 3.11 ระบบนำน้ำกลับมาใช้ใหม่ (Return Flow System)**



**รูปที่ 3.12 Alternate Furrow Irrigation**

## 3.11 วิธีการทดลองและประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู

### 3.11.1 ข้อมูลที่ต้องการทราบ

ในการทดลองจะต้องรวบรวมและจดบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้ไว้ คือ

1. อัตราการให้น้ำในร่องต่าง ๆ ที่เลือกไว้ ขนาดตั้งแต่มากเกินไปจนกระทั่งถึงขนาดน้อยเกินไป เพื่อที่จะหาอัตราที่เหมาะสม

2. ระยะเวลาที่น้ำในร่องไหลไปถึงจุดต่าง ๆ

3. อัตราการให้น้ำสูงสุดในร่องที่จะใช้ได้ อัตราดังกล่าวนี้อาจจะถูกจำกัดโดยขนาดของร่องหรือเป็นอัตราที่มีการกัดพาอยู่ในเกณฑ์ที่ย่อมให้ 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 ก็จะสามารถทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพได้ค่าต่าง ๆ ที่ต้องการทราบก็มี

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ (Uniformity of Application)

2. ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Applicatiion Efficiency)

3. ความเพียงพอในการให้น้ำ (Adequacy of Irrigation)

4. ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้น้ำ

5. ผลของการเปลี่ยนความยาวของร่อง

6. ผลของการเปลี่ยนระดับความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ เช่นปกติให้น้ำเมื่อดินมีความชื้น 40 เปอร์เซ็นต์ ก่อนถึงจุดเหี่ยวเฉา (Wilting Point) ถ้าเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้แล้วจะมีผลอย่างไรบ้าง

### 3.11.2 เครื่องมือที่จะต้องใช้ในสนาม

เครื่องมือที่จะต้องใช้สำหรับการทดลองในสนามก็มี

1. เทปวัดระยะแบบที่ใช้ในงานสำรวจ
2. หมุดไม้หรือเหล็กและฆ้อนสำหรับตอก
3. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาข้อมือ
4. เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำขนาดเล็ก เช่น รางวัดน้ำแบบ Cut throat ขนาด 10 ซอง หรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำแบบอื่น ๆ
5. พลั่วขุดดินและสว่านเก็บตัวอย่างดิน
6. แบบฟอร์มสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ
7. กล้องระดับและไม้สต๊าฟ

**3.11.3 วิธีทดลอง**

การทดลองเพื่อหาข้อมูลสำหรับประเมินผลการให้น้ำนั้นทำโดยให้น้ำแก่ร่องที่เลือกไว้ด้วยอัตราต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดมาเกินไปจนถึงน้อยเกินไป แล้วหาอัตราที่น้ำไหลไปถึงจุดต่าง ๆ ในร่อง วัดปริมาณน้ำที่ให้ที่หัวร่องและจุดต่าง ๆ ภายในร่องเพื่อหาปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในดิน ลำดับขั้นตอนของการทดลองมีดังนี้คือ (วราวุธ. 2525)

1. เลือกร่องคูที่มีความลาดเทสม่ำเสมอในที่ที่สามารถให้น้ำได้สะดวก นอกจากนั้นคุณสมบัติของดินในร่องคูควรจะสม่ำเสมอและคล้ายคลึงกับร่องอื่น ๆ ในพื้นที่ด้วย

2. ปักหมุดบนหลังคันทุก 20 ถึง 30 เมตร หมุดแรกควรจะอยู่ห่างจากจุดที่ให้น้ำเล็กน้อย เพื่อที่จะได้วัดอัตราการให้น้ำได้ถูกต้องดีขึ้น หลังจากนั้นก็ทำระดับที่หมุดต่าง ๆ ในคูเพื่อหาความลาดเท

3. ติดตั้งรางวัดน้ำที่หมุดแรกของทุกร่อง

4. ติดตั้งรางวัดน้ำอีกเครื่องหนึ่งให้อยู่ห่างจากรางแรกหนึ่งถึงสองหมุด รางวัดน้ำนี้ควรจะติดตั้งในร่องที่มีอัตราให้น้ำขนาดปานกลาง ถ้าทำได้ควรจะวัดอย่างน้อย 2 ร่อง นอกจากนั้นควรจะติดตั้งที่ท้ายร่องอีกเครื่องหนึ่งถ้าคิดว่าจะมีการไหลเลยท้ายร่องออกไป

5. หาปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อเพิ่มความชื้นให้ถึง Field Capacity โดยปกติแล้วการทดลองนี้ควรจะทำในขณะที่ดินแห้งหรือขณะที่พืช (ถ้ามี) กำลังต้องการน้ำ

6. เมื่อได้เตรียมทุกอย่างพร้อมแล้วก็ทำการให้น้ำ อัตราที่ให้แต่ละร่องควรแตกต่างกันคือมีขนาดตั้งแต่มากเกินไปจนถึงน้อยเกินไป แต่อัตรการที่ให้ในร่องใดร่องหนึ่งควรจะมีค่าคงที่ตลอดเวลาที่ทำการทดลอง ถ้าทำได้ควรจะทำการทดลองพร้อมกันทีเดียว 4 ร่อง ร่องหนึ่งให้น้ำด้วยอัตราสูงสุดที่จะไม่เกิดการกัดเซาะ ซึ่งหาได้จากสมการที่ 3.1 อีกสองร่องมีอัตราการให้น้ำขนาดปานกลาง ร่องสุดท้ายมีอัตราการให้น้ำค่อนข้างน้อยในกรณีที่ร่องต่าง ๆ ที่ทำการทดลองนั้นไม่ได้อยู่ติดกันก็อาจจำเป็นต้องให้น้ำในร่องข้างเคียงทั้งสองด้านด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำไหลซึมทางด้านข้างมากเกินไป

7. จดเวลาที่เริ่มต้นให้น้ำและอัตราการไหลของทุกร่องไว้ และควรจะตรวจสอบ

อัตราการให้น้ำของทุกร่องเป็นระยะ ๆ

8. จดเวลาที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่าง ๆ ตลอดความยาวของร่อง

9. จดอัตราการซึมของน้ำในร่องลงในแบบฟอร์ม การวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องดูตามคำแนะนำที่ให้ไว้ในแบบฟอร์ม

10. สังเกตการไหลของน้ำในร่องว่าเกิดการกัดเซาะหรือไหลล้นร่องหรือไม่ เปรียบเทียบการไหลในร่องต่าง ๆ แล้วประมาณหาอัตราการให้น้ำสูงสุดที่จะใช้ได้ ร่องที่ทำขึ้นใหม่อาจมีการกัดเซาะในตอนแรกเล็กน้อย แต่เมื่อให้น้ำต่อไปแล้วจะไม่มีกรณีดังกล่าวนี้ถือว่าอัตราการให้น้ำนั้นใช้ได้

11. จดเวลาและอัตราที่น้ำไหลเลยท้ายร่องออกไป อัตราดังกล่าวนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไป ดังนั้นจึงควรตรวจสอบบ่อย ๆ โดยปกติเมื่อน้ำไหลมาถึงท้ายร่องแล้วก็จะต้องลดอัตราการให้น้ำลง สำหรับในการทดลองซึ่งใช้ร่องที่มีความยาวมากกว่าปกติอยู่แล้วก็ไม่จำเป็นต้องมีการลดอัตราการให้น้ำ การปล่อยให้น้ำไหลในร่องไกลขึ้นจะทำให้มีโอกาสประเมินผลและเลือกความยาวของร่องได้เหมาะสมดีขึ้น

12. ศึกษาว่าน้ำซึมไปทั่วถึงตลอดหน้าตัดของร่องหรือไม่หลังจากให้น้ำแล้ว 1 ถึง 2 วัน ใช้สว่านเจาะดินมาตรวจดูความชื้นว่าพอกับความต้องการหรือไม่

13. ตรวจสอบดูว่าจะแก้ไขหรือปรับปรุงวิธีการให้น้ำเพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างไรบ้าง

### 3.11.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่หาได้

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนั้นควรจะนำมาเขียนกราฟเพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณและเข้าใจได้ง่ายขึ้น กราฟที่ต้องการได้แก่

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

2. กราฟน้ำแห้ง (Recession Curves) ถ้าร่องมีขนาดใหญ่ เมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะยังมีน้ำขังอยู่อีกและทำให้มีดินได้รับน้ำเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าต้องการทราบว่ามีน้ำขังอยู่ในร่องที่หมุดต่าง ๆ นานเท่าใดหรือมีน้ำซึมเข้าไปในดินที่จุดนั้น ๆ มากน้อยเท่าใด จะต้องหาว่าน้ำที่หมุดต่าง ๆ แห้งหลังจากหยุดการให้น้ำนานเท่าไร กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและระยะทางในร่องที่น้ำซึมหรือไหลไปหมดจนแห้ง เรียกว่า กราฟน้ำแห้ง (Recession Curve) ถ้าเขียนกราฟน้ำแห้งบนแกนเดียวกับกราฟน้ำหลากโดยใช้เวลานับจากเริ่มให้น้ำ ผลต่างระหว่างเวลาที่หมุดเดียวกันบนกราฟทั้งสองคือเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนจุดนั้น ซึ่งทำให้สามารถคำนวณหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินตรงจุดนั้นได้อย่างถูกต้อง สำหรับในร่องขนาดเล็กเมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะมีน้ำขังอยู่ไม่มากนัก

ในทางปฏิบัติให้ถือว่ากราฟน้ำแห้งในกรณีนี้เป็นเส้นตรงอยู่ในแนวราบ หรือถือว่าเมื่อหยุดให้น้ำแล้วจะไม่มีน้ำขังอยู่ในร่องอีก

3. กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของร่องคู (Furrow Infiltration) และกราฟน้ำซึมสะสม (Cumulative Infiltration Curve) โดยปกติกราฟทั้งสองนี้จะเขียนบนกระดาษ log-log ขนาด 3x3 cycles เนื่องจากว่าการซึมของน้ำในร่องนั้นต่างจากการซึมแบบให้น้ำท่วมผิวดิน กล่าวคือมีพื้นที่ที่น้ำซึมเข้าไปน้อยกว่า ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้ค่าที่วัดได้จากถังวัดอัตราการซึมผ่านผิวดิน แต่จะหาจากความแตกต่างระหว่างอัตราที่น้ำไหลเข้าและไหลออกระหว่างจุดสองจุดในร่องแทน ดังนั้นหน่วยที่ใช้จึงเป็นอัตราที่น้ำหายไปต่อความยาวระหว่างจุดทั้งสองนั้น เช่น ลิตร/วินาที/25 เมตร เป็นต้น

## 3.12 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำทางร่องคู

ทำการทดลองประเมินผลการให้น้ำในร่องคูซึ่งยาว 350 เมตร บนดินร่วนปนทราย พื้นที่มีความลาดเท 0.2 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลอื่น ๆ 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 2 นิ้ว ติดตั้งไว้ที่ระยะ 0 และ 50 เมตร ข้อมูลที่ได้จากการวัดอัตราที่น้ำซึมหายไประหว่างสองหมุดนี้อยู่ในตารางที่ 3.2 และ 3.3 เมื่อนำค่าเหล่านี้มาเขียนกราฟจะได้ดังรูปที่ 3.13

อัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินระหว่างหมุดสองหมุดนี้อาจจะแปลงให้มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร/นาทีได้โดยสมการ

$$I \quad (\text{มม./นาที}) \quad = \quad \frac{60.I\ (\text{ลิตร/วินาที/L})}{L.S.} \qquad \text{----------(3.2)}$$

ในเมื่อ I เป็นอัตราน้ำซึมลงไปในดินระหว่างอาคารวัดน้ำ 2 ชุดซึ่งอยู่ห่างกัน L เมตร มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที S เป็นระยะระหว่างร่องเป็นเมตร

ข้อมูลที่น้ำในร่องไหลไปถึงหมุดต่าง ๆ อยู่ในตารางที่ 3.4 และนำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 3.14 กราฟสำหรับอัตราให้น้ำเท่ากับ 0.58 และ 1.12 ลิตรต่อวินาที นั้นถูกต่อเลยออกมาจนถึงหมุดที่ 13 และ 14 (325 และ 350 เมตรตามลำดับ) การต่อกราฟนี้อาจจะทำได้สองวิธีคือ (1) ใช้ไม่บรรทัดโค้ง (French Curve) ถ้าเส้นไม่โค้งมากนักเช่นในกรณีของเส้น 1.12 ลิตร/วินาที หรือเป็นการต่อสั้น ๆ เช่นกรณีของเส้น 0.25 ลิตร/วินาที (2) เขียนกราฟในกระดาษ log-log แล้วต่อกราฟด้วยไม้บรรทัดโค้งแล้วจึงค่อยนำค่าเหล่านั้นมาเขียนในกระดาษกราฟธรรมดาอีกทีหนึ่ง

ในการวิเคราะห์และประเมินผลข้อมูลที่ทำการทดลองได้นี้จะต้องทำทั้งสามร่องเพื่อที่จะได้เลือกเอาอัตราการให้น้ำที่ดีที่สุดไว้ใช้งาน แต่ในตัวอย่างนี้จะแสดงการคำนวณให้ดูเพียงร่องเดียวคือร่องที่มีอัตราการให้น้ำเท่ากับ 1.12 ลิตร/วินาที ในการวิเคราะห์นี้จะต้องคำนวณว่า

1. การให้น้ำที่ทำการทดลองนั้นสม่ำเสมอดีเพียงไร ซึ่งกรณีนี้จะวัดด้วย Distribution Uniformity (DU) โดยใช้สมการ 2.3

2. ผู้ให้น้ำใช้ระบบได้ดีเพียงไร กล่าวคือให้น้ำด้วยอัตราที่พอเหมาะกับความยาวและความลาดเทของร่องหรือไม่ สำหรับข้อนี้จะวัดด้วยประสิทธิภาพการให้น้ำ (Application Efficiency, Ea)

3. ผู้ให้น้ำให้น้ำได้เพียงพอกับความต้องการของพืชหรือไม่โดยใช้วิธีการตามที่กล่าวไว้ในข้อ 2.5.6

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

จากสมการ 2.3

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

สำหรับการให้น้ำแบบร่องคู พิจารณาว่าเมื่อหยุดการให้น้ำ น้ำจะแห้งทันทีตลอดความยาวร่องคู สำหรับอัตราการให้น้ำ 1.12 ลิตร/วินาที จะหาระยะเวลาที่น้ำขังอยู่บนผิวดิน และความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่าง ๆ ตลอดความยาวของร่องที่ต้องการประเมิน (200 ม.) ได้ดังนี้

**ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องคู**

สถานที่ทำการวัด_____ผู้ทำการวัด_____วิบูลย์_____วันที่_____

ร่องคูที่ 2 อัตราการให้น้ำ 0.58 ลิตร/วินาที_____รูปร่าง ∪ / √ / 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. | ห่างกัน | สะสม | Head | อัตราการไหล | Head | อัตราการไหล | ลิตร/วินาที | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | ลิตร/วินาที (5) | (6) | ลิตร/วินาที (7) | 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 3.3 ข้อมูลการวัดอัตราการดูดซึมน้ำในร่องคู**

สถานที่ทำการวัด_____ผู้ทำการวัด_____วิบูลย์_____วันที่_____

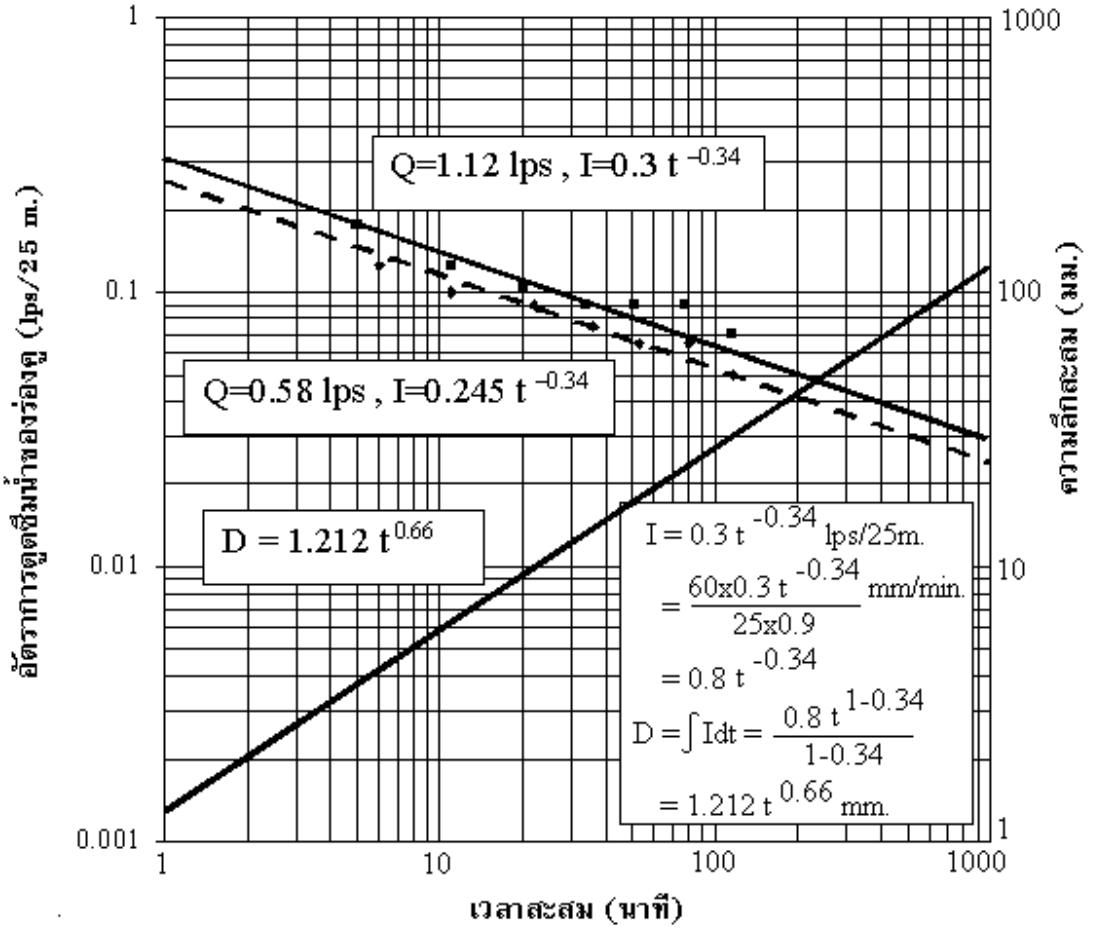
ร่องคูที่ 2 อัตราการให้น้ำ 0.58 ลิตร/วินาที_____รูปร่าง ∪ / √ / เคยให้น้ำแล้ว / / ใหม่

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. | ห่างกัน | สะสม | Head | อัตราการไหล | Head | อัตราการไหล | ลิตร/วินาที | |
| (1) | (2) | (3) | (4) | ลิตร/วินาที (5) | (6) | ลิตร/วินาที (7) | 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 3.13 กราฟอัตราการดูดซึมน้ำของร่องดู**

**ตารางที่ 3.4 ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำแบบร่องคู**

สถานที่ทดสอบ_____ผู้ทำการทดสอบ_____

วิธีการให้น้ำ_____ร่องคู_____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_____

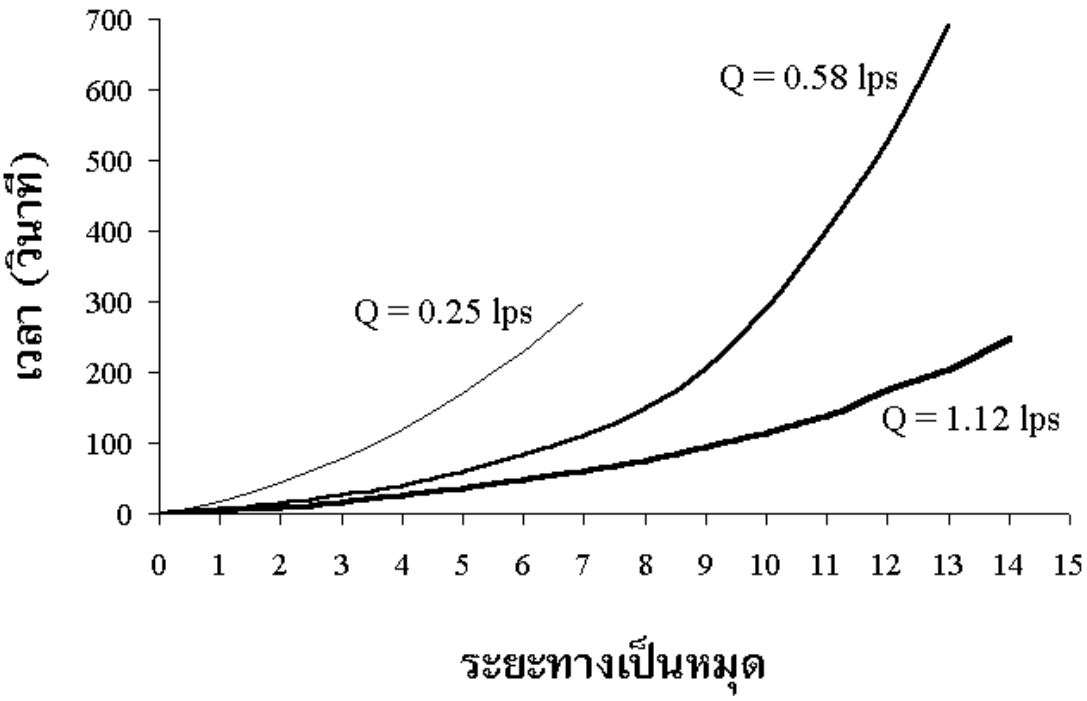
หมายเหตุ_____ระยะห่างระหว่างหมุด 25 เมตร_____

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| 08:22 | | 0 | 0 |
| 39 | 17 | 17 | 1 |
| 09:05 | 26 | 43 | 2 |
| 39 | 34 | 77 | 3 |
| 10:22 | 43 | 120 | 4 |

| เวลา | | | |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | หมุดที่ * 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 | | | |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | หมดที่ * 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 |

* หมุดแรกที่หัวแปลงนับเป็นศูนย์




**รูปที่ 3.14 กราฟน้ำหลากของการให้น้ำทางร่องคู ซึ่งต่อจากค่าที่วัดได้จริง**

| หมุดที่ (i) | $Tadv_i$ (นาที) (จากรูปที่ 3.14) | $To_i$ | Di (มม.) (จากรูปที่ 3.13) |
|---|---|---|---|
| 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 |
| 5 | 36 | 564 | 79.3 |
| 6 | 48 | 552 | 78.2 |
| 7 | 59 | 541 | 77.2 |
| 8 | 72 | 528 | 75.9 |

(ระยะระหว่างหมุด = 25 เมตร)

$$\bar{D} = \frac{\left[\frac{82.6}{2} + 82.2 + \ldots\ldots\ldots + 77.2 + \frac{75.9}{2}\right]}{8} \text{ มม.}$$

$$= 79.9 \text{ มม.}$$

$$\bar{D}_{LQ} = \frac{\left[\frac{78.2}{2} + 77.2 + \frac{75.9}{2}\right]}{2} \text{ มม.}$$

$$= 77.1 \text{ มม.}$$

ดังนั้น $DU = 100 \times \frac{77.1}{77.9} = 96.5\ \%$

2. <u>การ คำนวณหาประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea)</u>

จากสมการ 2.5

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

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

$V_{RZ}$ = $\bar{D}$ = 79.9 มม.

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

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

= 224 มม.

ดังนั้น

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

3. <u>การคำนวณความเพียงพอในการให้น้ำ</u>

กรณี Under Irrigation จะใช้ประสิทธิภาพการเก็บกัก Es จากสมการ 2.9 เป็นตัววัดความเพียงพอในการชลประทาน

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

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

4. <u>การคำนวณหาการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์</u>

กรณีนี้มีการสูญเสียน้ำเฉพาะการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูก (RO)

RO = $V_T - V_{RZ}$

= 224 - 79.9 = 144.1 มม.

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

5. <u>สรุปผลการทดลองประเมินผล</u>

ผลการให้น้ำแก่ร่องคูดังกล่าวด้วยอัตรา 1.12 ลิตร/วินาที ปรากฏว่า

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

SMD = 90 มม.

To ที่ท้ายร่องคู = $\frac{(90)^{1/0.66}}{1.212}$ = 683 นาที

Ta (application time) = To + Tadv

= 683+72 = 755 นาที

Advance Ratio = $\frac{Tadv}{To} = \frac{72}{683} = \frac{1}{9.5}$

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

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

จากรูปที่ 3.14 จะเห็นได้ว่าควรเลือกให้น้ำด้วยอัตรา 0.58 ลิตร/วินาที แทน 1.12 ลิตร/วินาที

หรือเพิ่มความยาวร่องคูจาก 200 เมตร เป็น 300 เมตร

6. สมมติว่าเพิ่มความยาวร่องคูเป็น 300 เมตร

Ta = To + Tadv

= 683 + 170 = 853 นาที

จากรูป 3.13 และ 3.14 จะหาเวลาที่น้ำขังอยู่บนผิวดินและความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่าง ๆ ได้ดังนี้

| หมุดที่ (i) | $Tadv_i$ (นาที) (จากรูปที่ 3.14) | $To_i$ | Di (มม.) (จากรูปที่ 3.13) |
|---|---|---|---|
| 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 |

| หมุดที่ (i) | $Tadv_i$ (นาที) (จากรูปที่ 3.14) | $To_i$ | Di (มม.) (จากรูปที่ 3.13) |
|---|---|---|---|
| 8 | 72 | 781 | 98.3 |
| 9 | 90 | 763 | 96.8 |
| 10 | 110 | 743 | 95.1 |
| 11 | 140 | 713 | 92.6 |
| 12 | 170 | 683 | 90.0 |

$$\bar{D} = \frac{\left[\frac{104.2}{2} + 103.8 + \ldots\ldots + 92.6 + \frac{90}{2}\right]}{12}$$

$$= 99.4 \text{ มม.}$$

$$\bar{D}_{LQ} = \frac{\left[\frac{96.8}{2} + 95.1 + 92.6 + \frac{90}{2}\right]}{3}$$

$$= 93.7 \text{ มม.}$$

$$DU = \frac{93.7}{99.4} \times 100 = 94.3\ \%$$

$$V_T = \frac{1.12 \times 853 \times 60}{300 \times 0.9} \text{ มม.}$$

$$= 212.3 \text{ มม.}$$

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

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

$$Es = 100\ \%$$

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

$$= 99.4 - 90 = 9.4 \text{ มม.}$$

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

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

= 212.3 - 90 - 9.4 = 112.9 มม.

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

ควรทำ Cut back เพื่อลด RO

7. <u>การเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำโดยใช้ Cut back</u>

พิจารณากรณีแปลงยาว 300 เมตร

สำหรับ Q = 1.12 ลิตร/วินาที

จากรูปที่ 3.12

$I = 0.3t^{-0.34}$ ลิตร/วินาที/25เมตร

<u>Cut back ครั้งที่ 1 หลังให้น้ำ 180 นาที</u>

| หมุดที่ (i) | $Tadv_i$ (นาที) | $To_i$ (นาที) | $I_i$ (ลิตร/วินาที/25เมตร) |
|---|---|---|---|
| 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 |

$$\bar{I} = \frac{(0.0513}{2} + 0.0518 + \ldots\ldots\ldots + 0.0856 + \frac{0.1371}{2}$$

= 0.7591 ลิตร/วินาที

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

= 158.33 มม.

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

<u>Cut back ครั้งที่ 2 หลังให้น้ำ 360 นาที</u>

ในทำนองเดียวกันจะได้ว่า

$\bar{2}$ = 0.52 ลิตร/วินาที

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

= 132.1 มม.

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

<u>Cut back ครั้งที่ 3 หลังให้น้ำ 540 นาที</u>

$\bar{I}_3$ = 0.44 ลิตร/วินาที

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

= 126.6 มม.

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

8. <u>ระบบน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงกลับมาใช้ใหม่</u>

ระบบดังกล่าวจะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำถึง 95.3 % หรือเท่ากับ DU เพราะระบบดังกล่าวจะทำให้ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลง

## 3.13 เอกสารอ้างอิง

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

2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การชลประทานแบบบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

3. Vudhivanich, V. (1988), Surface Irrigation System Design, A Handout for A Training Course on Management of Rainfed Agriculture, Continuing Education Center, AIT.) Depertment of Irrigation Engineering Faculty of Engineering, Kastsart University, Kamphaengsaen, Nakorn Pathom 73140

**3.14 แบบฝึกหัด**

1. ในการประเมินผลการชลประทานแบบร่องคู ซึ่งมีความยาว 200 เมตร ระยะห่าง 1.00 ม. ให้น้ำด้วยอัตรา 1,2,3 lps ได้โค้งน้ำหลาก ดังแสดงในตารางที่ 1

ถ้าอัตราการซึมของน้ำลงไปในดิน ซึ่งวัดจากร่องคูที่ให้น้ำด้วย Q = 2 lps มีคุณสมบัติดังสมการ

$I = 0.9t^{-0.4}$ lps/25 m.

ความชื้นในดินที่ขาดหายไป (SMD) = 90 มม.

และระยะเวลาการให้น้ำ (ta) = 6 ชม.

**จงหา :-**

(1) Distribution Uniformity (DU), Application Efficiency (Ea), Storage Efficiency (Es), Runoff (RO) และ Deep Percolation (DP)

(2) จงเลือก Opportunity Time ($t_o$) Size of Stream (Q) และ Furrow Lenght (L) ที่เหมาะสม แล้วคำนวณหา DU, Ea, Es, RO และ DP

(3) ถ้า Cut Back 1 ครั้ง เมื่อน้ำไหลเลยท้ายแปลงแล้ว 20 นาที และคำนวณหา Ea และ RO

(4) จากข้อ 2.2 ถ้าติดตั้ง Re-Use System จงหา Ea และ RO

**ตารางที่ 1** การหลากของน้ำในร่องคูในข้อที่ 1

| Station | เวลา (นาที) | | |
|---|---|---|---|
| | Q = 1 lps | Q = 2 lps | Q = 3 lps |
| 1 | 4 | 2 | 1 |
| 2 | 10 | 4 | 3 |
| 3 | 19 | 10 | 5 |
| 4 | 30 | 16 | 10 |
| 5 | 44 | 25 | 13 |
| 6 | 66 | 35 | 18 |
| 7 | 90 | 46 | 22 |
| 8 | 130 | 60 | 26 |
| 9 | 200 | 76 | 34 |
| 10 | | 100 | 42 |
| 11 | | 132 | 54 |
| 12 | | 180 | 70 |

2. ในการทดลองประเมินผลการให้น้ำแบบร่องคูกับร่องคู 3 ร่อง ซึ่งมีระยะห่าง 0.75 เมตร ยาว 300 เมตร มีความลาดเท 0.2 % ดินเป็นดินร่วน เลือกใช้อัตราการให้น้ำ 3 ขนาด คือ 1.0, 1.5 และ 2.0 lps ระยะเวลาการให้น้ำ 8 ชั่วโมง วัดอัตราการหลากของน้ำในร่องคูได้ดังแสดงในตารางที่ 2 และได้สมการอัตราการดูดซึมน้ำของร่องคูทั้ง 3 มีลักษณะดังนี้

$I = kt^n$

เมื่อ $I$ = อัตราการดูดซึม เป็น lps/100 ม.

$t$ = เวลา เป็น นาที

$k,n$ = มีค่าดังตาราง

| Q lps | k | n |
|---|---|---|
| 1.0 | 4.062 | -0.6 |
| 1.5 | 6.093 | -0.6 |
| 2.0 | 8.124 | -0.6 |

ตารางที่ 2 การหลากของน้ำในร่องคูในข้อ 2

| หมุด | Q = 1.0 lps | Q = 1.5 lps | Q = 2.0 lps |
|---|---|---|---|
| | เวลา (นาที) | เวลา (นาที) | เวลา (นาที) |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 15 | 7 | 5 |
| 2 | 30 | 15 | 10 |
| 3 | 50 | 26 | 17 |
| 4 | 70 | 39 | 26 |
| 5 | 95 | 58 | 36 |
| 6 | 120 | 82 | 48 |
| 7 | 150 | 105 | 60 |
| 8 | 180 | 125 | 75 |
| 9 | 220 | 155 | 90 |
| 10 | 250 | 185 | 110 |
| 11 | 290 | 220 | 140 |
| 12 | 330 | 260 | 180 |

(ระยะระหว่างหมุด =25 เมตร)

SMD ของดินในร่องคู = 70 มม.

จงประเมินผลการให้น้ำแบบร่องคู กรณีที่ Q = 1.5 lps และจงหา :-

(1) ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ DU

(2) ประสิทธิภาพในการให้น้ำ Ea

(3) ความเพียงพอในการให้น้ำ Es

(4) การสูญเสียน้ำเนื่องจาก RO และ DP

(5) การวิเคราะห์หา Q และ Ta ที่เหมาะสม

3. แปลงมีขนาด 225 x 300 $ม^2$. มีความลาดเท 0.2 % ตามด้านยาว สมการการดูดซึมน้ำของดิน $D = 2.2\ t^{0.55}$ (D = มม., t = นาที) การหลาก (Advance) ของน้ำในร่องคู สำหรับอัตราการไหล 3 ขนาดมีลักษณะดังตารางที่ 3

ระยะระหว่างร่องคู = 75 ซม.

SMD = 70 มม.

จงออกแบบร่องคูสำหรับแปลงดังกล่าว เพื่อตอบคำถามต่าง ๆ ดังนี้

(1) ปริมาณน้ำที่ให้ร่องคูแต่ละร่อง

(2) ประสิทธิภาพการกระจายน้ำ (DU)

(3) ประสิทธิภาพการให้น้ำของร่องคู (Ea)

(4) ขนาดเครื่องสูบน้ำที่ต้องการ (ลิตร/วินาที) ถ้าให้น้ำครั้งละ 3 วัน วันละไม่เกิน 12 ชั่วโมง

(5) อัตราการให้น้ำแก่ร่องคูเมื่อทำการ Cut back 1 ครั้ง 1/2 ชั่วโมง หลังจากที่น้ำไหลถึงท้ายร่อง พร้อมทั้งหาประสิทธิภาพในให้น้ำ (Ea)

ตารางที่ 3 การหลากของน้ำในร่องคู ในข้อที่ 3

| หมุด | Q = 0.25 lps | Q = 0.50 lps | Q = 1.00 lps |
|---|---|---|---|
| | เวลา (นาที) | เวลา (นาที) | เวลา (นาที) |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 17 | 7 | 5 |
| 2 | 43 | 15 | 10 |
| 3 | 77 | 26 | 17 |
| 4 | 120 | 39 | 26 |
| 5 | 175 | 58 | 36 |
| 6 | 235 | 82 | 48 |
| 7 | 300 | 115 | 60 |
| 8 | 410 | 160 | 75 |
| 9 | | 210 | 90 |
| 10 | | 280 | 110 |
| 11 | | 390 | 140 |
| 12 | | 520 | 180 |
| 13 | | | 215 |
| 14 | | | 260 |

(ระยะระหว่างหมุด = 30 เมตร)

# บทปฏิบัติการที่ 3
# การทดลองและประเมินผลการชลประทานแบบร่องคู

## 1. วัตถุประสงค์

ประสิทธิภาพการชลประทานแบบร่องคูขึ้นอยู่กับการเลือกรูปร่าง ขนาด และความยาวของร่องคูให้เหมาะสมกับชนิดดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้งและความลาดเทของพื้นที่ การทดลองและประเมินผลการชลประทานแบบร่องคูมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบดูว่าการออกแบบและการใช้ระบบร่องคูนั้นมีความเหมาะสมเพียงใดในเชิงปฏิบัตินั่นคือ ระบบร่องคูนั้นสามารถให้น้ำได้อย่างสม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพและเพียงพอกับความต้องการมากน้อยเท่าใด เพื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงระบบการให้น้ำแบบร่องคูให้มีประสิทธิ
ภาพยิ่งขึ้น

## 2. อุปกรณ์

1. กล้องระดับ
2. เทปวัดระยะ
3. นาฬิกา
4. หมุดไม้ยาว 60 ซม. จำนวน 12 หมุด ต่อ 1 ร่องคู พร้อมฆ้อนสำหรับตอก
5. Cut Throat Flume ขนาด 10 x 90 ซม. จำนวน 3 ตัวต่อ 1 ร่องคู
6. จอบหรือพลั่ว
7. บุ้งกี๋
8. ระดับน้ำช่างไม้
9. Soil Core Sampler
10. Rillmeter
11. ไซฟอนขนาด $\varnothing$ $1^1/_2$”, 2”, 3” อย่างละ 2 ท่อน ต่อ 1 ร่องคู
12. แบบฟอร์มสำหรับจดบันทึกข้อมูลการดูดซึมน้ำ การไหลหลากและการแห้งของร่องคู

## 3. วิธีการทดลอง

1) เลือกร่องคูที่มีความลาดสม่ำเสมอและอยู่ในที่ที่สามารถให้น้ำได้สะดวก

คุณสมบัติของดินในร่องคูควรจะสม่ำเสมอและคล้ายคลึงกับอื่น ๆ ในพื้นที่ด้วย จำนวน 3 ร่อง

2) ปักหมุดบนหลังคันทุก ๆ 25 เมตร หมุดแรกควรอยู่ห่างจากหัวร่องคูไม่น้อยกว่า 3 เมตร เพื่อที่จะได้วัดอัตราการให้น้ำได้ถูกต้องดีขึ้น พร้อมทั้งวัดความกว้าง และรูปร่างของร่องคู

3) หาความลาดเทของร่องคู

4) ติดตั้งรางวัดน้ำตัวที่ 1 ที่หมุดแรกของร่องคูที่จะทำการทดลอง (หมุด 0)

5) ติดตั้งรางวัดน้ำตัวที่ 2 ให้อยู่ห่างจากรางวัดน้ำตัวที่ 1, 2 หมุด

6) หาความชื้นในดินและความถ่วงจำเพาะปรากฏด้วย Ssil Core Sampler พร้อมวัดความลึกของเขตราก

7) เริ่มทำการให้น้ำโดยให้มีอัตราการให้น้ำคงที่เท่ากับ 100 % และ 60 % และ 20 % ของ Q ที่จะไม่ทำให้เกิดการกัดเซาะ สำหรับร่องคูที่ 1 , 2 และ 3 ตามลำดับ

$$Q_{max.} = \frac{0.6}{S} \quad \text{ลิตร/วินาที}$$

เมื่อ S = ความลาดเทของร่อง เป็นเปอร์เซ็นต์

การให้น้ำจะต้องให้น้ำแก่ 2 ร่องเข้าเคียงด้วยเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำซึมออกทางด้านข้างมากเกินไป

8) จดเวลาที่เริ่มต้นให้น้ำและจดเวลาที่น้ำในร่องคูไหลไปถึงหมุดต่าง ๆ ตลอดความยาวของร่อง

9) ทำการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านรางวัดน้ำที่หัวร่อง เมื่อน้ำไหลไปถึงจุดกึ่งกลางระหว่างอาคารวัดน้ำทั้งสองคือที่หมุดที่หนึ่ง

10) ทำการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารวัดน้ำทั้งสอง พร้อม ๆ กัน เมื่อน้ำเริ่มไหลผ่านอาคารวัดน้ำตัวที่ 2 ไปเล็กน้อย

11) หลังจากนั้นก็ทำการวัดน้ำที่อาคารทั้ง 2 ที่ระยะเวลาต่าง ๆ กัน จนกระทั่งอัตราการดูดซึมน้ำของร่องคูมีค่าเกือบคงที่

12) จดเวลาและอัตราที่น้ำไหลเลยท้ายร่องออกไป

**4. วิธีการวิเคราะห์**

4.1 <u>การวิเคราะห์เบื้องต้น</u>

1. หากราฟหรือสมการการดูดซึมสะสมและอัตราการดูดซึมน้ำของร่องคู
2. หากราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้ง
3. หาความชื้นในดินที่ขาดหายไป

4.2 วิเคราะห์หาประสิทธิผลของการให้น้ำ

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ
2. ประสิทธิภาพการให้น้ำ
3. ความเพียงพอในการให้น้ำ

4.3 การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิผลของการให้น้ำ

1. ผลของการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้น้ำ
2. ผลของการเปลี่ยนความยาวร่องคู
3. ผลของการเปลี่ยนระดับความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ
4. การใช้ Cut back

**5. ข้อเสนอแนะ**

แบบฟอร์มการบันทึกอัตราการดูดซึมน้ำของร่องคู

สถานที่ทำการวัด_____ผู้ทำการวัด_____ วันที่_____

อัตราการให้น้ำ_____ร่องคูที่_____ ระยะห่างร่องคู_____

รูปร่างร่องคู_____ความลาดเท_____ □ เคยใช้แล้ว □ ใหม่

สภาพทั่ว ๆ ไป_____เนื้อดิน_____พืชที่ปลูก_____

อาคารวัดน้ำที่ใช้_____ระยะห่างของอาคารวัดน้ำ_____

| เวลา | | | อาคารวัดน้ำไหลเข้า | | | อาคารวัดน้ำไหลออก | | อัตราการดูดซึม | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เวลา | ห่างกัน | สะสม | ศักย์น้ำ | อัตราการไหลเข้า | | ศักย์น้ำ | อัตราการไหลออก | ลิตร/วินาที | |
| นาฬิกา | นาที | นาที | ซม | ลิตร/วินาที | | ซม | ลิตร/วินาที | ต่อ 50 ม. | ต่อ 25 ม. |
| 1/ | | | | | | | | | |
| 2/ | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

1/ เวลาที่เริ่มวัดน้ำที่อาคารวัดน้ำไหลเข้า เมื่อน้ำไหลจึงจุดกึ่งกลางระหว่างอาคารวัดน้ำไหลเข้าและไหลออก

2/ เวลาที่เริ่มวัดน้ำที่อาคารวัดน้ำไหลเข้าและไหลออก พร้อม ๆ กันเมื่อน้ำไหลผ่านอาคารวัดไหลออกไปเล็กน้อย

## ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำทางผิวดินแบบร่องคู

สถานที่ทดสอบ_____ ผู้ทำการทดสอบ_____

วิธีการให้น้ำ_____ เนื้อดิน_____ พืชที่ปลูก_____ ความลึกของน้ำที่ต้องการให้_____ มม.

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของแปลงที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำ_____

น้ำหลากหรือน้ำแห้ง_____

แปลงหรือร่องที่_____

อัตราการให้น้ำ_____

หมายเหตุ_____

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

* หมุดแรกที่หัวแปลงนับเป็นศูนย์

# ภาคผนวกท้ายบทที่ 3

## Cut Throat Flume

**Free Flow** $Q = CH_a^{n1}$ เมื่อ $\frac{H_a}{L} \leq 0.44$

$Q$ = มีหน่วยเป็น cms.

$H_a$ = มีหน่วยเป็น m.

$C = K^* W^{1.025}$

$W$ = ความกว้าง Flume เป็น m.

ค่า K, $n_1$ หาได้จากรูปที่ A-I เมื่อรู้ค่า L

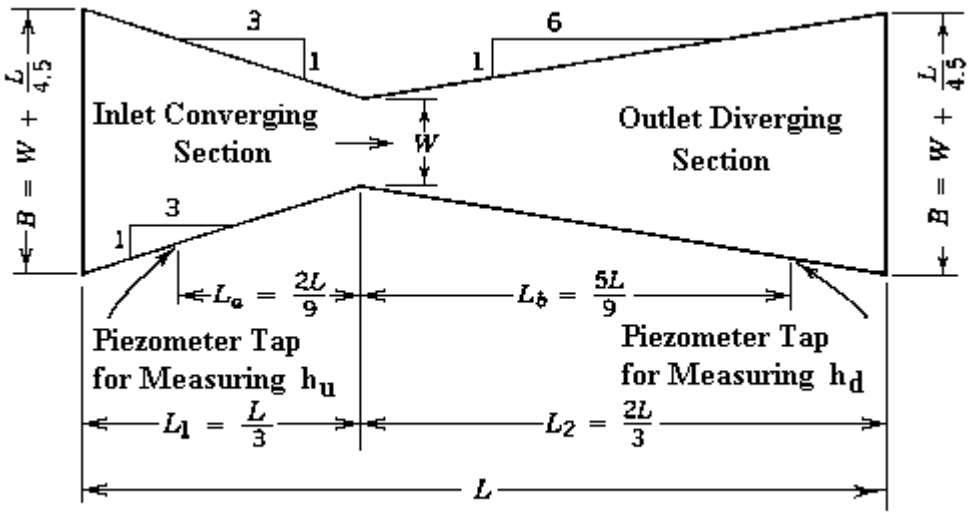
**submerged Flow** ให้ $S = \frac{H_b}{H_a}$

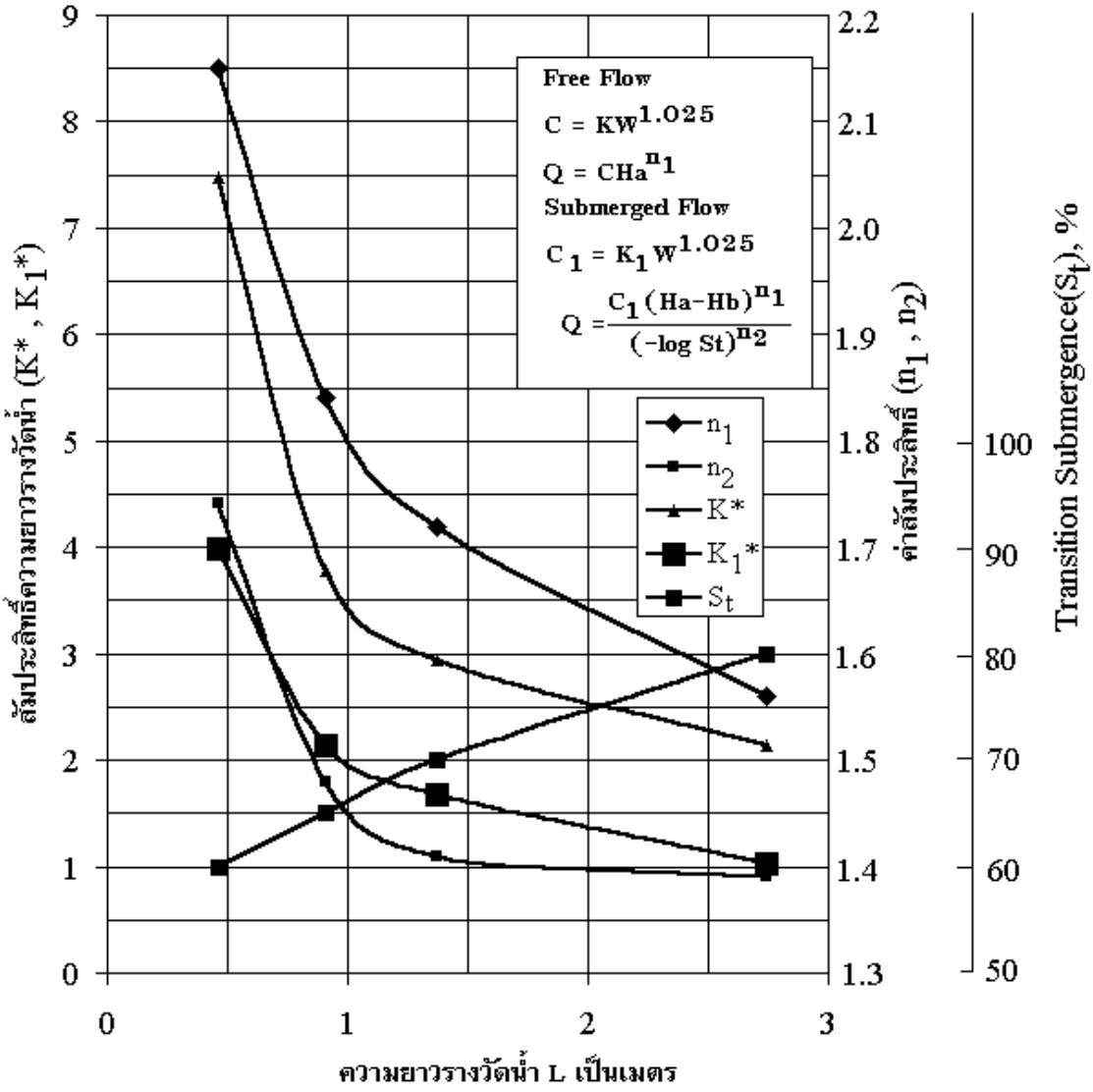
ถ้า $S > S_t$ (Transition Submergence) จากรูปที่ A-I แสดงว่า Submerged

$$Q_s = \frac{C_1(H_a - H_b)^{n1}}{(-\log s)^{n2}}$$

$C_1 = K_1 * W^{1.025}$

ค่า $K_1$, $n_1$, $n_2$ อ่านจากรูปที่ A-I เมื่อรู้ค่า L






**รูปที่ A-1 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Cut Throat Flume**

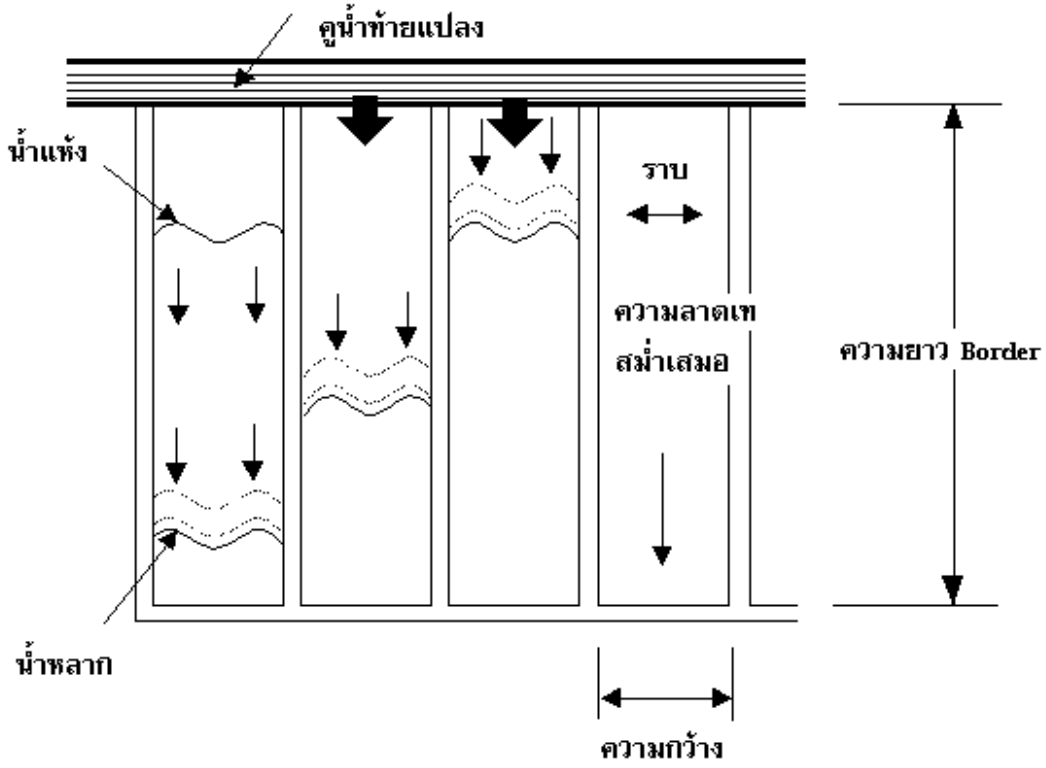
**ตารางที่ A-1 การไหลของน้ำผ่านไซฟอน (ลิตร/วินาที)**

| เส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.) | เฮด- ซม. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 7.5 | 10 | 12.5 | 15 | 17.5 | 20 |
| 4 | 0.75 | 0.91 | 1.06 | 1.18 | 1.29 | 1.40 | 1.49 |
| 5 | 1.17 | 1.43 | 1.65 | 1.85 | 2.02 | 2.18 | 2.33 |
| 6 | 1.68 | 2.06 | 2.38 | 2.66 | 2.91 | 3.14 | 3.36 |
| 7 | 2.29 | 2.80 | 3.24 | 3.62 | 3.96 | 4.28 | 4.58 |
| 8 | 2.99 | 3.66 | 4.23 | 4.72 | 5.18 | 5.59 | 5.98 |
| 9 | 3.78 | 4.63 | 5.35 | 5.98 | 6.55 | 7.07 | 7.56 |
| 10 | 4.67 | 5.72 | 6.60 | 7.38 | 8.09 | 8.73 | 9.34 |

# บทที่ 4
# การออกแบบระบบการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนยาว
# (Border Irrigation System Design)

## 4.1 คำนำ

การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวที่จะกล่าวถึงในบทนี้คือแบบ Graded Border ซึ่งการให้น้ำแบบนี้กระทำโดยการเปิดน้ำเข้าทางหัวแปลง แล้วปล่อยให้น้ำไหลท่วมเป็นผืนระหว่างคันดินสองคัน โดยมีทิศทางการไหลของน้ำตามความลาดเทของพื้นที่ซึ่งอยู่ในแนวเดียวกับคันดินทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ลักษณะแปลงแบบ Graded Border โดยทั่ว ๆ ไปคือแคบและยาว




**รูปที่ 4.1 การชลประทานแบบท่วมเป็นผืนยาว**

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

## 4.2 ขนาดและรูปร่างแปลง (Size and Shape)

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

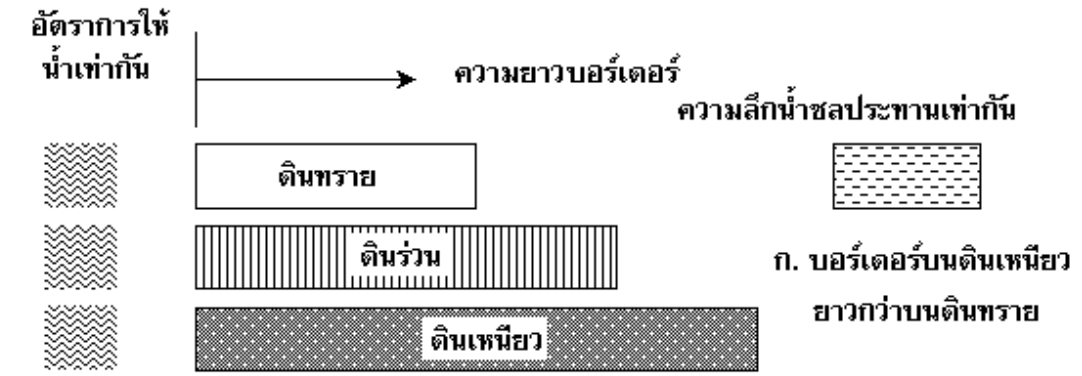
ขนาดและรูปร่างแปลง Border ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายตัว เช่น ชนิดดิน อัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้างแปลง (Unit Stream Size) ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง ความลาดเทของแปลง ขนาดและรูปร่างพื้นที่ และวิธีการปฏิบัติงานในฟาร์ม

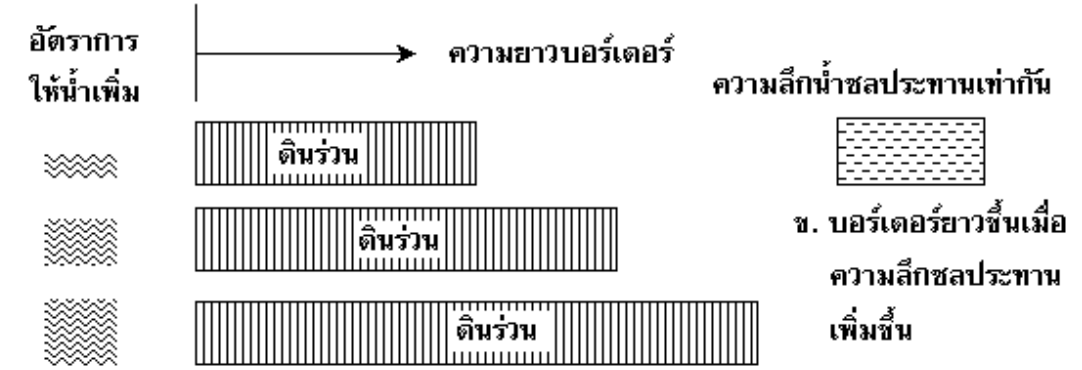
### 4.2.1 ดิน อัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ความลึกของน้ำชลประทาน และความลาดเท

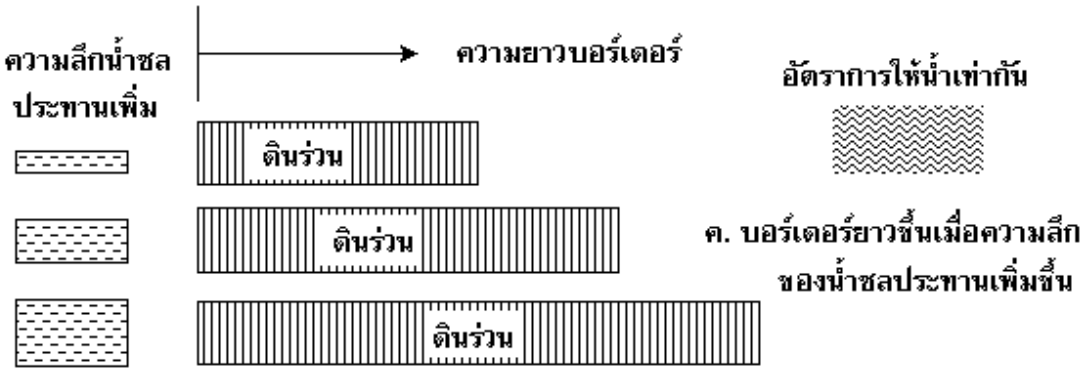
องค์ประกอบทั้ง 4 ตัวนี้ถือว่ามีอิทธิพลมากที่สุดต่อการกำหนดขนาดและรูปร่างแปลง Border อิทธิพลขององค์ประกอบแต่ละตัวที่มีต่อขนาดแปลง Border แสดงอยู่ในรูปที่ 4.2 ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

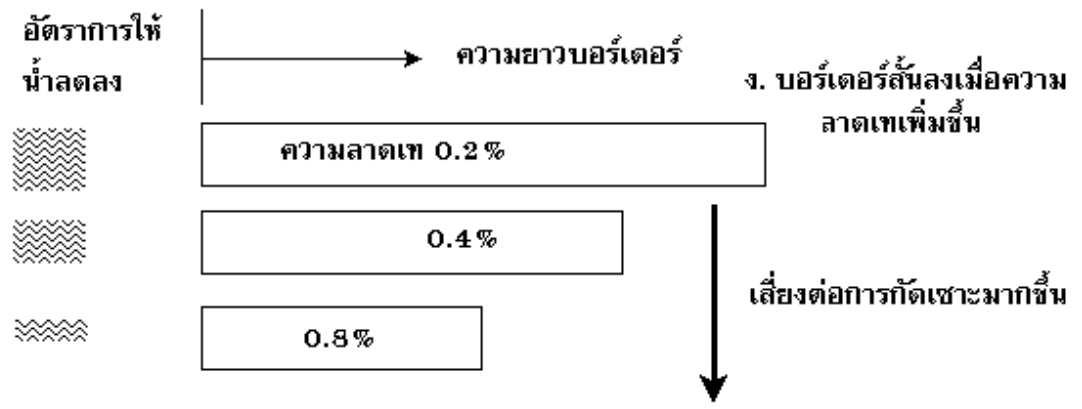
ถ้าองค์ประกอบตัวอื่น ๆ เช่น อัตราการให้น้ำ ความลึกน้ำชลประทานและความลาดเทเท่ากัน แปลง Border ในดินเหนียวจะยาวกว่าแปลง Border ในดินทราย ด้วยเหตุผลที่ว่าดินทรายมีอัตราการซึมสูง ถ้าแปลงยาวจะต้องให้น้ำด้วยอัตราสูงเพื่อให้น้ำไหลถึงท้ายแปลงและมีการแผ่กระจายสม่ำเสมอดี แต่ถ้าแปลงยาวมาก ๆ น้ำอาจไหลไม่ถึงท้ายแปลง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

กรณีที่ดินเป็นชนิดเดียวกัน และองค์ประกอบอื่น ๆ เหมือนกัน ความยาวแปลง Border จะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ถ้าอัตราการให้น้ำน้อยแปลงจะสั้น มิฉะนั้นน้ำอาจไหลไม่ถึงท้ายแปลงหรือไหลถึงแต่ใช้เวลานาน ลักษณะดังกล่าวจะทำให้น้ำแผ่กระจายไม่ดี และมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตรากสูง


อัตราการให้
น้ำเท่ากัน
ความยาวบอร์เตอร์
ความลึกน้ำชลประทานเท่ากัน
ดินทราย
ดินร่วน
ดินเหนียว
ก. บอร์เตอร์บนดินเหนียว
ยาวกว่าบนดินทราย


อัตราการ
ให้น้ำเพิ่ม
ความยาวบอร์เตอร์
ความลึกน้ำชลประทานเท่ากัน
ดินร่วน
ดินร่วน
ดินร่วน
ข. บอร์เตอร์ยาวขึ้นเมื่อ
ความลึกชลประทาน
เพิ่มขึ้น


ความลึกน้ำชล
ประทานเพิ่ม
ความยาวบอร์เตอร์
อัตราการให้น้ำเท่ากัน
ดินร่วน
ดินร่วน
ดินร่วน
ค. บอร์เตอร์ยาวขึ้นเมื่อความลึก
ของน้ำชลประทานเพิ่มขึ้น


อัตราการให้
น้ำลดลง
ความยาวบอร์เตอร์
ง. บอร์เตอร์สั้นลงเมื่อความ
ลาดเทเพิ่มขึ้น
ความลาดเท 0.2%
0.4%
0.8%
เสี่ยงต่อการกัดเซาะมากขึ้น

**รูปที่ 4.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดและรูปร่าง Border (วราวุธ และพงศธร. 2536)**

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

การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวในพื้นที่ที่มีความลาดเทจะเสี่ยงต่อการกัดเซาะผิวดิน 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

$$W = \frac{Q}{q} \qquad \text{----------(4.1)}$$

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

$$= 5 \text{ เมตร}$$

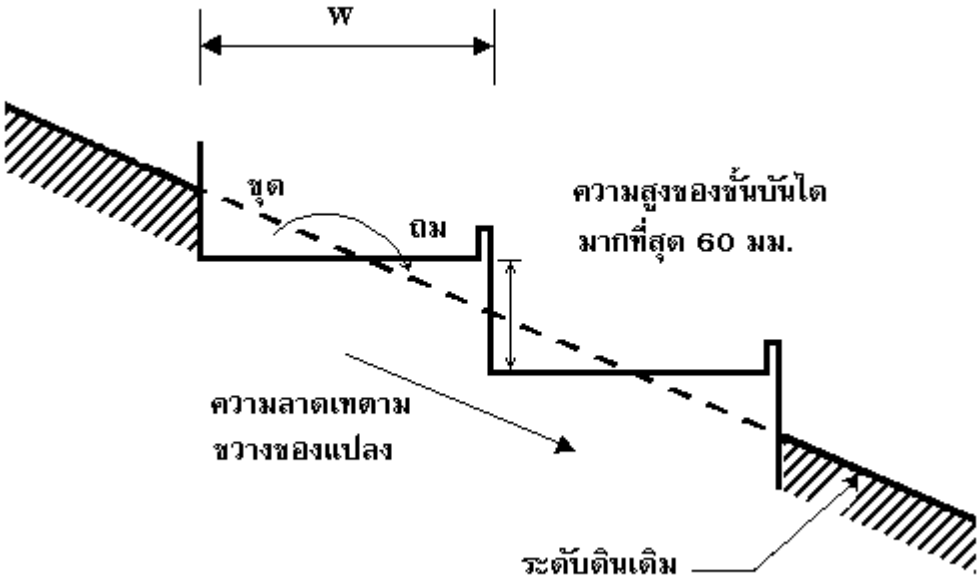
นอกจากนี้ความกว้างของ Border ยังขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ กรณีที่มีความลาดเทตามขวาง(Cross Slope) พื้นที่จะต้องออกแบบแปลง Border เป็นขั้นบันไดดังรูปที่ 4.3

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

$$W = \frac{6}{S} \qquad \text{----------(4.2)}$$

เมื่อ W = ความกว้างแปลงเป็นเมตร

S = ความลาดเทเป็น %




**รูปที่ 4.3 การทำแปลง Border แบบขั้นบันได (Vudhivanich. 1995)**

ยกตัวอย่าง แปลงมีความลาดเทตามขวาง S = 1%

W = 6 เมตร

ในปัจจุบันยังไม่มีวิธีการง่าย ๆ ในการคำนวณหาขนาดแปลง Border สำหรับสภาพดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทาน และความลาดเทต่าง ๆ กัน โดยทั่ว ๆ ไปการออกแบบขนาดแปลง Border จะอาศัยประสบการณ์การให้น้ำแบบนี้ที่ได้เคยทำกันมา อย่างไรก็ตามได้มีผู้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับอิทธิพลขององค์ประกอบหลักต่าง ๆ ต่อขนาดแปลง Border และได้จัดทำเป็นตารางคำแนะนำเบื้องต้นในการเลือกขนาดแปลง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

**ตัวอย่างการใช้ตารางที่ 4.1** 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 4.1** แนวทางในการเลือกขนาดแปลง Border

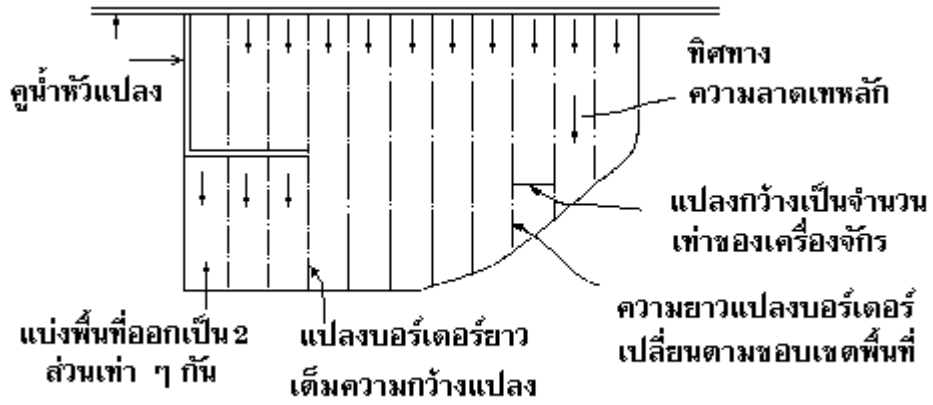
| ชนิดดิน | ความลึกของน้ำชลประทาน (มม.) | ความลาดเท % | ความกว้าง W (ม.) | ความยาว (ม.) | อัตราการให้น้ำต่อหน่วยความกว้าง(ลิตร/วินาที/เมตร) |
|---|---|---|---|---|---|
| ดินทราย | 100 | 0.2 | 12-13 | 60-100 | 10-15 |
| | | 0.4 | 10-12 | 60-100 | 8-10 |
| | | 0.8 | 5-10 | 75 | 5-7 |
| ดินร่วน | 150 | 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 |

### 4.2.2 รูปร่างและขนาดของพื้นที่

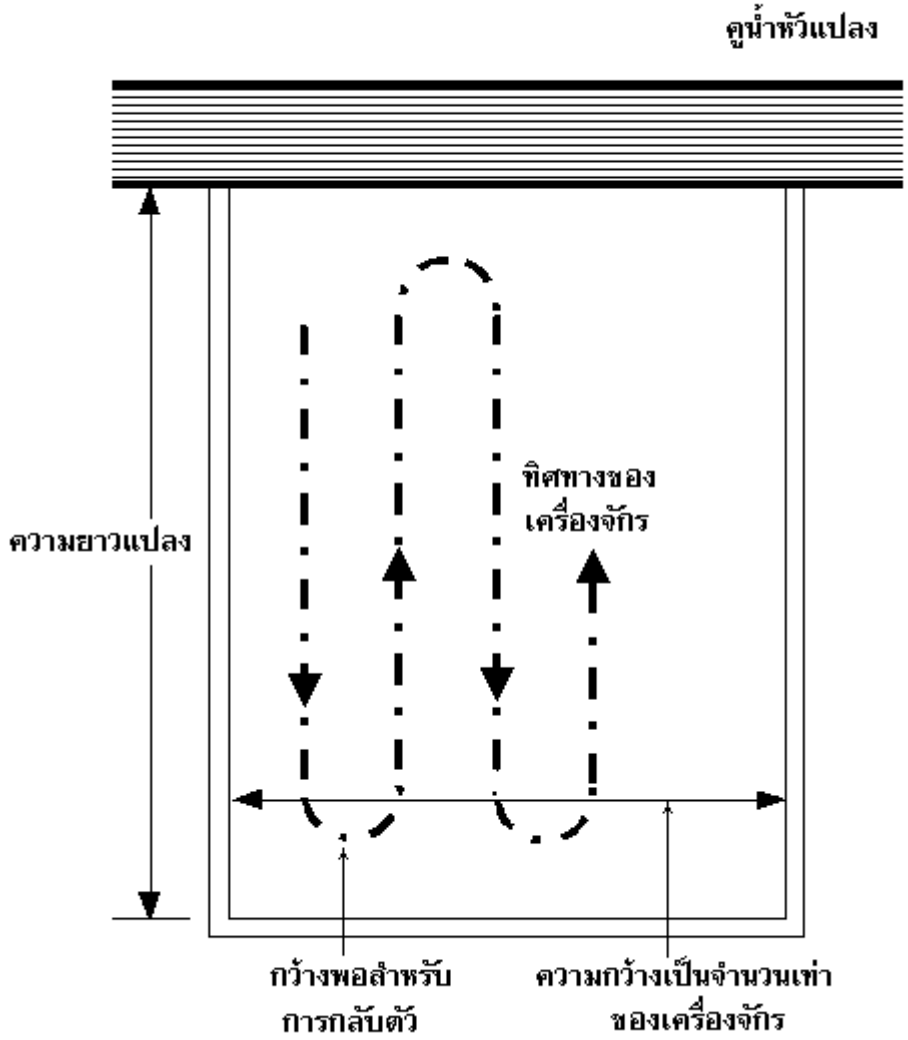
รูปร่างและขนาดพื้นที่จะเป็นขีดจำกัดในการเลือกขนาดแปลง Border ในพื้นที่ขนาดเล็ก แปลง Border อาจยาวเท่ากับขนาดพื้นที่และมีขนาดต่าง ๆ กันตามรูปร่างของพื้นที่ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แต่ในพื้นที่ขนาดใหญ่ปกติจะออกแบบให้ได้แปลง Border ที่มีความยาวเท่ากัน โดยอาจแบ่งพื้นที่ที่ยาวมาก ๆ ออกเป็น 2-3 ส่วน เท่า ๆ กัน การแบ่งแปลง Border ให้มีขนาดเท่ากันจะทำให้การให้น้ำทำได้ง่ายขึ้น

### 4.2.3 การปฏิบัติงานฟาร์ม (Farming Practice)

วิธีการให้น้ำแบบ Border เหมาะที่จะใช้กับฟาร์มขนาดใหญ่ เนื่องจากการให้น้ำแบบนี้ต้องการแปลงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ายาวเพื่อการกระจายน้ำที่ดี ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงการใช้เครื่องจักรกลการเกษตรด้วย กรณีนี้ความกว้างของแปลงควรจะกว้างพอให้เครื่องจักรเครื่องมือทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเช่น แปลงควรกว้างเป็นจำนวนเท่าความกว้างของเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.5



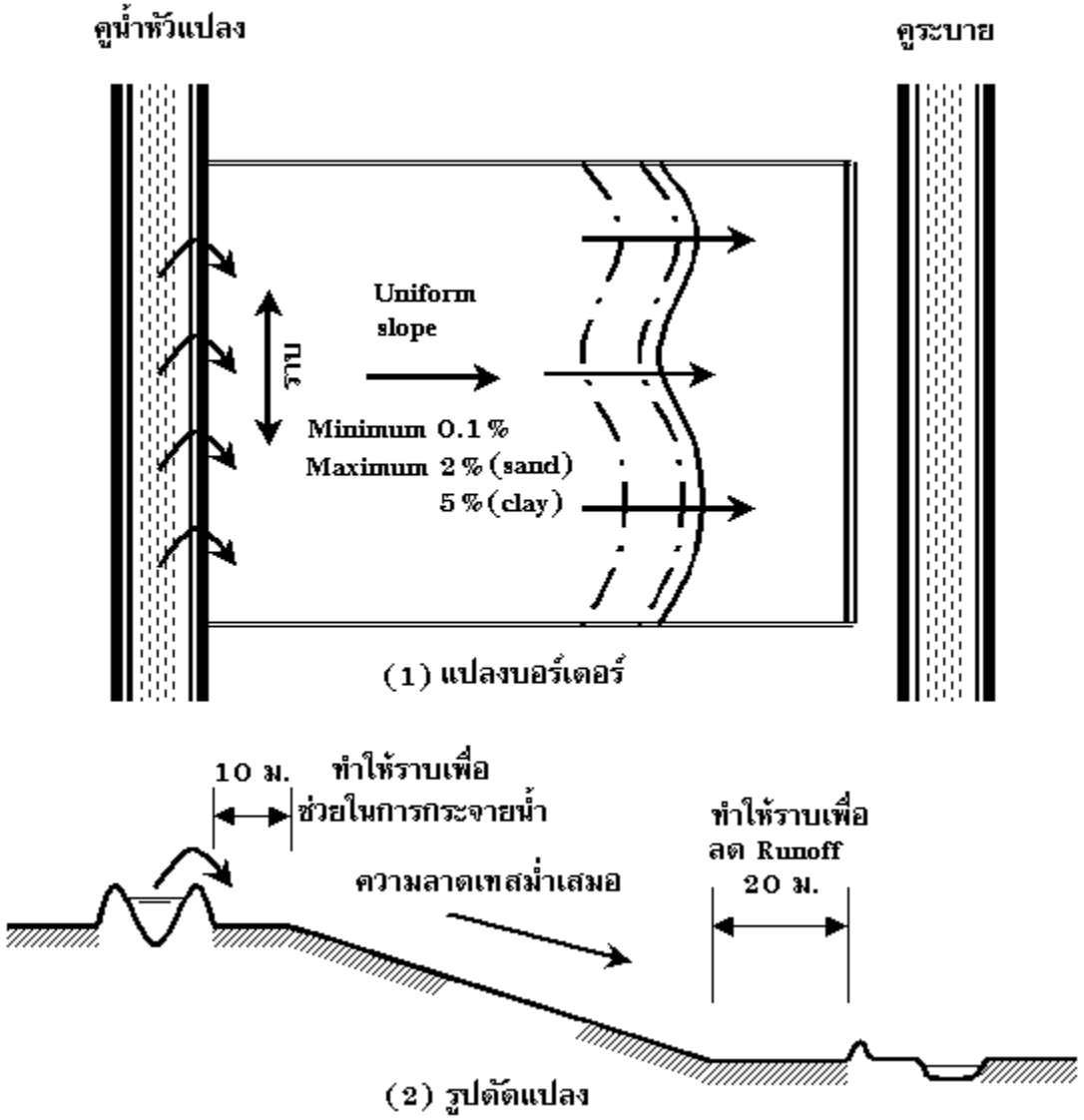

รูปที่ **4.4** ผลของขนาดและรูปร่างพื้นที่ต่อขนาดแปลง **Border**



**รูปที่ 4.5 ความกว้างของแปลง Border กรณีที่ใช้เครื่องจักรกลการเกษตร**

**4.3 ความลาดเทของ Border**

ในทางทฤษฎีแล้ว Border ควรมีความลาดเทสม่ำเสมอตลอดความยาวแปลง และไม่ควรมีความลาดเทตามขวางพื้นที่ ดังแสดงในรูปที่ 4.6




**รูปที่ 4.6 ความลาดเทของ Border**

Border ควรมีความลาดเทอย่างน้อยที่สุด 0.1 % เพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถระบายน้ำส่วนเกินออกจากแปลงได้ ส่วนความลาดเทมากที่สุดขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อการกัดเซาะของน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับฝนที่ตก ชนิดของดิน และพืชที่ปกคลุมดิน ดังแสดงในตารางที่ 4.2

บางครั้งนิยมปรับดินบริเวณ 10 เมตรจากหัวแปลงให้ราบเพื่อช่วยในการกระจายน้ำให้แผ่เต็มความกว้างได้ดีขึ้น และปรับดินบริเวณ 20 เมตรจากท้ายแปลงให้ราบเพื่อลดการไหลเลยท้ายแปลง ดังแสดงในรูปที่ 4.6

**ตารางที่ 4.2** ความลาดเทมากที่สุดของ Border (%) (วราวุธ และพงศธร. 2536)

| 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 |

## 4.4 การให้น้ำกับแปลง Border

สิ่งสำคัญในการให้น้ำกับแปลง Border คือการเลือกอัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้างให้เหมาะสมสำหรับดินและความลาดเทของแปลง และต้องหยุดการให้น้ำในเวลาที่เหมาะสม

การตัดสินใจเมื่อไรจึงควรหยุดการให้น้ำ มีแนวทางในการพิจารณาเบื้องต้นดังนี้ (Vudhivanich. 1988)

| ชนิดดิน | ควรหยุดการให้น้ำเมื่อน้ำไหลได้เป็นระยะทาง |
|---|---|
| ดินเหนียว | 0.6 |
| ดินร่วน | 0.7 - 0.8 |
| ดินทราย | เกือบถึงท้ายแปลง |

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

## 4.5 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบ Border

ถึงแม้ว่าจะสามารถให้น้ำแบบ Border ให้มีประสิทธิภาพสูงได้ แต่ผู้ที่ขาดความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์มักปฏิบัติงานผิดพลาดอันเป็นผลให้การแผ่กระจายน้ำไม่ดี และประสิทธิภาพการให้น้ำต่ำ ข้อผิดพลาดที่มักพบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบ Border ได้แก่

**4.5.1 การเตรียมดินไม่ดี**

ถ้าแปลง Border มีความลาดเทไม่สม่ำเสมอ จะทำให้น้ำแผ่กระจายไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตของพืช หรือกรณีที่แปลง Border มีความลาดเทตามขวาง น้ำจะไหลเอียงลงสู่ด้านต่ำดังรูปที่ 4.7 (2) แต่กรณีดังกล่าวอาจแก้ไขได้ชั่วคราว โดยการทำคันดินแบบแปลงให้แคบลง ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่น้ำไหลเอียงลงสู่คันแปลงด้านต่ำ

**4.5.2 มีดินหลายชนิดในแปลง**

ผลของการมีดินหลายชนิดอยู่ในแปลง Border เดียวกันจะเหมือนกับที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 3.9 ในบทที่ 3 วิธีแก้ไขคือต้องแบ่งแปลงให้มีเพียงดินชนิดเดียวในแปลง

**4.5.3 ใช้อัตราการให้น้ำผิด**

หลังจากที่ออกแบบและเตรียมแปลง Border แล้ว มีแต่เพียงอัตราการให้น้ำเท่านั้นที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างง่าย ๆ

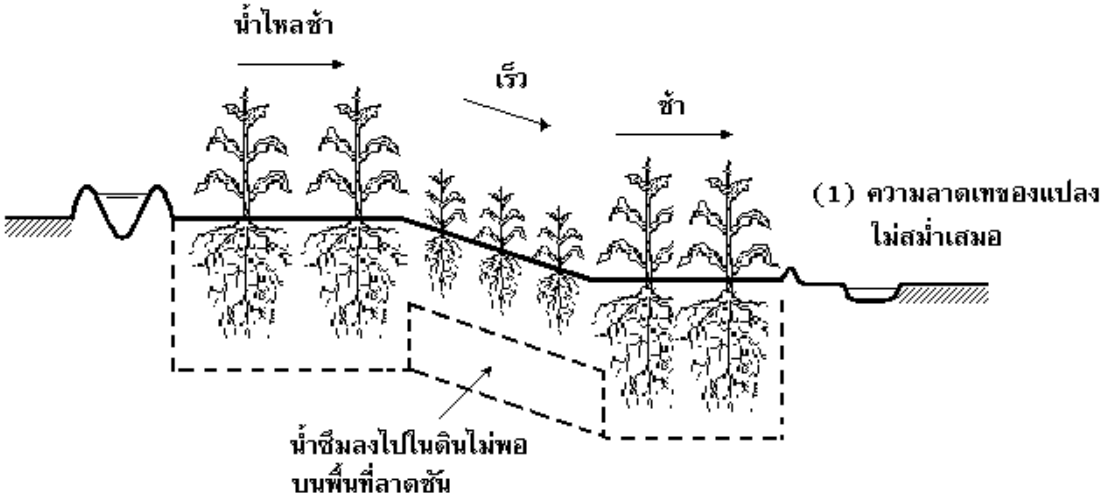
ถ้าอัตราการให้น้ำน้อยเกินไปน้ำจะไหลช้า จึงต้องให้น้ำเป็นเวลานานอันจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์มากเกินไป ดังรูปที่ 4.8 (1) ปัญหาดังกล่าวมักจะเกิดกับแปลงที่เป็นดินทราย

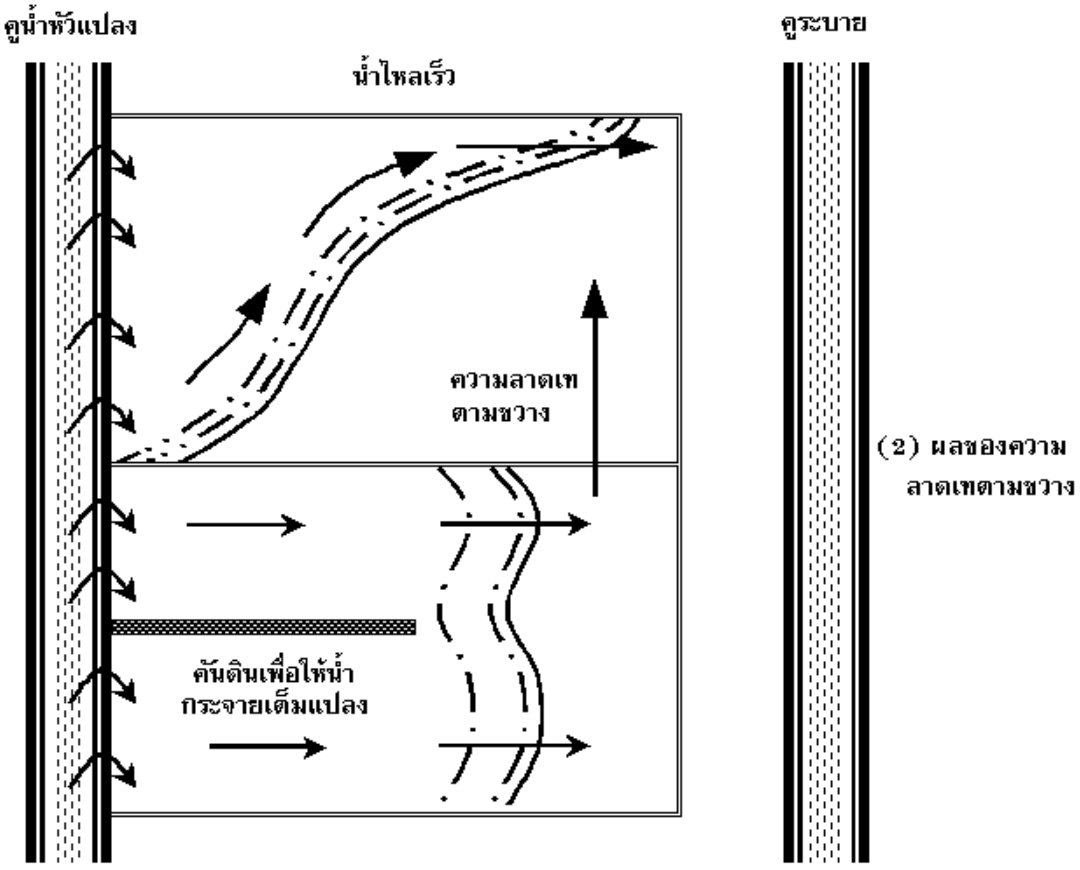
ในทางตรงกันข้าม ถ้าเลือกอัตราการให้น้ำมากเกินไป น้ำจะไหลถึงจุดที่ควรหยุดการให้น้ำเร็วเกินไป น้ำยังซึมลงไปในดินไม่เพียงพอ ดังรูปที่ 4.8 (2) กรณีดังกล่าวถ้าต้องการให้น้ำให้เพียงพอกับความต้องการ จะต้องปล่อยให้น้ำไหลเลยท้ายแปลงเป็นจำนวนมาก ปัญหาดังกล่าวมักเกิดกับแปลงที่เป็นดินเหนียว

**4.5.4 การกำหนดเวลาการให้น้ำแน่นอนตายตัว (Fixed Irrigation Schedule)**

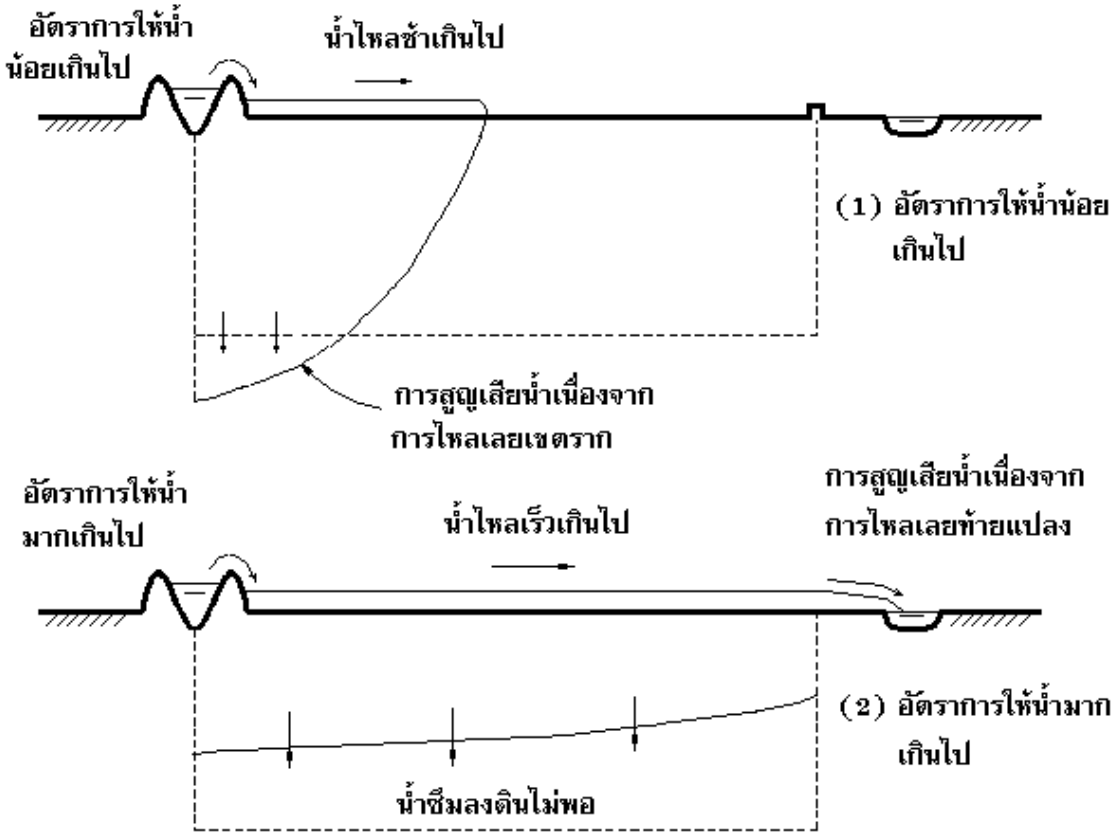
ถึงแม้ว่าเลือกอัตราการให้น้ำได้เหมาะสม แต่บางครั้งเกษตรกรจะเลือกระยะเวลาการให้น้ำ (Ta) ให้สอดคล้องกับการทำกิจกรรมอื่น ๆ ในฟาร์มเช่น กำหนดเวลาการให้น้ำเป็น 12

ชั่วโมง หรือ 24 ชั่วโมง ทั้ง ๆ ที่ความจริงแล้วมีความต้องการน้ำเพียง 6-10 ชั่วโมงเท่านั้น กรณีดังกล่าวจะก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ และยังชะล้างปุ๋ยออกจากดินอีกด้วย



**รูปที่ 4.7 การเตรียมแปลงไม่ดี**




**รูปที่ 4.8 การใช้อัตราการให้น้ำผิด**

### 4.6 ประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบ Border

ในแปลง Border ที่มีการออกแบบและจัดการที่ดี ประสิทธิภาพการให้น้ำอาจสูงถึง 80 % แต่ข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่กล่าวถึงในข้อ 4.5 จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงดังนี้

| ข้อผิดพลาด | % ประสิทธิภาพที่ลดลงจาก 80 % |
|---|---|
| 1. เตรียมแปลงไม่ดี | 10-20 |
| 2. มีดินมากกว่า 1 ชนิดในแปลง | 5-10 |

| | |
|---|---|
| 3. ใช้อัตราการให้น้ำผิด | 10-15 |
| 4. กำหนดเวลาการให้น้ำผิด | 10-20 |

## 4.7 การทดลองและประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว

หลังจากที่ได้ออกแบบและเตรียมแปลง Border ตามวิธีการที่กล่าวมาแล้ว ควรได้มีการทดลองและประเมินผลในสนามว่าแปลงที่ออกแบบทำงานได้ตามที่ต้องการหรือไม่ มีข้อบกพร่องตรงไหน เพื่อจะได้หาวิธีการปรับปรุงการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวให้ดีขึ้น

### 4.7.1 ข้อมูลที่ต้องการทราบ

ในการทดลองการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวนี้ จะต้องรวบรวมและจดบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ไว้ คือ

1. อัตราและระยะเวลาการให้น้ำในแปลงต่าง ๆ ถ้าเป็นการทดลองเพื่อหาขนาดของแปลงที่เหมาะสม ขนาดของแปลงที่ใช้ควรจะเลือกจากตารางที่ 4.1 แต่ควรจะมีขนาดยาวกว่าเล็กน้อย การทดลองควรจะทำอย่างน้อย 3 แปลง แต่ละแปลงมีขนาดความลาดเทและคุณสมบัติอย่างอื่นคล้ายคลึงกัน แต่ให้น้ำด้วยอัตราที่ต่างกัน กล่าวคือให้น้ำด้วยอัตราที่มากกว่า เท่ากับ และน้อยกว่าที่แนะนำไว้ในตาราง
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 ในทำนองเดียวกับการประเมินผลการให้น้ำแบบร่องคู ที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3

### 4.7.2 เครื่องมือที่จะต้องใช้ในสนาม

เครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้สำหรับการทดลองประเมินผลในสนาม ได้แก่

1. เทปวัดระยะแบบที่ใช้ในงานสำรวจ
2. หมุดไม้หรือเหล็กและฆ้อนสำหรับตอก
3. นาฬิกาจับเวลาหรือนาฬิกาข้อมือ

4. เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำเช่น ฝายแบบต่าง ๆ เพื่อใช้อัตราการให้น้ำและอัตราที่น้ำไหลออกทางท้ายแปลง
5. พลั่วขุดดิน และสว่านเก็บตัวอย่างดิน
6. เครื่องมือวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltrometer) ถังตักน้ำและตะขอวัดระดับน้ำ (Hook Gage) ประมาณ 3-5 ชุด
7. แบบฟอร์มสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ

**4.7.3 วิธีทดลอง**

การทดลองนี้ควรจะทำในระยะเวลาที่ดินนั้นมีความชื้นในขนาดเดียวกันกับที่ต้องการให้น้ำเมื่อมีพืชปลูกอยู่ และก่อนจะเปิดน้ำเข้าแปลงจะต้องเตรียมการดังต่อไปนี้ (วราวุธ. 2525) 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 จดเวลาและวัดอัตราดังกล่าวเป็นระยะ ๆ จนกว่าจะไม่มีน้ำไหลเลยพื้นที่ออกไป

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

5. ตรวจสอบว่าปริมาณน้ำที่ให้นั้นพอเพียงกับความต้องการหรือไม่ โดยใช้สว่านเจาะดินที่จุดต่าง ๆ มาหาปริมาณความชื้น การตรวจสอบนี้จะต้องทำหลังจากหยุดให้น้ำแล้ว 1-2 วัน

### 4.7.4 การวิเคราะห์ข้อมูลที่หาได้

เมื่อได้รวบรวมข้อมูลที่ได้จากการทดลองในสนาม จะสามารถนำมาวิเคราะห์

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

## 4.8 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว

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 34 ลิตร/วินาที
ความลึกของรากพืช 1.50 เมตร

ดินในแปลงเป็นดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)

ความชื้นที่ขาดหายไป (SMD) 70 มม.

เครื่องมือวัดน้ำที่ใช้เป็นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) ขนาด 6 นิ้ว

ข้อมูลที่ได้จากการหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินอยู่ในตารางที่ 4.3 และนำมาเขียนกราฟการดูดซึมสะสมดังรูปที่ 4.9 กราฟที่ได้นี้สมมติว่าเป็นค่าเฉลี่ยของทั้งแปลง (ในกรณีที่ได้ทดลองหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินหลายแห่งให้เขียนกราฟดูดซึมสะสมของทุกแห่งลงบนแผ่นเดียวกันแล้วจึงลากเส้นเฉลี่ยเพื่อใช้ค่าต่าง ๆ จากเส้นเฉลี่ยนี้)

สำหรับข้อมูลการไหลของน้ำในช่วงน้ำหลากและช่วงน้ำแห้งอยู่ในตารางที่ 4.4 ซึ่งสามารถนำมาเขียนกราฟดังรูปที่ 4.10

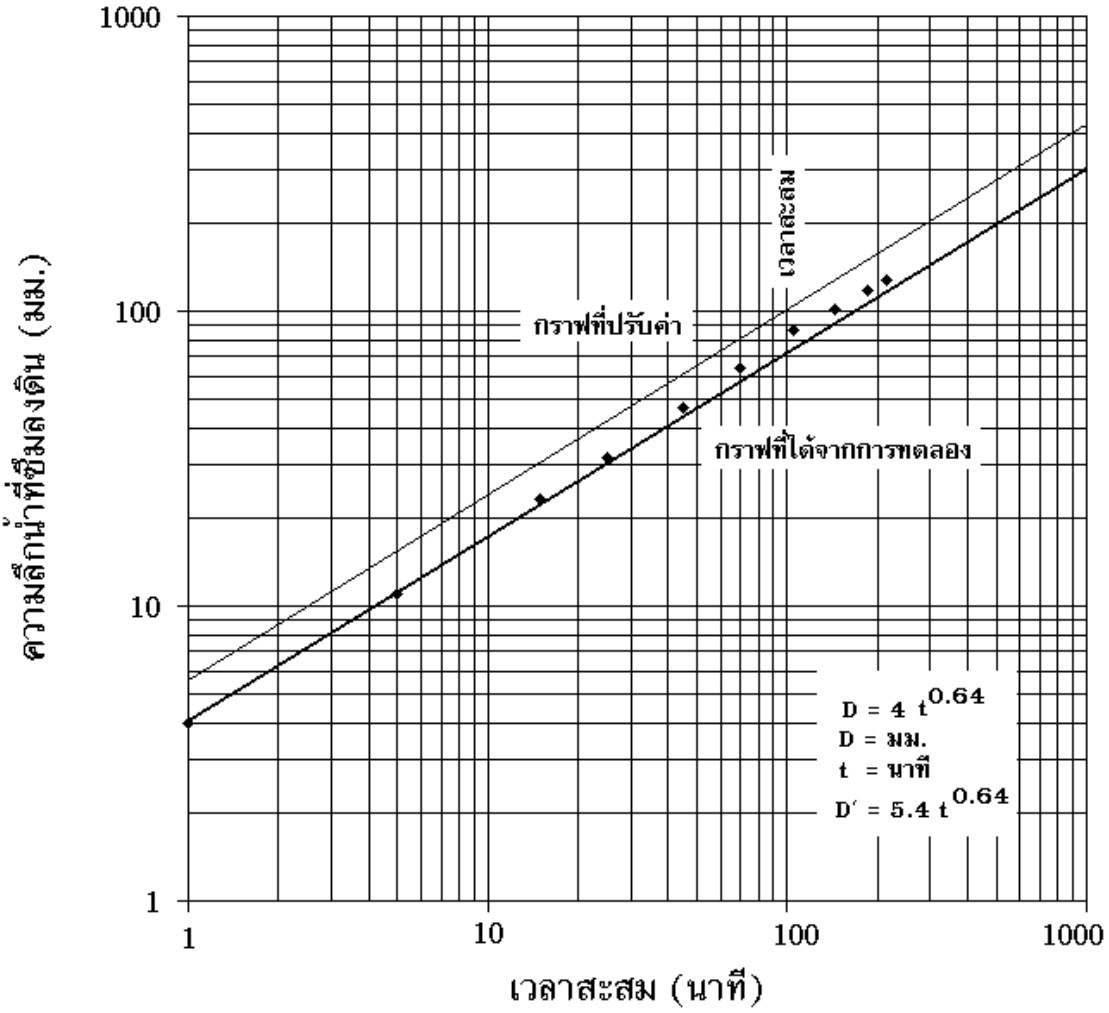
**ตารางที่ 4.3** ข้อมูลการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ซึ่งวัดโดย Infiltrometer

สถานที่ทำการวัด_____ผู้ทำการวัด_____วันที่ 16 ส.ค. 2530

เนื้อดิน SL ความชื้น 70 มม./ 150 ม. พืชที่ปลูก_____

หมายเหตุ ดินสังเกตว่ายังมีความชื้นเหลืออีกมาก

| ถังวัดที่ 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 4.9 กราฟดูดซึมสะสม (Cumulative intake curves)**

**ตารางที่ 4.4** ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว

สถานที่ทดสอบ _____ วันที่ 6 สค. 2530 ผู้ทำการทดสอบ วราวุธ

วิธีการให้น้ำ _____ เนื้อดิน S.L. พืชที่ปลูก _____ ความลึกของน้ำที่ต้องการให้ _____ มม.

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของแปลงที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำ หญ้าที่เพิ่งตัดใหม่ Parshall Flume 6”

น้ำหลาก หรือน้ำแห้ง น้ำหลาก และน้ำแห้ง

แปลงหรือร่องที่ _____

อัตราการให้น้ำ _____

หมายเหตุ _____

(ช่วงน้ำหลาก)

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

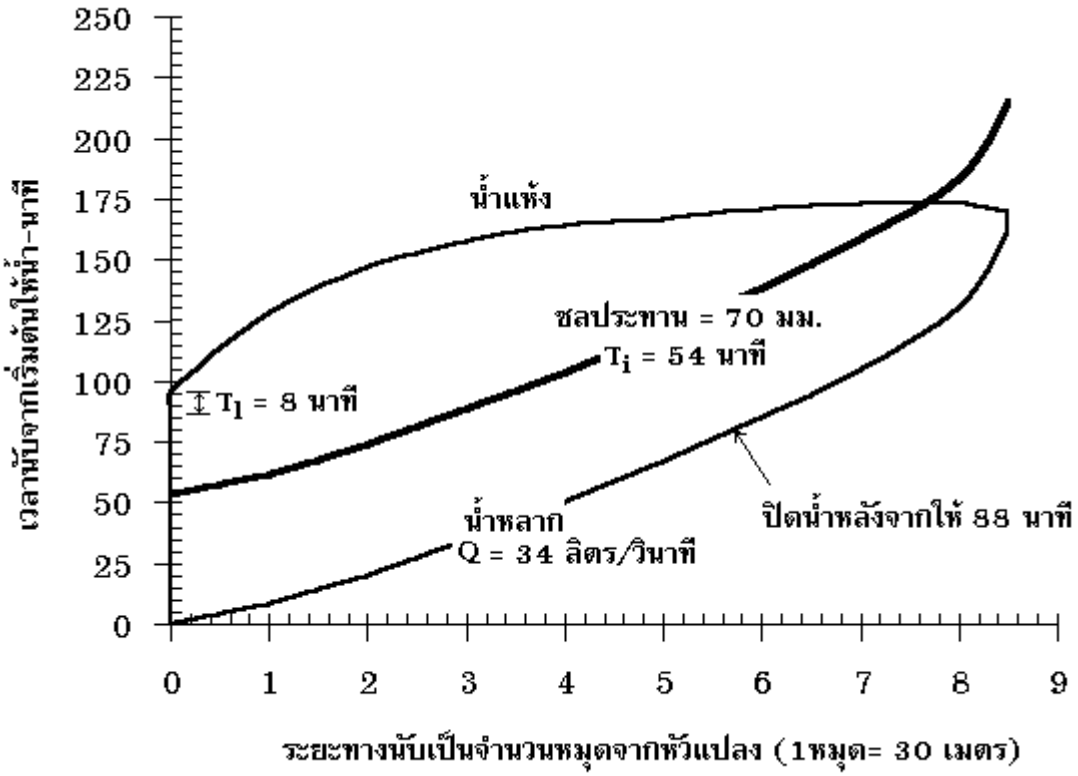
(ช่วงน้ำแห้ง)

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

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

ในกรณีที่เป็นข้อมูลช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ของการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว บรรทัดแรกของช่องควรเป็นเวลาที่เริ่มให้น้ำ บรรทัดที่สามเป็นเวลาที่หยุดให้น้ำ เวลาที่น้ำเริ่มแห้ง ทั้งสามบรรทัดนี้เป็นเวลาที่หมุดแรก

* หมุดแรกที่หัวแปลงนับเป็นศูนย์




**รูปที่ 4.10 กราฟน้ำหลาก-น้ำแห้ง ของการทดลอง**

### 4.8.1 การปรับกราฟการดูดซึมสะสม

จากกราฟน้ำหลาก - น้ำแห้ง ในรูปที่ 4.10 จะสามารถหาเวลาที่น้ำขังอยู่บนผิวดิน (To) ที่หมุดต่าง ๆ ได้ หลังจากนั้นจึงนำไปหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่าง ๆ ได้ โดยใช้กราฟการดูดซึมสะสมในรูปที่ 4.9 ดังตารางที่ 4.5

**ตารางที่ 4.5** การคำนวณหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลง

| หมุดที่ (I) | $To_i$ (นาที) (จากรูปที่ 4.10) | $D_i$ (มม.) (จากรูปที่ 4.9) |
|---|---|---|
| 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 |

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

$$= \frac{659.75}{8.5} \text{ มม.}$$

$$= 77.6 \text{ มม.}$$

ปริมาณน้ำที่ให้กับแปลงซึ่งวัดโดยรางวัดน้ำ จะหาได้จาก

$$QT = AD$$

พิจารณาว่า

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

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

ซึ่งมากกว่า $\bar{D}_{8.5}$ ที่หาได้จากกราฟการดูดซึมสะสม พิจารณาว่าการวัดอัตราการซึมของน้ำโดยใช้ Infiltrometer มีโอกาสผิดมากกว่าการวัดอัตราการไหลของน้ำโดยใช้รางวัดน้ำ จึงควรปรับแก้กราฟการดูดซึมสะสม โดยการเขียนกราฟเส้นใหม่ให้ขนานกับของเดิมแต่อยู่สูงกว่า และกราฟเส้นใหม่ผ่านจุด 100.6 มม. ที่เวลาซึ่งบนกราฟเดิมอ่านได้ 77.6 มม. กราฟเส้นใหม่นี้เรียกว่า “กราฟที่ปรับค่า (Adjusted Curve)” ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป

การตรวจสอบความถูกต้องของกราฟที่ปรับค่าแล้ว แสดงอยู่ในตารางที่ 4.6

**ตารางที่ 4.6** การคำนวณหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลงโดยใช้กราฟที่ปรับค่า

| หมุดที่ (i) | $To_i$ (นาที) | $D_i$ (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 |

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

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

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

### 4.8.2 ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ

พิจารณาว่าใช้ Distribution Uniformity ในสมการ 2.3 ในการหาความสม่ำเสมอในการให้น้ำในแปลง Border ที่ทดลองนี้

เมื่อนำค่า Di จากตารางที่ 4.6 ไปพล๊อตเทียบกับ i จะได้กราฟรูปร่างดังรูปที่ 4.11

ความยาวแปลงที่ทดลอง =210 เมตร หรือ 7 หมุด

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

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

= 102 มม.

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

= 93.3 มม.

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

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

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

**4.8.3 ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea) และประสิทธิภาพการเก็บกัก (Es)**

จากสมการที่ 2.5

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

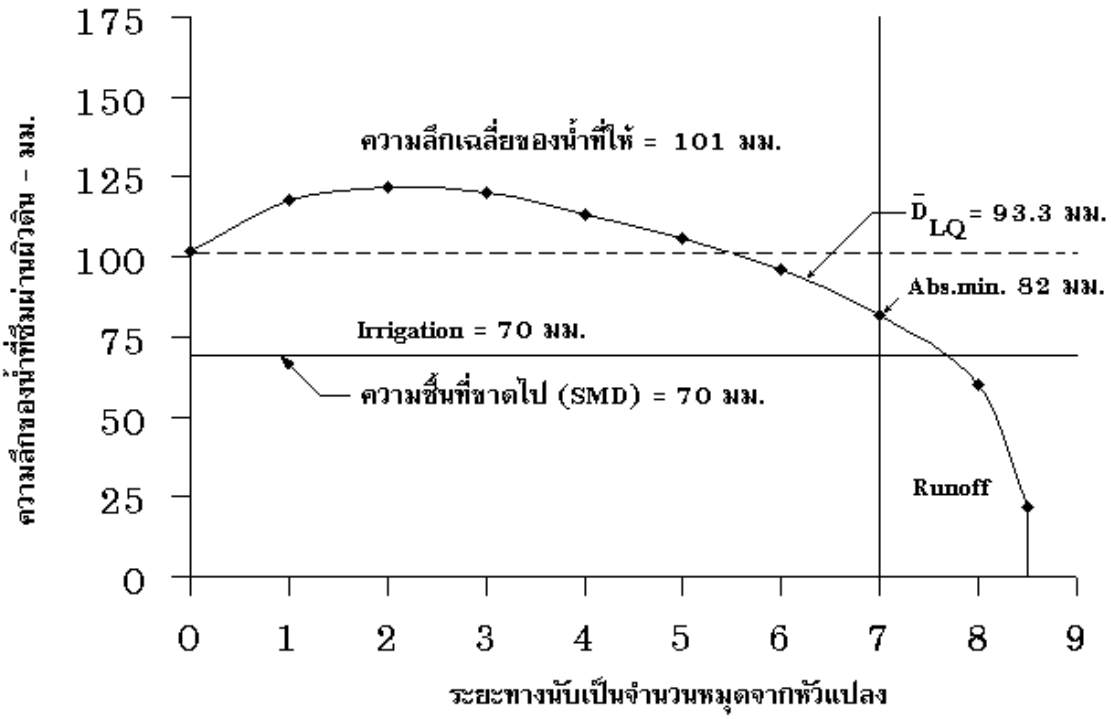
จากค่า $D_i$ สำหรับหมุด 0-7 ในตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่า

$V_{RZ}$ = SMD = 70 มม.

แสดงว่าให้น้ำมากเกินไปหรือ Es = 100 %

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

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




**รูปที่ 4.11 ความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินที่หมุดต่าง ๆ**

### 4.8.4 ปริมาณการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์

ผลการทดลองแสดงว่าให้น้ำมากเกินไป และมีการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งในรูปของการไหลเลยท้ายแปลง และไหลเลยเขตราก

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

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

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

$$DP = \bar{D}_7 - V_{RZ}$$

= 109.3 - 70 = 39.3 มม.

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

### 4.8.5 แนวทางการปรับปรุงการให้น้ำ

จากผลการวิเคราะห์หา DU, Ea, Es, RO และ DP จะเห็นได้ว่าการทดลองการให้น้ำดังกล่าวมีข้อบกพร่องที่เห็นได้ชัดเจนคือ เวลาในการให้น้ำ Ta = 88 นาที นั้นนานเกินไป ทำให้ $D_i$ มากกว่า SMD มาก การลดระยะเวลาการให้น้ำลงหรือชะลอการให้น้ำไปอีก 2-3 วัน เพื่อให้ SMD = 82 มม. (ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินในแปลงที่มีค่าน้อยที่สุด จากตารางที่ 4.6) จะลดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตราก และเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำ เช่น

ถ้าชะลอการให้น้ำเพื่อให้ SMD = 82 มม.

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

และ Es = 100 %

จะทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำอีก 9.9 % และลด DP ลง 9.9 %

ถ้าต้องลดเวลาการให้น้ำลงเพื่อให้ $D_7$ = 70 มม. จะหาได้จากกราฟการดูดซึมน้ำสะสมในรูปที่ 4.9 ประกอบกับความรู้เกี่ยวกับกราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้ง ซึ่งจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

เพื่อเป็นแนวทางในการพิจารณาปรับปรุงการให้น้ำให้เหมาะสม ทั้งในด้านการประหยัดค่าใช้จ่ายและสะดวกต่อการปฏิบัติ ควรจะได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มขึ้น

ปัจจัยหลัก 3 ประการที่ควรยึดถือและพิจารณาในการปรับปรุงการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว คือ

1. ขนาดของอัตราการให้น้ำ ซึ่งมีผลต่อกราฟน้ำหลากและระยะเวลาให้น้ำ
2. ความชื้นของดินที่ขาดหายไปก่อนการให้น้ำ ซึ่งมีผลต่อระยะเวลาให้น้ำ และความถี่ของการให้น้ำ
3. ความยาวของแปลงซึ่งบางครั้งอาจเปลี่ยนแปลงได้ถ้าใช้ท่อส่งน้ำที่เคลื่อนย้ายได้

ปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความสม่ำเสมอของชนิดดินตลอดแปลง และความลาดเทของแปลง ก็มีความสำคัญมากเช่นเดียวกัน แต่ปัจจัยเหล่านี้ยากต่อการเปลี่ยนแปลง นอกจากสำหรับการพิจารณาในพื้นที่แห่งใหม่ที่จะออกแบบการให้น้ำแบบนี้

สำหรับการให้น้ำอย่างเพียงพอและมีประสิทธิภาพนั้น ควรจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขดังนี้คือ

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

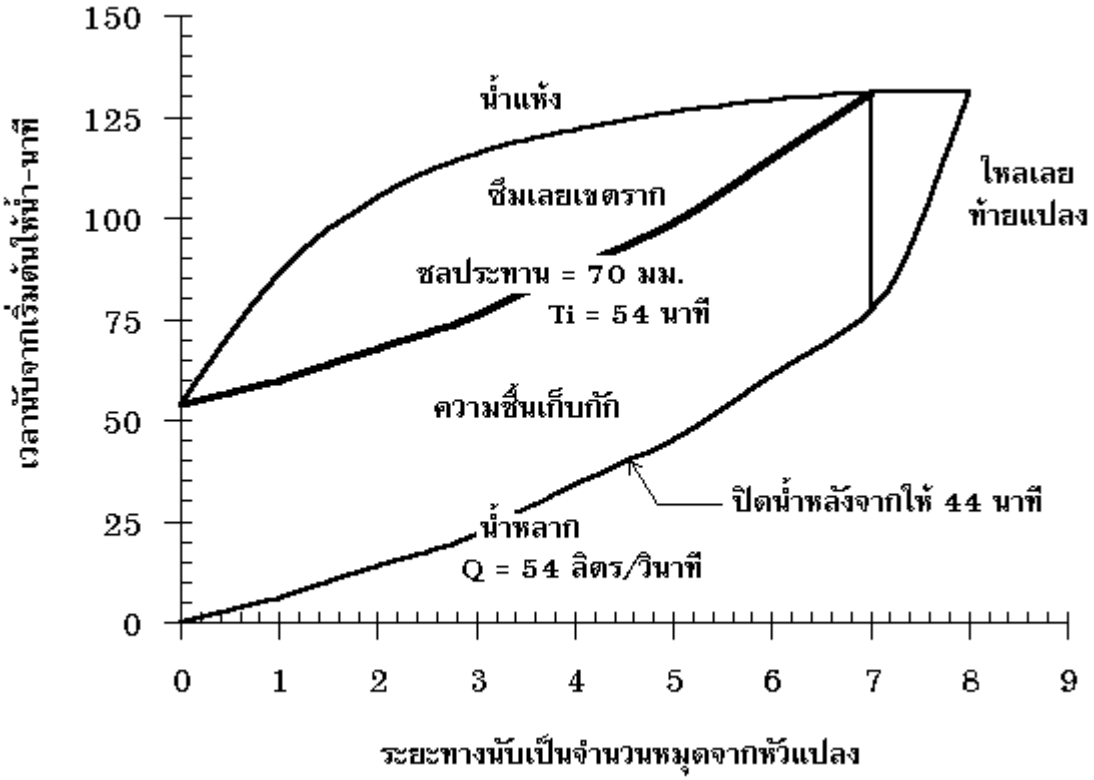
$$T_o = T_i = T_a + T_l$$

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

3. เมื่อปิดน้ำแล้วยังจะมีน้ำไหลไปจนถึงท้ายแปลงโดยมีปริมาณมากพอที่จะเพิ่มความชื้นของดินให้ได้ตามที่ต้องการตลอดแปลง ซึ่งโดยปกติแล้ว จะปิดน้ำที่ให้เมื่อน้ำที่ปล่อยเข้าแปลงไหลไประยะหนึ่ง ประมาณ 60-100 เปอร์เซ็นต์ของความยาวแปลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำ ชนิดของดิน และความลาดเทของแปลง (ตามที่ได้เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.4)

(1) <u>การหาขนาดอัตราการให้น้ำที่เหมาะสม</u>

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้รับปรากฏว่าขนาดของอัตราการให้น้ำที่ใช้อยู่นั้นน้อยเกินไป ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตรากมาก ($\approx$ 30%) ดังนั้นเพื่อหาขนาดอัตราการให้น้ำที่พอเหมาะว่าควรเป็นเท่าใด อาจหาได้ตามวิธีการดังรูปที่ 4.12




**รูปที่ 4.12 กราฟน้ำหลาก-น้ำแห้ง จากการคาดหมายในกรณีที่เพิ่มอัตราการให้น้ำ**

ในรูปที่ 4.12 กราฟต่าง ๆ ที่เขียนนั้นเป็นการประมาณหรือคาดว่าจะเกิดขึ้นภายหลังจากการเพิ่มขนาดอัตราการให้น้ำแล้ว ทั้งนี้โดยได้เงื่อนไขต่าง ๆ ตามที่ต้องการ กล่าวคือ

1. สำหรับกรณี SMD = 70 มม. กราฟน้ำแห้งควรเริ่มต้นที่เวลา 54 นาที หลังจากเริ่มให้น้ำและลากเส้นให้โค้งไปตามรูปร่างที่ได้จากการทดลองจริง (รูปที่ 4.10)

2. ที่หมุดที่ 7 จะกำหนดจุดขึ้นสำหรับกราฟน้ำหลากโดยให้อยู่ต่ำกว่ากราฟน้ำแห้ง 54 นาที ทั้งนี้เพื่อให้แน่นอนว่าที่จุดท้ายสุดของแปลงนั้นได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ

3. กราฟน้ำหลากจะเขียนตามรูปร่างคล้ายคลึงกับที่ได้จากการทดลอง(รูปที่ 4.10) แต่จะราบว่าเนื่องจากขนาดของอัตราการให้น้ำมากกว่า

4. เวลาที่น้ำขังหัวแปลง ($T_l$) ประมาณว่าเท่ากับ 10 นาที ทั้งนี้โดยการเทียบกับเมื่ออัตราการให้น้ำเท่ากับ 34 ลิตรต่อวินาทีนั้น $T_l$ เท่ากับ 8 นาที ถ้าเพิ่มอัตราการให้น้ำแล้ว $T_l$ ควร

จะมากกว่า ดังนั้นระยะเวลาที่ต้องส่งน้ำเข้าแปลง ($T_a$) จะเท่ากับ 54-10 หรือ 44 นาที และจากกราฟน้ำหลากในรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าขณะที่ปิดน้ำ น้ำในแปลงจะไหลไปได้ประมาณ 4.93 หมุด หรือ

ประมาณ 148 เมตร ซึ่งคิดเป็น 70 % ของความยาวแปลง ซึ่งอาจน้อยเกินไปสำหรับดินร่วนปนทราย แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าการปฏิบัติจริงพบว่าปิดน้ำเร็วเกินไปก็อาจยืดเวลาออกไปได้อีก

จากกราฟน้ำหลากและน้ำแห้งในรูปที่ 4.12 ที่สร้างขึ้นสามารถคำนวณหาความลึกเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลงได้ดังตารางที่ 4.7

**ตารางที่ 4.7** การหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่าง ๆ 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 |

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

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

$$QT = AD$$

$$Q = \frac{7\times8\times30\times85.2}{44\times60} = 54.2 \text{ ลิตร/วินาที}$$

$$\approx 54 \text{ ลิตร/วินาที}$$

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) x 0.25

= 87.75 มม.

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

= 79.3 มม.

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

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

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

หา $E_a$ และ $E_s$

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

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

$E_s$ = 100 %

ประสิทธิภาพการให้น้ำเพิ่มขึ้น 14.9 %

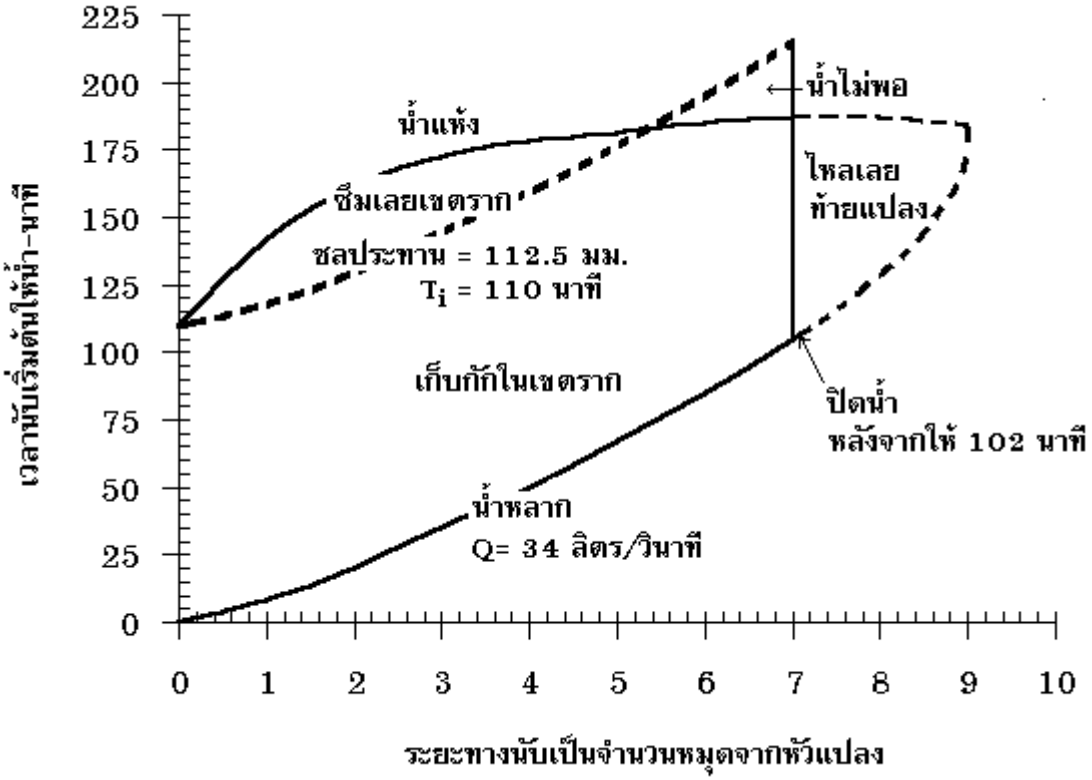
(2) การปรับปรุงกำหนดการให้น้ำ

ในการกำหนดการให้น้ำแต่ละครั้ง ความชื้นที่ยอมให้ลดลงเชิงปฏิบัติ (Management Allowable Deficiency, MAD) ควรจะผันแปรไปตามความลึกของเขตรากของพืช ทั้งนี้เพราะความลึกของเขตรากจะเปลี่ยนไปตามระยะการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นความชื้นที่ย่อมให้ลดลงเชิงปฏิบัตินี้อาจผันแปรภายในขอบเขตที่ยอมได้ ให้เหมาะสมกับความสะดวกในด้านแรงงาน การเจริญเติบโตของพืช และประสิทธิภาพของการชลประทานสำหรับในการทดลองนี้การให้น้ำกระทำเมื่อความชื้นที่ขาดไปเท่ากับ 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 % = 112.5 มม. อาจจะนำมาพิจารณาปฏิบัติได้ในการกำหนดการให้น้ำ

รูปที่ 4.13 แสดงกราฟต่าง ๆ ที่คาดหมายว่าจะเกิดขึ้นจากการเพิ่มปริมาณน้ำที่จะต้องให้เป็น 112.5 มม. ซึ่งจากรูปที่ 4.9 จะได้ค่าเวลาที่ต้องการให้น้ำ ($T_i$) เท่ากับ 110 นาที สำหรับอัตราการให้น้ำคงใช้อัตราเดิมคือ 34 ลิตร/วินาที การเขียนกราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้งนั้นคงใช้รูปร่างของกราฟเหมือนกับที่ได้จากการทดลองโดยไม่ดัดแปลง แต่มีข้อสังเกตุเพิ่มเติมเล็กน้อยในกรณีที่อาจจะผิดกันบ้างระหว่างกราฟที่ได้จากการทดลองกับกราฟที่คาดว่าจะเกิดขึ้นคือ เนื่องจากการให้น้ำในกรณีนี้ความชื้นในดินน้อยกว่าความชื้นในขณะทำการทดลองมาก ดังนั้นอัตราการดูดซึมน้ำของดินในช่วงแรกจะมีมากกว่าและทำให้อัตราน้ำหลากช้ากว่า นั่นคือทำให้กราฟน้ำหลากชันกว่าเล็กน้อย และเนื่องจากต้องเปิดน้ำนานกว่าจึงอาจทำให้ระยะเวลาน้ำขังหัวแปลง (Lag Time) มีมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามสิ่งที่อาจจะชดเชยค่าที่อาจผิดกันนี้คือ กราฟน้ำแห้งที่จะเกิดขึ้นแท้จริงแล้วจะชันกว่าเช่นกัน เพราะว่าการเปิดน้ำเข้าแปลงจะต้องทำนานกว่ามาก ทำให้อัตราการดูดซึมน้ำน้อยอันเป็นผลให้มีช่วงเวลาน้ำแห้งนานกว่า อย่างไรก็ตามการใช้กราฟที่ได้จากการทดลองนั้นถึงแม้จะไม่ถูกต้องนัก แต่ก็ให้ค่าพอใช้ได้ สำหรับการศึกษาเพื่อการปรับปรุง

จากรูปที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่ามีการให้น้ำพอดีที่หัวแปลง แต่มากเกินไปในช่วงต้นของสองในสามของความยาวแปลง และในส่วนท้ายของแปลงนั้นการให้น้ำไม่พอเพียงกับความต้องการ มีน้ำไหลท้ายแปลงปริมาณมาก เพราะการปิดน้ำกระทำเมื่อน้ำไหลจนถึงท้ายแปลงแล้ว อย่างไรก็ตามในแปลงที่ทดลองนี้เป็นส่วนครึ่งแรกของแปลงซึ่งยาว 420 เมตร ดังนั้นจึงคาดว่าถ้าเปิดน้ำจากท่อที่ระยะ 210 เมตร เมื่อปิดน้ำที่หัวแปลงแล้วจะทำให้ได้รับประสิทธิภาพการให้น้ำสูงขึ้น

เนื่องจากน้ำที่ไหลเลยท้ายแปลงในครึ่งแรกจะเป็นประโยชน์ในครึ่งหลัง และน้ำที่เปิดให้ในส่วนของครึ่งหลังของแปลงนี้จะดันน้ำให้เข้าไปทดแทนส่วนท้ายของครึ่งแรกที่น้ำไม่พอนั้นให้พอเพียงได้




**รูปที่ 4.13 กราฟน้ำหลาก-น้ำแห้ง จากการคาดหมาย เมื่อเพิ่มความชื้นที่ยอมให้ลดลงในเชิงปฏิบัติ (MAD)**

**4.9 เอกสารอ้างอิง**

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

2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบการชลประทานแบบผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

3. Vudhivanich, V. (1988), Surface Irrigation System Design, A Handout for A Training Course on Management of Rainfed Agriculture, at Continuing Education Center, AIT, Depertment of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakorn Pathom.

4. Vudhivanich, V. (1995). Border Irrigation: Design and Evaluation, Training Document on 4 th International Training Course Farm Irrigation and Water Management, held at Agricultural Engineering Training Center, Pathumthani, Thaiiland.

**4.10 แบบฝึกหัด**

**4.1** ในการทดลอง ประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border) สำหรับแปลงกว้าง 10 เมตร ยาว 300 เมตร มีความลาดเท 0.3 % ให้น้ำด้วยอัตรา 60 ลิตร/วินาที เป็นเวลา 95 นาที ได้ผลดังนี้

(1) สมการการซึมสะสม

$D = 2.5\ t^{0.7}$

D = การซึมสะสม , มม.

t = เวลา, นาที

(2) บันทึกการหลากและการแห้งของน้ำดังตาราง

(ระยะระหว่างหมุด = 30 เมตร)

| หมุดที่ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เวลาน้ำหลาก (นาที) | 0 | 5 | 17 | 32 | 47 | 64 | 82 | 103 | 127 | 158 | 200 |
| เวลาน้ำแห้ง (นาที) | 100 | 145 | 182 | 210 | 231 | 246 | 258 | 268 | 276 | 282 | 288 |

(3) มีน้ำไหลเลยท้ายแปลงซึ่งวัดด้วย Cut Throat Flume ได้ค่าดังนี้

| เวลา (นาที) | อัตราการไหลเลยท้ายแปลง (ลิตร/วินาที) |
|---|---|
| 200 | 0 |
| 210 | 6 |
| 220 | 6 |
| 230 | 6 |
| 240 | 6 |
| 250 | 6 |
| 260 | 6 |
| 270 | 0 |

(4) ความชื้นในดินที่ขาดหายไป (SMD) = 65 มม.

จงปรับสมการการซึมสะสม และวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ดังนี้

(1) DU, Ea, Es

(2) Deep Percolation และ Runoff

(3) Opportunity Time ($T_o$) และ Application Time ($T_a$) ที่เหมาะสม

(4) อัตราการให้น้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง ($Q_u$)

(5) ขนาดความกว้างแปลง ถ้า Q = 30 ลิตร/วินาที

(หมายเหตุ : สมมติใช้ $T_L$ (Lag time) เท่ากับที่ทดลองได้)

# บทปฏิบัติการที่ 4
# การทดลองและประเมินผลระบบชลประทานแบบท่วมเป็นผืนยาว

## 1. วัตถุประสงค์

การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border) เป็นวิธีการให้น้ำที่มีประสิทธิภาพสูงวิธีหนึ่ง ถ้ามีการออกแบบและจัดการที่เหมาะสม สิ่งสำคัญคือจะต้องเลือกขนาด รูปร่าง และความลาดเทของแปลง Border ให้เหมาะสมกับดิน อัตราการให้น้ำ ความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง ความลาดเทของพื้นที่ รูปร่าง และขนาดของพื้นที่ การปฏิบัติงานฟาร์ม พืชที่ปลูกและสภาพฝนที่ตก และต้องรู้จักเลือกอัตราการให้น้ำ และระยะเวลาที่ให้น้ำแก่แปลงที่เหมาะสม ตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่ามีตัวแปรหลายตัวที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนยาว จึงควรได้มีการทดลองและประเมินผลในสนาม ในทำนองเดียวกับการชลประทานแบบร่องคู เพื่อดูว่าระบบการชลประทานแบบท่วมเป็นผืนยาวนั้นสามารถให้น้ำได้สม่ำเสมอ มีประสิทธิภาพ และเพียงพอกับความต้องการน้ำมากน้อยเท่าใด เพื่อจะได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์แนวทางปรับปรุงระบบการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวให้มีประสิทธิภาพต่อไป

## 2. อุปกรณ์

1. กล้องระดับ
2. เทปวัดระยะ
3. นาฬิกา
4. หมุดไม้ขนาด 60 ซม. จำนวน 10 หมุด ต่อ 1 แปลง พร้อมฆ้อนสำหรับตอก
5. Cut Throat Flume ขนาด 30x90 ซม. จำนวน 3 ตัว ต่อ 1 แปลง
6. จอบหรือพลั่ว
7. บุ้งกี๋
8. ระดับน้ำช่างไม้
9. Soil Core Sampler
10. Double Ring Infiltrometer
11. แผ่นพลาสติกสำหรับปูรองกัน Infiltrometer
12. Hook Gauge 1 ตัว
13. ถังน้ำสำหรับเติม Infiltrometer
14. ไซฟอนขนาด $\phi$ 2” จำนวน 20 ท่อน ต่อ 1 แปลง
15. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกข้อมูลการซึมของน้ำลงไปในดิน

16. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกการไหลของน้ำผ่าน Cut Throat Flume
17. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกการไหลหลากและการแห้ง

**3. วิธีการทดลอง**

1. หาความชื้นในดินและความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินในแปลงอย่างน้อย 5 จุด โดยใช้ Soil Core Sampler
2. วัดความลาดเทของแปลง
3. วัดความกว้างของแปลง แล้วตอกหมุดทางด้านยาวจากหัวแปลงทุก ๆ 25 เมตร อย่างน้อย 10 หมุด
4. ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำคือ รางวัดน้ำแบบไม่มีคอที่หัวแปลงและท้ายแปลง
5. ติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินในแปลงทดลอง 3 จุด แล้วทำการวัดหาอัตราการซึมของน้ำลงไปในดิน
6. จดเวลาที่เริ่มให้น้ำ อัตราการให้น้ำและคอยตรวจสอบอัตราการให้น้ำในระหว่างการทดลอง
7. จดเวลาที่น้ำแผ่ไปถึงหมุดต่าง ๆ ถ้าหากการแผ่กระจายของน้ำไม่สม่ำเสมอก็ให้ใช้ค่าเฉลี่ย
8. จดเวลาและอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเลยพื้นที่ออกไป จดเวลาและวัดอัตราดังกล่าวเป็นระยะ ๆ จนกว่าจะไม่มีน้ำไหลเลยพื้นที่ออกไป
9. จดเวลาที่หยุดให้น้ำ และเวลาที่น้ำจุดต่าง ๆ แห้ง โดยปกติที่หัวแปลงซึ่งเป็นจุดสูงสุดจะแห้งก่อน ท้ายแปลงจะแห้งหลังสุด

**4. วิธีการวิเคราะห์**

4.1 <u>การวิเคราะห์เบื้องต้น</u>

1. หากกราฟหรือสมการการซึมของน้ำลงไปในดินในแปลง
2. หากราฟน้ำหลากและกราฟน้ำแห้ง
3. หาความชื้นในดินที่ขาดหายไป
4. การปรับแก้กราฟการซึมของน้ำลงไปในดิน

4.2 การวิเคราะห์หาประสิทธิผลของการให้น้ำ

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ
2. ประสิทธิภาพการให้น้ำ
3. ความเพียงพอในการให้น้ำ

4.3 การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิผลของการให้น้ำ

1. ผลของการเปลี่ยน Q
2. ผลของการเปลี่ยน L
3. ผลของการเปลี่ยนระดับความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ

**5. ข้อเสนอแนะ**

แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลการดูดซึมน้ำของดินโดย Infiltrometer

สถานที่ทำการวัด_____ผู้ทำการวัด_____ วันที่_____

เนื้อดิน_____ความชื้น_____พืชที่ปลูก_____

หมายเหตุ_____

| ถังวัดที่..... | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| เวลา-นาที | | | การซึมน้ำผ่านผิวดิน-ซม | | |
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | *ความลึก ซม. | ความลึกต่าง | ความลึกสะสม |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

* วัดจากปากถังถึงผิวน้ำ

แบบฟอร์มสำหรับจดบันทึกข้อมูลจากรางวัดน้ำ

ชนิดของรางวัดน้ำ_____ขนาด_____

สถานที่ทำการวัด_____

ผู้จดบันทึก_____

_____

| วัน เดือน ปี | เวลา | Ha<br>ซม. | Hb<br>ซม. | Hb/Ha | ลักษณะการไหล | อัตราการไหล<br>ลิตร/วินาที. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

**ข้อมูลช่วงน้ำหลาก (Advance Phase) และช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ในการให้น้ำทางผิวดินแบบท่วมเป็นผืนยาว**

สถานที่ทดสอบ_____ ผู้ทำการทดสอบ_____

วิธีการให้น้ำ_____ เนื้อดิน_____ พืชที่ปลูก_____ ความลึกของน้ำที่ต้องการให้_____ มม.

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของแปลงที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำ_____

น้ำหลากหรือน้ำแห้ง_____

แปลงหรือร่องที่_____

อัตราการให้น้ำ_____

หมายเหตุ_____

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| เวลา | | | หมุดที่ * |
|---|---|---|---|
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

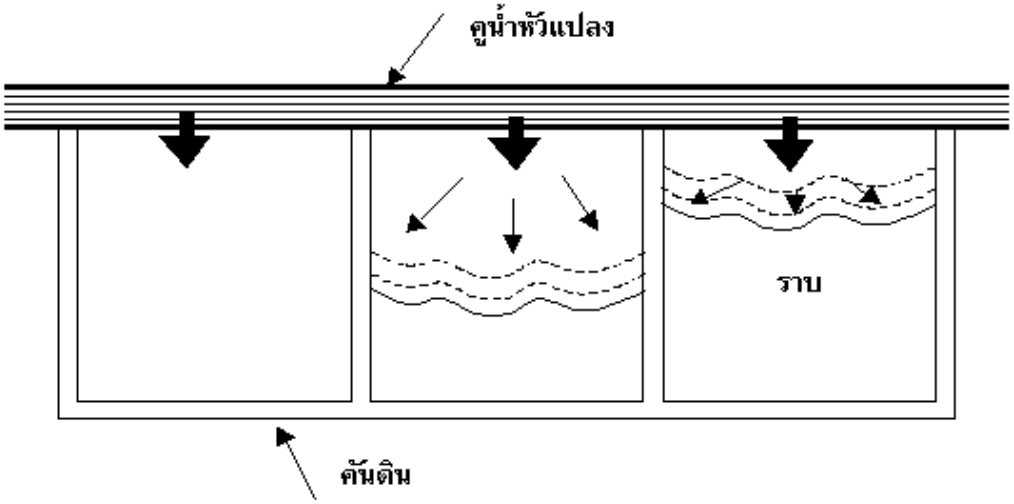
* หมุดแรกที่หัวแปลงนับเป็นศูนย์

ในกรณีที่เป็นข้อมูลช่วงน้ำแห้ง (Recession Phase) ของการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว บรรทัดแรกของช่องควรเป็นเวลาที่เริ่มให้น้ำ บรรทัดที่สองเป็นเวลาที่หยุดให้น้ำ บรรทัดที่สามเป็นเวลาที่น้ำเริ่มแห้ง ทั้งสามบรรทัดนี้เป็นเวลาที่หมุดแรก

# บทที่ 5
# การออกแบบระบบชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง
# (Basin Irrigation System Design)

## 5.1 คำนำ

การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างเป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันมากที่สุดของการให้น้ำทางผิวดิน หลักการให้น้ำแบบนี้ก็คือ แบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลง ๆ ระดับดินในแต่ละแปลงราบหรือเกือบราบ เมื่อให้น้ำแก่แปลง Basin น้ำจะกระจายท่วมผิวดิน แล้วค่อย ๆ ซึมลงไปในดิน ดังแสดงในรูปที่ 5.1 บางครั้งอาจให้น้ำท่วมผิวดินอยู่ตลอดเวลาเช่น ในนาข้าว เป็นต้น




**รูปที่ 5.1 การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง**

การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่างสามารถนำไปใช้กับพืช ดิน และวิธีการทำฟาร์มเกือบทุกชนิด อย่างไรก็ตาม การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่างจะให้ผลดีต่อเมื่อมีการออกแบบแปลง อัตราการให้น้ำ และมีวิธีการจัดการที่เหมาะสม

## 5.2 ขนาดแปลง Basin

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

### 5.2.1 ผลของชนิดดิน อัตราการให้น้ำ และความลึกของน้ำชลประทานต่อขนาดแปลง Basin

องค์ประกอบทั้ง 3 ตัวนี้ ถือเป็นองค์ประกอบหลักและมีความสำคัญที่สุดต่อการเลือกขนาดแปลง Basin ซึ่งแนวทางความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแปลงและองค์ประกอบทั้ง 3 ตัว ดังกล่าวแสดงอยู่ในรูปที่ 5.2

ในดินทรายซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินสูง ต้องการเบซิ่นขนาดเล็กเพื่อให้น้ำสามารถแผ่กระจายคลุมพื้นที่แปลงอย่างรวดเร็ว ในทางตรงกันข้ามแปลงเบซิ่นในดินเหนียวจะมีขนาดโตกว่า

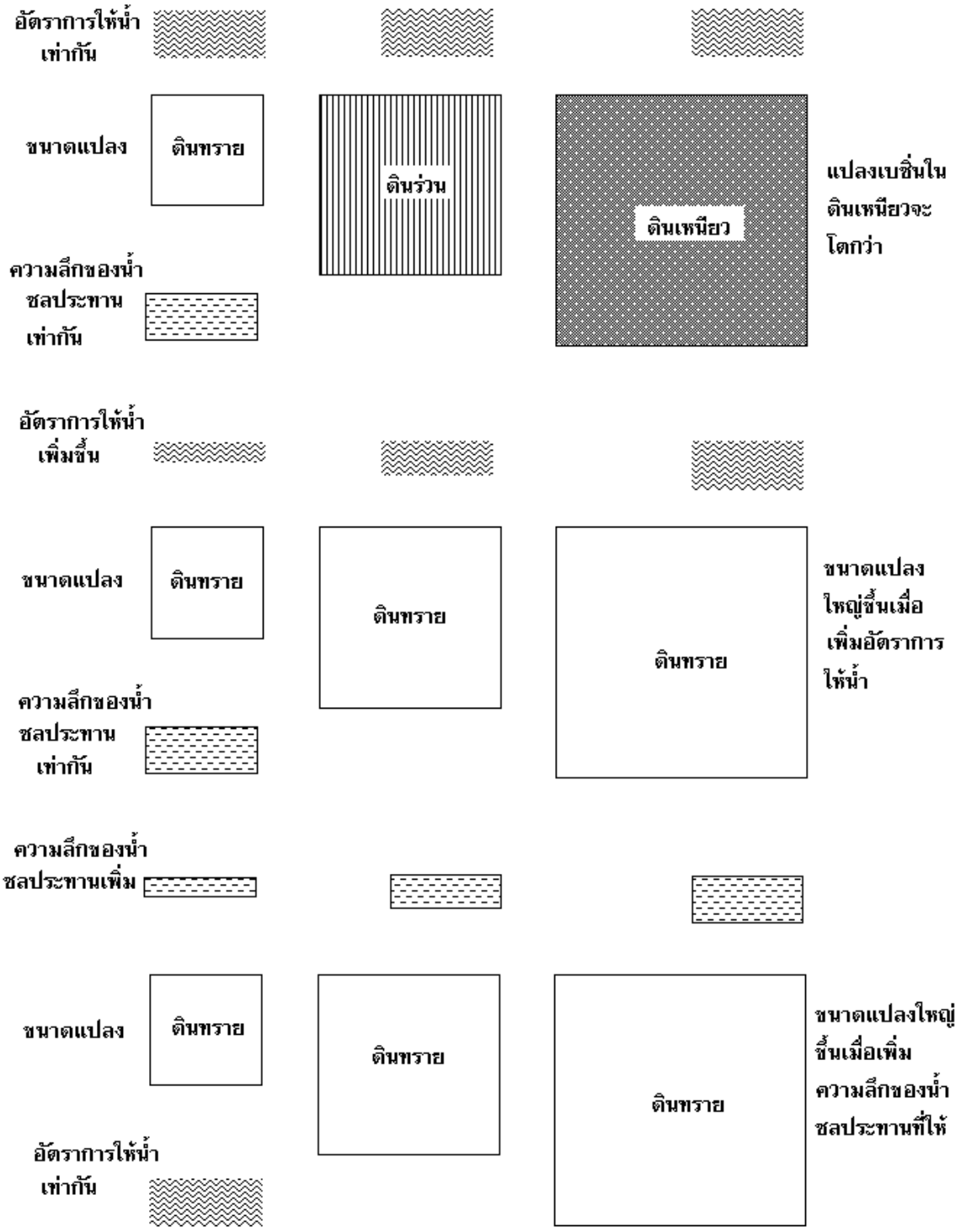
ในดินชนิดเดียวกันเช่น ในดินทราย ขนาดแปลงจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำถ้าอัตราการให้น้ำมากสามารถออกแบบแปลงเบซิ่นให้มีขนาดโตกว่าได้ ทั้งนี้เพราะมีอัตราการให้น้ำมาก น้ำสามารถแผ่กระจายคลุมแปลงเบซิ่นได้ในเวลาที่รวดเร็วกว่า

เมื่อองค์ประกอบอื่น ๆ เหมือนกัน ขนาดแปลงเบซิ่นจะขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง ขนาดแปลงเบซิ่นจะใหญ่ขึ้นเมื่อเพิ่มความลึกของน้ำชลประทานที่ให้

ในทำนองเดียวกับการชลประทานแบบร่องคูและแบบท่วมเป็นผืนยาวที่กล่าวมาแล้ว ปัจจุบันยังไม่มีวิธีการง่าย ๆ ในการคำนวณหาขนาดแปลงเบซิ่นที่เหมาะสม การออกแบบจึงต้องอาศัยประสบการณ์การให้น้ำชลประทานในบริเวณใกล้เคียงมาเป็นแนวทางในการออกแบบแปลงเบซิ่นเบื้องต้น แล้วจึงทำการทดลองประเมินผลเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ตารางที่ 5.1 คือคำแนะนำในการหาขนาดแปลงเบซิ่น ซึ่งได้จากประสบการณ์การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

จากตารางที่ 5.1 ถ้ากำหนดให้อัตราการให้น้ำเท่ากับ 30 ลิตร/วินาที แปลงเบซิ่นที่แนะนำสำหรับดินทรายคือ 0.125 ไร่ แต่ถ้าเป็นดินเหนียวควรใช้แปลงโตขึ้นอีก 10 เท่า หรือ 1.25 ไร่




**รูปที่ 5.2 องค์ประกอบที่มีผลต่อขนาดแปลงเบซิ่น (วราวุธ และพงศธร. 2536)**

**ตารางที่ 5.1** ขนาดของแปลงเบซิ่นที่แนะนำ (ไร่)

| อัตราการให้น้ำ | ชนิดของดิน | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ดินทราย | ดินร่วนปนทราย | ดินร่วนปนดินเหนียว | ดินเหนียว |
| 30 | .125 | .375 | .75 | 1.25 |
| 60 | .250 | .750 | 1.20 | 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 |

### 5.2.2 ผลของขนาดพื้นที่ต่อขนาดแปลงเบซิ่น

ขนาดพื้นที่เป็นขีดจำกัดในการเลือกขนาดแปลงเบซิ่น ในพื้นที่ขนาดเล็กปกติจะต้องใช้เบซิ่นขนาดเล็กตามไปด้วย และขนาดแปลงเบซิ่นอาจโตเท่ากับขนาดของพื้นที่ก็ได้ ส่วนในพื้นที่ขนาดใหญ่ ปกติจะออกแบบแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงเบซิ่นหลาย ๆ แปลง โดยให้แต่ละแปลงมีขนาดเท่ากันเพื่อให้ง่ายต่อการจัดการน้ำ

### 5.2.3 ผลของความลาดเทต่อขนาดแปลงเบซิ่น

เนื่องจากผิวดินในแปลงเบซิ่นต้องราบ ขนาดแปลงเบซิ่นจึงขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ แต่ถ้าพื้นที่ราบขนาดแปลงเบซิ่นจะขึ้นอยู่กับอัตราการให้น้ำและชนิดดินในแปลง

แต่ถ้าพื้นที่มีความลาดเทหรือเป็นคลื่น อาจต้องปรับพื้นที่เป็นขั้นบันไดเพื่อให้ผิวดินในแปลงเบซิ่นราบ ในการปรับพื้นที่เป็นขั้นบันได ปกติจะกำหนดให้ความสูงของขั้นบันไดไม่เกิน 150 มม. สำหรับกรณีที่ดินชั้นบนหนา เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการกัดเซาะ แต่ถ้าดินชั้นบนตื้นขั้นบันไดไม่ควรสูงกว่า 60 มม. เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียหน้าดินซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ กรณีนี้ขนาด

แปลงเบซิ่นจะขึ้นอยู่กับขนาดของขั้นบันได แต่ขนาดขั้นบันไดขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ ดังนั้นเมื่อทราบความลาดเทของพื้นที่จะสามารถหาขนาดความกว้างของขั้นบันไดได้จากสมการ

**สมการ**

$$W = \frac{K}{S} \qquad \text{----------(5.1)}$$

เมื่อ W = ความกว้างของขั้นบันได เป็นเมตร

S = ความลาดเทเป็น %

K = ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของดินชั้นบน

กรณีที่ดินชั้นบนหนา K = 15

กรณีที่ดินชั้นบนตื้น K = 6

### 5.2.4 การปฏิบัติงานฟาร์ม (Farming Practice)

ในฟาร์มขนาดเล็กซึ่งใช้แรงงานคนและสัตว์ในการทำงาน ปกติจะใช้เบซิ่นขนาดเล็ก ในฟาร์มขนาดใหญ่ซึ่งใช้เครื่องจักรเครื่องมือในการทำงาน ขนาดเบซิ่นจะขึ้นอยู่กับขนาดเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงานฟาร์ม ในทำนองเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในเรื่องการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวในบทที่ 4 นั่นคือความกว้างของเบซิ่นควรจะเป็นจำนวนเท่าของความกว้างของเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้

นอกจากนี้ขนาดเบซิ่นยังอาจขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่ปลูกเช่น การใช้เบซิ่นขนาดเล็กกับไม้ยืนต้นหรือผัก เป็นต้น

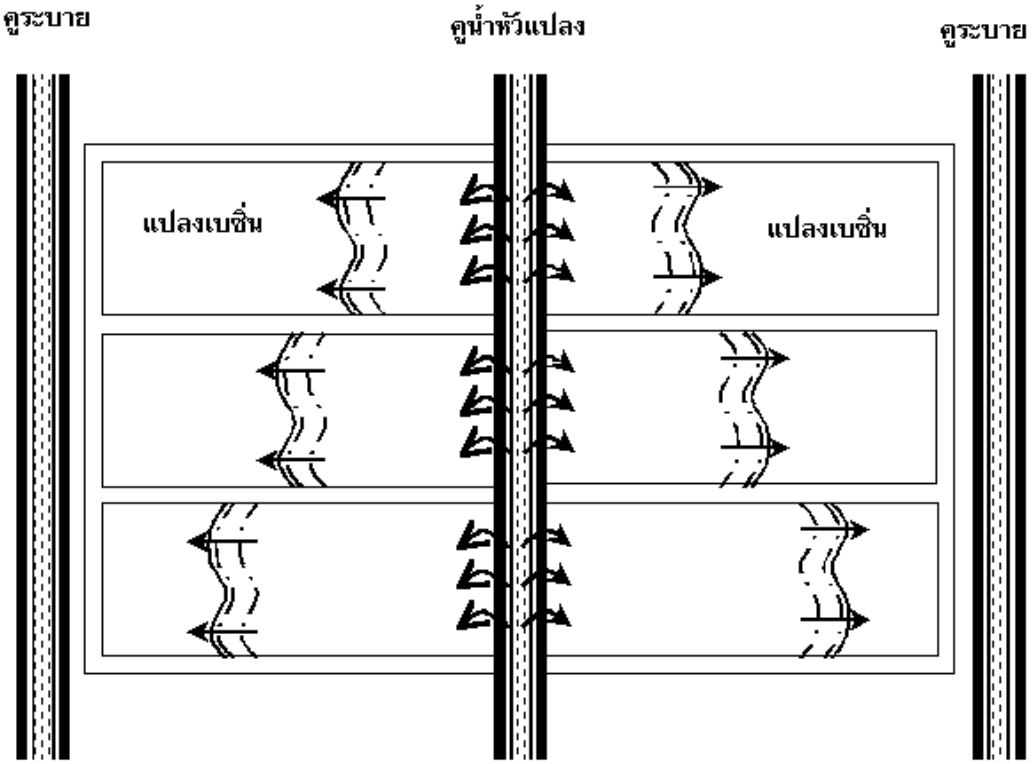
## 5.3 รูปร่างแปลงเบซิ่น

ความลาดเทคือองค์ประกอบสำคัญในการกำหนดรูปร่างแปลงเบซิ่น ถ้าพื้นที่ราบหรือมีความลาดเทสม่ำเสมอจะใช้เบซิ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อให้สามารถวางแนวคูส่งน้ำคูระบายน้ำและถนนได้ง่าย และเพื่อให้สามารถใช้เครื่องจักรกลการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ถ้าพื้นที่เป็นคลื่นเป็นเนินอาจใช้เบซิ่นซึ่งมีรูปร่างคดเคี้ยงไปตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Basin) ถ้าไม่ต้องการเสียค่าใช้จ่ายในการปรับพื้นที่หรือทำเบซิ่นขั้นบันไดซึ่งแพงมาก

เบซิ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยทั่ว ๆ ไปจะมีรูปร่างแคบแต่ยาว โดยมีด้านยาวตั้งฉากกับแนวคูส่งและคูระบาย ดังแสดงในรูปที่ 5.3 เบซิ่นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังกล่าวจะช่วยประหยัด

ค่าใช้จ่ายในการทำคูส่ง คูระบาย และถนน และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานและบำรุงรักษาระบบการกระจายน้ำในแปลงอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าสามารถออกแบบให้สามารถให้น้ำได้ทั้ง 2 ด้านของคูน้ำ




**รูปที่ 5.3 ลักษณะการจัดแปลงเบซิ่นที่เหมาะสม**

## 5.4 พืชที่ปลูก

เบซิ่นเหมาะสำหรับใช้ให้น้ำกับพืชมากมายหลายชนิด ทั้งข้าวที่ชอบให้น้ำท่วมขัง หญ้า และพืชที่ปลูกเป็นแถวเป็นแนวเช่น ฝ้าย ข้าวโพด ถั่วลิสง และไม้ผล

ในสวนผลไม้จะสามารถดัดแปลงเบซิ่นให้เป็นไปตามความต้องการของต้นไม้ที่กำลังเจริญเติบโตได้เช่น ใช้เบซิ่นขนาดเล็กรอบโคนต้นไม้ขณะที่พืชยังเล็ก ครั้นเมื่อพืชโตขึ้นจึงขยายขนาดของเบซิ่นให้ใหญ่ขึ้น

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

**5.5 คันดิน (Earth Bunds)**

รอบ ๆ แปลงเบซิ่นจะมีคันดินขนาดเล็กเพื่อเก็บน้ำไว้ในเบซิ่น ขนาดและรูปร่างของคันดินขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำชลประทานที่ให้ ฟรีบอร์ดที่ต้องการ ขนาดคลื่น และเครื่องจักรกลที่ใช้

ปกติคันดินจะสูง 150-300 มม. เหนือผิวดิน แต่ถ้ามีคลื่นขนาดใหญ่ คันดินจะต้องสูงขึ้นเพื่อให้มีฟรีบอร์ดมากขึ้น ดังรูปที่ 5.4

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

คันดินในแปลงที่มีการใช้เครื่องจักรกลการเกษตร จะต้องสร้างให้เครื่องจักรสามารถขับผ่านคันดินให้สะดวกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.4

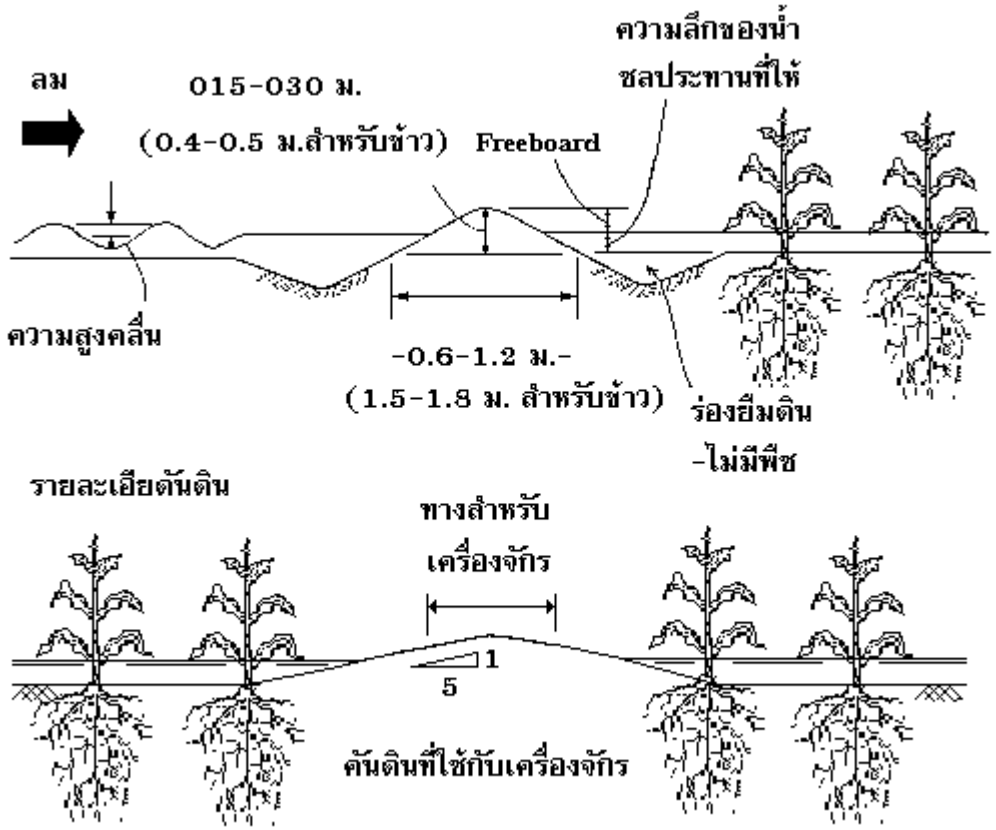
การสร้างคันดินและแปลงเบซิ่นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. วางแนว (Setting Out) โดยใช้ธงหรือปูนขาวโรยทำแนว

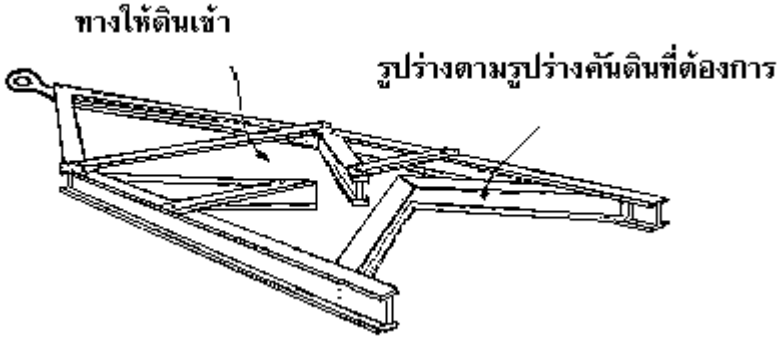
2. หาดินมาปั้นทำคันดิน (Collecting Soil) ซึ่งอาจทำด้วยแรงคนหรือใช้รถแทรกเตอร์ลากผ่านไถก็ได้ ปกติจะเอาดินจากบริเวณใกล้เคียงแนวคันดิน กรณีนี้จะก่อให้เกิดร่อง (Borrow Furrow) ขึ้น พืชที่ปลูกในบริเวณร่องจะไม่ค่อยโต เนื่องจากดินในร่องเปียกเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 5.4

3. การปั้นรูปคันดิน (Shaping) หลังจากที่ได้ดินพอที่จะทำคันดินแล้ว จะทำการปั้นรูปคันดิน โดยใช้รถแทรกเตอร์ลาก A-Frame ดังรูปที่ 5.5 แล้งจึงบดอัดด้วยลูกกลิ้ง ปกติจะปั้นรูปคันดินให้สูงกว่าที่ต้องการเล็กน้อย เพื่อเผื่อไว้สำหรับการทรุดตัวเมื่อดินเปียกน้ำ

4. การปรับแต่งผิวดินในแปลงให้ราบเรียบ (Smoothing) ซึ่งอาจทำโดยแรงคนสำหรับแปลงเบซิ่นขนาดเล็ก หรือใช้ Land Plane สำหรับแปลงเบซิ่นขนาดใหญ่




**รูปที่ 5.4 คันดินแปลงเบซิ่น**




**รูปที่ 5.5 A-Frame สำหรับขึ้นรูปคันดิน**

## 5.6 การให้น้ำแก่แปลงเบซิ่น

การให้น้ำกับแปลงเบซิ่นอาจทำได้โดยใช้ท่อไซฟอนหรือท่อสไปล์ (Spiles) ขนาดเล็ก หรือทำการฝังท่อขนาดใหญ่ผ่านคันดิน โดยจะต้องให้น้ำด้วยอัตราที่สูงพอที่น้ำจะไหลท่วมแปลงเบซิ่นในเวลาอันรวดเร็ว ปกติกำหนดว่าควรใช้กฎ $T_i/4$ เช่นเดียวกับการให้น้ำแบบร่องดู หลังจากที่ให้น้ำเสร็จแล้วน้ำจะท่วมขังอยู่ในแปลง และค่อย ๆ ซึมลงไปในดิน ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างนี้จะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตราก ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยท้ายแปลง แต่ถ้าให้น้ำด้วยอัตราที่เหมาะสมการสูญเสียดังกล่าวจะน้อย

เมื่อพิจารณาจากสภาพแปลงแล้ว การให้น้ำแก่แปลงเบซิ่นอาจแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ 1. การให้กับแปลงเบซิ่นโดยตรง (Direct Supply) และ 2. การให้แบบขั้นบันได (Cascade Supply)

### 5.6.1 การให้กับแปลงเบซิ่นโดยตรง

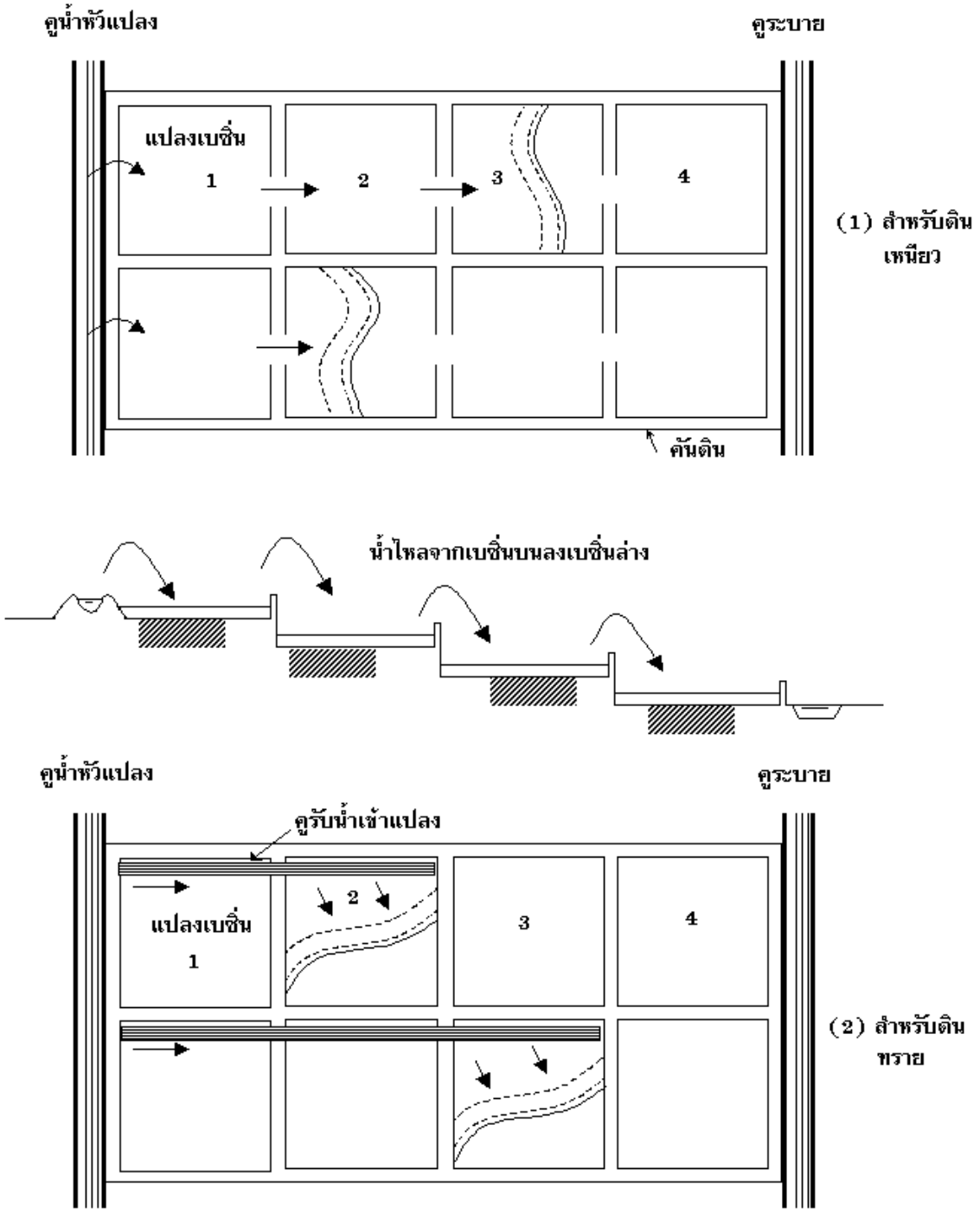
กรณีที่แปลงเบซิ่นทุกแปลงอยู่ติดกับคูน้ำ จะสามารถให้น้ำกับแปลงได้โดยตรงดังรูปที่ 5.1 วิธีการให้น้ำกับแปลงเบซิ่นโดยตรงถือเป็นวิธีที่ดีที่สุด

### 5.6.2 การให้น้ำแบบขั้นบันได

ในบริเวณพื้นที่ที่มีความลาดเท อาจมีการสร้างเบซิ่นเป็นขั้นบันได ซึ่งทำให้บางเบซิ่นไม่ได้อยู่ติดกับคูน้ำ และไม่สามารถรับน้ำจากคูน้ำได้โดยตรง การให้น้ำแบบขั้นบันไดทำได้ 2 วิธี คือ

**วิธีที่ 1** ให้น้ำกับเบซิ่น 1 ซึ่งอยู่ติดกับคูน้ำ เมื่อเสร็จแล้วจึงปล่อยน้ำจากเบซิ่น 1 เข้าเบซิ่น 2 เข้าเบซิ่น 3 จนกว่าจะหมดทุกเบซิ่น ดังรูปที่ 5.6(1) การให้น้ำแบบขั้นบันไดวิธีที่ 1 จะมีประสิทธิภาพดีก็เมื่อการให้น้ำเป็นไปตามกฎ $T_i/4$ การให้น้ำแบบนี้ใช้ได้กับดินเหนียวซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินต่ำ ไม่เหมาะกับดินทรายเพราะจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยเปล่าประโยชน์เนื่องจากการไหลเลยเขตรากมาก

**วิธีที่ 2** สามารถนำไปใช้กับดินทรายซึ่งมีอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินสูงได้ โดยวิธีนี้จะทำร่องน้ำขนาดเล็กตามแนวคันดินเพื่อส่งน้ำให้กับเบซิ่นที่ 4 ก่อน ดังรูปที่ 5.6(2) เมื่อให้น้ำกับแปลงเบซิ่นที่ 4 เสร็จ จึงปิดคันดินระหว่างเบซิ่น 3 กับ 4 เพื่อให้น้ำกับเบซิ่น 3 ทำในทำนองเดียวกันจดหมุดทุกแปลง



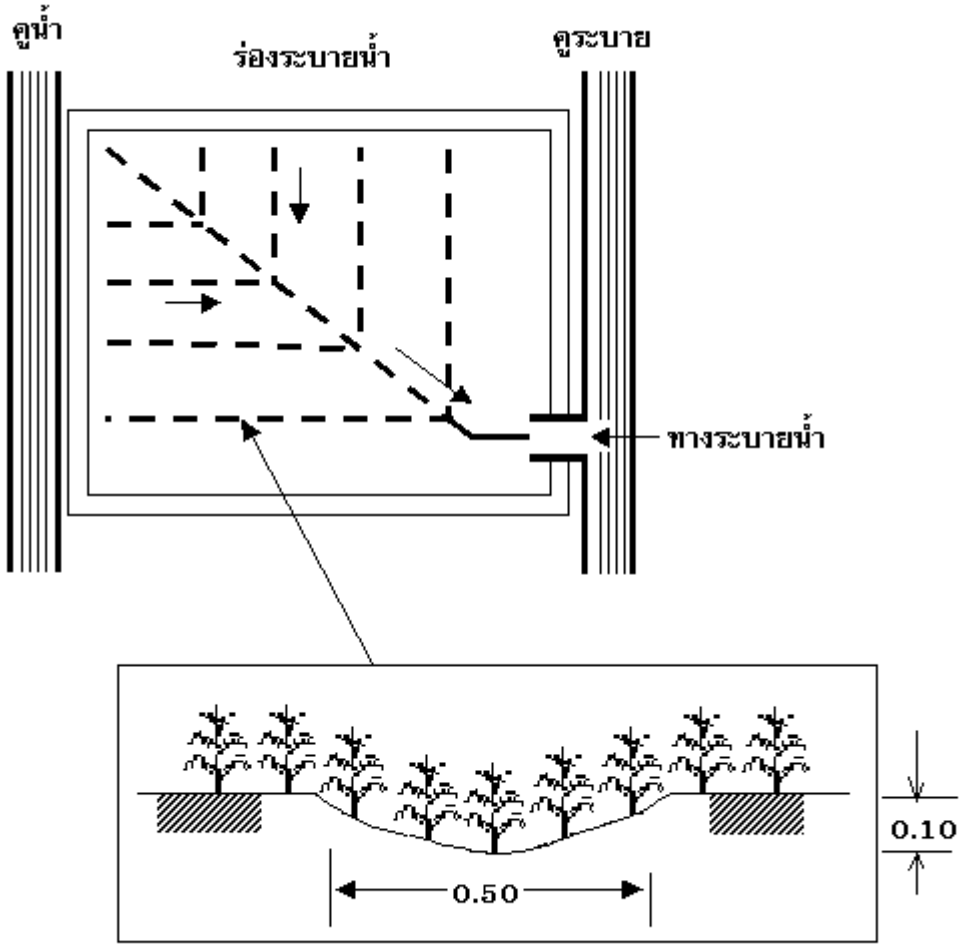

**รูปที่ 4.6 การให้น้ำแบบขั้นบันไดกับเบชิ่น**

ในการให้น้ำแบบขั้นบันไดกับแปลงเบซิ่น จะต้องระวังปัญหาน้ำกัดเซาะดินในแปลง ถ้าให้น้ำด้วยอัตรามากเกินไป

**5.7 การระบายน้ำออกจากแปลงเบซิ่น**

เนื่องจากผิวดินในแปลงเบซิ่นราบหรือเกือบราบ จึงต้องการทางระบายน้ำเพื่อช่วยในการระบายน้ำออกจากเบซิ่น กรณีที่มีฝนตกหนัก หรือให้น้ำชลประทานมากเกินไป เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำท่วมต้นพืชนานเกินไปจนมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือทำให้พืชตาย

ในแปลงเบซิ่นขนาดใหญ่อาจมีการขุดร่องระบายน้ำตื้น ๆ มีลักษณะเป็นก้างปลา เพื่อช่วยในการระบายน้ำ ดังรูปที่ 5.7




**รูปที่ 5.7 ร่องระบายน้ำในแปลงเบซิ่น**

## 5.8 ข้อผิดพลาดที่เป็นเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

ในทำนองเดียวกับการให้น้ำแบบร่องคูในบทที่ 3 และการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาวในบทที่ 3 การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างมีข้อผิดพลาดที่พบเห็นบ่อย ๆ คือ

1. การเตรียมแปลงไม่ดี ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพการให้น้ำและต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังรูปที่ 5.8 (1)

2. แปลงเบซิ่นมีดินมากกว่า 1 ชนิด อัตราการซึมของน้ำลงไปในดินที่ต่างกันจะมีผลต่อความสม่ำเสมอและความเพียงพอในการให้น้ำ ดังรูปที่ 5.8 (2)

3. กำหนดเวลาการให้น้ำคงที่ เช่น 12 ชั่วโมง เพื่อให้เข้ากับโปรแกรมการทำงานอื่น ๆ ในฟาร์ม ไม่ทำตามกฎ $T_i/4$ ทำให้อาจต้องให้น้ำด้วยอัตราน้อยเกินไป น้ำไหลช้า เกิดการสูญเสียน้ำเนื่องจากการไหลเลยเขตรากมากเกินไป ดังรูปที่ 5.8 (3)

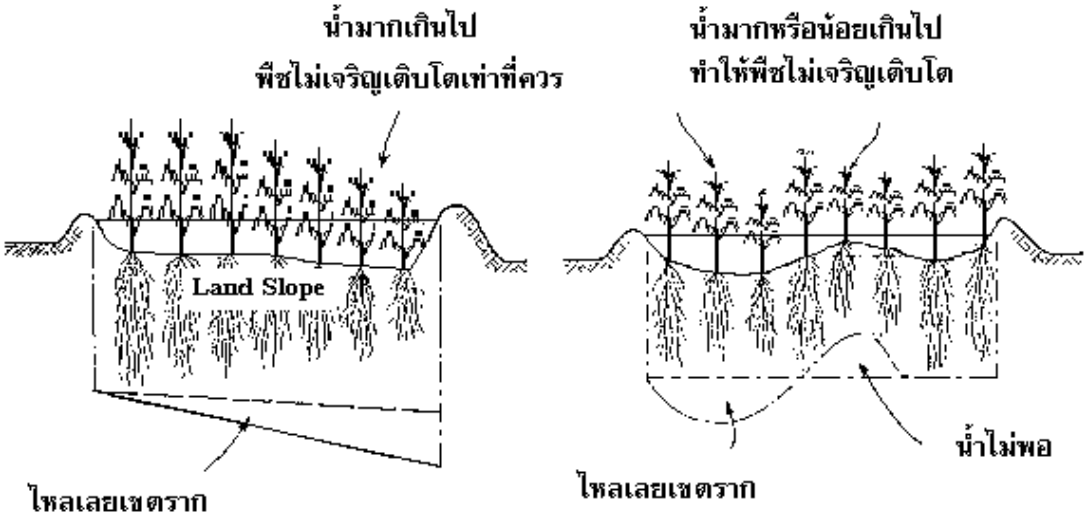
## 5.9 ประสิทธิภาพการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

การให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างอาจมีประสิทธิภาพสูงถึง 90 % แต่ข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่กล่าวถึงจะมีผลทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้มาก ผลของข้อผิดพลาดต่าง ๆ ต่อประสิทธิภาพในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างมีดังนี้ (Vudhivanich,V., 1988)

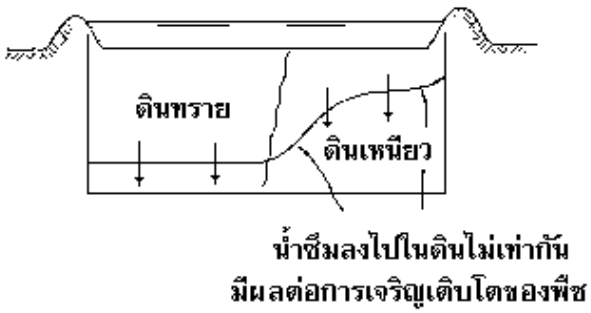
| ข้อผิดพลาด | % ที่ลดจาก 90 |
|---|---|
| 1. เตรียมแปลงไม่ดี | 10-20 |
| 2. มีดินมากกว่า 1 ชนิดในแปลงเบซิ่น | 5-10 |
| 3. กำหนดเวลาการให้น้ำคงที่ | 10-20 |

## 5.10 การประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

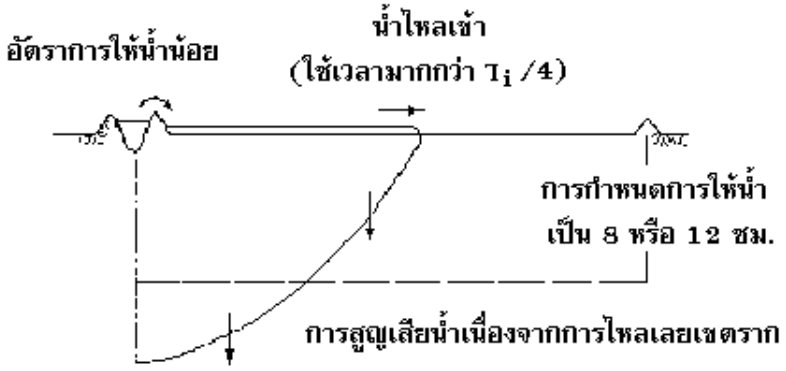
การประเมินผลการให้น้ำนี้จะเป็นการสังเกตและบันทึกการแผ่กระจายน้ำวัดอัตราการให้น้ำและอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ตลอดจนสังเกตและบันทึกเวลาที่น้ำแห้งหลังจากเสร็จสิ้นการให้น้ำแล้ว ซึ่งมีอุปกรณ์ที่ต้องใช้และวิธีการดังต่อไปนี้ (วราวุธ. 2525)




(1) การเตรียมแปลงไม่ดี




(2) มีดินหลายชนิดในแปลงเดียวกัน




(3) อัตราการให้น้ำน้อยเกินไป

**รูปที่ 5.8 ข้อผิดพลาดที่พบเห็นเสมอ ๆ ในการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง**

**(Vudhivanich,V., 1995)**

### 5.10.1 อุปกรณ์ที่ต้องการ

อุปกรณ์ที่ต้องการมีดังต่อไปนี้คือ

1. สว่านสำหรับเก็บตัวอย่างดิน พร้อมกระป๋องเก็บตัวอย่าง

2. อุปกรณ์วัดน้ำเช่น รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut-Throat Flume) ฝายวัดน้ำ ฯลฯ ควรจะมีตารางสำหรับออกอัตราการไหลผ่านสำหรับเฮด (Head) ขนาดต่าง ๆ กันด้วย

3. นาฬิกา

4. เทปวัดระยะสำหรับขนาดของแปลง และจะใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งของหมุดไม้ในแปลง

5. หมุดไม้ หรือห่วงคะแนนที่จะตอกให้เป็นรูปตะแกรงสี่เหลี่ยมเพื่อให้สะดวกในการสังเกตการแผ่กระจายน้ำและเวลาที่น้ำแห้งเมื่อหยุดการให้น้ำ

6. กระดาษสำหรับเขียนแผนผังแปลงทดลองการให้น้ำ และสำหรับจดข้อมูลต่าง ๆ

### 5.10.2 การทดสอบเพื่อประเมินผล

การทดสอบเพื่อประเมินผลนี้เป็นการทดสอบว่าขนาดของแปลงและอัตราการให้น้ำที่ใช้อยู่นั้นมีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร เพื่อหาแนวทางปรับปรุงให้การให้น้ำนั้นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยดำเนินการดังต่อไปนี้คือ

1. เลือกแปลงที่จะทำการทดสอบ 1 หรือ 2 แปลงที่มีลักษณะเป็นตัวแทนของแปลงและการให้น้ำทั้งหมดในเขตนั้น ทำการวัดระยะเพื่อหาขนาด ตอกหมุดเป็นรูปตะแกรงขนาด 2x2 ถึง 10x10 $ม^2$. 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 ในแปลงจนกระทั่งน้ำท่วมทั้งแปลง เขียนแนวการแผ่กระจายของน้ำที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ แนวการแผ่กระจายน้ำนี้ควรจะมี 5 ถึง 8 แนว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของแปลง

6. เมื่อน้ำแผ่มาถึงถังวัดอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินก็ให้ดำเนินการวัดโดยการเติมน้ำลงในถังแล้ววัดอัตราที่น้ำซึมหายเข้าไปในดิน

7. สังเกตและเขียนตำแหน่งที่น้ำที่จุดต่าง ๆ แห้งที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากหยุดให้น้ำ การบันทึกควรจะทำหลายครั้งเช่นเดียวกันกับเมื่อสังเกตการแผ่กระจายน้ำเมื่อเริ่มต้นให้น้ำ ให้สังเกตบริเวณที่เป็นที่สูงหรือเนินและบริเวณที่เป็นท้องกระทะ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ปรับปรุงระดับในภายหลัง

8. สังเกตและบันทึกตำแหน่งที่อัตราการดูดซึมของดินในบางบริเวณสูงผิดปกติ ซึ่งอาจจะสังเกตเห็นได้โดยมีการไหลของน้ำไปหาจุดดังกล่าว ลักษณะดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นได้ในกรณีที่อัตราการซึมแตกต่างกันมากเท่านั้น

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

### 5.10.3 การประเมินผลการทดสอบ

วัตถุประสงค์ในการประเมินผลก็เพื่อที่จะหาวิธีการให้น้ำตามอัตราการให้น้ำขนาดแปลงและคุณสมบัติของดินตามที่ใช้อยู่นั้นมีประสิทธิภาพดีพอหรือไม่ เพื่อที่จะได้เป็นแนวทางในการปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นอีก สำหรับค่าต่าง ๆ ที่ทำการวัดไว้ซึ่งจะต้องนำมาพิจารณาได้แก่

1. ขนาดแปลง อัตรา และระยะเวลาในการให้น้ำกับแปลง เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำทั้งหมดที่ให้กับแปลง

2. โค้งการซึมของน้ำลงไปในดินสะสม

3. เวลาที่น้ำหลากไปถึงหมุดต่าง ๆ และเวลาที่น้ำที่หมุดต่าง ๆ แห้งเพื่อนำไปหาเวลาที่น้ำขังอยู่ที่หมุดต่าง ๆ ตลอดจนความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หมุดต่าง ๆ

4. ความชื้นในดินที่ขาดหายไป

หลังจากนั้นถึงนำไปวิเคราะห์หา (วราวุธ และพงศธร . 2536)

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ สำหรับการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง ควรใช้ Christiansen Uniformity Coefficient (CU) ดังสมการที่ 2.1

2. ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (Ea)

3. ความเพียงพอในการให้น้ำ

### 5.10.4 ตัวอย่างการประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง

ในการทดลองประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง ซึ่งมีขนาด 40 x 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 5.9

4. ตำแหน่งของหมุดไม้ภายในแปลง เวลาที่เริ่มมีน้ำขัง และเวลาที่น้ำที่หมุดเหล่านี้แห้ง แสดงไว้ในรูปที่ 5.10

5. กราฟแสดงความลึกสะสมของน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน แสดงไว้ในรูปที่ 5.11

จงประเมินผลการให้น้ำแก่แปลงเบซิ่น

1. <u>การวิเคราะห์</u>

ให้น้ำแก่แปลงด้วยอัตรา 44 ลิตรต่อวินาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 10 นาที แปลงมีขนาด 40 x 50 เมตร ดังนั้นความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่แปลงคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2.7

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

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

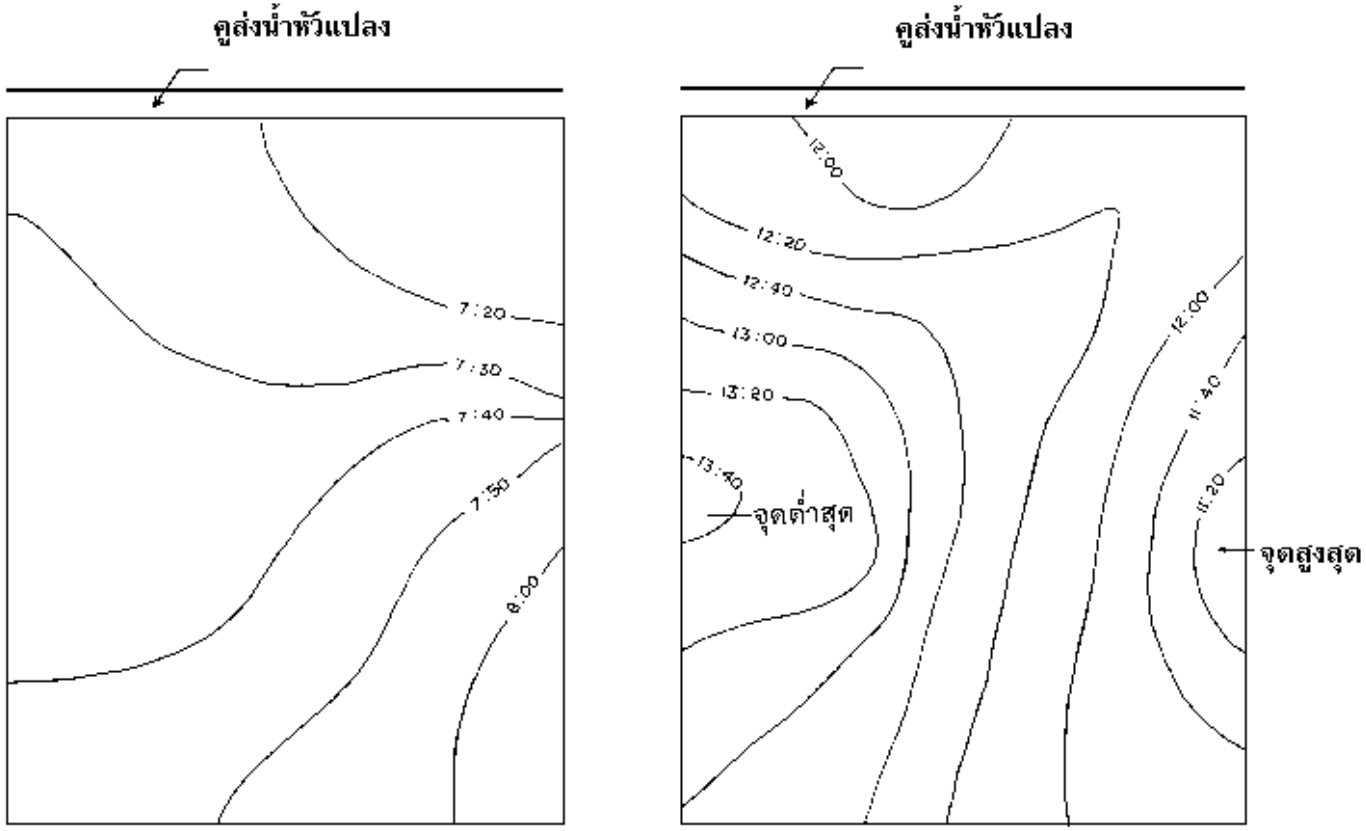
$$= 92.4 \text{ มม.}$$

จากรูปที่ 5.10 หาเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนผิวดินที่หมุดต่าง ๆ ทั่วทั้งแปลง 20 หมุด นำเวลาเหล่านี้ไปหาความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน ดังแสดงไว้ในคอลัมน์สุดท้ายของตารางในรูป ค่าเฉลี่ยของน้ำที่ซึมลงไปในดิน ( $\bar{D}$ ) เท่ากับ 91 มม. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของน้ำที่เปิดเข้าแปลงก็ถือว่าใช้ได้ ในกรณีที่ค่าทั้งสองนี้ไม่ตรงกันก็จะต้องมีการปรับกราฟการซึมสะสม (Cumulative Depth) เพื่อให้ค่าทั้งสองตรงกันเช่นเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.8.1 ในบทที่ 4

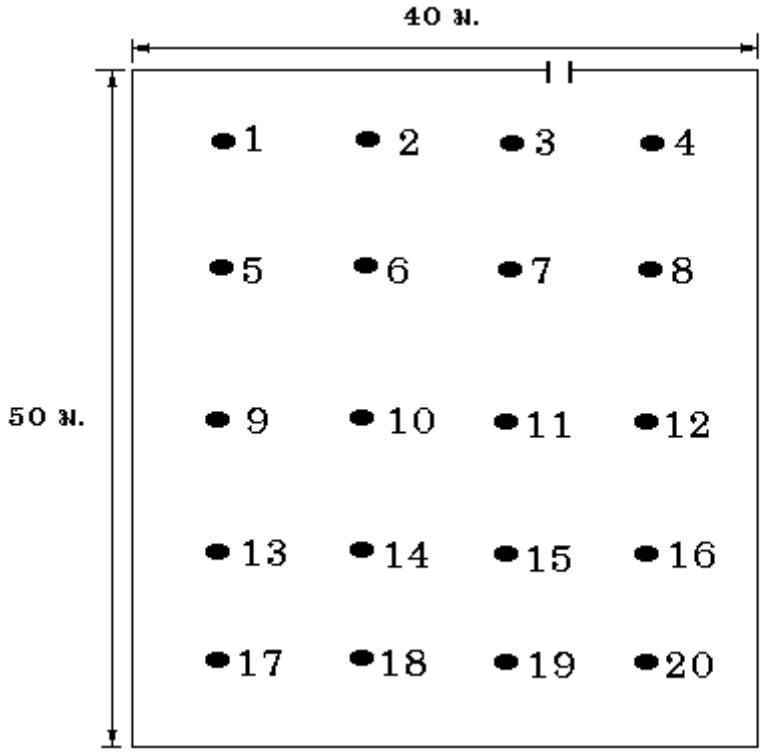
(1) <u>การหาสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ CU</u>

เนื่องจากแต่ละหมุดคลุมพื้นที่เท่ากัน จะหาค่า CU ได้จากสมการ 2.2

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



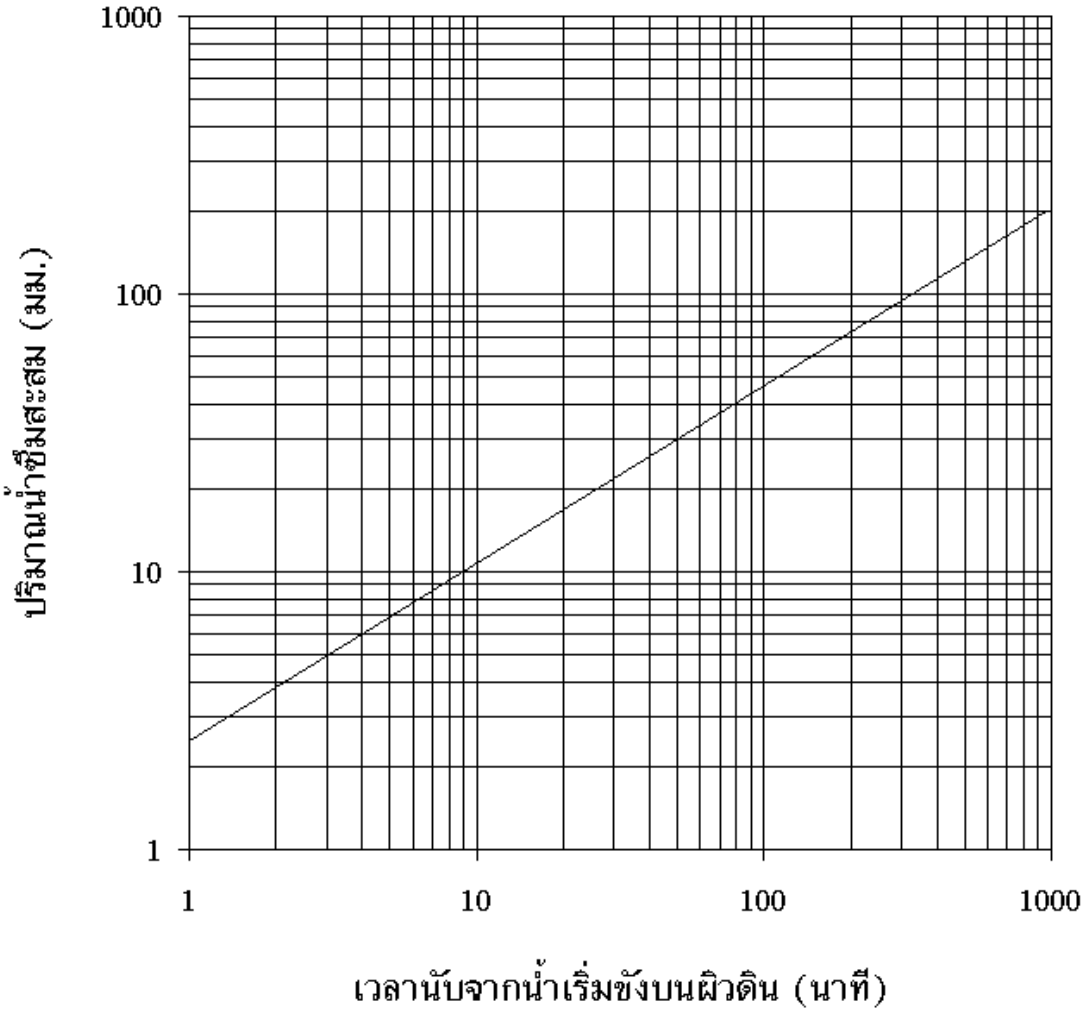

**รูปที่ 5.9 ลักษณะการไหลหลากของน้ำ (Advance) และการแห้งของน้ำ (Recession) ในแปลง ที่ระยะเวลาต่าง ๆ**




เวลาเปิดน้ำ : 7.10 เวลาปิดน้ำ : 8.20 Soil Type : Silt Loom

| 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 |
| | | เฉลี่ย ($\bar{D}$) | | = 91 มม. | |

**รูปที่ 5.10 เวลาที่น้ำเริ่มท่วม และเวลาที่น้ำแห้งที่หมุดต่าง ๆ ภายในแปลง**




**รูปที่ 5.11 กราฟน้ำซึมสะสมในแปลงให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง (Basin)**

จากรูปที่ 5.10

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

$$= 93.3\ \%$$

อาจหาความสม่ำเสมอในการให้น้ำโดยใช้ Distribution Uniformity (DU) จากสมการที่ 2.3 ได้ดังนี้

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

จากรูปที่ 5.10

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

$$= 80.6 \text{ มม.}$$

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

ทั้ง CU และ DU แสดงว่าการให้น้ำมีความสม่ำเสมอดี

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

จากสมการที่ 2.5

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

กำหนดว่า SMD = 84 มม.

จากรูปที่ 5.10 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) <u>ความเพียงพอในการชลประทาน</u>

กรณีนี้จะหา % ของพื้นที่ที่ได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการ (84 มม.) โดยการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่สะสมตามวิธีที่กล่าวถึงในข้อ 2.5.6 บทที่ 2

เนื่องจากแต่ละหมุด (i) ครอบคลุมพื้นที่เท่ากัน โดยมีพื้นที่คิดเป็น % ของแปลง (40x50 ม$^2$.)

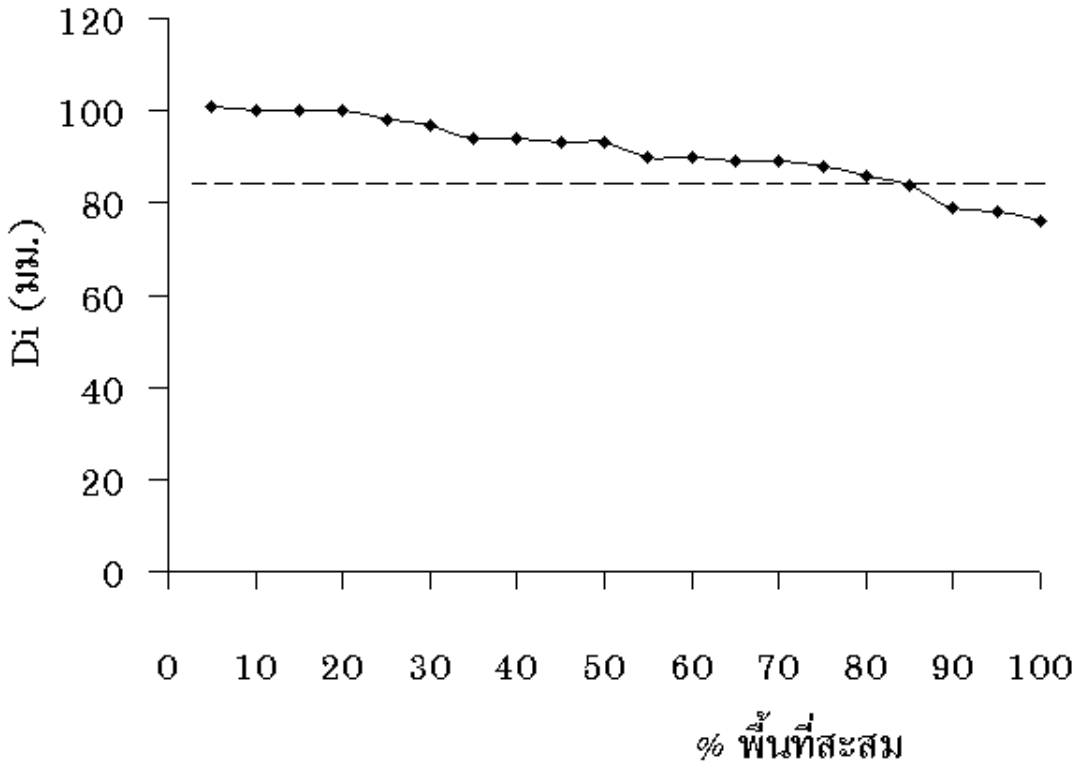
$$= \frac{100}{20} = 5\ \%$$

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 % พื้นที่สะสมไปพล๊อตกราฟดังรูปที่ 5.12 จะได้ว่าความเพียงพอในการชลประทานเท่ากับ 83 %

กรณีที่ให้น้ำไม่เพียงพออาจหาดรรชนีความเพียงพอของการชลประทานได้อีกวิธีหนึ่งโดยใช้ประสิทธิภาพการเก็บกัก $E_s$ ดังสมการ 2.9




**รูปที่ 5.12 การแจกแจงความถี่ของความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดิน ($D_i$)**
**(Vudhivanich.V., 1995)**

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

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

2. <u>แนวทางการปรับปรุง</u>

ผลการวิเคราะห์ในข้อ 5.10.4(1) แสดงให้เห็นว่าการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่างที่ทดลองนี้มีความสม่ำเสมอในการให้น้ำดีมาก (CU = 93.3 % หรือ DU = 88.6 %) ประสิทธิภาพการให้น้ำสูง ($E_a$ = 89.9 %) แต่น้ำที่ให้ยังไม่เพียงพอ (ดรรชนีความเพียงพอเท่ากับ 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 ($T_{odv}/T_i$)

จากรูปที่ 5.11 $T_i$ = 260 นาที

จากรูปที่ 5.10 $T_{adv}$ = 55 นาที

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

แสดงว่าอัตราการให้น้ำเหมาะสมดี ซึ่งค่า DU และ $E_a$ ที่คำนวณได้ยืนยันข้อสรุปอันนี้

**5.11 เอกสารอ้างอิง**


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

2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบการชลประทานบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

3. Vudhivanich, V. (1988), Surface Irrigation System Design, A Handout for A Training Course on Management of Rainfed Agriculture at Continuing Education Center, AIT, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen, Nakorn Pathom.

4. Vudhivanich, V. (1995). Border Irrigation : Design and Evaluation, Training Document on 4th International Training Course on Farm Irrigation and Water Management, held at Agricultural Engineering Training Center, Pathumthani, Thailand

**5.12 แบบฝึกหัด**

5.1 ในการทดลองประเมินผลการให้น้ำแบบท่วมเป็นอ่าง ซึ่งมีขนาด 40 x 40 ม. มีรายละเอียดดังนี้

(1) ให้น้ำด้วยอัตรา 40 ลิตรต่อวินาทีเป็นเวลา 65 นาที

(2) ความชื้นขาดหายไปในวันให้น้ำ 80 มม.

(3) น้ำที่ซึมผ่านผิวดินในแต่ละตำแหน่งของหมุด ซึ่งปักที่ระยะห่างกัน 10 ม. มีดังต่อไปนี้

| หมุดที่ | น้ำซึมผ่านผิวดิน (มม.) | หมุดที่ | น้ำซึมผ่านผิวดิน (มม.) |
|---|---|---|---|
| 1 | 99 | 9 | 100 |
| 2 | 95 | 10 | 99 |
| 3 | 87 | 11 | 95 |
| 4 | 77 | 12 | 89 |
| 5 | 98 | 13 | 99 |
| 6 | 91 | 14 | 103 |
| 7 | 83 | 15 | 90 |
| 8 | 77 | 16 | 79 |

จงหาสัมประสิทธิความสม่ำเสมอในการให้น้ำ (CU) ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Ea) ประสิทธิภาพการเก็บกัก (Es) และการสูญเสียเนื่องจากการไหลซึมเลยเขตราก (DP)

5.2 ในการประเมินผลการให้น้ำแบบ Basin กับแปลงขนาด 20 x 20 $ม^2$. ซึ่งมี Grid ขนาด 5 x 5 $ม^2$. ด้วยอัตรา (Q) เท่ากับ 30 lps. เป็นเวลานาน 30 นาที ปรากฏว่า Advance และ Recession Time ที่หมุดต่าง ๆ ดังนี้

| i | Advance Time | Recession Time |
|---|---|---|
| 1 | 8:00 | 8:40 |
| 2 | 8:05 | 8:40 |
| 3 | 8:06 | 8:46 |
| 4 | 8:10 | 8:45 |
| 5 | 8:15 | 8:50 |
| 6 | 8:10 | 9:00 |
| 7 | 8:12 | 9:10 |
| 8 | 8:17 | 9:20 |
| 9 | 8:20 | 9:30 |
| 10 | 8:30 | 10:00 |
| 11 | 8:15 | 10:05 |
| 12 | 8:05 | 9:45 |
| 13 | 8:11 | 9:50 |
| 14 | 8:18 | 9:55 |
| 15 | 8:20 | 10:05 |
| 16 | 8:27 | 10:10 |

ถ้า D = $5\ t^{0.56}$

เมื่อ D = mm.

t = min.

และ SMD = 60 mm.

จงหา CU, Ea และ DP

# บทปฏิบัติการที่ 5
# การทดลองและประเมินผลระบบชลประทานแบบท่วมเป็นอ่าง

## 1. วัตถุประสงค์

การชลประทานแบบท่วมเป็นอ่างมีลักษณะที่สำคัญคือ ต้องมีการปรับพื้นที่ในแปลงให้ราบหรือเกือบราบ ความลาดเทไม่เกิน 0.1% สามารถนำไปใช้ได้กับพืช ดิน และวิธีการทำฟาร์มเกือบทุกชนิด อย่างไรก็ตาม วิธีการชลประทานแบบนี้จะให้ผลดีก็ต่อเมื่อมีการออกแบบแปลง อัตราการให้น้ำ และมีวิธีการจัดการที่เหมาะสม

ขนาดแปลงเบซิ่นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 3 ตัว คือ ชนิดดิน อัตราการให้น้ำ และความลึกของน้ำชลประทานที่ให้แต่ละครั้ง แต่อิทธิพลขององค์ประกอบทั้ง 3 ต่อขนาดแปลงยังไม่สามารถกำหนดออกมาให้แน่ชัดได้ ดังนั้นปกติจึงต้องมีการทดลองและประเมินผลการให้น้ำจริงเพื่อดูว่าสำหรับแปลงเบซิ่นในดินนั้น ๆ อัตราการให้น้ำและความลึกของน้ำชลประทานที่กำหนดให้นั้นเหมาะสมมากน้อยเพียงใด โดยดูจากประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการให้น้ำ

## 2. อุปกรณ์

1. กล้องระดับ
2. เทปวัดระยะ
3. นาฬิกา
4. หมุดไม้ขนาด 60 ซม. จำนวน 25 หมุดต่อ 1 แปลง พร้อมฆ้อนตอก
5. Cut Throat Flume ขนาด 30 x 90 ซม. จำนวน 2 ตัวต่อ 1 แปลง
6. จอบหรือพลั่ว
7. ปุ้งกี๋
8. ระดับน้ำช่างไม้
9. Soil Core Sampler พร้อมกระป๋องเก็บตัวอย่าง 5 กระป๋องต่อ 1 แปลง
10. Double Ring Infiltrometer จำนวน 3 ชุดต่อ 1 แปลง
11. แผ่นพลาสติกสำหรับปูรองกัน Infiltrometer
12. Hook Gauge 3 ตัวต่อ 1 แปลง
13. ถังน้ำสำหรับเติม Infiltrometer
14. ไซฟอนขนาด $\varnothing$ 2” จำนวน 20 ท่อนต่อ 1 แปลง
15. สว่านเจาะดิน

16. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกข้อมูลการซึมของน้ำลงไปในดิน
17. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกการไหลของน้ำผ่าน Cut Throat Flume
18. แบบฟอร์มสำหรับบันทึกการไหลหลากและการแห้ง
19. กระดาษสำหรับเขียนแผนผังแปลงเบซิ่น

**3. วิธีการทดลอง**

1. เก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความชื้นในดิน ความถ่วงจำเพาะปรากฏ Field Capacity และ Permanent Wilting Point ของดินในแปลงอย่างน้อย 5 จุด โดยใช้ Soil Core Sampler
2. วัดขนาดแปลง แล้วตอกหมุดเป็นรูปตะแกรง (Grid) โดยให้มีระยะระหว่างหมุด 2 เมตร พร้อมทั้งเขียนแผนผังที่ถูกมาตราส่วนแสดงรูปร่างแปลง และตำแหน่งหมุด จำนวน 2 แผ่น
3. ตรวจสอบระดับดินในแปลงด้วยกล้องระดับ
4. ติดตั้ง Cut Throat Flume 2 ตัว เพื่อวัดน้ำเข้าแปลง
5. ติดตั้ง Infiltrometer แปลงละ 3 จุด แล้ววัดหาอัตราการซึมของน้ำลงไปในดินในแปลง
6. จดเวลาที่เริ่มให้น้ำ อัตราการให้น้ำและคอยตรวจสอบอัตราการให้น้ำในระหว่างทำการทดสอบ
7. จดเวลาที่น้ำแผ่ไปถึงหมุดต่าง ๆ พร้อมสเก๊ตลักษณะการแผ่กระจายของน้ำในแปลง
8. จดเวลาที่หยุดให้น้ำแ ละเวลาที่น้ำที่จุดต่าง ๆ แห้ง
9. ใช้สว่านเจาะดินตรวจสอบว่าน้ำซึมลงไปในดินตลอดเขตรากพืชหรือไม่ เมื่อเสร็จสิ้นการให้น้ำ

**4. วิธีการวิเคราะห์**

4.1 <u>การวิเคราะห์เบื้องต้น</u>

1. หากราฟหรือสมการการซึมของน้ำลงไปในดินในแปลง
2. สเก๊ตลักษณะการไหลหลากและการแห้งของน้ำในแปลงทาระยะเวลาต่าง ๆ
3. หาความชื้นในดินที่ขาดหายไป
4. ปรับแก้กราฟการซึมของน้ำลงไปในดิน

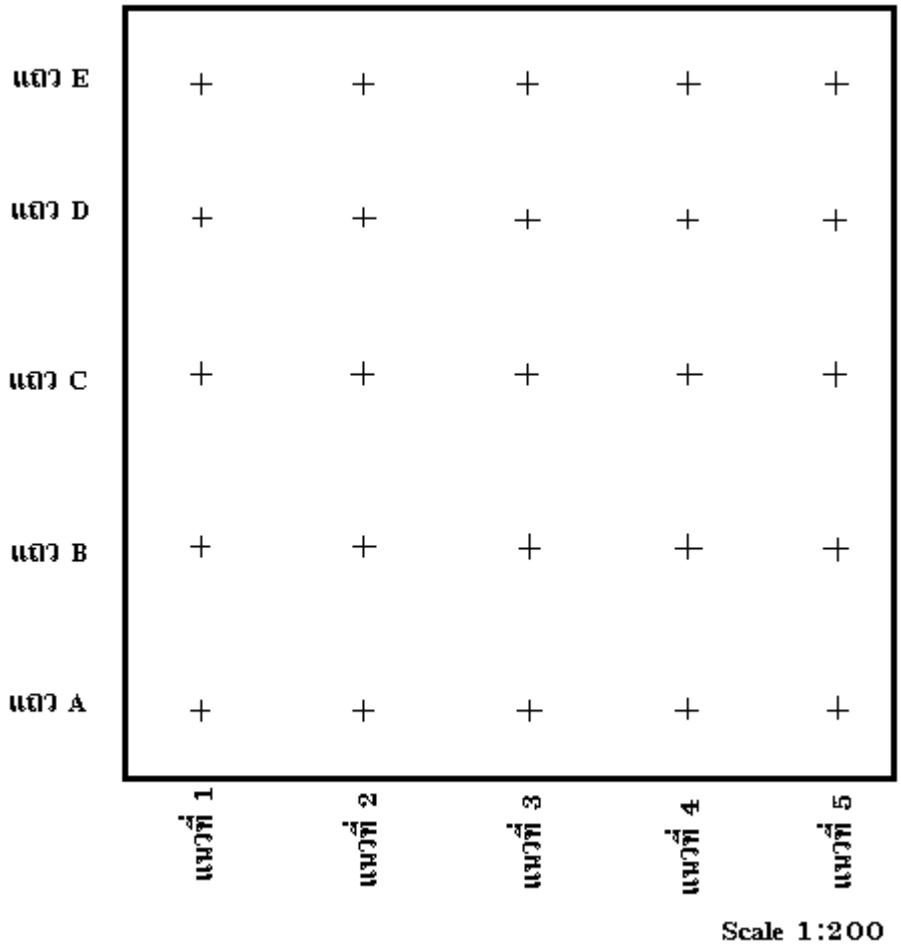
4.2 วิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิผลของการให้น้ำ

1. ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ
2. ประสิทธิภาพการให้น้ำ
3. ความเพียงพอในการให้น้ำ

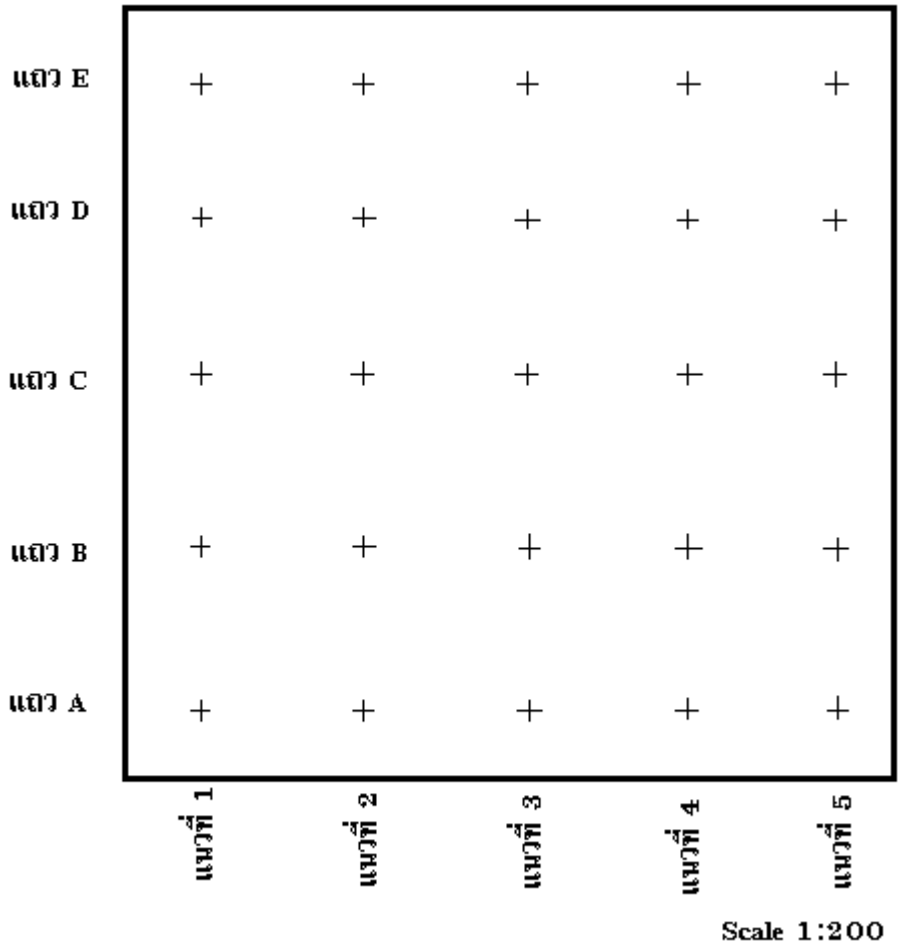
4.3 การวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิผลของการให้น้ำ

1. ผลของการเปลี่ยน Q
2. ผลของการเปลี่ยน D

**5. ข้อเสนอแนะ**




**แผนผังแปลงสำหรับการสเก๊ตลักษณะ (การไหลหลาก, การแห้ง)**




**แผนผังแปลงสำหรับการสเก๊ตลักษณะ (การไหลหลาก, การแห้ง)**

**แบบฟอร์มการบันทึกข้อมูลการดูดซึมน้ำของดินในถังกลม**

สถานที่ทำการวัด_____ผู้ทำการวัด_____วันที่_____
เนื้อดิน_____ความชื้น_____พืชที่ปลูก_____
หมายเหตุ_____

| ถังบอกวัดที่ ..... | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| เวลา - นาที | | | การซึมน้ำผ่านผิวดิน - ซม. | | |
| เวลา น. | ห่างกัน | สะสม | *ความลึก ซม. | ความลึกต่าง ๆ | ความลึกสะสม |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

* วัดจากปากถังถึงผิวน้ำ

## แบบฟอร์มสำหรับจดบันทึกข้อมูลจากรางวัดน้ำ

ชนิดของรางวัดน้ำ_____ขนาด_____

สถานที่ทำการวัด_____

ผู้จดบันทึก_____

_____

| วัน เดือน ปี | เวลา | Ha<br>ซม. | Hb<br>ซม. | Hb/Ha | ลักษณะ<br>การไหล | อัตราการไหล<br>ลบ.ม./ว |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Ha - ระดับน้ำที่ทางผายเข้า

Hb - ระดับน้ำที่ทางผายออก

เวลาเปิดน้ำ______________________________ เวลาปิดน้ำ________________________

| หมุดที่ | เวลาที่น้ำเริ่มท่วม<br>น. | เวลาที่น้ำแห้ง<br>น. | ระยะเวลาที่มีน้ำขัง<br>นาที | น้ำซึมผ่านผิวดิน<br>มม. |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

# บทที่ 6
# การปรับพื้นที่
# (Land Grading)

## 6.1 คำนำ

การปรับพื้นที่เพื่อการชลประทานหมายถึงการปรับปรุงลักษณะพื้นผิวดินที่มีลักษณะสูง ๆ ต่ำ ๆ ให้ราบเรียบสม่ำเสมอตามระดับที่ต้องการ เพื่อให้สามารถทำการส่งน้ำและให้น้ำชลประทานทางผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการออกแบบการชลประทานแบบให้น้ำทางผิวดินจะต้องพิจารณาลักษณะของพื้นที่เสียก่อนว่าพื้นที่ราบเรียบหรือมีลาดสม่ำเสมอดีหรือไม่ ถ้าสภาพพื้นที่ไม่เหมาะสมเช่นเป็นคลื่นเป็นเนิน หรือมีความลาดชันมากเกินไป ก็จะต้องมีการปรับระดับพื้นที่ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 6 ระดับขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของพื้นที่และวิธีการให้น้ำทางผิวดินที่จะนำมาใช้ (วราวุธ. 2525) ดังนี้

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

2) <u>การปรับพื้นที่ให้มีลาดสม่ำเสมอทั่วทั้งแปลง</u> เป็นการปรับพื้นที่ให้มีลาดสม่ำเสมอตามที่ต้องการตลอดความกว้างและความยาวของพื้นที่ การปรับพื้นที่ในลักษณะนี้เหมาะสำหรับวิธีการให้น้ำแบบร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Furrow) และ/หรือแบบท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Levee)

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

4) <u>การปรับพื้นที่ให้ด้านหนึ่งมีลาดสม่ำเสมอและอีกด้านหนึ่งมีลาดหลายระดับผสมกัน</u> วิธีนี้เหมาะสำหรับวิธีการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน (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)

**6.2 สิ่งที่จะต้องพิจารณาในการปรับพื้นที่**

การปรับพื้นที่เป็นเรื่องใหญ่ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก และยังอาจก่อให้เกิดผลในทางลบอีกมากมายหลายประการ ในการที่จะทำการตัดสินใจว่าควรจะมีการปรับพื้นที่หรือไม่ จะพิจารณาจากหลักเกณฑ์และองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) สภาพดิน ก่อนที่จะวางแผนทำการปรับพื้นที่จำเป็นจะต้องมีข้อมูลอย่างเพียงพอเกี่ยวกับลักษณะของชั้นดิน โดยเฉพาะดินชั้นบนซึ่งเป็นดินที่มีความอุดมสมบูรณ์จะต้องรู้ว่าดินชั้นบนมีความหนามากน้อยเพียงใด จะยอมให้มีการตัดหน้าดินออกมากน้อยเท่าใดจึงจะไม่กระทบกระเทือนต่อความอุดมสมบูรณ์ของดินมากนัก ปัญหาที่ยุ่งยากมากที่สุดของการออกแบบปรับพื้นที่คือ กรณีซึ่งดินชั้นบนอยู่ตื้นประกอบกับลักษณะภูมิประเทศเป็นแบบลูกคลื่น หรือมีความชันมาก 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 ลักษณะพื้นที่จะต้องปรับให้ราบเรียบเสมอกัน การให้น้ำแบท่วมเป็นผืนลาดจะต้องปรับให้มีลาดไปทางด้านใดด้านหนึ่ง หรือการ

ให้น้ำตามแนวเส้นขอบเนินจะต้องปรับระดับพื้นที่ให้มีลาดทั้งทางด้านกว้างและด้านยาวของพื้นที่ ตามปกติการปรับพื้นที่จะไม่นิยมทำเป็นผืนใหญ่เพราะเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าการปรับพื้นที่เฉพาะภายในแปลง นอกจากนี้ในการปรับพื้นที่จะต้องคำนึงถึงการเลือกความลาดเทที่เหมาะสมในการระบายน้ำที่เหลือใช้จากการให้น้ำทางผิวดินอีกด้วย

5) ความต้องการของเกษตรกร ในการออกแบบปรับพื้นที่ควรจะได้มีการศึกษาเสียก่อนว่าเกษตรกรมีความต้องการอย่างไร ตามปกติแล้วเกษตรกรจะต้องการให้มีการปรับพื้นที่เพื่อให้การทำงานในแปลงเพาะปลูกทำได้ง่ายและสะดวกขึ้น และเสียค่าใช้จ่ายในการปรับพื้นที่น้อยที่สุด อย่างไรก็ตามวิศวกรที่ทำหน้าที่ออกแบบจะต้องพยายามออกแบบให้ตรงกับความต้องการของเกษตรกร ขณะเดียวกันก็ให้เหมาะสมกับวิธีการให้น้ำและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่กล่าวถึงข้างต้น

## 6.3 การแบ่งลักษณะผิวดินสำหรับการชลประทานผิวดิน

โดยทั่ว ๆ ไปลักษณะผิวดินที่เหมาะสำหรับการเกษตร คือค่อนข้างราบเรียบสม่ำเสมอแต่ตามสภาพความเป็นจริงเป็นการยากที่จะทำให้พื้นที่ทั้งหมดราบเรียบสม่ำเสมอได้ เนื่องจากปัญหาค่าลงทุนและองค์ประกอบต่าง ๆ ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว

ตารางที่ 6.1 แสดงให้เห็นการแบ่งลักษณะผิวดินออกเป็นแบบต่าง ๆ ซึ่งสัมพันธ์กับวิธีการให้น้ำและการปรับพื้นที่ ในบางแห่งการชลประทานแบบให้น้ำทางผิวดินจะพิจารณาทำกันเฉพาะในผิวดินแบบ $A_1$ แต่ในบางพื้นที่ซึ่งดินชั้นบนอยู่ตื้นและมีความลาดชันมากอาจจะต้องยอมทำการชลประทานในผิวดินแบบ E ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพในการชลประทานอาจจะต่ำ เนื่องจากการปรับพื้นที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมากและการเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบอื่น ๆ อาจจะทำไม่ได้เนื่องจากปัญหาค่าลงทุน

ตามปกติแล้วลักษณะผิวดินแบบ C เป็นแบบที่จัดว่ามีความเหมาะสมน้อยที่สุดในการเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบผิวดิน และถ้าองค์ประกอบต่าง ๆ ไม่เหมาะสมที่จะมีการปรับพื้นที่ในบางครั้งอาจจะต้องพิจารณาเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบอื่น เช่น การชลประทานแบบฉีดฝอย

## 6.4 การเตรียมการปรับพื้นที่

เมื่อได้พิจารณาดูแล้วว่าพื้นที่นั้นมีความเหมาะสมต่อการปรับพื้นที่ตามหลักเกณฑ์ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นก็มาถึงขั้นเตรียมการปรับพื้นที่ ซึ่งควรจะดำเนินการเป็นขั้น ๆ ดังต่อไปนี้

## ตารางที่ 6.1 การแบ่งลักษณะผิวดินสำหรับการชลประทานแบบผิวดิน (วราวุธ. 2525)

| ประเภท | ความลาดเทสำหรับการชลประทาน[1/] | ความลาดเทตามขวาง | ประสิทธิภาพการชลประทาน | ความต้องการแรงงานในการให้น้ำ | ข้อจำกัดสำหรับการชลประทานแบบผิวดิน | การปรับพื้นที่ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $A_1$ | สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน0.5 % | ไม่มี | สูง | ต่ำมาก | ไม่มี | ไม่มี |
| $A_2$ | สม่ำเสมอ | | | | ความยาวของแปลงแบบท่วมเป็นผืนราบจำกัด | |
| $B_1$ | | สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.3 % | | | ความยาวของแปลงแบบท่วมเป็นผืนราบจำกัด, ความกว้างของแปลงแบบท่วมเป็นผืนยาวจำกัด | ต้องการปรับพื้นที่เพื่อเพิ่มความกว้างและความยาวแปลงแบบท่วมเป็นพผืนราบ |
| $B_2$ | | ไม่สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.3 % | | ต่ำ | | ต้องการการปรับพื้นที่เพื่อลดความต้องการแรงงานในการให้น้ำ |
| $B_3$ | | อาจจะสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอและความลาดเทมากกว่า 0.3% แต่ไม่เกิน 0.5 % | | | ความกว้างของแปลงแบบท่วมเป็นผืนยาวจำกัดมาก ไม่เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบ ร่องคูตื้นไม่เหมาะสำหรับดินเนื้อหยาบหรือหยาบมาก ร่องคูเล็กจะต้องวางแนวไปตามลาดของพื้นที่โดยมีลาดอย่างน้อย 4 เท่าของลาดตามแนวขวาง | |
| $C_1$ | ค่อนข้างสม่ำเสมอ (เมื่อความลาดเทมากเกินกว่า 0.5 %), สำหรับลาดนูนจะมีความลาดเทซึ่งมีค่ามากที่สุดไม่เกิน 2 เท่าของความลาดเทซึ่งมีค่าน้อยที่สุด สำหรับลาดเว้าจะมีลาดซึ่งมีค่ามากที่สุดไม่เกิน $1^1/_2$ เท่าของความลาดเทซึ่งมีค่าน้อยที่สุด, แต่ไม่ควรจะเป็นลูกคลื่น | สม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้ แต่ต้องไม่เกิน 0.3 % | พอใช้ได้ | ต่ำปานกลาง | ไม่เหมาะสำหรับการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบ ความกว้างของแปลงแบบท่วมเป็นผืนยาวจำกัด | ต้องการการปรับพื้นที่เพื่อลดความต้องการแรงงานในการให้น้ำและเพื่อประสิทธิภาพในการชลประทาน |
| $C_2$ | | สม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอก็ได้ แต่ต้องไม่เกิน 0.5 % | | | ความกว้างของแปลงแบบท่วมเป็นผืนยาวจำกัดมากไม่เหมาะสำหรับการใช้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบ ร่องคูตื้นไม่เหมาะสำหรับดินหยาบหรือหยาบมาก ร่องคูเล็กจะต้องวางแนวไปตามลาดของพื้นที่โดยมีลาดอย่างน้อย 4 เท่าของลาดตามแนวขวาง | |
| $C_3$ | สม่ำเสมอหรือค่อนข้างสม่ำเสมอ | อาจสม่ำเสมอหรือไม่สม่ำเสมอและความลาดเทมากกว่า 0.5 % | | ปานกลางถึงสูง | เหมาะสำหรับการใช้น้ำแบบท่วมเป็นผืนจากร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินหรือแบบร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินโดยมีข้อจำกัดอยู่ที่เนื้อดินและความลึกของร่องคู | |
| $D_1$ | ไม่สม่ำเสมอแต่ความลาดเทต้องไปทางเดียวกันหมด | ไม่สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.3 % | ต่ำ | ปานกลาง | ความกว้างของแปลงแบบท่วมเป็นผืนยาวจำกัด, ไม่เหมาะสำหรับการใช้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบหรือร่องคูเล็ก | ต้องการการปรับพื้นที่เพื่อให้สามารถทำการชลประทานได้ |
| $D_2$ | | ไม่สม่ำเสมอแต่ไม่เกิน 0.5 % | | สูง | ความกว้างของแปลงแบบท่วมเป็นผืนยาวจำกัดมาก ไม่เหมาะสำหรับการการให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบหรือร่องคูเล็ก ร่องคูตื้นไม่เหมาะสำหรับดินเนื้อหยาบหรือหยาบมาก | |
| $D_3$ | | ไม่สม่ำเสมอและมากกว่า 0.5 % | ต่ำมาก | สูงมาก | เหมาะสำหรับการให้น้ำเป็นผืนจากร่องตามแนวเส้นขอบเนินหรือแบบร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินโดยมีข้อจำกัดอยู่ที่เนื้อดินและความลึกของร่องคู | |

1/ ลาดมากที่สุดและลาดน้อยที่สุดจะถูกกำหนดโดย (1) ความต้องการสำหรับการระบายน้ำ (2) การกัดเซาะเนื่องจากฝนและน้ำส่วนเกินที่ไหลไปบนผิวดิน (3) หลักเกณฑ์สำหรับวิธีการให้น้ำที่ใช้

### 6.4.1 การเลือกเวลาและเครื่องจักรเครื่องมือในการทำงาน

การปรับพื้นที่ควรจะทำในช่วงฤดูแล้งหรือช่วงเวลาที่ไม่มีฝนตกเพื่อความสะดวกในการทำงานและยังเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้โครงสร้างของดินเสียเนื่องจากการบดทับของเครื่องจักรเครื่องมือในขณะที่ดินเปียกเกินไป นอกจากนี้ควรเลือกใช้เครื่องจักรให้เหมาะสมเพราะการใช้เครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่โตเกินไปนอกจากจะทำให้การทำงานในแปลงนาไม่สะดวก ยังเป็นการไม่ประหยัดและก่อให้เกิดผลเสียต่อโครงสร้างดินอีกด้วย

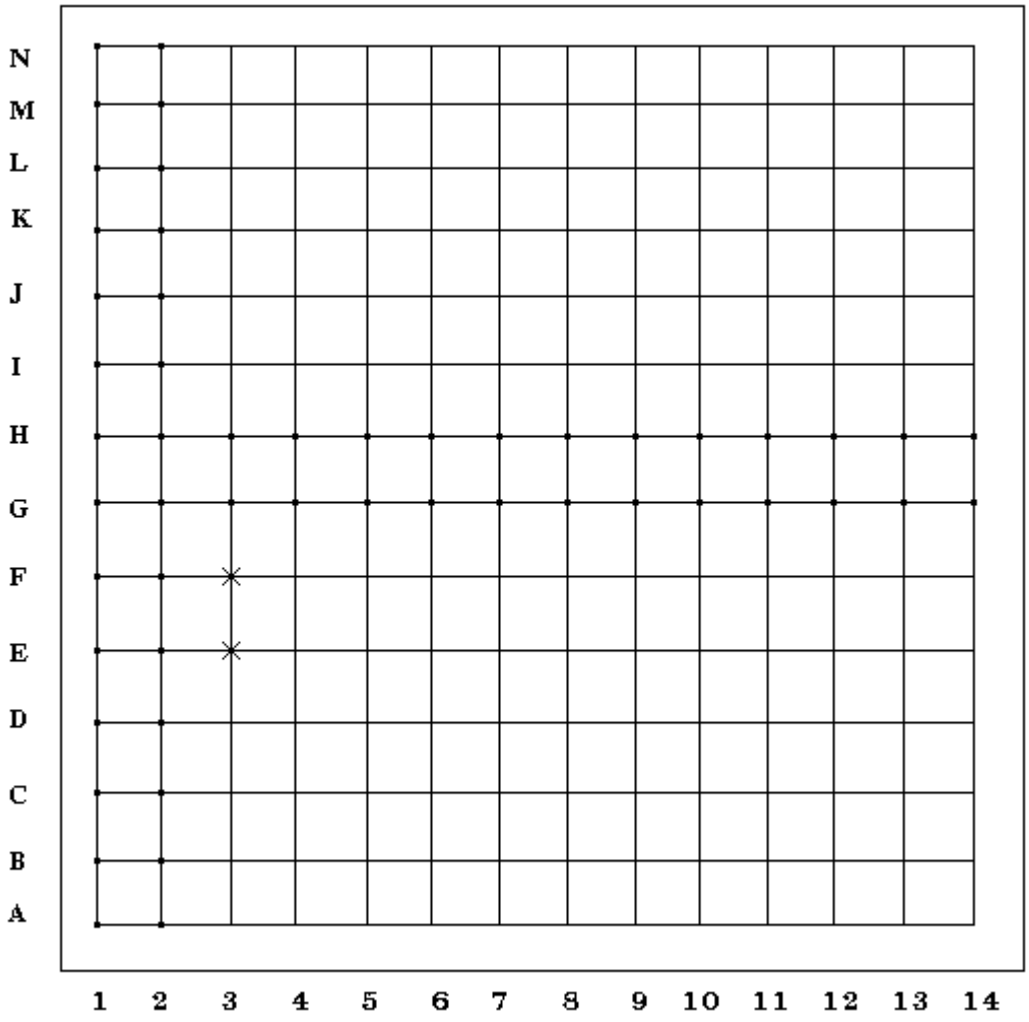
### 6.4.2 การถางพื้นที่

ก่อนการปรับระดับพื้นที่ควรจะทำการถางพื้นที่ให้เรียบร้อยเสียก่อน กล่าวคือถ้ามีต้นไม้ใหญ่ ตอไม้ หรือพวกหินจะต้องทำการกำจัดไปจากพื้นที่ให้หมดโดยใช้รถแทรกเตอร์ แต่ถ้าเป็นจำพวกต้นไม้เล็ก ๆ หรือพวกหญ้าอาจกำจัดได้ง่ายเช้าโดยการใช้ไฟเผา

### 6.4.3 การปักหมุด

เมื่อได้ทำการถางพื้นที่เรียบร้อยแล้วขั้นต่อไปคือการปักหมุดเพื่อการทำแผนที่ระดับต่อไป โดยปกติแล้วจะปักหมุดเป็นรูปตารางสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 20x20 ตร. เมตร ถึง 50x50 ตร. เมตร ซึ่งระยะห่างระหว่างหมุดขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของพื้นที่ ถ้าพื้นที่เป็นเนินสูง ๆ ต่ำ ๆ จะต้องปักหมุดให้ถี่เข้าเพื่อจะได้เก็บรายละเอียดได้เพียงพอสำหรับการออกแบบขั้นต่อไป หมุดที่ใช้ตามปกติจะเป็นไม้ขนาด 3/8” x $1^{3}/_{4}$” ยาวประมาณ 1 เมตร ถากปลายให้แหลมเพื่อจะได้ปักลงไปในดินให้สะดวกขึ้น

การปักหมุดสามารถทำได้มากมายหลายวิธีแต่เพื่อความสะดวกอีกทั้งเป็นการประหยัดเวลาและแรงงานควรจะทำดังวิธีที่แสดงในรูปที่ 6.1 การปักหมุดควรจะเริ่มจากด้านในด้านหนึ่งซึ่งมีแนวตรงที่สุดและควรจะเป็นด้านที่ยาวที่สุดด้วย 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 พร้อมทั้งระยะและปักหมุด ถึงขั้นนี้จะได้แนวหมุด 2 แนวในแต่ละทิศทางซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน หมุดที่เลือกจะสามารถปักได้ง่ายและสะดวกมากโดยวิธีการเล็งแนวด้วยสายตาจากหมุดที่ปักไว้แล้ว 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 ไปก็จะสามารถปักได้โดยวิธีเดียวกันนี้จนทั่วพื้นที่




**รูปที่ 6.1 การปักหมุดเพื่อทำแผนที่**

### 6.4.4 การทำแผนที่

หลังจากปักหมุดเรียบร้อยแล้วก็สามารถถ่ายระดับที่จุดต่าง ๆ แล้วนำมาเขียนแผนที่ระดับได้ สำหรับหลักเกณฑ์การกำหนดมาตราส่วนของแผนที่และขนาดชั้นความสูง (Contour Interval) อย่างกว้าง ๆ จะแสดงไว้ในตารางที่ 6.2

**ตารางที่ 6.2 การกำหนดมาตราส่วนแผนที่และขนาดชั้นความสูง**

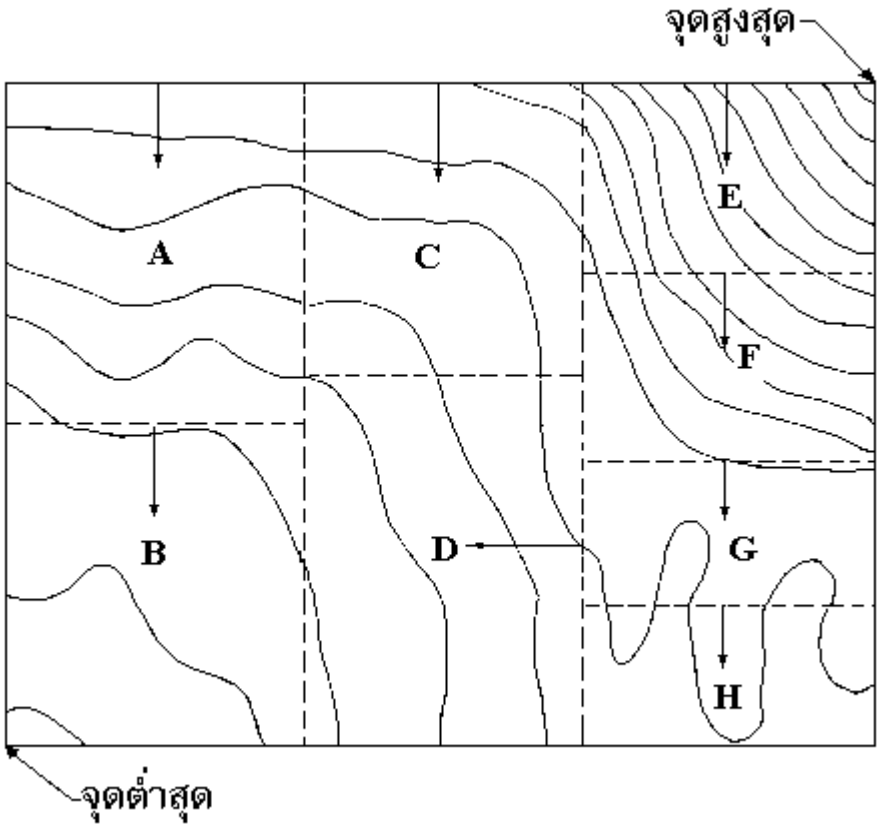
| พื้นที่ | มาตราส่วน |
|---|---|
| น้อยกว่า 200 ไร่ | 1 : 1,200 |
| มากกว่า 200 ไร่ | 1 : 2,400 |
| | หรือ 1 : 4,800 |
| ลาด (%) | ระยะห่างระหว่างเส้นระดับ (ซม.) |
| 0 - 1 | 10 |
| 1 - 2 | 20 |
| 2 - 5 | 30 |
| 5 - 10 | 50 |

### 6.4.5 การแบ่งพื้นที่

เมื่อได้ทำแผนที่ระดับเรียบร้อยแล้วอาจจะพบว่าถ้าจะทำการปรับพื้นที่ให้มีความลาดเทสม่ำเสมอตลอดทั้งแปลงอาจจะเป็นการไม่ประหยัดเพราะพื้นที่บางส่วนอาจจะมีความลาดเทมากเกินไป ขณะที่บางส่วนค่อนข้างราบ ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องแบ่งแยกพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ โดยพิจารณาให้สภาพความลาดเทภายในแต่ละแปลงย่อยใกล้เคียงกันเพื่อจะได้มีการขุดและถมภายในแต่ละแปลงย่อยน้อยที่สุด ตัวอย่างการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ จะแสดงไว้ใน รูปที่ 6.2

จากรูปข้างบนจะเห็นได้ว่าการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ จะพิจารณาได้จากลักษณะของเส้นขอบเนินเป็นหลักดังต่อไปนี้

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




**รูปที่ 6.2 การแบ่งพื้นที่เป็นแปลงย่อย**

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

3) ในกรณีที่เส้นขอบเนินอยู่ชิดกันเกินไปหรือโค้งไปโค้งมามาก ๆ แสดงว่าพื้นที่มีความลาดชันมากหรือเป็นลูกคลื่น ควรจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ ดังแปลง E, F, G และ H เพื่อลดการขุดและถมดินให้น้อยที่สุดและจะช่วยให้การให้น้ำมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย

ในการแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงย่อย ๆ นี้ควรจะได้มีการพิจารณาให้พื้นที่ของแต่ละแปลงย่อยมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมากที่สุดเพื่อความสะดวกในการทำงานอย่างอื่น ๆ นอกจากนั้นควรจะได้มีการพิจารณาถึงแนวคลอง ท่อส่งน้ำ ทางระบายน้ำ และอาคารอื่น ๆ ในแปลงนาในขณะที่จะทำการแบ่งพื้นที่เสียด้วย

## 6.5 การออกแบบการปรับพื้นที่

วิธีการในการออกแบบการปรับพื้นที่มีมากมายหลายวิธี 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)

## 6.6 วิธีการปรับเป็นระนาบ (Plane Method)

วิธีการปรับระดับพื้นที่แบบที่นิยมกันมากในการปรับระดับผิวดินให้มีความลาดเทสม่ำเสมอทั้งตามยาวและตามขวางของพื้นที่ โดยอาศัยหลักความสมดุลของดินขุดและดินถม ในการหาแนวระนาบดังกล่าว เมื่อได้จัดทำแผนที่ระดับดินดังแสดงในรูปที่ 6.3 สามารถคำนวณหาแนวระนาบดินขุดและดินถมได้ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ (วราวุธ และพงศธร. 2536)

**ขั้นที่ 1 :** ตั้งแกน X และแกน Y ให้ห่างจากขอบพื้นที่เป็นระยะทางครึ่งหมุด

**ขั้นที่ 2 :** หาจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ ($X_m$, $Y_m$)

$$X_m = \frac{\sum X}{n_x} \qquad \text{----------(6.1)}$$

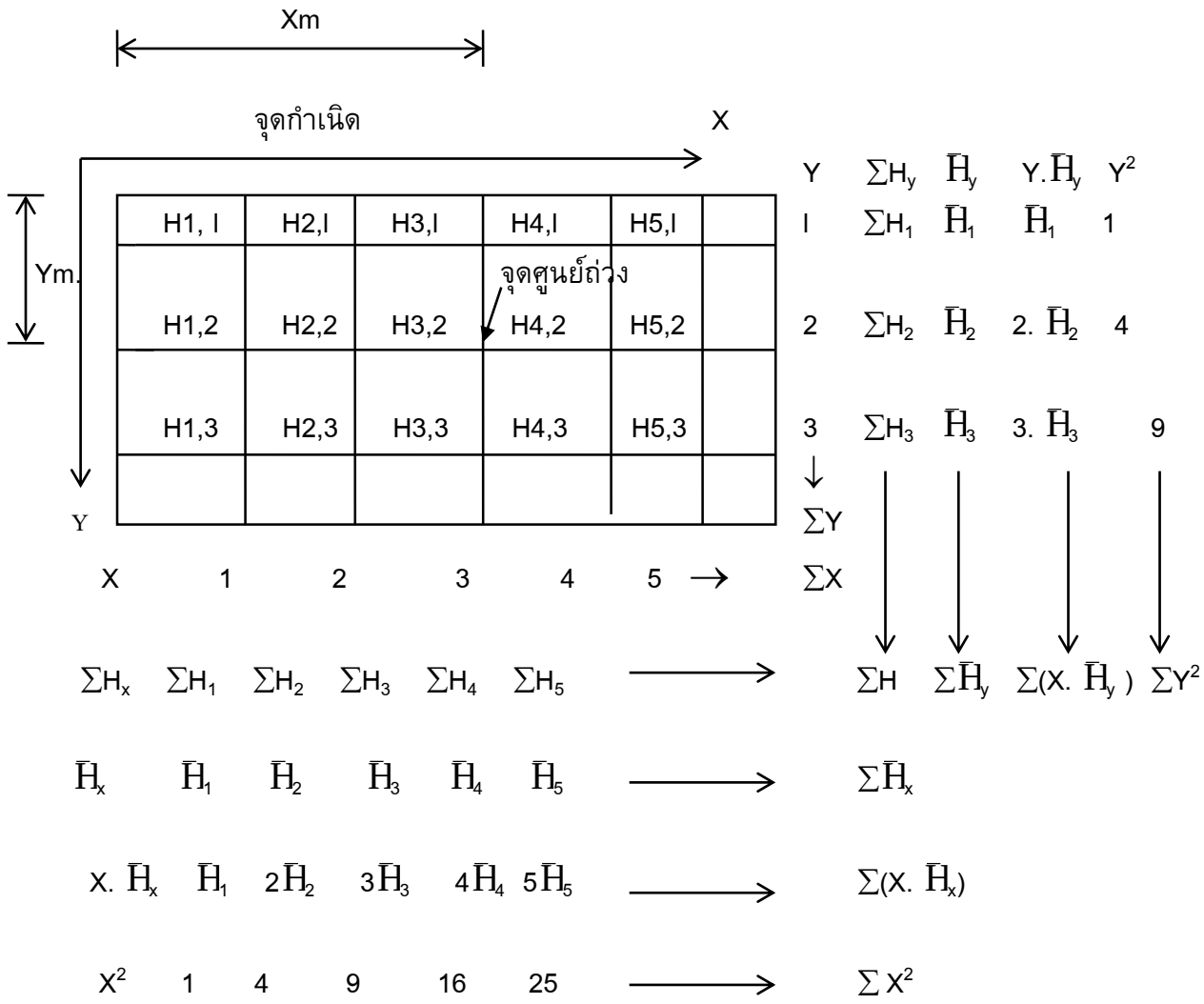
$$Y_m = \frac{\sum Y}{n_y} \qquad \text{----------(6.2)}$$

เมื่อ $X_m$, $Y_m$ = ระยะจากจุดกำเนิดถึงจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่ตามแนวแกน X และแกน Y

X, Y = หมายเลขหมุดในแนวแกน X และ Y

$\sum X$ , $\sum Y$ = ผลบวกของหมายเลขหมุดในแนวแกน X และ Y

$n_x$, $n_y$ = จำนวนหมุดในแนวแกน X และ Y




**รูปที่ 6.3 แผนที่แสดงระดับดินและวิธีการคำนวณดินขุด-ดินถม**

**ขั้นที่ 3** หาค่าต่าง ๆ ตามที่เขียนไว้ในรูปที่ 6.3

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

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

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

$$\Sigma(X.\ \bar{H}_x) = \sum_{1}^{n_X} (X.\ \bar{H}_x)\ ; \qquad = \Sigma\ (Y.\ \bar{H}_y) = \sum_{1}^{n_Y} (Y\ .\ \bar{H}_y\ )$$

เมื่อ $H_{x,y}$ = ระดับที่หมุดต่าง ๆ

**ขั้นที่ 4** หาระดับเฉลี่ยที่จุดศูนย์ถ่วง ($H_m$)

$$H_m = \frac{\sum H}{n_X n_y} \qquad \text{----------(6.3)}$$

**ขั้นที่ 5** หาลาดที่จะทำให้มีการขุดดิน-ถมดินน้อยที่สุด

$$G_X = \frac{\sum(X\bar{H}_X) - \frac{(\sum X)(\sum H_X)}{n_X}}{\sum(X)^2 - \frac{(\sum X)^2}{n_X}} \qquad \text{----------(6.4)}$$

และ $$G_y = \frac{\sum(Y\bar{H}_x) - \frac{(\sum Y)(\sum H_Y)}{n_y}}{\sum(Y)^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n_y}} \qquad \text{---------(6.5)}$$

เมื่อ $G_X$ , $G_y$ = ความลาดเทของพื้นที่ตามแนวแกน X และ Y

ในบางครั้งสภาพพื้นที่อาจไม่เหมาะสมที่จะออกแบบให้มีการขุดดิน-ถมดินน้อยที่สุด เนื่องจากความลาดเทไม่เหมาะสมกับวิธีการให้น้ำ หรือเนื่องจากระดับดินตอนบนอยู่เหนือระดับส่งน้ำมาก ก็อาจจะต้องมีการแก้ไขให้เหมาะสม โดยพยายามให้ได้ค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ในตอนแรกมากที่สุด

**ขั้นที่ 6** หาระดับใหม่ของพื้นที่ตามความลาดเทที่คำนวณได้ในขั้นที่ 5

$H'_{x,y}$ = $a + G_x\ (x) + G_y\ (y)$ ----------(6.6)

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 6.1** ให้ทำการปรับพื้นที่จากแผนที่ระดับที่ให้โดยใช้วิธีการปรับเป็นระนาบ โดยใช้ข้อมูลในรูปที่ 6.4 กำหนดให้ระยะระหว่างหมุดเท่ากับ 25 เมตร และระดับมีหน่วยเป็นเมตร

**วิธีทำ** **ขั้นที่ 1** ตั้งแกน X และแกน Y ให้ห่างจากขอบของพื้นที่เป็นระยะทางครึ่งหมุดดังแสดงไว้ในแผนที่

**ขั้นที่ 2**

$$X_m = \frac{\sum X}{n_X} = \frac{21}{6} = 3.5$$

$$Y_m = \frac{\sum Y}{n_y} = \frac{15}{5} = 3.0$$

ดังนั้นจุดศูนย์ถ่วงของพื้นที่อยู่ที่จุด (3.50 , 3.0) จากจุดกำเนิด

**ขั้นที่ 3**

$\sum H = 279.72$

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

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

$\sum X^2 = 91$ ; $\sum Y^2 = 55$

$n_x = 6$ ; $n_y = 5$

**ขั้นที่ 4** หาระดับเฉลี่ยที่จุดศูนย์ถ่วง $H_m$

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

**ขั้นที่ 5**

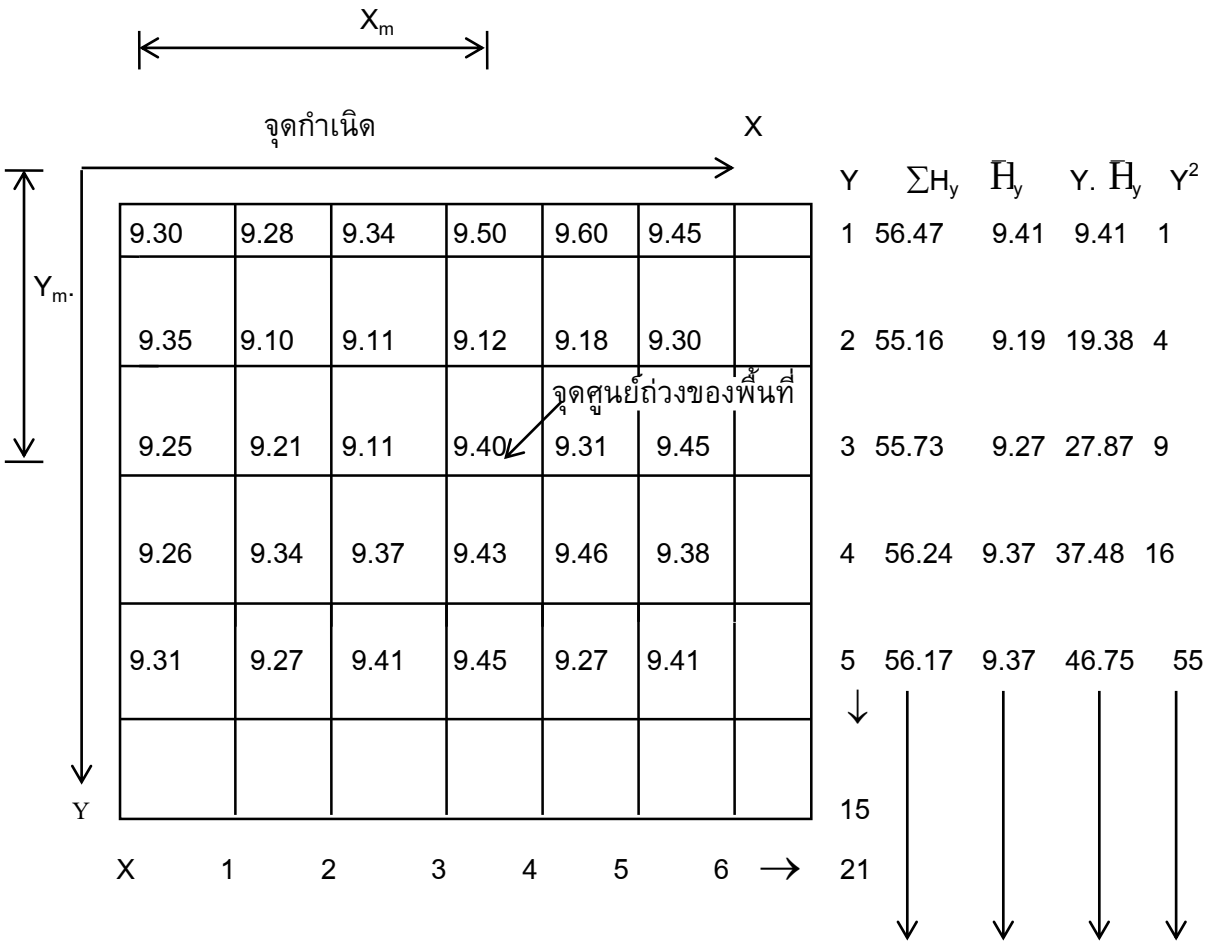
$$G_x = \frac{196.32 - \frac{(21)(55.94)}{6}}{91 - \frac{(21)^2}{6}}$$

$$= 0.029 \approx 0.03 \text{ เมตร/ระยะทาง 1 หมุด}$$

ค่า $G_x$ เป็นบวกหมายความว่าระดับพื้นที่ในแนวแกน X จะเพิ่มขึ้น 0.03 เมตร ต่อระยะทาง 25 เมตร

$$G_y = \frac{139.89 - \frac{(15)(46.61)}{5}}{55 - \frac{(21)^2}{6}}$$

$$= 0.01 \text{ เมตร/ 25 เมตร}$$




| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Y | $\sum H_y$ | $\bar{H}_y$ | 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 | | | | |
| | | | | | | | 21 | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\sum H_x$ | 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 6.4 วิธีการคำนวณปรับระดับพื้นที่สำหรับตัวอย่างที่ 6.1**

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วจะสามารถหาค่า $\frac{\sum X}{n_x}$, $\frac{\sum Y}{n_y}$, $\sum(X)^2 - \frac{(\sum X)^2}{n_x}$

และ $\sum(Y)^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n_y}$ ได้จากตารางที่ 6.3 เมื่อรู้ค่า $n_x$ และ $n_y$

**ขั้นที่ 6** ก่อนคำนวณหาระดับพื้นที่ที่ต้องการปรับจะต้องคำนวณหาระดับที่จุดกำเนิดก่อน โดยใช้ ค่า $H_m$ , $G_x$ , $G_y$ , $X_m$ และ $Y_m$ ที่คำนวณได้ก่อนหน้านี้

จากสมการที่ 6.6 ถ้า $H = H_m = 9.32$ เมตร $X = X_m = 3.5$ ; $Y = Y_m = 3.0$ ; $G_y = 0.03$ และ $G_y = 0.01$ จะได้

$$a = H_m - G_x (X)_m - G_y (X_m)$$

$$= 9.32 - 0.03(3.5) - 0.01(3)$$

$$a = 9.20 \text{ เมตร}$$

**ตารางที่ 6.3** ค่า $\frac{\sum S}{n}$ และ $\sum (S)^2 - \frac{\sum (S)^2}{n}$ เมื่อ n มีค่าระหว่าง 2 ถึง 26

| n | $\frac{\sum S}{n}$ | $\sum (S)^2 - \frac{\sum (S)^2}{n}$ | n | $\frac{\sum S}{n}$ | $\sum (S)^2 - \frac{\sum (S)^2}{n}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 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 6.5 การปรับพื้นที่โดยวิธีนี้จะทำให้มีการขุดดินและถมดินน้อยที่สุด และจำนวนดินขุดจะเท่ากับดินถมโดยประมาณ แต่ในการปรับระดับพื้นที่โดยใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ซึ่งมีน้ำหนักมากพบว่าจะทำให้เกิดการบดอัดดินทำให้ปริมาตรของดินถมลดลง ดังนั้นในการคำนวณควรจะให้ปริมาตรของดินขุดมากกว่าดินถมประมาณ 20 ถึง 45 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในการปรับพื้นที่เพื่อการชลประทานจะต้องเผื่อดินส่วนหนึ่งในการทำถนนและคันคลองไว้ด้วย

$G_x$ = 0.03 ม./25 เมตร →

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9.30 | 9.28 | 9.34 | 9.50 | 9.60 | 9.45 | |
| 9.233<br>9.35 | 0.067 9.236<br>0.077C<br>9.10 | 0.017C 9.293<br>0.0275C<br>9.11 | 0.047C 9.323<br>0.057C<br>9.12 | 0.177C 9.353<br>0.187C<br>9.18 | 0.247C 9.383<br>0.257C<br>9.30 | 0.067C<br>0.077C |
| 9.239<br>9.25 | 0.111C 9.269<br>0.121C<br>9.21 | 0.169F 9.299<br>0.159F<br>9.11 | 0.189F 9.329<br>0.179F<br>9.40 | 0.209F 9.359<br>0.199F<br>$H_m$=9.32 เมตร<br>9.31 | 0.179F 9.389<br>0.169F<br>9.45 | 0.089F<br>0.079F |
| 9.245<br>9.26 | 0.005C 9.275<br>0.015C<br>9.34 | 0.065F 9.305<br>0.055F<br>9.37 | 0.195F 9.335<br>0.185F<br>9.43 | 0.065C 9.365<br>0.075C<br>9.46 | 0.055F 9.395<br>0.045F<br>9.38 | 0.055C<br>0.065C |
| 9.251<br>9.31 | 0.009C 9.281<br>0.019C<br>9.27 | 0.059C 9.311<br>0.069C<br>9.41 | 0.059C 9.341<br>0.069C<br>9.45 | 0.089C 9.371<br>0.099C<br>9.27 | 0.089C 9.401<br>0.099C<br>9.41 | 0.021F<br>0.011F |
| 9.257 | 0.053C 9.287<br>0.063C | 0.017F 9.317<br>0.007F | 0.093C 9.347<br>0.103C | 0.103C 9.377<br>0.113C | 0.107F 9.407<br>0.097F | 0.003C<br>0.013C |

↓

| | |
|---|---|
| ระดับดินเดิม | |
| ระดับดินที่<br>คำนวณได้ | ขุด (C) หรือ<br>ถม (F) |

**รูปที่ 6.5 แผนที่แสดงดินขุด - ดินถม สำหรับตัวอย่างที่ 5.1**

**ขั้นที่ 7** คำนวณหาดินขุด - ดินถม จากระดับดินเดิม และระดับดินที่คำนวณได้

เช่นที่หมุด (2, 5) ระดับดินเดิม คือ 9.27 เมตร และระดับดินที่คำนวณได้ คือ 9.287 เมตร ดังนั้นจะต้องถมดินเท่ากับ 9.287 - 9.27 = 0.017 เมตร ส่วนที่หมุดอื่น ๆ จะแสดงผลการคำนวณไว้ในรูปที่ 6.5

ผลบวกของดินขุดทั้งหมด ($\sum C$) = 1.415

ผลบวกของดินถมทั้งหมด ($\sum F$) = 1.295

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

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

ผลบวกของดินขุดทั้งหมด $(\sum C) = 1.605$

ผลบวกของดินถมทั้งหมด $(\sum F) = 1.185$

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

แสดงว่าถ้าลดระดับทุก ๆ จุดลง 0.01 เมตร จะได้ดินขุดมากกว่าดินถมเท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์

## 6.7 การคำนวณปริมาณงานดิน

การคำนวณปริมาณงานดินในการปรับพื้นที่มี 5 วิธี แต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกันออกไป เช่น บางวิธีอาจจะให้ค่าถูกต้องแม่นยำน้อยกว่าแต่การคำนวณทำให้ง่ายและรวดเร็วกว่า ขณะที่บางวิธีให้ค่าถูกต้องกว่า แต่การคำนวณยุ่งยากและต้องเสียเวลา การจะเลือกใช้วิธีการไหนขึ้นอยู่กับวิจารณญาณของผู้ออกแบบ และวิธีการออกแบบการปรับระดับพื้นที่เป็นสำคัญ

### 6.7.1 วิธีใช้สูตร Prismoidal

วิธีนี้เป็นวิธีการคำนวณปริมาตรดินขุดและดินถมได้ถูกต้องกว่าวิธีอื่น ๆ แต่การคำนวณค่อนข้างจะเสียเวลามาก ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$V = \frac{L}{6}(A_1 + 4A_m + A_2) \quad \text{----------(6.7)}$$

เมื่อ $V$ = ปริมาตรดิน

$L$ = ระยะทางตั้งฉากระหว่างพื้นที่หน้าตัดที่ปลายทั้งสองของปริมาตรดินที่กำลังพิจารณา

$A_1$ = พื้นที่หน้าตัดที่ปลายด้านหนึ่งของปริมาตรดินที่กำลังพิจารณา

$A_2$ = พื้นที่หน้าตัดที่ปลายอีกด้านหนึ่งของปริมาตรดินที่กำลังพิจารณา

$A_m$ = พื้นที่หน้าตัดที่อยู่ตรงกลางระหว่าง $A_1$ และ $A_2$

**6.7.2 วิธีคิดสี่จุด (Four - Point Method)**

วิธีนี้นิยมใช้กันมาก โดยเฉพาะกับการออกแบบปรับพื้นที่แบบปรับเป็นระนาบ (Plane Method) หรือกรณีที่มีการสำรวจแบบปักหมุดเป็นตะแกรงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส วิธีนี้จะคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งสูตรที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$V_c = \frac{L^2}{4} \frac{(H_c^2)}{(H_c + H_F)} \quad \text{----------(6.8)}$$

$$V_F = \frac{L^2}{4} \frac{(H_F^2)}{(H_c + H_F)} \quad \text{----------(6.9)}$$

เมื่อ $V_c$ = ปริมาตรดินขุด

$V_F$ = ปริมาตรดินถม

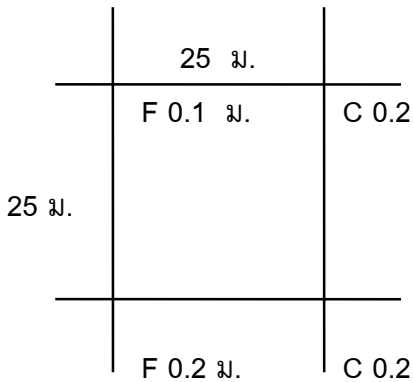
L = ระยะทางระหว่างหมุด

$H_C$ = ผลรวมความลึกของดินขุดที่หมุดทั้งสี่

$H_F$ = ผลรวมความลึกของดินถมที่หมุดทั้งสี่

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วจะหาค่า $V_c$ และ $V_F$ เมื่อ L เท่ากับ 25 และ 50 เมตร ได้จากตารางภาคผนวกที่ 6.1

จากสูตรข้างบนจะสามารถคำนวณหาปริมาตรดินขุด - ดินถมที่หมุดต่าง ๆ ซึ่งประกอบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสได้ดังนี้




$H_c$ = 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.

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

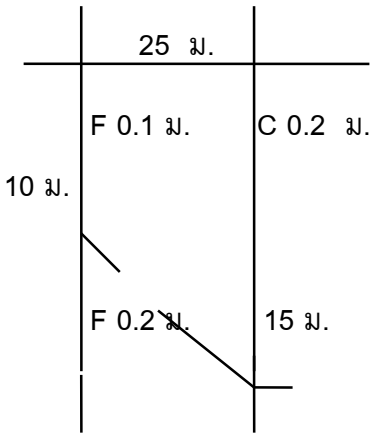
= 20.09 ลบ.ม.

กรณีที่หมุดทั้งสี่ไม่ประกอบกันเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะคำนวณหาปริมาตรดินตัด ดินถมได้ดังนี้

พื้นที่ระหว่างหมุดทั้งสี $\frac{10+15}{2}$ x 25 = 312.5 ตร.ม.

พื้นที่ระหว่างหมุดที่ประกอบกันเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 25 x 25

= 625 ตร.ม.

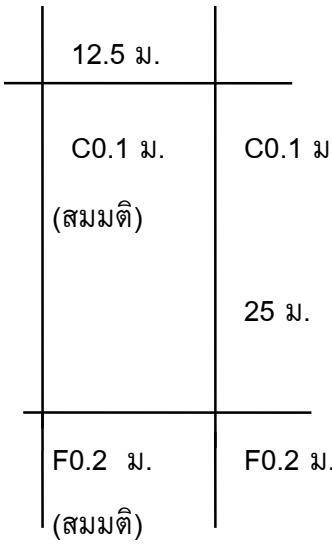



$V_C = \frac{312.5}{625}$ x 35.71 = 17.86 ลบ.ม.

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

การคำนวณดินตัดดินถมบริเวณขอบของพื้นที่ซึ่งตามปกติแล้วการปักหมุดจะปักห่างจากขอบของพื้นที่ประมาณครึ่งหนึ่งของระยะทางระหว่างหมุด ในทางปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะถือว่าความลึกของดินขุดหรือดินถมที่ขอบของพื้นที่จะเท่ากับค่าที่จุดซึ่งใกล้ที่สุด และคำนวณหาปริมาตรดินขุด - ดินถมได้ดังนี้

พื้นที่ระหว่างหมุด = 12.5 x 25 = 312.5 ตร.ม.




สำหรับหมุด 25 x 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.

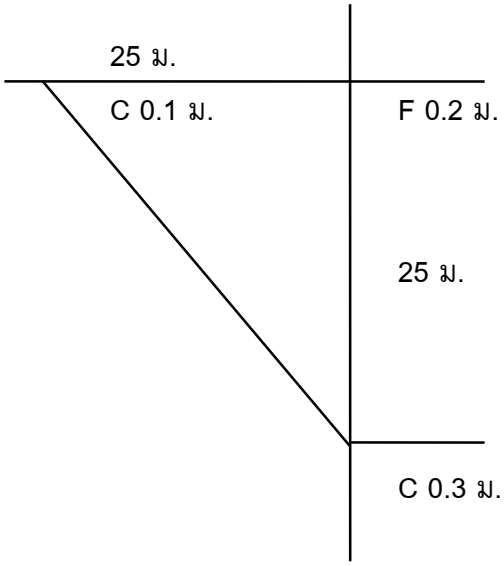
สำหรับหมุด 12.5 x 25 ; $V_C = \frac{312.5}{625}$ x 10.42 ลบ.ม.

= 5.21 ลบ.ม.

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

= 20.84 ลบ.ม.

กรณีที่พื้นที่ระหว่างหมุดเป็นรูปสามเหลี่ยม ปริมาตรของดินขุดดินถมจะเท่ากับ 2/3 ของปริมาตรดินที่คำนวณได้จากสูตรเมื่อระยะระหว่างหมุดเท่ากัน




$H_C$ = 0.4 ; $H_F$ = 0.2

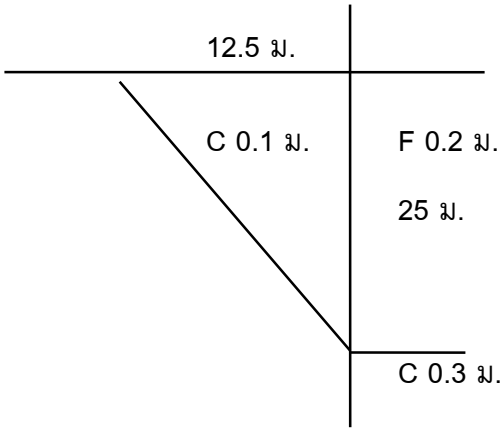
$$V_C = \frac{2}{3}\frac{(25)^2}{4}\frac{(0.4)^2}{(0.4+0.2)}$$

= 27.78 ลบ.ม.

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

= 6.94 ลบ.ม.

ในกรณีที่ระยะระหว่างหมุดของรูปสามเหลี่ยมไม่เท่ากันให้คิดทำนองเดียวกับรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าแล้วคูณด้วยอัตราส่วนพื้นที่สามเหลี่ยมจริงต่อพื้นที่ของรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส




$$V_C = \frac{12.5\times25}{25\times25}\times\frac{2}{3}\times\frac{(25)^2}{4}\quad\frac{(0.4)^2}{(0.4+0.2)}$$

= 13.89 ลบ.ม.

$$V_F = \frac{12.5\times25}{25\times25}\times\frac{2}{3}\times\frac{(25)^2}{4}\quad\frac{(0.2)^2}{(0.4+0.2)}$$

= 3.47 ลบ.ม.

**6.7.3 วิธีคิดจากพื้นที่หน้าตัดปลาย (End - Area Method)**

สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาตรดินขุดดินถมด้วยวิธีนี้คือ

$$V = \frac{L(A_1 + A_2)}{2} \qquad \text{----------(6.10)}$$

เมื่อ V = ปริมาตรดินขุดหรือดินถม

L = ระยะทางระหว่างพื้นที่หน้าตัดของดินขุดหรือดินถม

$A_1$ = พื้นที่หน้าตัดของดินขุดหรือดินถมที่หมุดแถวใดแถวหนึ่ง

$A_2$ = พื้นที่หน้าตัดของดินขุดหรือดินถมที่หมุดอีกแถวหนึ่ง

การคำนวณหาปริมาตรดินขุดหรือดินถมด้วยวิธีนี้จะแสดงไว้ในตัวอย่างที่ 6.2

**ตัวอย่างที่ 6.2** การคำนวณหาปริมาตรดินขุดหรือดินถมโดยวิธีคิดจากพื้นที่หน้าตัดปลาย โดยมีข้อมูลดังรูปที่ 6.6

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E | | | | | | |
| | C0.10 | F0.40 | F0.35 | F0.15 | C0.24 | F0.21 |
| D | | | | | | |
| | C0.32 | C0.50 | F0.15 | F0.10 | F0.05 | F0.10 |
| C | | | | | | |
| | C0.30 | C0.10 | C0.5 | F0.05 | F0.10 | C0.10 |
| B | | | | | | |
| | C0.25 | C0.10 | F0.40 | F0.34 | F0.10 | C0.10 |
| A | | | | | | |
| | F0.17 | F0.20 | C0.35 | C0.40 | C0.25 | C0.10 |

25 ม.

12.5 ม.

**รูปที่ 6.6 ดินขุด - ดินถม สำหรับตัวอย่าง 6.2**

**วิธีทำ** จากข้อมูลดังกล่าวจะคำนวณหาปริมาณดินขุดและดินถมได้ดังแสดงในตาราง

| 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 | | |
| | | | | 1811.13 | | | 1510.76 |

### 6.7.4 วิธีคิดจากพื้นที่ระนาบในแนวราบ (Horizontal-Plane Method)

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

$$V = \frac{H(A_1 + A_2)}{2} \qquad \text{----------(6.11)}$$

เมื่อ $V$ = ปริมาตรดินขุด - ดินถม

$A_1$ = พื้นที่ระนาบในแนวราบที่ระดับหนึ่ง

$A_2$ = พื้นที่ระนาบในแนวราบที่อีกระดับหนึ่ง

H = ระยะระหว่างระดับทั้งสอง

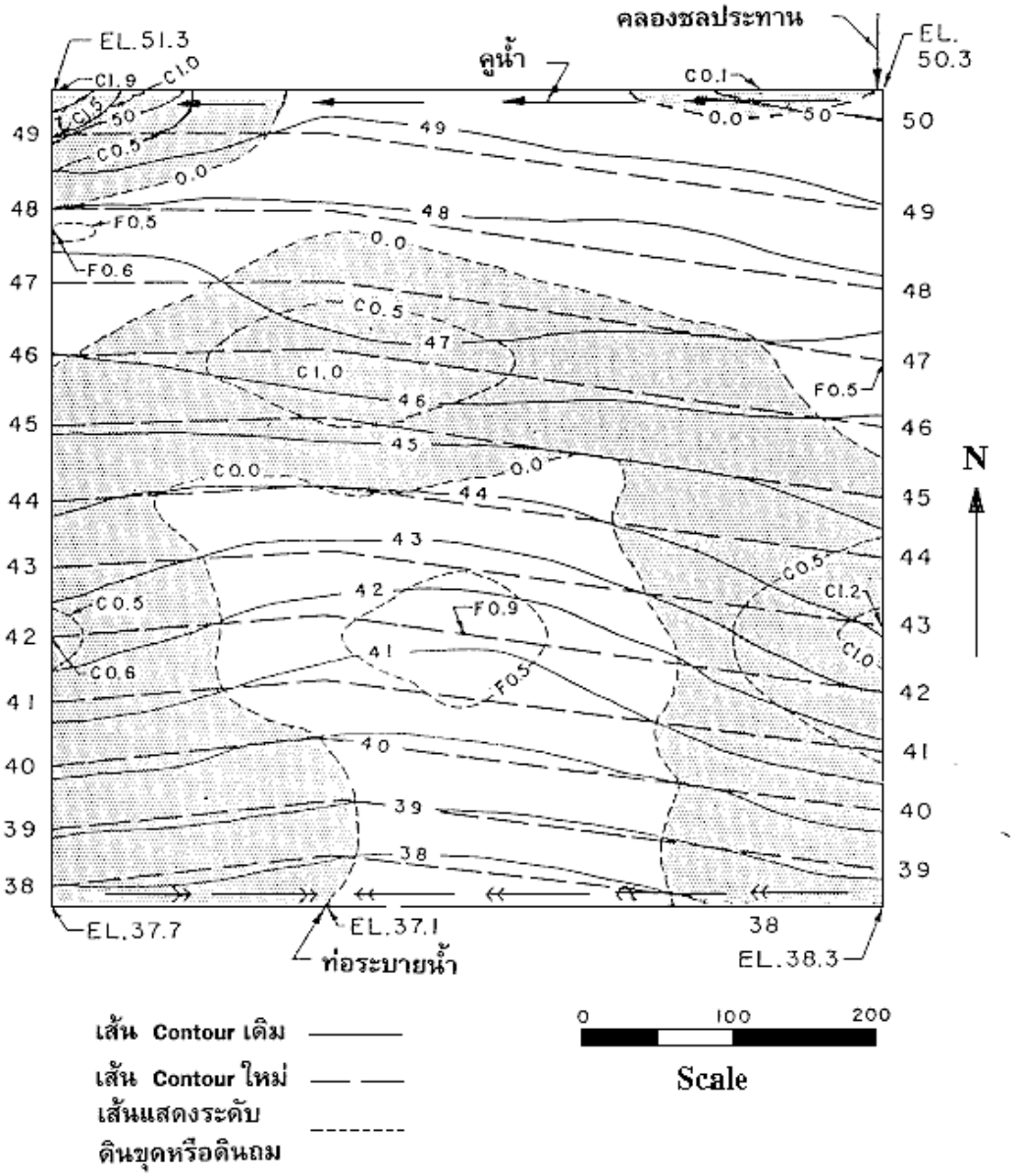
ความถูกต้องแม่นยำในการคำนวณด้วยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับค่า H ถ้า H ยิ่งน้อยยิ่งให้ค่าถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

จากแผนที่แสดงการออกแบบการปรับระดับพื้นที่แบบปรับจากเส้นชั้นความสูง (Contour - Adjustment Method) ดังแสดงในรูปที่ 6.7 จะสามารถลากเส้นแสดงแนวที่มีการตัดดิน-ถมดินเท่ากันได้ ซึ่งจะสามารถหาพื้นที่ระนาบในแนวราบที่ระดับต่าง ๆ ได้โดยใช้ Planimeter และสามารถคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมได้ดังแสดงไว้ในตัวอย่างที่ 6.3

**ตัวอย่างที่ 6.3** การคำนวณหาปริมาตรดินขุดและดินถมโดยวิธีคิดจากพื้นที่ระนาบ โดยใช้ข้อมูลดินขุดและดินถมจากรูปที่ 6.7

| 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 |
| ดินถิม | | | | |
| 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 6.7 การปรับระดับพื้นที่โดยวิธีการปรับจากเส้นชั้นความสูง**

**(Contour - Adjustment Method)**

**6.7.5 วิธีคิดจากผลบวก (Summation Method)**

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดโดยการคิดว่าความลึกของดินขุดหรือดินถมที่หมุดใดหมุดหนึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของพื้นที่ที่หมุดนั้นครอบคลุมอยู่ ดังนั้นปริมาตรของดินขุดหรือดินถมจะหาได้จากสูตร

$V_C = (\sum C)\ A$ ----------(6.12)

$V_F = (\sum F)\ A$ ----------(6.13)

เมื่อ $V_C$ = ปริมาตรของดินขุดของทั้งแปลง

$V_F$ = ปริมาตรของดินถมของทั้งแปลง

$\sum C$ = ผลรวมของความลึกของดินขุดที่หมุดต่าง ๆ ตลอดทั้งแปลง

$\sum F$ = ผลรวมของความลึกของดินถมที่หมุดต่าง ๆ ตลอดทั้งแปลง

A = พื้นที่ระหว่างหมุดทั้งสี่

## 6.8 การเตรียมการปรับพื้นที่ในสนาม

เครื่องจักรที่ใช้ในการปรับพื้นดินขั้นต้นได้แก่พวก Bulldozer และ Motor Scraper ดังแสดงในรูปที่ 6.8 ซึ่งทั้ง 2 ชนิดสามารถที่จะทำการตัดดินและขนย้ายดินไปได้ในตัว ผลการปรับพื้นที่จะให้ความราบเรียบ $\pm$ 100 มม.

ส่วนการปรับพื้นที่ขั้นที่สองเพื่อให้พื้นดินราบเรียบตามความลาดชันที่ต้องการ ตามปกติจะใช้พวก Motor Grader และ Land Plane ดังรูปที่ 6.9 ซึ่งสามารถปรับได้ละเอียดถึง $\pm$ 25 มม.

กรณีที่ต้องการความละเอียดในการปรับพื้นที่สูง จะต้องใช้เครื่องมือพิเศษ เช่น เครื่องควบคุมการปรับพื้นที่ด้วยแสงเลเซอร์ ดังรูปที่ 6.10

## 6.9 การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณปรับพื้นที่

ปัจจุบันการคำนวณออกแบบปรับพื้นที่สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้คอมพิวเตอร์ โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการคำนวณปรับพื้นที่โดยวิธี Plan Method ที่ใช้งานได้ง่าย ได้แก่ โปรแกรม LEVEL สำหรับกรณีที่พื้นที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 40 x 40 grids หรือ โปรแกรม LEVELNR สำหรับกรณีที่พื้นที่ไม่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (วราวุธ. 2537) หรือ สามารถใช้

โปรแกรม Spreadsheet เช่น LOTUS 123 หรือ EXCEL ก็สามารถช่วยคำนวณปรับพื้นที่ตามวิธีการที่กล่าวถึงในบทนี้ได้อย่างรวดเร็วเช่นกัน

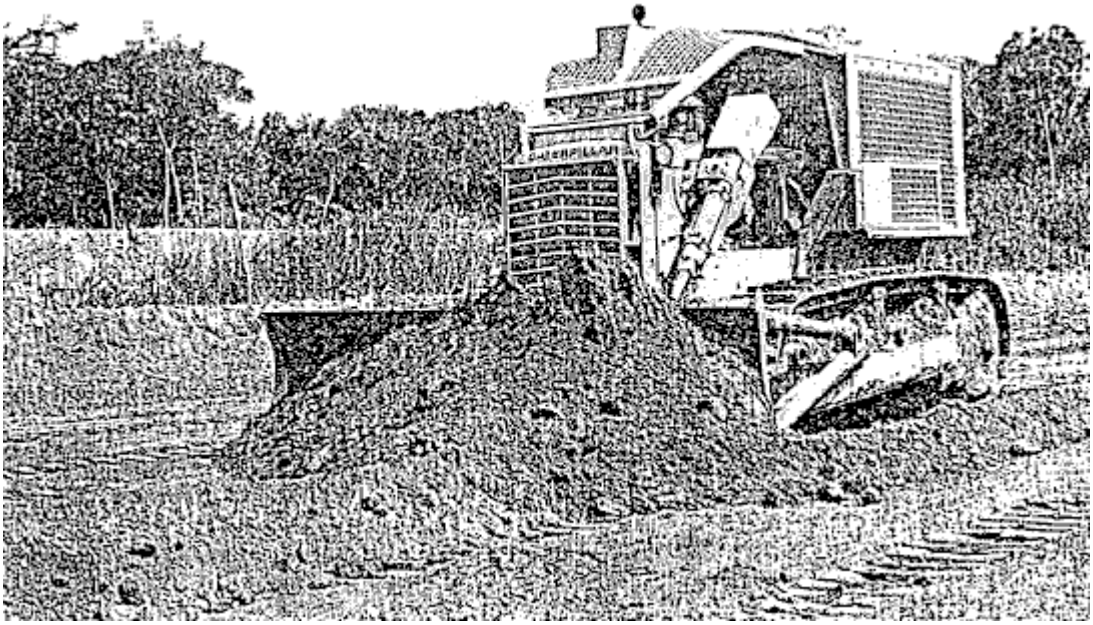
## 6.10 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 (การออกแบบการชลประทานในไร่นา). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.

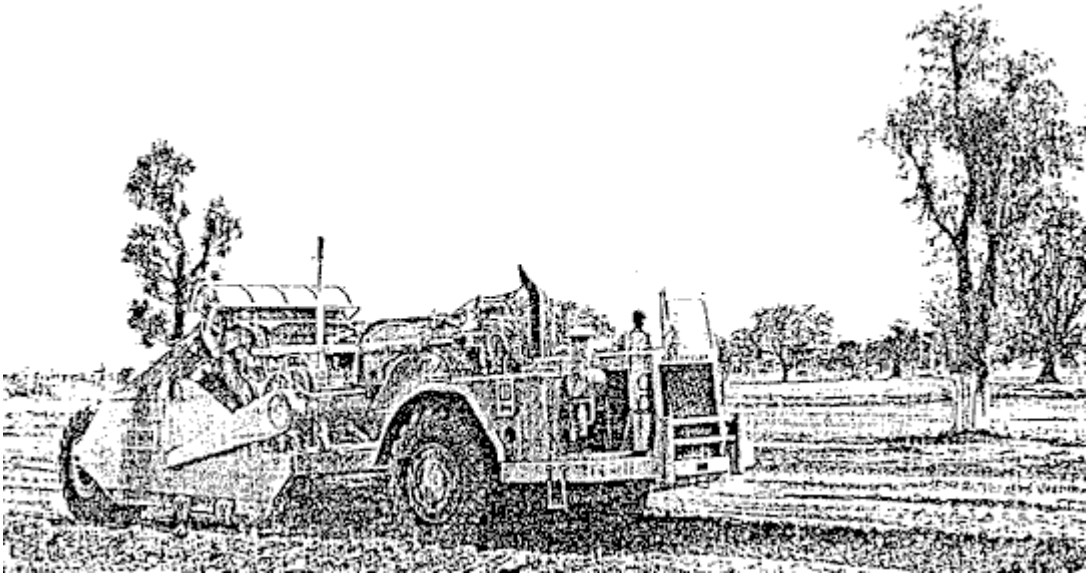
2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2537). โปรแกรมออกแบบปรับพื้นที่. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.

3. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบระบบชลประทานบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.

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

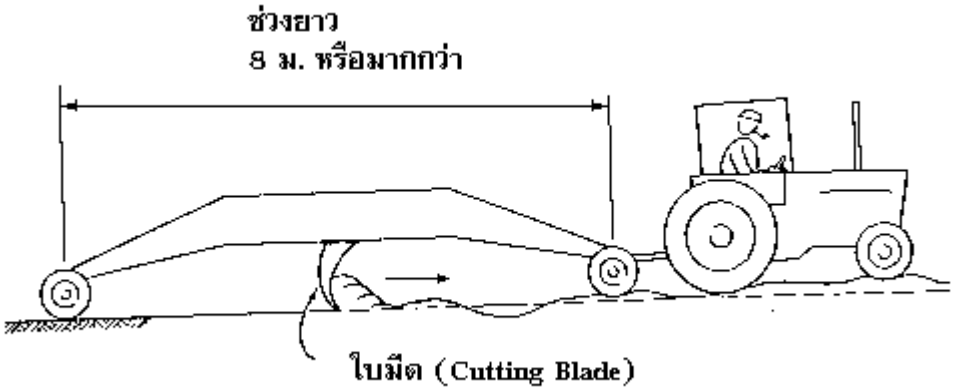


**(1) Bulldozer**

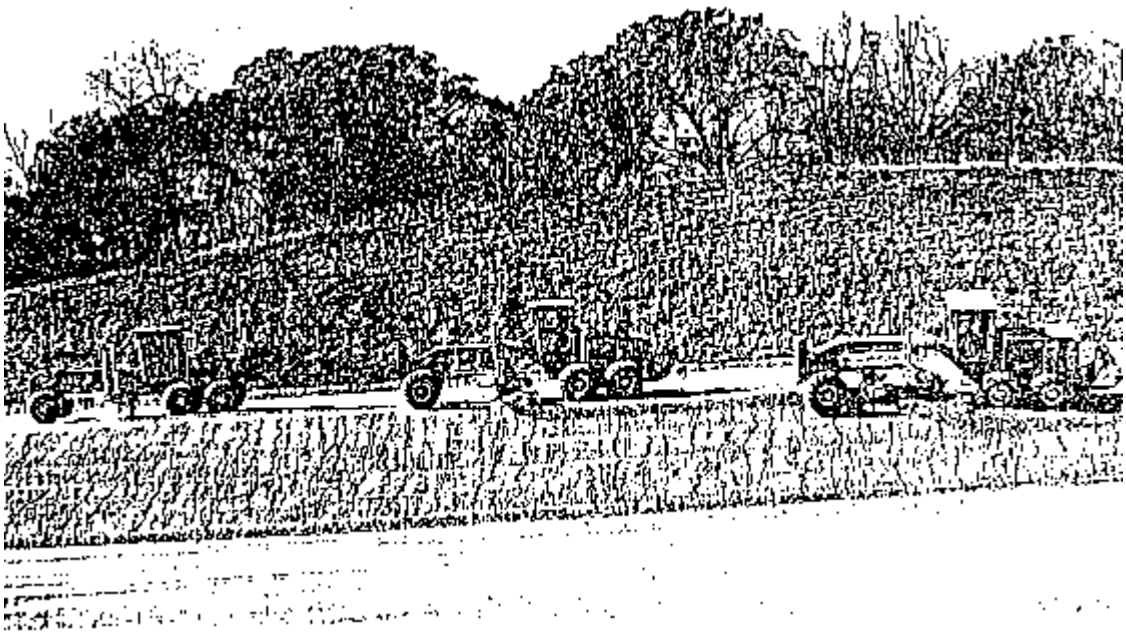


**(2) Motor Scraper**

**รูปที่ 6.8 Bulldozer และ Motor Scraper**

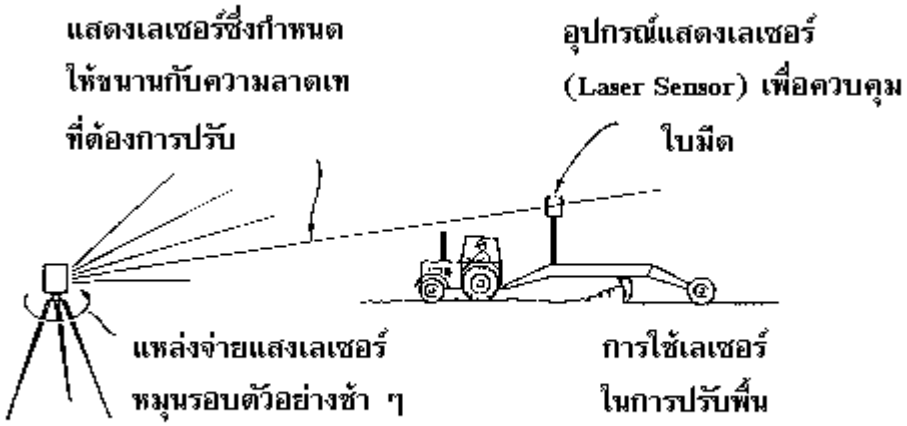


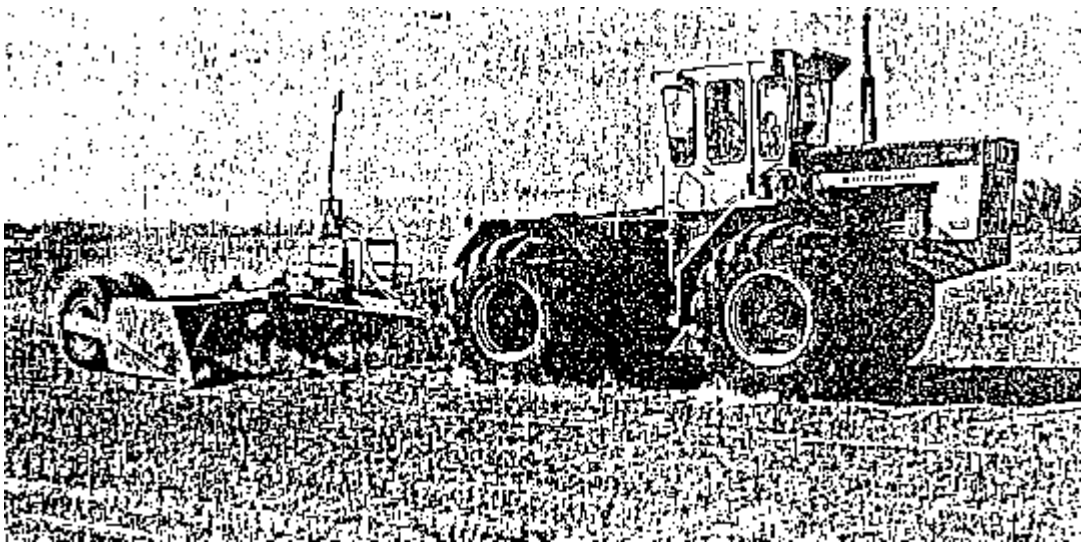

**(1) Land Plane**



**(2) Motor Grader**

**รูปที่ 6.9 Motor Grader และ Land Plane**



**รูปที่ 6.10 เครื่องมือปรับระดับพื้นที่ที่ควบคุมด้วยแสงเลเซอร์**

# บทปฏิบัติการที่ 6
# การปรับพื้นที่

**6.1** พื้นที่แห่งหนึ่งกว้าง150 เมตร ยาว 175 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 ผลการสำรวจระดับพื้นที่โดยกำหนดระยะระหว่างหมุด 25 ม. x 25 ม. ได้ราคาระดับดังแสดงในรูปที่ 1

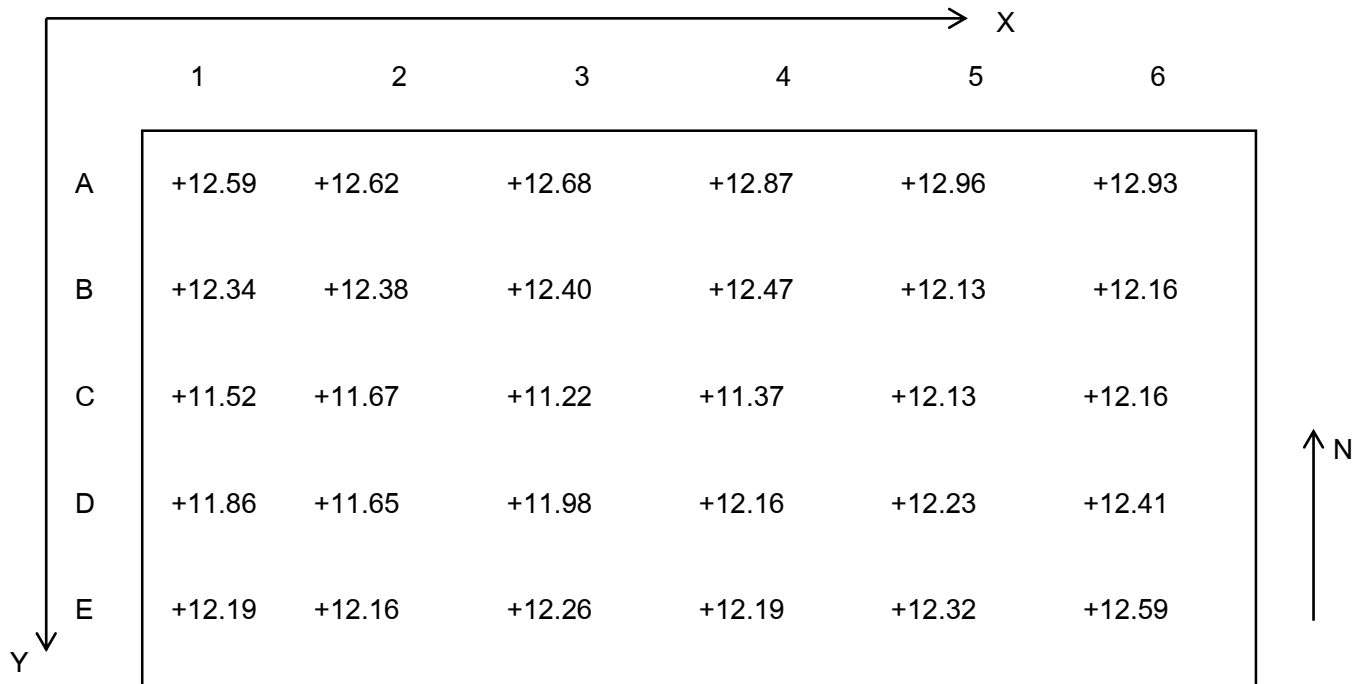
**จงคำนวณหา**

(1) จงปรับพื้นที่โดยวิธี Plan Method

(2) คำนวณหาดินขุด - ดินถม โดยวิธี Four Point และ Summation โดยกำหนดให้อัตราส่วนดินขุดต่อดินถมเท่ากับ 1.25

(3) ถ้าราคาค่าปรับระดับดิน (ขุดและถม) เท่ากับ 35 บาท/ม$^2$. จงคำนวณหาค่าใช้จ่ายในการปรับพื้นที่แห่งนี้ และคำนวณหาอัตราการปรับพื้นที่เป็น บาท/ไร่

**6.2** ถ้าต้องการปรับพื้นที่ในรูปที่ 1 ให้มีความลาดเททางเดียวคือในแนวเหนือใต้ โดยกำหนดให้พื้นที่ด้านทิศเหนือมีระดับหลังปรับเท่ากับ + 12.5 ม. จงคำนวณหาความลาดเทในแนวเหนือใต้ และปริมาตรดินขุด - ดินถม




| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | +12.59 | +12.62 | +12.68 | +12.87 | +12.96 | +12.93 |
| B | +12.34 | +12.38 | +12.40 | +12.47 | +12.13 | +12.16 |
| C | +11.52 | +11.67 | +11.22 | +11.37 | +12.13 | +12.16 |
| D | +11.86 | +11.65 | +11.98 | +12.16 | +12.23 | +12.41 |
| E | +12.19 | +12.16 | +12.26 | +12.19 | +12.32 | +12.59 |
| F | +11.28 | +11.43 | +11.65 | +11.71 | +11.83 | +11.98 |
| G | +11.07 | +11.10 | +11.28 | +11.40 | +11.49 | +11.80 |

**หมายเหตุ :-** ขอบแปลงทั้งสี่ด้านห่างจากแนวหมุดอยู่เป็นระยะทางเท่ากับครึ่งหมุด

# บทที่ 7
# ข้อกำหนดในการออกแบบระบบชลประทานในแปลงนา
# (Criteria for On - Farm Irrigation System Design)

## 7.1 ความต้องการน้ำชลประทานและสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ

ระบบชลประทานในแปลงนาโครงการชลประทานแม่กลองได้ออกแบบไว้ โดยถือว่าข้าวเป็นพืชหลักในการส่งน้ำชลประทาน และกำหนดให้ส่งน้ำแก่พื้นที่เพาะปลูกในฤดูแล้งได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ข้าวมีความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดสุทธิจะเท่ากับ 9.0 มม./วัน คิดเป็นการระเหยและคายน้ำเท่ากับ 8.0 มม./วัน และการซึมเลยเขตรากเท่ากับ 1.0 มม./วัน กำหนดให้ประสิทธิภาพที่ระดับแฉกส่งน้ำเท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์ ความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดจะเท่ากับ 0.23 ลิตร/วินาที/ไร่ (วราวุธ และพงศธร. 2536)

การออกแบบคูระบายน้ำใช้สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 46 มม./วัน หรือ 0.85 ลิตร/วินาที/ไร่ สัมประสิทธิ์การระบายน้ำนี้สามารถระบายน้ำฝนปริมาณสูงสุดที่ตกติดต่อกัน 5 วัน ซึ่งมีรอบปีการเกิดซ้ำ 10 ปี ( = 190 มม.) ได้หมดภายใน 3 - 4 วัน (วราวุธ และพงศธร. 2536)

## 7.2 รูปแบบของการพัฒนาระบบชลประทานในแปลงนา

ในระบบชลประทานในแปลงนาของโครงการชลประทานแม่กลอง จัดให้มีคูส่งน้ำคูระบายน้ำ และถนนเข้าถึงทุกแปลง หรือประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่มีการจัดรูปแปลงใหม่ และไม่มีการปรับระดับดินให้เว้นแต่ในแปลงเพาะปลูกที่มีการขุดดินออกไปเพื่อสร้างคูส่งน้ำและถนน ในบริเวณที่ได้มีการขุดคูส่งน้ำตาม “แผนงานคันและคูน้ำ” ไว้แล้ว คูที่มีอยู่เดิมจะต้องทำการกลบและปรับให้เรียบร้อย

## 7.3 วิธีการจัดสรรน้ำชลประทานในระดับคูส่งน้ำ

พื้นที่รับน้ำของแต่ละคู (พื้นที่แฉกส่งน้ำ) จะแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยหรือแฉกย่อย ซึ่งแต่ละแฉกย่อยจะประกอบด้วยแปลงนาจำนวนหนึ่ง แฉกย่อยนี้จะได้รับน้ำชลประทานสัปดาห์ละครั้งตามรอบเวรการส่งน้ำ ในการจัดสรรน้ำกำหนดรอบเวรการส่งน้ำในระดับคูน้ำคงที่ ส่วนปริมาณน้ำในคูจะต้องปรับให้เหมาะสมตามความต้องการใช้น้ำของพืช

กำหนดเวลาการส่งน้ำประจำสัปดาห์ให้แต่ละแฉกย่อย ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ของแฉกย่อยนั้น อาคารอัดน้ำหรืออาคารแบ่งน้ำ (ซึ่งทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำด้วย) ซึ่งใช้ควบคุมการส่งน้ำให้แก่แฉกย่อยนั้น จะต้องปิดเมื่อถึงรอบเวรที่แฉกย่อยนั้นจะต้องรับน้ำและเปิดในวันอื่น ๆ ที่เหลือของสัปดาห์

การรับน้ำชลประทานระหว่างแปลงต่าง ๆ ที่อยู่ในแฉกย่อยเดียวกัน ทำได้โดยการเปิดท่อส่งน้ำเข้านาในช่วงเวลาที่กำหนดให้ 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 7.4.3

## 7.4 ตัวอย่างการคำนวณการส่งน้ำแบบหมุนเวียนในคูน้ำ

ตัวอย่างที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นวิธีการที่ใช้กันอยู่ในโครงการชลประทานแม่กลอง

### 7.4.1 เกณฑ์ในการส่งน้ำแบบหมุนเวียน

1. ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในรอบสัปดาห์
2. ส่งน้ำตามความต้องการของพืช ซึ่งจะแตกต่างกันไปในแต่ละสัปดาห์ แต่รอบเวรและระยะเวลาที่จัดสรรน้ำให้เกษตรกรแต่ละรายจะไม่เปลี่ยนแปลง
3. แต่ละคูน้ำจะมีตารางการส่งน้ำหมุนเวียนเฉพาะคู
4. วันพฤหัสเวลา 6 โมงเช้าคือเวลาที่เริ่มรอบเวรการส่งน้ำ

### 7.4.2 การคำนวณหาเวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละหน่วยหมุนเวียน

เวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละหน่วยหมุนเวียน (แฉกย่อย) $Tu_i$ จะหาได้จากสูตร (วราวุธ และพงศธร . 2536)

$Tu_i = \frac{Au_i}{Ad} \times 7$ ----------(7.1)

เมื่อ $Tu_i$ = เวลาในการจัดสรรน้ำให้หน่วยหมุนเวียนที่ i (วัน)

$Au_i$ = พื้นที่หน่วยหมุนเวียน i (ไร่)

Ad = พื้นที่แฉก (ไร่)

**ตัวอย่างที่ 7.1** จงคำนวณหาเวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละหน่วยหมุนเวียน สำหรับคูน้ำขนาด 245 ไร่ ซึ่งมี 5 หน่วยหมุนเวียนดังรูปที่ 7.1

$Au_1$ = 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

### 7.4.3 การคำนวณเวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละแปลง

สมมติให้

N = จำนวนท่อส่งน้ำเข้าแปลงที่สามารถเปิดพร้อม ๆ กัน

$Q_d$ = ความจุคูน้ำ (ลิตร/วินาที)

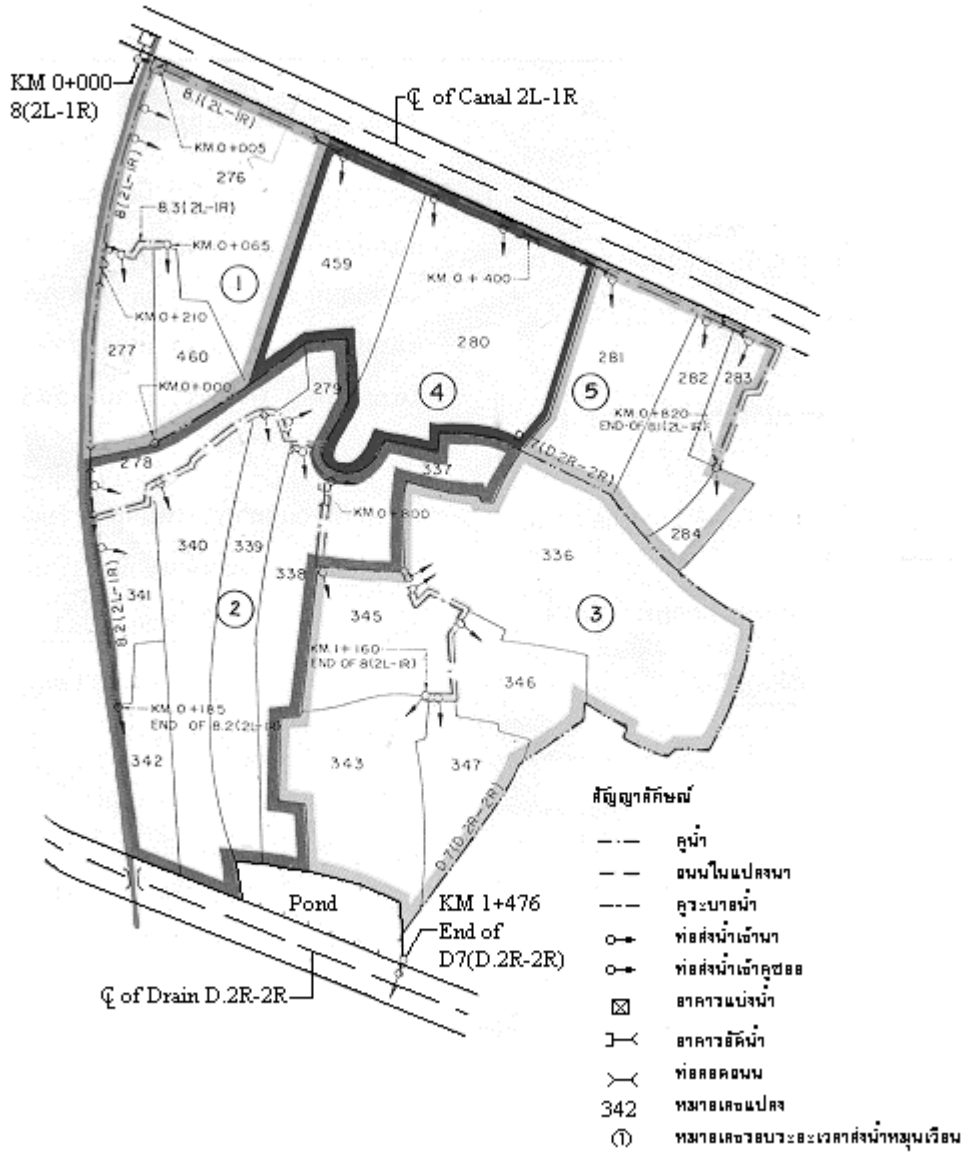
$Q_{Fl}$ = ขนาดท่อส่งน้ำเข้าแปลง (ลิตร/วินาที)

$N = \frac{Qd}{Q_{Fl}}$ ----------(7.2)

เวลาในการจัดสรรน้ำให้แต่ละแปลง ($Tp_j$) เป็นชั่วโมง

$Tp_j = \frac{Ap_j}{Au_i} \times Tu_i \times N \times 24$ ----------(7.3)

เมื่อ $Ap_j$ = พื้นที่แปลง j ในหน่วยหมุนเวียนที่ i




**รูปที่ 7.1 คูน้ำซึ่งประกอบด้วย 5 หน่วยหมุนเวียน สำหรับตัวอย่างที่ 7.1**

**ตัวอย่างที่ 7.2** ให้ระบบชลประทานในไร่นามีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

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

คูน้ำในตัวอย่างที่ 7.1 มีพื้นที่ส่งน้ำ 245 ไร่ ตามข้อกำหนดดังกล่าว คูน้ำจะมีขนาด 60 ลิตร/วินาที และสามารถเปิดท่อน้ำเข้านาได้ 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 7.3

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

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

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

ถ้าเกณฑ์ในการติดตั้งท่อส่งน้ำเข้านาคือ

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

จะสามารถจัดตารางการส่งน้ำได้ดังแสดงในตารางที่ 7.1

**ตารางที่ 7.1 ตารางการส่งน้ำสำหรับหน่วยหมุนเวียนที่ 1**

| แปลงที่ | ท่อส่งน้ำเข้านาที่ | จำนวนชั่วโมง | ตารางเวลาการจัดสรรน้ำ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 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 | |

## 7.5 ความจุและการออกแบบทางชลศาสตร์ของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ

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

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

การคำนวณขนาดของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำใช้สูตรของ Manning ดังนี้

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \qquad \text{----------(7.4)}$$

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 7.2

**ตารางที่ 7.2** เกณฑ์การออกแบบคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ (Ilaco/Empire M&T. 2528)

| | | | |
|---|---|---|---|
| <u>คูส่งน้ำ</u> | 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 | | |
| | - ความสูงของดินถม $\leq$ 0.75 ม. | : | 1 : 1 |
| | - ความสูงของดินถม > 0.75 ม. | : | 1 : 1.5 |
| | Freeboard | : | 0.30 ม. |
| | ความกว้างหลังคันคู | : | 0.50 ม. |
| <u>คูระบายน้ำ</u> | 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. |

## 7.6 อาคารต่าง ๆ

### 7.6.1 ทั่วไป

ระบบงานชลประทานในแปลงนาประกอบด้วยอาคารชลประทานประเภทต่าง ๆ ลักษณะโครงสร้างของอาคารชลประทานเหล่านี้ได้แสดงไว้โดยละเอียดแล้วในแบบมาตรฐาน (Standard Drawings)

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

### 7.6.2 สูตรต่าง ๆ ในการหาปริมาณน้ำ

ในการออกแบบด้านชลศาสตร์ของอาคารต่าง ๆ ของระบบชลประทานในแปลงนานั้น ได้มีผู้ใช้สูตรในการหาปริมาณน้ำตามลักษณะการไหลของน้ำแบบต่าง ๆ ดังนี้

(1) ฝาย

$$Q = cwh_1^{3/2} \quad \text{เมื่อ } dh_1 \geq 1/3\ h_1 \qquad \text{----------(7.5)}$$

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

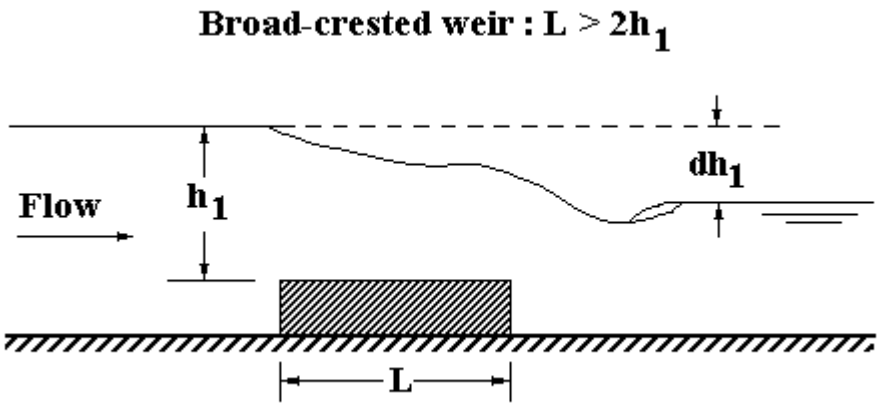
$c$ = ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นกับลักษณะของสันฝาย

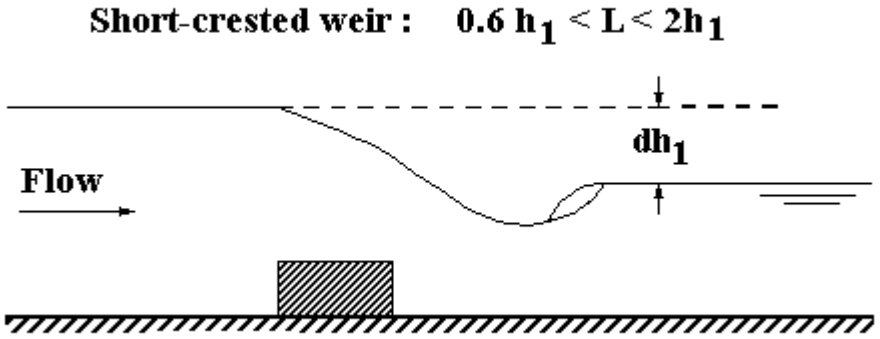
$w$ = ความกว้างของฝาย หน่วยเป็น เมตร

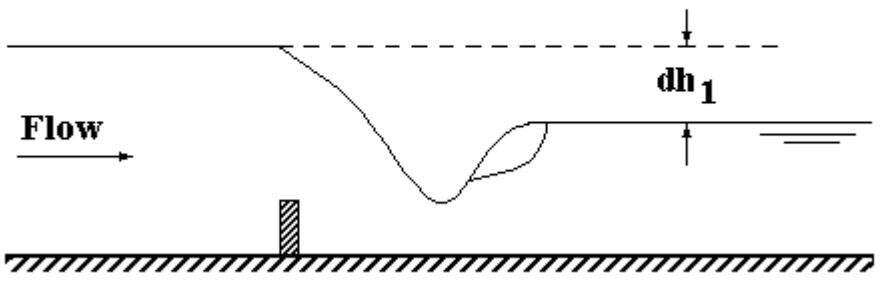
$h_1$ = ความลึกของน้ำเหนือสันฝายด้านเหนือน้ำ หน่วยเป็นเมตร

$dh_1$ = Headloss เหนือฝาย หน่วยเป็นเมตร

ค่าของ c จะสัมพันธ์กับความยาวของสันฝาย (L) และความลึกของน้ำด้านเหนือน้ำของสันฝาย (รูปที่ 7.2)




**รูปที่ 7.2 ฝายแบบต่าง ๆ**

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

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

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

การไหลของน้ำผ่านสันฝายต้องถือว่าเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) กล่าวคือ ระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำจะไม่มีการกระทบกระเทือนต่อปริมาณน้ำ ถ้า $dh_l \geq 1/3\ h_l$

(2) Orifices

สูตรหาปริมาณน้ำสำหรับ Submerged Orifice Flow (ดูรูปที่ 7.3)

$$Q = cA\sqrt{2gdh_1} \quad \text{----------(7.6)}$$

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$^2$)

### 7.6.3 อาคารน้ำตก (Drops)

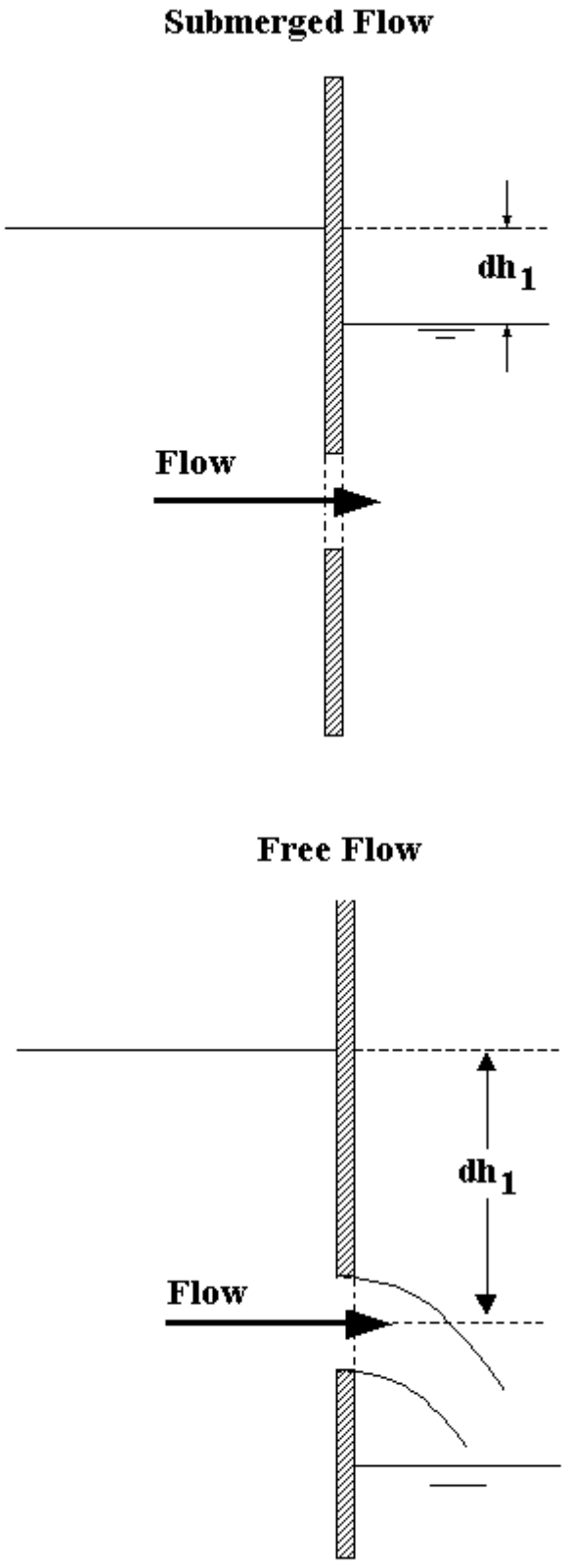
อาคารน้ำตกเป็นอาคารที่ใช้ในระบบคูส่งน้ำและคูระบายน้ำเมื่อต้องการลดระดับน้ำ อาคารน้ำตกมี 2 ประเภท คือ อาคารน้ำตกทางดิ่ง (Vertical drop) และท่อน้ำตก (Culvert Drop) (ดูรูปที่ 7.4)

(ก) อาคารน้ำตกทางดิ่ง (Vertical drop)

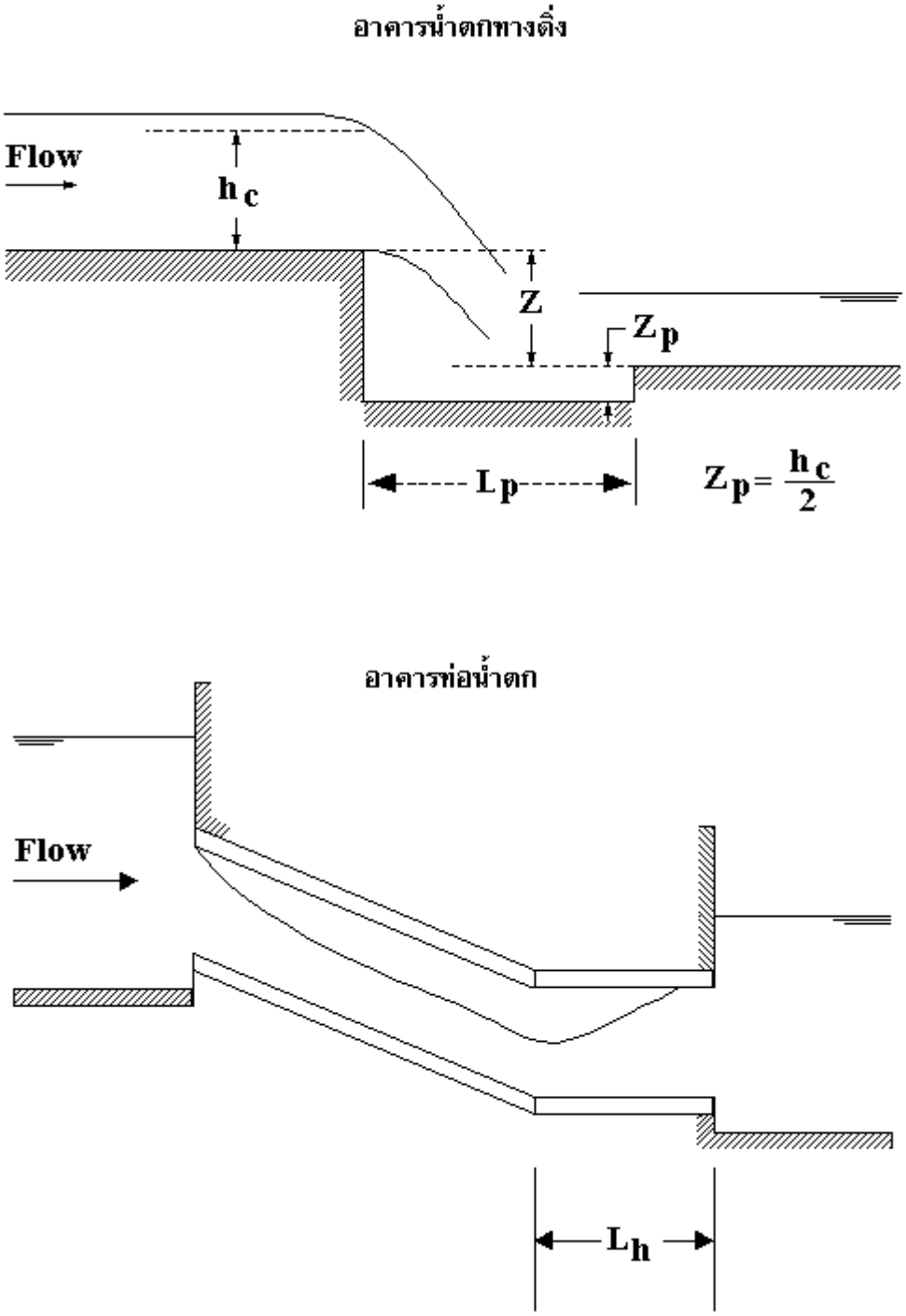
ในกรณีที่ใช้อาคารน้ำตกทางดิ่ง จะต้องสร้างอ่างรับน้ำ (Stilling Basin) เพื่อทำลายกำลังน้ำที่พุ่งตกลงมา ดังรูปที่ 7.4

(ข) อาคารท่อน้ำตก (Culvert Drop)

อาคารท่อน้ำตกประกอบด้วยท่อที่วางลาดเอียงและท่อที่วางตามแนวราบมิติของท่อ เช่น เส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวของท่อที่วางในแนวราบจะต้องเลือกให้สามารถทำลายกำลังน้ำได้ภายในช่วงท่อโดยการทำให้เกิด Hydraulic Jump ในท่อตามแนวราบ




**รูปที่ 7.3 Orifices แบบต่าง ๆ**




**รูปที่ 7.4 อาคารน้ำตก**

สำหรับมิติของอาคารน้ำตกในระบบคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ ได้กำหนดระยะน้ำตกสูงสุดไว้เท่ากับ 1.25 ม.

**7.6.4 ลักษณะของอาคารควบคุมน้ำชลประทาน**

(1) ฝายแบบ Romijn

ฝายแบบ Romijn นี้นำมาใช้เป็นอาคารรับน้ำเข้าคูส่งน้ำ (Ditch Offtake) โดยทำหน้าที่บังคับและวัดประมาณน้ำด้วย (ดูรูปที่ 7.5)

สูตรการหาปริมาณน้ำต่อไปนี้ใช้สำหรับคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝายแบบ Romijn

$$Q = 1.71\ w h_1^{3/2} \qquad \text{----------(7.7)}$$

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 เป็นอาคารรับน้ำเข้าคูส่งน้ำอีกแบบหนึ่งซึ่งมีหน้าที่ทั้งในการบังคับและวัดประมาณน้ำ (ดูรูปที่ 7.5)

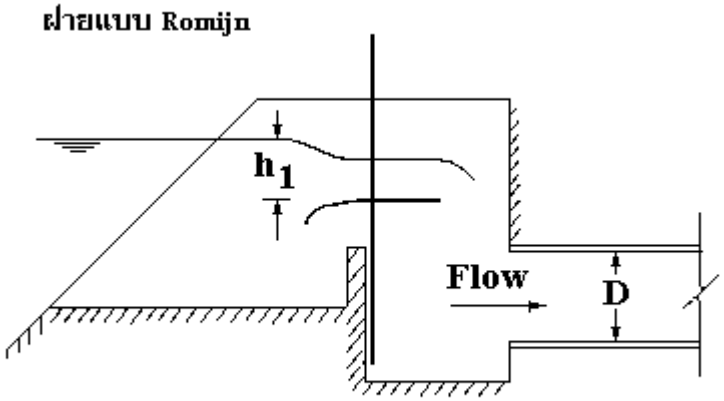
$$Q = 0.62\ y w \sqrt{2 g dh_1} \qquad \text{----------(7.6)}$$

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

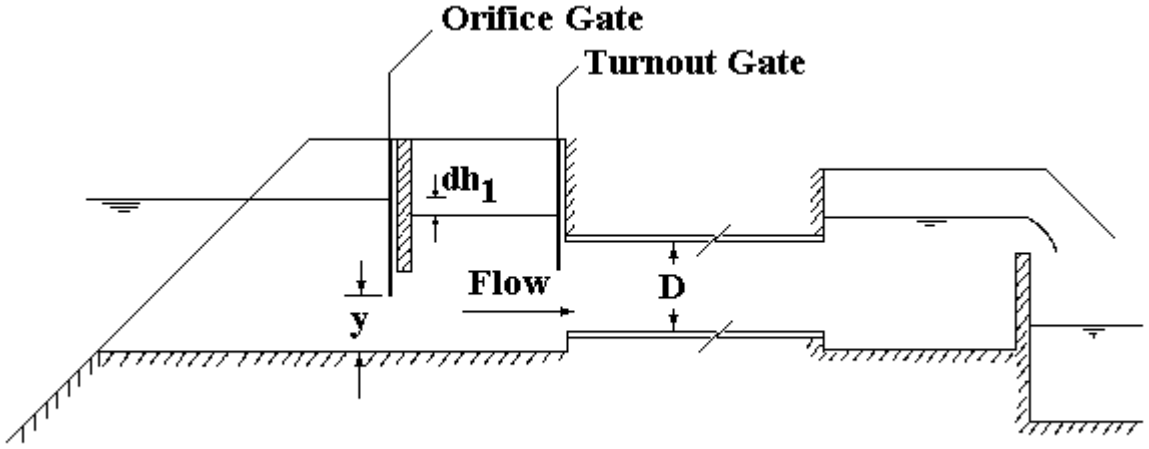
$w$ = ความกว้างของช่อง Orifice หน่วยเป็น เมตร
( = 0.50 ม. มาตรฐาน)

$y$ = ความสูงของช่องเปิดของ Orifice หน่วยเป็นเมตร

$dh_1$ = Headloss เหนือ Orifice หน่วยเป็นเมตร




**Constant head orifice : ชนิดมีฝายและน้ำตกทางดิ่งที่ด้านท้ายของอาคาร**




**รูปที่ 7.5 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 (Check with Drop Culvert) และอาคารอัดน้ำพร้อมน้ำตกทางดิ่ง (Check with Verticle Drop)

ท่ออัดน้ำและอาคารอัดน้ำพร้อมท่อน้ำตก ประกอบด้วยทางรับน้ำรูปกล่อง (Box) ติดต่อกับท่อลอด ปากกล่องมีความกว้างมาตรฐาน 0.4 ม. ส่วนปากอาคารอัดน้ำพร้อมอาคารน้ำตกทางดิ่งมีความกว้างมาตรฐาน 0.4 ม. เช่นเดียวกันอาคารอัดน้ำนี้ออกแบบให้มี Freeboard 0.05 ม. เหนือระดับส่งน้ำสูงสุดของคูน้ำ Freeboard ทำเผื่อไว้ในกรณีที่ปริมาณน้ำในคูส่งน้ำน้อยกว่าปริมาณน้ำที่ออกแบบไว้ และเมื่อปิดประตูอาคารและปริมาณน้ำในคูส่งไม่สามารถผันไปใช้ได้หมดทางด้านเหนือน้ำของอาคารอัดน้ำนี้ ปริมาณน้ำที่เหลืออยู่จะไหลข้ามสันของทางรับน้ำรูปกล่องแล้วไหลเข้าไปยังคูส่งน้ำทางด้านท้ายน้ำได้

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

การคำนวณ Headloss เหนืออาคารอัดน้ำพร้อมท่อน้ำตกและอาคารอัดน้ำพร้อมน้ำตกทางดิ่งนั้นไม่จำเป็นเพราะความแตกต่างของระดับน้ำเหนือ และท้ายอาคารนั้นกำหนดขึ้นจากระดับน้ำท้ายน้ำที่ต้องการลดต่ำลงไปตามลักษณะภูมิประเทศ นอกจากนี้ อาคารทั้งสองแบบยังสามารถใช้ทำหน้าที่เป็นอาคารน้ำตกเพียงอย่างเดียวได้ และในกรณีเช่นนี้จะไม่มีการติดตั้งบาน ปิด-เปิด ระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำจะไม่สามารถควบคุมได้ แต่จะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณน้ำที่ไหลจริง

(4) อาคารฝายน้ำตก (Weir Drop) ในคูส่งน้ำ

อาคารประเภทนี้จะใช้ในบริเวณที่มีความลาดค่อนข้างชันมาก และมีคูส่งน้ำทอดไปในแนวที่เกือบจะตั้งฉากกับเส้นขอบเนิน ในสภาพเช่นนี้ อาจจะต้องติดตั้งอาคารน้ำตกจำนวนหลาย

ตัวในช่วงระยะสั้น ๆ โดยในระหว่างอาคารน้ำตกแต่ละตัวอาจมีท่อส่งน้ำเข้ามาเพียงไม่กี่ตัว สำหรับคูส่งน้ำซึ่งมีความจุ 60 ลิตร/วินาที หรือมากกว่านี้ อาจจะต้องเปิดท่อส่งน้ำเข้านาทางด้านเหนือน้ำของอาคารน้ำตกพร้อมกับท่อน้ำซึ่งอยู่ทางด้านท้ายน้ำ

อาคารดังกล่าวเป็นอาคารน้ำตกทางดิ่งซึ่งมีฝายควบคุมระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคาร ความกว้างของสันฝายนั้น จะต้องคำนวณให้พอเหมาะสำหรับกรณีที่บานอยู่ในตำแหน่งปิด จะทำให้ระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคารเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อปริมาณน้ำที่ไหลผ่านฝายเปลี่ยนแปลง (ดูตารางที่ 7.3) ถ้าหยุดส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำเข้านาทางด้านเหนือน้ำของอาคารก็ไม่จำเป็นต้องเปิดบานระบาย ปริมาณน้ำสูงสุดสามารถไหลข้ามฝายโดยทำให้ระดับน้ำในคูส่งน้ำสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดเพียง 2-3 เซ็นติเมตรเท่านั้น อย่างไรก็ตามในการสร้างฝายน้ำตกควรทำการติดตั้งบานด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้เกษตรกรซึ่งมีพื้นที่เพาะปลูกอยู่ทางด้านท้ายน้ำของอาคารฝายน้ำตกเชื่อว่าฝายจะลดปริมาณการส่งน้ำชลประทานไปยังพื้นที่เพาะปลูกของตน ดังนั้นการเปิดบานสามารถทำได้เมื่อหยุดการส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำเข้านาทางด้านเหนือน้ำของอาคารนั้นทั้งหมด อาคารนี้มิได้ทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำเพราะไม่สามารถกั้นระดับน้ำไว้ได้ทั้งหมดและสันฝายอยู่ต่ำกว่าระดับส่งน้ำสูงสุด

**ตารางที่ 7.3** 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) <u>อาคารแบ่งน้ำ</u> (Division Box)

อาคารแบ่งน้ำซึ่งทำหน้าที่ผันน้ำทั้งหมดลงสู่คูซอยมีลักษณะเป็นอาคารที่มีช่องรับน้ำเข้าหนึ่งช่องส่งน้ำออกสองหรือสามช่อง นอกจากนี้อาคารแบ่งน้ำยังทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำด้วยเมื่อปิดบานของช่องส่งน้ำออกทุกช่องอาคารแบ่งน้ำ ออกแบบให้มี Freeboard 0.05 ม. เหนือ

ระดับน้ำสูงสุดของคูส่งน้ำ 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 และ แบบที่ 2 ใช้สำหรับสภาพการไหลแบบ Free Flow

สำหรับคูซอยซึ่งส่งน้ำให้แก่พื้นที่เล็ก ๆ จะใช้ท่อน้ำเข้าคูซอย (Ditch Inlet) แทนอาคารแบ่งน้ำหรืออาคารรับน้ำเข้าคูซอย (Offtake for subditches) ท่อส่งน้ำเข้าคูซอยจะสร้างแบบเดียวกับท่อส่งน้ำเข้านา สำหรับคูซอยที่มีมีความจุ 30 ลิตร/วินาที ซึ่งสามารส่งน้ำให้แก่พื้นที่ได้สูงสุด 15 ไร่นั้น จะติดตั้งท่อส่งน้ำเข้าคูเพียงแถวเดียว ส่วนท่อส่งน้ำเข้าคูสองแถว จะใช้สำหรับคูซอยซึ่งมีความจุ 60 ลิตร/วินาที ซึ่งสามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่ 16-30 ไร่

(8) อาคารทิ้งน้ำปลายคู (Tail Structures)

อาคารทิ้งน้ำปลายคูประกอบด้วยทางรับน้ำเข้ารูปกล่องเชื่อมกับท่อ น้ำในอาคารนี้จะเริ่มไหลล้นออกไปยังคูระบายเมื่อระดับน้ำสูงถึงสันของทางรับน้ำ (Box) ซึ่งกำหนดให้อยู่ในระดับ 0.05 ม. เหนือระดับน้ำสูงสุดของคูส่งน้ำ ความลึกของน้ำเหนือสัน ($h_1$) ที่ปริมาณน้ำต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 7.5

อาคารทิ้งน้ำปลายคูแบบที่ 1 และแบบที่ 3 จะติดตั้งไว้ที่ปลายคูส่งน้ำ (หรือคูซอย) ส่วนอาคารแบบที่ 2 ทำหน้าที่เป็นทางระบายน้ำล้นด้านข้าง (Side Spiillway) และอาจจะติดตั้งไว้ทางด้านเหนือน้ำในระยะไม่เกิน 200 ม. จากปลายคูส่งน้ำ (หรือคูซอย) ในช่วงระยะไม่เกิน 200 ม.

ดังกล่าวนี้ จะยังคงทำให้มี Freeboard เหลืออยู่มากกว่า 0.10 ม. ที่ปลายคู (ความลาดเทของท้องคูส่งน้ำ = 0.20 %)

**ตารางที่ 7.4** 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 |

**หมายเหตุ** (1) เมื่อปิดบาน

(9) <u>อาคารลอดถนน</u> (Crossing Structures)

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

## 7.7 เอกสารอ้างอิง

1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536).การออกแบบระบบชลประทานแบบผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

2. Ilaco / Empire M&T (2528). การออบแบบระบบชลประทานในแปลงนาสำหรับพื้นที่ชลประทานแม่กลองฝั่งขวาและมาลัยแมนระยะที่ 1. รายงานการออกแบบเลขที่ 6 กรมชลประทาน.

# บทปฏิบัติการที่ 7
# ข้อกำหนดในการออกแบบระบบชลประทานในแปลงนา

## 7.1 การทัศนศึกษาระบบชลประทานในแปลงนา

### (1) วัตถุประสงค์

เพื่อให้ได้รู้จักระบบชลประทานในแปลงนา ซึ่งรวมทั้ง คูส่ง คูระบาย ถนนอาคารควบคุมบังคับน้ำต่าง ๆ ตลอดจนการแบ่งแปลง เพื่อให้นิสิตเกิดความรู้ความเข้าใจในกลไกการส่งน้ำในแปลงนา อันจะเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการออกแบบระบบชลประทานในแปลงเพาะปลูก ในบทที่ 8, 9 และต่อไป

### (2) วิธีการ

1. นำนิสิตไปทัศนศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรี เพื่อดูระบบชลประทานในแปลงนา ทั้งระบบชลประทานสำหรับนาข้าวและพืชไร่

2. ให้นิสิตจัดทำรายงานการไปทัศนศึกษา โดยเฉพาะเกี่ยวกับลักษณะระบบชลประทานในแปลงนา

## 7.2 จาก Layout ของระบบชลประทานในแปลงนาที่กำหนดให้ จงดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) เขียน Profile ก้นคลอง ระดับน้ำ และคันคลอง พร้อมระบุอาคารชลประทานที่สำคัญ ๆ ตามแนวคลอง

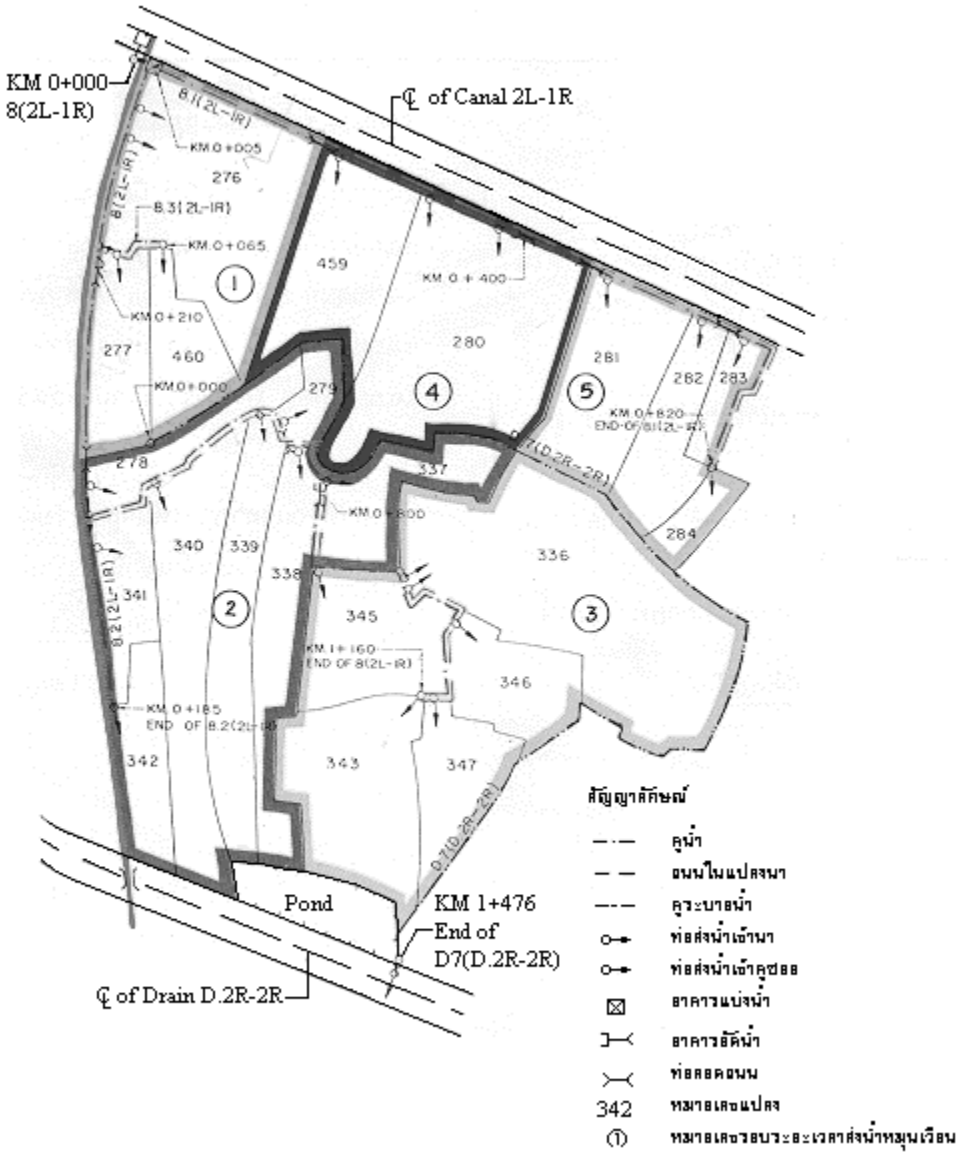
(2) เขียนแบบ Section คลองและถนน โดยอาศัย Standard Drawing ที่กำหนดให้

(3) เขียนแบบอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ

กำหนดให้แต่ละแปลงมีพื้นที่ดังต่อไปนี้

| พื้นที่หมุนเวียน | แปลงหมายเลข | พื้นที่ (ไร่) |
|---|---|---|
| 1 | 276 | 22 |
| | 277 | 7 |
| | 460 | 6 |
| 2 | 278 | 6 |
| | 279 | 4 |
| | 337 | 6 |
| | 338 | 14 |
| | 339 | 14 |
| | 340 | 14 |
| | 341 | 6 |
| | 342 | 6 |
| 3 | 336 | 30 |
| | 343 | 12 |
| | 345 | 12 |
| | 346 | 8 |
| | 347 | 8 |
| 4 | 280 | 12 |
| | 459 | 23 |
| 5 | 281 | 14 |
| | 282 | 10 |
| | 283 | 6 |
| | 284 | 5 |

กำหนดให้พื้นที่ทั้งหมดราบและต้องการออกแบบคูส่งน้ำและคูระบายให้มีความลาดเท 0.02 %




**ระบบชลประทานในแปลงนา สำหรับบทปฏิบัติการ 7.2**

# บทที่ 8
# การหาขนาดระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูก
# (Sizing Farm Irrigation Delivery System Capacity)

## 8.1 คำนำ

การออกแบบระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูกเท่าที่ทำมาในสมัยก่อนเป็นเพียงเพื่อการชลประทานเสริมสำหรับการปลูกข้าวในฤดูฝนเท่านั้นเอง แต่ในโครงการชลประทานปัจจุบันได้นำเอาวิทยากรสมัยใหม่ในอันที่จะพัฒนาทั้งทางด้านการเกษตรและชลประทานเพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้ทันกับความต้องการของประเทศและของโลก อาทิเช่น การจัดรูปที่ดิน การใช้เมล็ดพันธุ์ใหม่ ๆ ซึ่งไม่ขึ้นกับสภาพอากาศและให้ผลผลิตสูง การใช้ปุ๋ยและยาปราบศัตรูพืช การปลูกพืชหลายครั้งต่อปี การใช้เครื่องจักรเครื่องมือเข้าช่วยในการเกษตร ตลอดจนการจัดการเรื่องน้ำในระดับแปลงนา ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้มีผลทำให้แนวความคิดในการออกแบบระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ในอันที่จะควบคุมน้ำในระดับแปลงเพาะปลูกให้พอเหมาะกับความต้องการในการเกษตรตลอดเวลา

## 8.2 แนวความคิดเบื้องต้นในการหาขนาดระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูก

ถึงแม้ว่าจะเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าการปลูกพืชไร่ให้ผลตอบแทนสูงกว่าข้าว แต่ในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่ยังคงปลูกข้าวเป็นหลักเนื่องจากความคุ้นเคยและปัญหาเรื่องตลาด ดังนั้นการออกแบบขนาดของระบบส่งน้ำจึงยังคงยึดเอาข้าวเป็นหลัก ความต้องการน้ำสูงสุดของข้าวเกิดในช่วงเตรียมดิน ซึ่งความต้องการน้ำในช่วงนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ (1) น้ำเพื่อทำให้ดินอิ่มตัวสะดวกต่อการไถ (2) น้ำที่ขังไว้ในแปลงนาเพื่อควบคุมวัชพืช (3) น้ำที่สูญเสียเนื่องจากการระเหยและการรั่วซึมในแปลงนาที่มีน้ำขัง ปริมาณน้ำทั้ง 3 ส่วนนี้อาจจะมีค่าตั้งแต่ประมาณ 150 ถึงกว่า 410 มม. และช่วงเวลาในการเตรียมแปลงอาจจะแปรผันไปได้ตั้งแต่ 10 วัน ถึง 60 วัน ขึ้นอยู่กับชนิดดิน ขนาดของพื้นที่สมรรถนะและวิธีการในการเตรียมดินของเกษตรกร (สรศักดิ์ และวราวุธ2535) ยิ่งระยะเวลายิ่งยาวนานออกไปการสูญเสียน้ำจะเพิ่มขึ้นและทำให้ต้องใช้น้ำในการเตรียมแปลงมากขึ้น แต่ในแง่ของการออกแบบขนาดระบบถ้าระยะในการเตรียมแปลงสั้นจะทำให้ขนาดของระบบต้องใหญ่ขึ้น เพราะจะต้องส่งน้ำปริมาณมากในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ ในการออกแบบโดยทั่ว ๆ ไปจะไม่นำฝนมารวมพิจารณาเพราะถือว่าการตกของฝนเป็นสิ่งที่ไม่แน่นอนอยากจะเชื่อถือได้ และถ้าระบบชลประทานนั้นต้องทำการส่งน้ำเพื่อการปลูกข้าวทั้งในฤดูฝนและในฤดูแล้ง จะต้องศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลงในฤดูฝนและฤดูแล้งเปรียบเทียบกันด้วย เพื่อจะได้แน่ใจว่าขนาดของระบบที่ออกแบบนั้นสามารถส่งน้ำให้พืชได้ในช่วงที่พืชต้องการน้ำสูงสุด (วราวุธ และพงศธร. 2536)

## 8.3 วิธีการหาขนาดระบบส่งน้ำสำหรับการปลูกข้าว

ปัจจุบันได้มีผู้เสนอแนะสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของระบบส่งน้ำในแปลงนา โดยคิดจากความต้องการน้ำสูงสุดในช่วงเตรียมแปลงกันอย่างมากมาย ซึ่งพอที่จะแยกวิธีการคำนวณออกได้เป็น 2 พวก พวกแรกมีแนวความคิดว่าการเตรียมแปลงมีอัตราคงที่ ซึ่งความต้องการน้ำเพื่อการเตรียมแปลงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากเริ่มจนมีค่ามากที่สุด ในวันสุดท้ายของการเตรียมแปลง พวกที่สองมีแนวความคิดว่าอัตราการเตรียมแปลงไม่คงที่ โดยให้อัตราการเตรียมแปลงมากในตอนแรกและค่อย ๆ ลดลงในลักษณะที่จะทำให้ความต้องการน้ำเพื่อการเตรียมแปลงมีอัตราสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาในการเตรียมแปลง แนวความคิดพวกแรกจะทำให้ขนาดของระบบส่งน้ำใหญ่กว่าพวกที่สอง แต่คำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติเกี่ยวกับแรงงานและเครื่องจักรเครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมแปลงในสภาพปัจจุบันมากกว่า

### 8.3.1 วิธีการออกแบบตามแนวความคิดว่าอัตราการเตรียมแปลงคงที่

วิธีการออกแบบขนาดของระบบที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไป ในไต้หวันและญี่ปุ่น

1. <u>สูตรที่ใช้ในไต้หวัน</u>

ในปี 1967 หน่วยงานอนุรักษ์น้ำในท้องถิ่น (Provincial Water Conservancy Bureasu) ของสาธารณะรัฐจีนได้เสนอแนะสูตรสำหรับคำนวณขนาดคูน้ำและเครื่องสูบน้ำที่ใหญ่ที่สุด โดยมีสมมติฐานว่าอัตราการเตรียมดินมีค่าคงที่ตลอดช่วงเวลาเตรียมดิน ไม่คิดฝนที่ตกในช่วงเวลาสั้น ๆ และทำการส่งน้ำให้แปลงปักดำตั้งแต่วันแรกที่เริ่มเตรียมดินจนสิ้นสุดการเตรียมดิน สูตรดังกล่าวคือ

$$Q_{max} = \left[\frac{AD_s}{N} + AD_t\right]\frac{1}{1+L} \qquad \text{----------(8.1 (a))}$$

หรือ $$Q_{max} = \left[\frac{AD_s}{NT} + \frac{AD_t}{T}\right]\frac{1}{1+L} \qquad \text{----------(8.1 (b))}$$

เมื่อ $Q_{max}$ = ขนาดใหญ่ที่สุดของคลองหรือคูน้ำหรือเครื่องสูบน้ำ มีหน่วยเป็น ลบ.เมตร/วัน สำหรับสมการ 8.1 (a) และ ลบ.เมตร/วินาที สำหรับสมการที่ 8.1 (b)

A = พื้นที่ที่จะต้องส่งน้ำ มีหน่วยเป็นตารางเมตร

Dt = ความต้องการน้ำในแปลงปักดำ (Maintenance Water) มีหน่วยเป็น เมตร/วัน

Ds = ปริมาณน้ำที่ทำให้ดินอิ่มตัว (Saturation Water Requirement, Dss) รวมกับปริมาณน้ำที่จะขังไว้ในแปลงนาก่อนการปักดำ (Standing Water Requirement, Dst) มีหน่วยเป็นเมตร

= Dss + Dst

= $\frac{(n-Pv)}{100}$ D + Dst

N = ระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมพื้นที่ A เสร็จ มีหน่วยเป็นวัน

L = การสูญเสียขณะทำการส่งน้ำ เป็นทศนิยม

T = จำนวนวินาทีในหนึ่งวันซึ่งเท่ากับ 86400

แนวความคิดตามสมการที่ 8.1 สามารถอธิบายให้เข้าใจได้กระจ่างยิ่งขึ้นโดยรูปที่ 8.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความต้องการน้ำจะมากที่สุดในวันสุดท้ายของการเตรียมแปลง

สำหรับการส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotational Irrigation) สมการที่ 8.1 จะสามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$Q_{max}$ = $\frac{A}{T}\left(\frac{Ds}{Ps}+\frac{dr}{Pr}\right)\frac{1}{1+L}$ ----------(8.2)

เมื่อ $Q_{max}$ = ขนาดใหญ่ที่สุดของคูน้ำหรือคลอง มีหน่วยเป็น ลบ.เมตร/วินาที

dr = ปริมาณน้ำที่ให้กับพื้นที่ปักดำในการให้น้ำแต่ละครั้งแบบหมุนเวียน เป็นเมตร

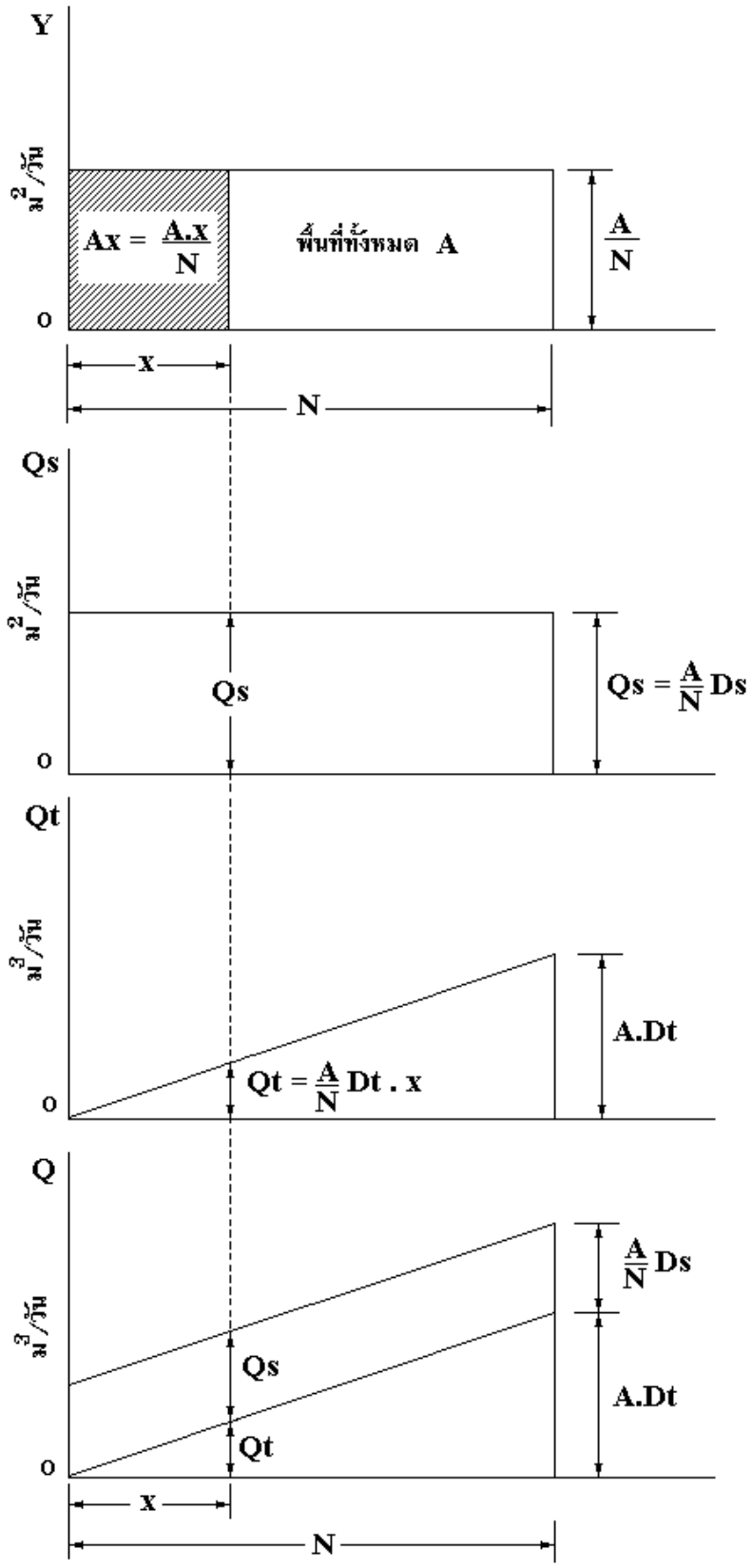
Pr = ช่วงระยะเวลาระหว่างการให้น้ำแต่ละครั้ง (Irrigation Interval) เป็นวัน

Ps = ระยะเวลาที่ส่งน้ำเพื่อทำให้ดินทั่วทั้งพื้นที่อิ่มตัว เป็นวัน

ค่า $Q_{max}$ , A, T, Ds และ L มีความหมายเหมือนเดิม

(2) <u>สูตรที่ใช้ในญี่ปุ่น</u>

สูตรที่ใช้คำนวณหาขนาดคูน้ำหรือคลองในการชลประทานในญี่ปุ่นมีสมมติฐานโดยทั่ว ๆ ไปเหมือนกับสูตรที่ใช้ในไต้หวัน จะต่างกันเพียงแต่สมมติว่าน้ำที่ส่งให้แปลงปักดำจะเริ่มส่งตั้งแต่วันที่สอง (ไม่ใช้วันที่ 1) จนสิ้นสุดการเตรียมดิน ซึ่งสูตรดังกล่าวคือ




**รูปที่ 8.1 ไดอะแกรมความต้องการน้ำในการเตรียมแปลงตามสมการที่ 8.1**

**(วราวุธ และพงศธร. 2536)**

$$Q_{max} = \frac{A}{N}\left[Ds+(N-1)Dt\right]\frac{1}{1+L} \qquad \text{----------(8.3)}$$

เมื่อ $Q_{max}$ , A , N, Ds , Dt และ L มีความหมายเหมือนสมการที่ 8.1

ข้อเสียของสูตรต่าง ๆ ตามแนวความคิดที่ว่าอัตราการเตรียมดินมีค่าคงที่คือ ความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานในช่วงเตรียมดินจะมากที่สุดในวันสุดท้าย ซึ่งจะทำให้ขนาดคูหรือคลองใหญ่โตเกินความจำเป็น และน้ำจะมีโอกาสส่งเต็มคูหรือคลองเฉพาะในวันสุดท้ายของการเตรียมเดินเท่านั้น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองและทำให้เกิดความยุ่งยากในการส่งน้ำ

### 8.3.2 วิธีการออกแบบตามแนวความคิดว่าอัตราการส่งน้ำคงที่

เพื่อให้อัตราการส่งน้ำคงที่ตลอดช่วงเวลาในการเตรียมแปลง อัตราการเตรียมแปลงจะต้องมากในตอนเริ่มต้นและค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ตามแนวความคิดนี้ Li - Jen Wen (1970) ได้เสนอแนะแนวทางการหาขนาดของระบบส่งน้ำดังแสดงในรูปที่ 8.2

ถ้าสมมติว่าอัตราการเตรียมดินแปรผันไปตามเวลา จะเขียนความสัมพันธ์ได้ว่า

$Y = f(X)$

ที่เวลา $X = O, Y = Yo$

$X = N, Y = Yn$

เมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับ X

$A_x = \int_{o}^{x} Ydx$

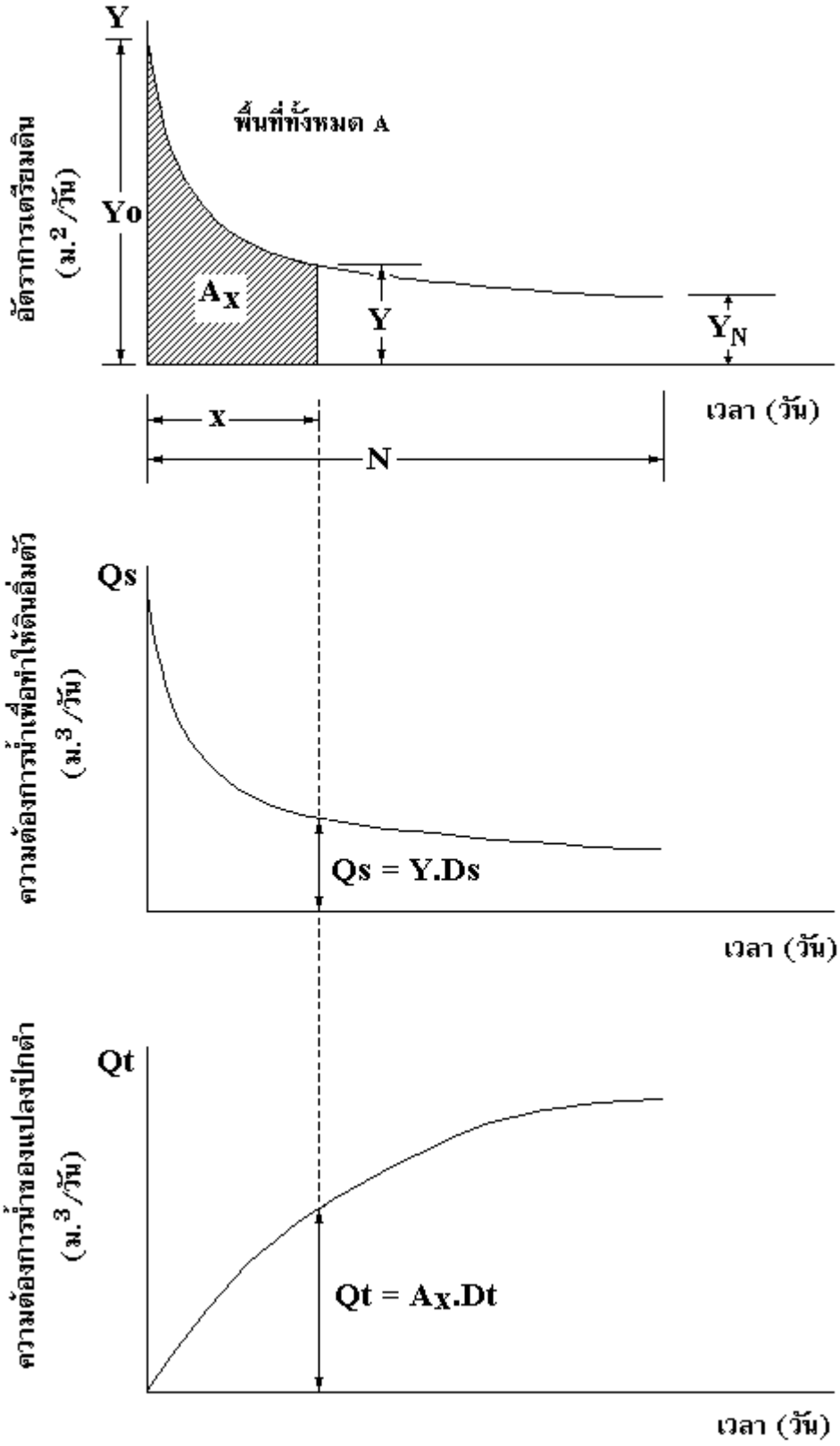
กำหนดให้ Dt = ความต้องการน้ำของแปลงปักดำ (แปลงที่เตรียมดินเสร็จเรียบร้อยแล้ว) มีหน่วยเป็น เมตร/วัน

Ds = ความต้องการน้ำเพื่อทำให้ดินอิ่มตัวรวมน้ำที่จะขังในแปลงนาก่อนปักดำมีหน่วยเป็นเมตร

ที่วันที่ X ความต้องการน้ำชลประทานทั้งหมด (Q)

$Q = Qs + Qt$

$= Y\,Ds + Dt \int_{o}^{x} Ydx$




**รูปที่ 8.2 แนวความคิดในการส่งน้ำเพื่อเตรียมดินของ Wen**

**(วราวุธ และพงศธร. 2536)**

ถ้า Q มีค่าคงที่ และ X เป็นค่าใด ๆ

$$\frac{dQ}{dX} = D_s\frac{dY}{dX} + D_t\frac{d}{dX}\int_{\circ}^{x} Y dx$$

$$O = D_s\frac{dY}{dX} + D_t Y$$

$$\frac{dY}{Y} = -\frac{D_t}{D_s}dX$$

$$\ln Y = -\frac{D_t}{D_s}X + C$$

$$Y = e^{C} e^{\frac{-D_t}{D_s}X}$$

ถ้า $X = O$ , $Y = Y_o$

$$\therefore \quad Y_o = e^{C}$$

$$\therefore \quad Y = Y_o e^{\frac{-D_t}{D_s}X} \qquad \text{----------(8.4)}$$

เนื่องจาก $A = \int_{\circ}^{N} Y dX$

$$= \int_{o}^{N} Y_o e^{\frac{-D_t}{D_s}X} dX$$

$$= Y_o\left(\frac{-D_s}{D_t}\right)\left[e^{\frac{-D_t}{D_s}X}\right]_{o}^{N}$$

$$= \frac{Y_o\left[e^{\frac{-D_t}{D_s}N} - 1\right]}{\frac{-D_t}{D_s}}$$

$$\therefore \quad Yo = \frac{A.Dt}{Ds(1-e^{\frac{-Dt_N}{Ds}})} \qquad \text{----------(8.5)}$$

แทนค่า Yo ลงในสมการที่ 8.4

$$Y = \frac{A.Dt}{Ds(1-e^{\frac{-Dt_N}{Ds}})} e^{\frac{-Dt_N}{Ds}} \qquad \text{----------(8.6)}$$

ถ้า $X = N$, $Y = Y_N$

$$\therefore \quad Y_N = \frac{A.Dt}{Ds(1-e^{\frac{-Dt_N}{Ds}})} e^{\frac{-Dt_N}{Ds}} \qquad \text{----------(8.7)}$$

$$Q_N = Y_N \; Ds + A.Dt$$

$$= \frac{A.Dt}{Ds(1-e^{\frac{-Dt_N}{Ds}})} e^{\frac{-Dt_N}{Ds}} Ds + A.D$$

$$Q_N = \frac{A.Dt}{(1-e^{\frac{-Dt_N}{Ds}})}$$

ตามที่พิสูจน์มาถือว่า Q มีค่าคงที่ตลอดช่วงการเตรียมแปลง และถ้าพิจารณาการสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำ จะสามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

$$Q = \frac{A.Dt}{(1-e^{\frac{-Dt_N}{Ds}})} [\frac{1}{1-L}] \qquad \text{----------(8.8)}$$

เมื่อ Q = ขนาดของคูหรือคลอง (ม$^3$./วัน)
A = พื้นที่ทั้งหมดที่จะเตรียมแปลง ( ม$^2$ )
Dt = ความต้องการน้ำในแปลงปักดำ (ม./วัน)
Ds = ความต้องการน้ำเพื่อทำให้ดินอิ่มตัว รวมทั้งที่ขังในแปลงนา (ม.)
N = ระยะเวลาในการเตรียมแปลงทั่วทั้งพื้นที่ A (วัน)
L = การสูญเสียน้ำในระบบ (ทศนิยม)

ข้อเสียที่สำคัญของสูตรที่กล่าวถึงมาแล้ว รวมทั้งสูตร Wen คือสมมติว่าการให้น้ำเพื่อให้ดินอิ่มน้ำและมีน้ำขังท่วมในแปลงนาตอนแรก (Ds) จะให้ภายในวันเดียว ซึ่งใจทางปฏิบัติโดยทั่ว ๆ ไปปริมาณน้ำส่วนนี้จะค่อย ๆ ทยอยให้ซึ่งอาจกินเวลาหลายวัน จากแนวความคิดอันนี้ T.T. Cheng (1971) ได้เสนอแนะสูตรซึ่งสามารถใช้ได้ในกรณีที่การส่งน้ำเพื่อทำให้ดินอิ่มตัวกินเวลามากกว่า 1 วัน

$$Q = A\left[\frac{Dt}{1-K^n}\right]\frac{1}{1-L} \qquad \text{----------(8.9)}$$

เมื่อ $K = \dfrac{\frac{Ds}{r} - \frac{Dt}{2}}{\frac{Ds}{r} + \frac{Dt}{2}}$

และ r = จำนวนวันที่ส่งน้ำเพื่อทำให้ดินอิ่มตัวและขังท่วมในแปลง

Q , A , Dt , Ds , N และ L มีความหมายเหมือนในสมการที่ 8.8

ทั้งวิธีของ Wen และ Cheng พิจารณาว่าน้ำที่ส่งให้แปลงปักดำจะต้องส่งทุกวันซึ่งทำให้การให้น้ำและส่งน้ำทำได้ยากและไม่มีประสิทธิภาพ J.K. Wang แห่งมหาวิทยาลัยฮาวายจึงได้เสนอสูตรซึ่งใช้ได้กับการส่งน้ำแบบหมุนเวียน ซึ่งแบ่งออกได้เป็นสองกรณีคือ

กรณีที่ 1 แบบ Ds ส่งสองครั้ง

$$Ds = Dss + Dst = Ds1 + Ds2 \qquad \text{----------(8.10)}$$

$$Q = \left[\frac{A\,Dt}{1-(1-\frac{Dt.Pr}{Ds1})^n}\right]\frac{1}{1-L} \qquad \text{----------(8.11)}$$

$$\frac{Es2}{Ds1} = \left[1-\frac{Dt.Pr}{Ds1}\right]^n \qquad \text{----------(8.12)}$$

เมื่อ Ds1 = ปริมาณน้ำที่ส่งไปทำให้ดินอิ่มตัวครั้งที่ 1 (ม.)

Ds2 = ปริมาณน้ำที่ส่งไปทำให้ดินอิ่มตัวครั้งที่ 2 (ม.)

Pr = ช่วงระยะห่างระหว่างการให้น้ำแต่ละครั้ง (วัน)

n = จำนวนครั้งที่ให้น้ำชลประทานในช่วงการเตรียมแปลง

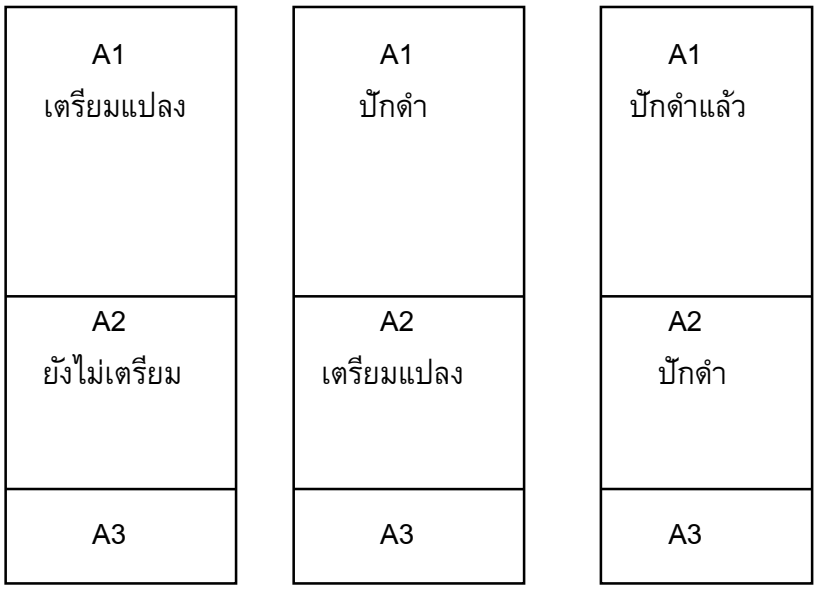
$$= \frac{N}{Pr}$$

Q , A , Dt , Ds , N และ L มีความหมายเหมือนเดิม

<u>กรณีที่ 2</u> ส่ง Ds ในครั้งเดียว

$$Q = \left[\frac{A\,Dt}{1-(1-\frac{Dt.Pr}{Ds_1})^{n}}\right]\frac{1}{1-L} \qquad \text{----------(8.13)}$$

<u>ฉลอง เกิดพิทักษ์ และชัยวัฒน์ ขยันการนาวี (2523)</u> ได้ศึกษาการใช้น้ำเพื่อการปลูกข้าวในโครงการชลประทานสามชุก จ.สุพรรณบุรี พบว่าในการเตรียมแปลงเกษตรกรต้องแบ่งการใช้น้ำ กล่าวคือเกษตรกรที่อยู่ต้นน้ำหรือต้นคลองจะเตรียมแปลงก่อน เมื่อเตรียมแปลงเสร็จแล้วจะมีน้ำเหลือให้เกษตรกรที่อยู่ท้ายน้ำหรือปลายคลอง จากความจริงอันนี้ ฉลอง และชัยวัฒน์ จึงได้เสนอแนวความคิดในการหาขนาดคลองส่งน้ำโดยแบ่งพื้นที่เตรียมแปลงในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 8.3




**รูปที่ 8.3 แนวความคิดในการแบ่งพื้นที่เตรียมแปลงเป็นช่วง ๆ**

ตามรูปที่ 8.4 พื้นที่จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ A1 ; A2 และ A3 (โดย A1 มากกว่า A2 และ A2 มากกว่า A3) และระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียมแปลงจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง แต่ละช่วงมีระยะเวลาเท่ากัน ในช่วงแรกการเตรียมแปลงจะทำเฉพาะในพื้นที่ A1 ในช่วงที่สองจะทำการเตรียมแปลงในพื้นที่ A2 ขณะเดียวกันก็ทำการปักดำในพื้นที่ A1 และในช่วงที่สามจะเตรียมแปลงในพื้นที่ A3 พร้อมทั้งทำการปักดำในพื้นที่ A2 โดยการพิจารณาว่าความต้องการน้ำในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของการเตรียมแปลงเท่ากันจะสามารถเขียนไดอะแกรมแสดงความต้องการน้ำได้ดังรูปที่ 8.4

จากรูปที่ 8.4 จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$WR1 = A_1 D_{LP} \quad \text{----------(8.14)}$$

$$WR2 = A_2 D_{LP} + A_1 (ET_1 + P) \quad \text{----------(8.15)}$$

$$WR3 = A_3 D_{LP} + A_2 (ET_1 + P) + A_1 (ET_2 + P) \quad \text{----------(8.16)}$$

$$WR4 = A_3 (ET_1 + P) + A_2 (ET_2 + P) + A_1 (ET_3 + P) \quad \text{---------- (8.17)}$$

และ $$A = A_1 + A_2 + A_3 \quad \text{----------(8.18)}$$

เมื่อ WR1, WR2 , WR3 และ WR4 คือความต้องการน้ำชลประทานสุทธิในช่วงที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

จากสมมติฐานที่วางไว้จะได้ว่า

$$WR1 = WR2 = WR3 \geq WR4$$

ถ้า $WR1 = WR2$

$$A_1 D_{LP} = A_2 D_{LP} + A_1 (ET_1 + P)$$

$$A_1 = \frac{A_2 D_{LP}}{(D_{LP} - ET_1 - P)} \quad \text{----------(8.19)}$$

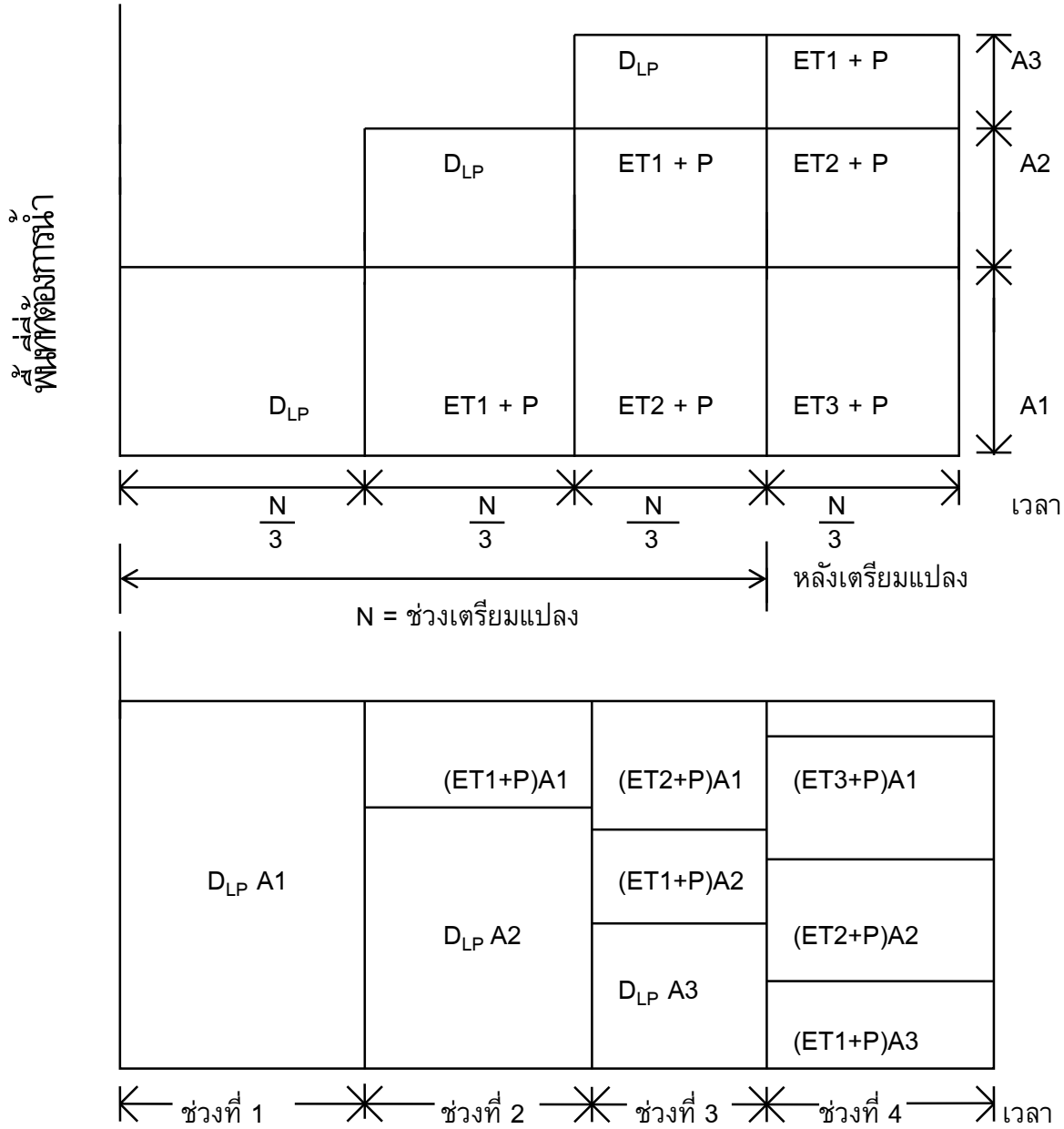
ถ้า $WR3 = WR2$

$$A_3 D_{LP} + A_2 (ET_1 + P) + A_1 (ET_2 + P) = A_3 D_{LP} + A_1 (ET_1 + P)$$

$$A_3 = \frac{A_2 (D_{LP} - ET_1 - P)}{D_{LP}} + \frac{A_1 (ET_1 - ET_2)}{D_{LP}}$$

$$= \frac{A_2 (D_{LP} - ET_1 - P)}{D_{LP}} + \frac{A_2 (ET_1 - ET_2)}{(D_{LP} - ET_1 - P)}$$

$$= \frac{A_2 \left[ (D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP} (ET_1 - ET_2) \right]}{D_{LP} (D_{LP} - ET_1 - P)} \quad \text{-------(8.20)}$$




$D_{LP}$ = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแปลง (ม.)

P = ปริมาณน้ำที่รั่วซึมจากแปลงนา (ม.)

ET1 = $K_{C1} \cdot ET_P$ (ม.)

ET2 = $K_{C2} \cdot ET_P$ (ม.)

ET3 = $K_{C3} \cdot ET_P$ (ม.)

A1 , A2 , A3 คือพื้นที่ (ไร่)

$K_{C1}$ = ส.ป.ส.การให้น้ำของพืช ที่เวลา $\frac{N}{6}$ จากเริ่มปักดำ

$K_{C2}$ = ส.ป.ส.การใช้น้ำของพืช ที่เวลา $\frac{N}{3} + \frac{N}{6}$

$K_{C3}$ = ส.ป.ส.การให้น้ำของพืช ที่เวลา $\frac{N}{3} + \frac{N}{3} + \frac{N}{6}$

N = ระยะเวลาในการเตรียมแปลง (วัน)

**รูปที่ 8.4 ความต้องการน้ำชลประทานสำหรับกิจกรรมต่าง ๆในแต่ละช่วงเวลาของการเตรียมแปลง**

แทนค่า $A_1$ และ $A_3$ ในสมการที่ 8.18

$$A = \frac{A_2 D_{LP}}{(D_{LP} - ET_1 - P)} + A_2 + \frac{A_2[(D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)]}{D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P)}$$

$$A = \frac{A_2[(D_{LP})^2 + D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P) + (D_{LP} - ET_1 + P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)]}{D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P)}$$

$$A = \frac{A D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P)}{[(D_{LP})^2 + D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P) + (D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)]}$$

แทนค่า $A_2$ ลงในสมการ 8.19

$$A_1 = \frac{A(D_{LP})^2}{[(D_{LP})^2 + D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P) + (D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)]}$$

แทนค่า $A_2$ ลงในสมการ 8.20

$$A_3 = \frac{A[(D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)]}{[(D_{LP})^2 + D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P) + (D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)]}$$

$\therefore$ $A_1 : A_2 : A_3 = (D_{LP})^2 : [D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P)] : [(D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)]$

เมื่อรู้ค่าสัดส่วนของพื้นที่ที่จะต้องเตรียมแปลงในแต่ละช่วงเวลาจะสามารถหาขนาดของคลองส่งน้ำได้จากสูตรดังต่อไปนี้ :-

$$Q = \frac{1600\, WR1}{24 \times 3600 \times \frac{N}{3} \times Ei}$$

$$Q = \frac{WR1}{54 \times \frac{N}{3} \times Ei} \qquad \text{----------(8.21)}$$

หรือ $$Q = \frac{WR2}{54 \times \frac{N}{3} Ei} = \frac{WR3}{54 \times \frac{N}{3} Ei}$$

เมื่อ Q = ขนาดของคลองหรือคูส่งน้ำ (ม$^3$./วินาที)

Ei = ประสิทธิภาพของการชลประทาน (ทศนิยม)

WR1 , WR2 , WR3 และ N มีความหมายเหมือนที่ให้ไว้แล้ว

จากการศึกษาข้อมูลการเตรียมแปลงในคลองซอยสายหนึ่งของโครงการสามชุก ฉลอง และชัยวัฒน์ (2523) ได้แนะนำว่าเวลาในการเตรียมแปลงแต่ละช่วงควรจะเท่ากับ 2 สัปดาห์ รวมเวลาในการเตรียมแปลงทั้งหมด (3 ช่วง) เท่ากับ 6 สัปดาห์ (42 วัน)

อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาในการเตรียมแปลงของโครงการชลประทานอื่น ๆ ไม่จำเป็นต้องเท่ากับ 42 วันเสมอไป และช่วงเวลาในการเตรียมแปลงอาจไม่ใช่ 3 ช่วง ดังในรูปที่ 8.4 แต่ไม่ว่า N จะเท่ากับกี่วัน และไม่ว่าจะแบ่งช่วงเวลาเตรียมแปลงออกเป็นกี่ช่วงก็สามารถหาสูตรในการคำนวณขนาดคลองได้ตามแนวความคิดที่กล่าวมาแล้ว

ข้อดีของวิธีการของ ฉลอง และชัยวัฒน์ (2523) คือ การแบ่งระยะเวลาเตรียมแปลงและปักดำออกเป็นช่วง ๆ ซึ่งสามารถจะนำไปใช้ปฏิบัติจริง ๆ ในสนามต่างกับของ WEN ซึ่งอัตราการเตรียมแปลงลดลงอย่างต่อเนื่อง และในแต่ละวันจะทำการเตรียมดินและปักดำไปพร้อมกันซึ่งไม่ตรงกับความเป็นจริงในทางปฏิบัตินัก นอกจากนี้แนวความคิดของ ฉลอง และชัยวัฒน์ (2523) ยังได้พิจารณาค่าการใช้น้ำของพืชจริงในแต่ละช่วง ทำให้ค่าที่ได้ใกล้เคียงความจริงกว่าวิธีของคนอื่น ๆ ซึ่งคิดว่า $D_t$ มีค่าคงที่ตลอดช่วงการเตรียมแปลง

**ตัวอย่างที่ 8.1** ให้คำนวณหาขนาดคูน้ำจากข้อมูลดังต่อไปนี้ โดยใช้สูตรต่าง ๆ ที่กล่าวมาทั้งหมด

| | | | |
|---|---|---|---|
| พื้นที่ส่งน้ำ | = | 1,000 | ไร่ |
| N | = | 42 | วัน |
| ET เฉลี่ยตลอดช่วงเตรียมแปลง | = | 5 | มม./วัน |
| P | = | 3 | มม./วัน |
| Pr (Irrigation Interval) | = | 7 | วัน |
| Dss (น้ำที่ทำให้ดินอิ่มตัว) | = | 300 | มม. |
| Dst (น้ำที่ขังในแปลงนา) | = | 50 | มม. |
| L | = | 0.4 | |

**วิธีทำ**

(1) <u>สูตรที่ใช้ในไต้หวัน</u> (สมการ 8.1 (b))

$Q_{max}$ = $\left[\frac{A.Ds}{NT}+\frac{A.Dt}{T}\right]\frac{1}{1-L}$

Ds = Dss + Dst = 300 + 50 = 350 มม.

= 0.35 ม.

Dt = ET + P = 8 มม./วัน

= 0.008 ม./วัน

A = 1600 x 1000

$Q_{max}$ = $\left[\frac{1600\times1000\times0.35}{42\times86400}+\frac{1600\times1000\times0.008}{86400}\right]\frac{1}{1-0.4}$

= 0.504 $ม^3$./วินาที

(2) <u>สูตรที่ใช้ในญี่ปุ่น</u> (สมการที่ 8.3)

$Q_{max}$ = $\frac{A}{N}\left[Ds+(N-1)D_t\right]\frac{1}{1-L}$

= $\frac{1600\times1000}{42\times86400}\left[0.35+(42-1)\times0.008\right]\left[\frac{1}{1-0.4}\right]$

= 43027.2 $ม^3$./วัน

= 0.498 $ม^3$./วินาที

(3) <u>สูตรของ WEN</u> (สมการที่ 8.8)

Q = $\frac{A\ Dt}{\left[1-e^{\frac{-Dt}{Ds}N}\right]}\frac{1}{1-L}$

= $\frac{1600\times1000\times0.008}{\left[1-e^{\frac{-0.008}{0.65}\times42}\right]}\left[\frac{1}{1-0.4}\right]$

= 35469.9 $ม^3$./วัน = 0.400 $ม^3$./วินาที

(4) สูตรของ Cheng (สมการที่ 8.9)

$$Q = A\left[\frac{D_t}{1-K^N}\right]\frac{1}{1-L}$$

$$K = \frac{\frac{D_s}{r} - \frac{D_t}{2}}{\frac{D_s}{r} - \frac{D_t}{2}}$$

ถ้าสมมติว่า r = 1 วัน

$$K = \frac{\frac{0.35}{1} - \frac{0.008}{2}}{\frac{0.35}{1} + \frac{0.008}{2}} = \frac{0.35 - 0.004}{0.35 + 0.004} = \frac{0.346}{0.354}$$

$$= 0.977$$

$$Q = 1600 \times 1000\left[\frac{0.008}{1-(0.977)^{42}}\right]\left[\frac{1}{1-0.4}\right]$$

$$= 24996.8 \quad \text{ม}^3./\text{วัน}$$

$$= 0.289 \quad \text{ม}^3./\text{วินาที}$$

(5) สูตรของ Wang

กรณีที่ 1 (สมการที่ 8.11)

$$Q = \left[\frac{A\ D_t}{1-(1-\frac{D_t.\ P_r}{D_{s1}})^n}\right]\frac{1}{1-L}$$

Pr = 7 วัน

$$n = \frac{N}{P_r} = \frac{42}{7} = 6$$

จากสมการที่ 8.12

$$\frac{Ds2}{Ds1} = \left[1 - \frac{Pt.\ Pr}{Ds1}\right]^{n}$$

Ds = 0.35 = Ds1 + Ds2

$\therefore$ Ds2 = 0.35 - Ds1

$$\frac{0.35 - Ds1}{Ds1} = \left[1 - \frac{0.008 \times 7}{Ds1}\right]^{6}$$

**โดยการทดลองเดาค่า Ds1 จะได้ว่า**

Ds1 = 0.278 ม.

Ds2 = 0.072 ม.

$$\therefore\ Q = \left[\frac{1600 \times 1000 \times 0.008}{1 - (1 - \frac{0.008}{0.65} \times 7)^{6}}\right] \frac{1}{1 - 0.4}$$

= 28802.7 $ม^3$./วัน

= 0.333 $ม^3$./วินาที

<u>กรณีที่ 2</u> (สมการที่ 8.13)

$$Q = \left[\frac{A.\ Dt}{1 - (1 - \frac{Dt.\ Pr}{Ds} N)}\right] \frac{1}{1 - L}$$

$$\therefore\ Q = \left[\frac{1600 \times 1000 \times 0.008}{1 - (1 - \frac{0.008}{0.35} \times 7)^{6}}\right] \frac{1}{1 - .04}$$

= 32886.2 $ม^3$./วัน

= 0.381 $ม^3$./วินาที

(6) <u>แนวความคิดของ ฉลอง และชัยวัฒน์</u>

ให้แบ่งเวลาการเตรียมแปลง 42 วัน ออกเป็น 3 ช่วง ๆ ละ 14 วัน

จากสมการรูปที่ 8.4

$D_{LF}$ = Dss + Dst + E + P

สมมุตให้ ET1 = ET2 = ET3 = ET เฉลี่ย ( = 5 มม./วัน)

= 5 x 14

= 70 มม. = 0.07 ม.

P = 3 มม./วัน

= 3 x 14

= 42 มม. = 0.042 ม.

$\therefore$ $D_{LP}$ = 0.35 + 0.07 + 0.042

= 0.462

$(D_{LP})^2$ = 0.213

$D_{LP}(D_{LP} - ET_1 - P)$ = 0.462 (0.462-0.070-0.042)

= 0.162 ม.

$(D_{LP} - ET_1 - P)^2 + D_{LP}(ET_1 - ET_2)$ = $(0.462-0.070-0.042)^2$ - 0

= 0.123

$\therefore$ $A_1 : A_2 : A_3$ = 42.8 : 32.5 : 24.7

A = 1000 ไร่

$\therefore$ $A_1$ = 428 ไร่

$A_2$ = 325 ไร่

$A_3$ = 247 ไร่

จากสมการที่ 8.21

$$Q = \frac{WR1}{54 \times \frac{N}{3} \times Ei}$$

$$= \frac{428 \times 0.462}{54 \times \frac{42}{3} \times (1 - 0.4)}$$

= 0.436 $ม^3$./วินาที

เมื่อเปรียบเทียบวิธีการคำนวณขนาดคูหรือคลองทั้ง 6 แบบ จะเห็นได้ว่าวิธีการของ Cheng ถ้าใช้เวลาส่งน้ำ 2 วัน เพื่อทำให้ดินอิ่มตัวและท่วมขังในแปลงนาตามที่ต้องการจะได้ขนาดของคลองส่งน้ำเล็กที่สุด คือ Q = 0.289 $ม^3$./วินาที ส่วนวิธีของ Wang ถ้าพิจารณาว่าแยกส่งน้ำส่วนนี้ (Ds) 2 ครั้ง จะได้ขนาดคลองหรือคูโตกว่าของ Cheng เล็กน้อยคือ = 0.333 $ม^3$./วินาที ส่วนวิธีการอื่น ๆ ตามแนวความคิดว่าอัตราการส่งน้ำคงที่จะได้ขนาดของคลองหรือคูส่งน้ำใกล้เคียง

กัน สำหรับวิธีการตามแนวความคิดว่าอัตราการเตรียมดินคงที่ จะได้ขนาดคลองหรือคูส่งน้ำใหญ่กว่าวิธีการตามแนวความคิดว่าอัตราการส่งน้ำคงที่มาก

อย่างไรก็ตาม วิธีการของ ฉลอง และชัยวัฒน์ ได้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการเตรียมแปลงและความสะดวกในการส่งน้ำมากกว่าแบบอื่น ๆ ทั้งหมด

## 8.4 วิธีการหาขนาดระบบส่งน้ำสำหรับการปลูกพืชไร่

ถึงแม้ว่าในโครงการชลประทานในปัจจุบันข้าวจะยังคงเป็นพืชหลัก แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการปลูกพืชไร่ให้ผลตอบแทนที่สูงกว่ามาก ดังนั้นการพัฒนาทางด้านเกษตรชลประทานสมัยใหม่จึงเน้นให้พืชในช่วงฤดูแล้ว อย่างไรก็ตาม ถ้ามีการปลูกข้าวและพืชไร่สลับกัน การออกแบบจะยึดเอาข้าวเป็นหลัก เพราะข้าวใช้น้ำมากกว่าพืชไร่ สำหรับการออกแบบขนาดระบบการชลประทานสำหรับพืชไร่ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะเป็นลักษณะของโครงการชลประทานขนาดเล็ก หรือการจัดระบบชลประทานภายในแปลงเพาะปลูกพืชไร่ขนาดใหญ่เท่านั้น

การให้น้ำพืชไร่มีหลักการต่างออกไปจากข้าวหลายประการ กล่าวคือ พืชไร่ต้องการน้ำเพียงแค่เขตรากจะอุ้มเอาไว้ได้ ไม่ต้องการให้น้ำท่วมขังในแปลงเหมือนข้าว ฉะนั้นการให้น้ำกับพืชไร่จะให้เป็นครั้งคราวด้วยปริมาณที่เหมาะสมที่เขตรากพืชจะสามารถอุ้มเอาไว้ได้ และการให้แต่ละครั้งจะต้องให้ด้วยเวลาที่เหมาะสมเพื่อจะได้มีเวลาว่างไปทำงานอื่น ๆ เช่น พรวนดิน ดายหญ้า ฉีดย่าฆ่าแมลง และให้ปุ๋ย และระหว่างการให้น้ำกับพืชไร่จะต้องควบคุมดูแลตลอดเวลา

การออกแบบขนาดระบบส่งน้ำสำหรับพืชไร่จะพิจารณาจากความต้องการน้ำสูงสุดของพืชไร่ และเวลาที่ต้องการว่างเพื่อทำงานอย่างอื่นในไร่นา ความต้องการน้ำสูงสุดของพืชไร่จะเกิดในช่วงที่พืชเจริญเติบโตเต็มที่ ไม่ใช่ช่วงเตรียมแปลงเพราะการเตรียมแปลงพืชไร่ต้องการน้ำเพียงแค่ทำให้ดินมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการงอกของเมล็ดเท่านั้นซึ่งไม่มากนัก เมื่อรู้ความต้องการน้ำสูงสุดและระยะเวลาให้น้ำ จะหาขนาดของระบบส่งน้ำได้จากสูตร (วราวุธ. 2525)

$$Q_{max} = \frac{d_p P_r A}{225 E_i . T} \qquad \text{----------(8.22)}$$

เมื่อ $Q_{max}$ = ขนาดใหญ่ที่สุดของคลองหรือคูน้ำหรือเครื่องสูบน้ำ (ลิตร/วินาที)

$d_p$ = ขนาดความต้องการน้ำชลประทานสูงสุด (มม./วินาที)

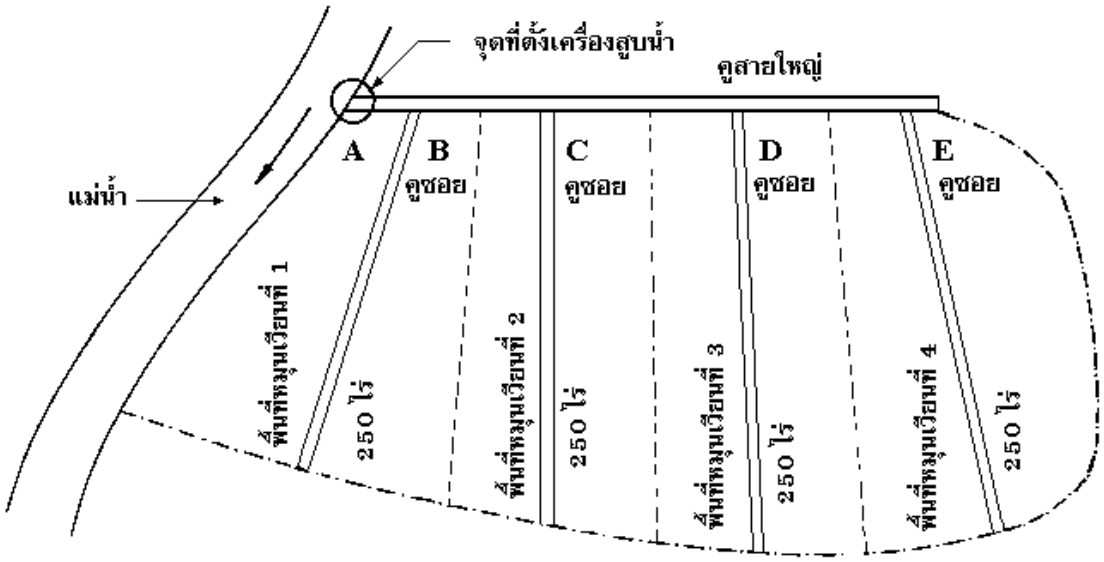
$P_r$ = จำนวนวันระหว่างการให้น้ำแต่ละครั้ง

A = พื้นที่ที่จะต้องส่งน้ำให้ (ไร่)

$E_i$ = ประสิทธิภาพในการชลประทาน (ทศนิยม)

T = จำนวนชั่วโมงในการให้น้ำทั่วทั้งพื้นที่

**ตัวอย่างที่ 8.2** ให้ออกแบบขนาดของระบบส่งน้ำสำหรับพื้นที่ 1000 ไร่ ซึ่งได้รับน้ำจากแม่น้ำสายหนึ่งโดยการสูบน้ำส่งเข้าคูส่งน้ำสายใหญ่ และแจกจ่ายเข้าสู่คูซอย 4 สาย แต่ละสายคุมเนื้อที่ 250 ไร่ ดังรูปที่ 8.5 พิจารณาว่าคูน้ำสายใหญ่ส่งน้ำแบบตลอดเวลา และคูซอยส่งน้ำเป็นแบบหมุนเวียน โดยมีข้อมูลประกอบการพิจารณาดังต่อไปนี้




**รูปที่ 8.5 แนวคูส่งน้ำสายใหญ่และคูซอยในพื้นที่ปลูกพืชไร่ 1000 ไร่**

ดินเป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งมีความสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ 1.2 มม./ซม.
พืชที่ปลูกคือข้าวโพด ซึ่งมีอัตราการให้น้ำสูงสุด 8 มม./วัน
ระยะเขตราก 80 ซม. จากผิวดิน
จุดวิกฤต (Critical Point) ของข้าวโพด = 30 % ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้
ประสิทธิภาพในการให้น้ำ (Ea) = 75 %
ประสิทธิภาพในการแจกจ่ายน้ำในพื้นที่หมุนเวียน (Eb) = 80 %
ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำสายใหญ่ (Ec) = 90 %
ชั่วโมงการสูบน้ำในช่วงที่มีการใช้น้ำสูงสุด = 24 ชั่วโมง / วัน

**วิธีการคำนวณ**

จำนวนความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ตลอดเขตราก = 1.2 x 80 มม.
= 96 มม.
ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ = 0.7 x 96
= 67.2 มม.

ความถี่ในการให้น้ำ = ¨Ó¹Ç¹¹éÓ»ÃÐ·Ò¹ÊØ´Ç¹ÃÍ
ÍÑµÃÒ¡ÒÃãª
= $\frac{67.2}{8}$ = 8.4 วัน

เพื่อความสะดวกในการกำหนดการให้น้ำ ใช้ความถี่ในการให้น้ำ 8 วัน
ถ้าพิจารณาว่าไม่มีฝนตกในช่วงที่พืชต้องการน้ำสูงสุด
ปริมาณน้ำชลประทานสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช
= อัตราการใช้น้ำสูงสุด (dp) x ความถี่ในการให้น้ำที่ออกแบบ (Pr)
= 8 x 8 = 64 มม.

พิจารณาว่าในช่วงการใช้น้ำสูงสุดจะทำการส่งน้ำให้กับหน่วยหมุนเวียนย่อยทุกวันจนทั่วพื้นที่หมุนเวียนแต่ละชุดภายในความถี่ในการให้น้ำที่ออกแบบไว้

T = 8 x 24 ชั่วโมง

คูซอยทำหน้าที่ส่งน้ำแบบหมุนเวียน ซึ่งจะหาขนาดได้จากสมการที่ 8.22

$Q_{max} = \frac{d_p P_r A}{2.25 E_i T}$

$d_p P_r$ = 64 มม.

$E_i$ = $E_a$ x $E_b$ = 0.75 x 0.8

ถ้าพิจารณาว่า A = 1 ไร่

$$Q_{max} = \frac{64 \times 1}{2.25 \times 0.75 \times 0.80 \times 8 \times 24}$$

= 0.2469 ลิตร/วินาที/ไร่

คูซอยแต่ละซอยคุมพื้นที่ 250 ไร่

$\therefore$ $Q_{max}$ = 0.2469 x 250

= 61.7 ลิตร/วินาที

คูส่งน้ำสายใหญ่ส่งน้ำเป็นแบบตลอดเวลา โดยมีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ 90 % ฉะนั้นขนาดของคูสายใหญ่จะไม่เท่ากันตลอดสาย ซึ่งจะหาขนาดของคูสายใหญ่แต่ละส่วนได้ดังนี้

ชลภาระของคูสายใหญ่ = $\frac{0.2469}{0.9}$ = 0.2743 ลิตร/วินาที/ไร่

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $Q_{max}$ | (ช่วง DE) | = | 0.2743 x 250 | = | 68.6 | ลิตร/วินาที |
| $Q_{max}$ | (ช่วง CD) | = | 0.2743 x 500 | = | 137.2 | ลิตร/วินาที |
| $Q_{max}$ | (ช่วง BC) | = | 0.2743 x 750 | = | 205.7 | ลิตร/วินาที |
| $Q_{max}$ | (ช่วง AB) | = | 0.2743 x 1000 | = | 274.3 | ลิตร/วินาที |

เครื่องสูบน้ำที่ใช้จะต้องมีขีดความสามารถสูบน้ำได้ = 274.3 ลิตร/วินาที และจะต้องทำหน้าที่สูบน้ำตลอดเวลาในช่วงที่พืชต้องการน้ำสูงสุด

## 8.5 เอกสารอ้างอิง

1. ฉลอง เกิดพิทักษ์ และชัยวัฒน์ ขยันการนาวี (2523). การศึกษาปริมาณการใช้น้ำในการเตรียมแปลง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสามชุก. รายงานของ Ilaco/Empire M&T เสนอกรมชลประทาน.

2. สรศักดิ์ ทรงศิริพันธุ์ และวราวุธ วุฒิวณิชย์ (2535). การศึกษาการใช้น้ำเตรียมแปลงสำหรับการปลูกข้าวในฤดูแล้งของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดงเศรษฐี วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 16 ปีที่ 6 เมษายน - กรกฎาคม. หน้า 40-50.

3. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 (การออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

4. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบระบบชลประทานบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140.

5. Wen, L.J. (1970). The Determination of System Capacity and Management Program for Irrigation of Tranplanted Rice, M.S, Thesis, Utah State University, Logan, Utah.

**8.6 แบบฝึกหัด**

**8.1** ตามแนวความคิดในการส่งน้ำเพื่อการเตรียมดินของ Wen จงหา

(1) $Y_o$

(2) อัตราการลดอัตราการเตรียมดิน

(3) อัตราการส่งน้ำซึ่งมีค่าคงที่ Q

เมื่อกำหนดว่า

- ความต้องการน้ำที่ทำให้ดินอิ่มตัว ($D_{ss}$) มีค่า 250 มม.
- ความลึกของน้ำที่ต้องการให้ขังในแปลงนาก่อนการปักดำ ($D_{st}$) มีค่า 50 มม.
- ET = 8 มม./วัน
- P = 1 มม./วัน
- พื้นที่ส่งน้ำ 500 ไร่
- ระยะเวลาในการเตรียมแปลงทั่วพื้นที่ 42 วัน
- ประสิทธิภาพในการส่งน้ำ 75 %

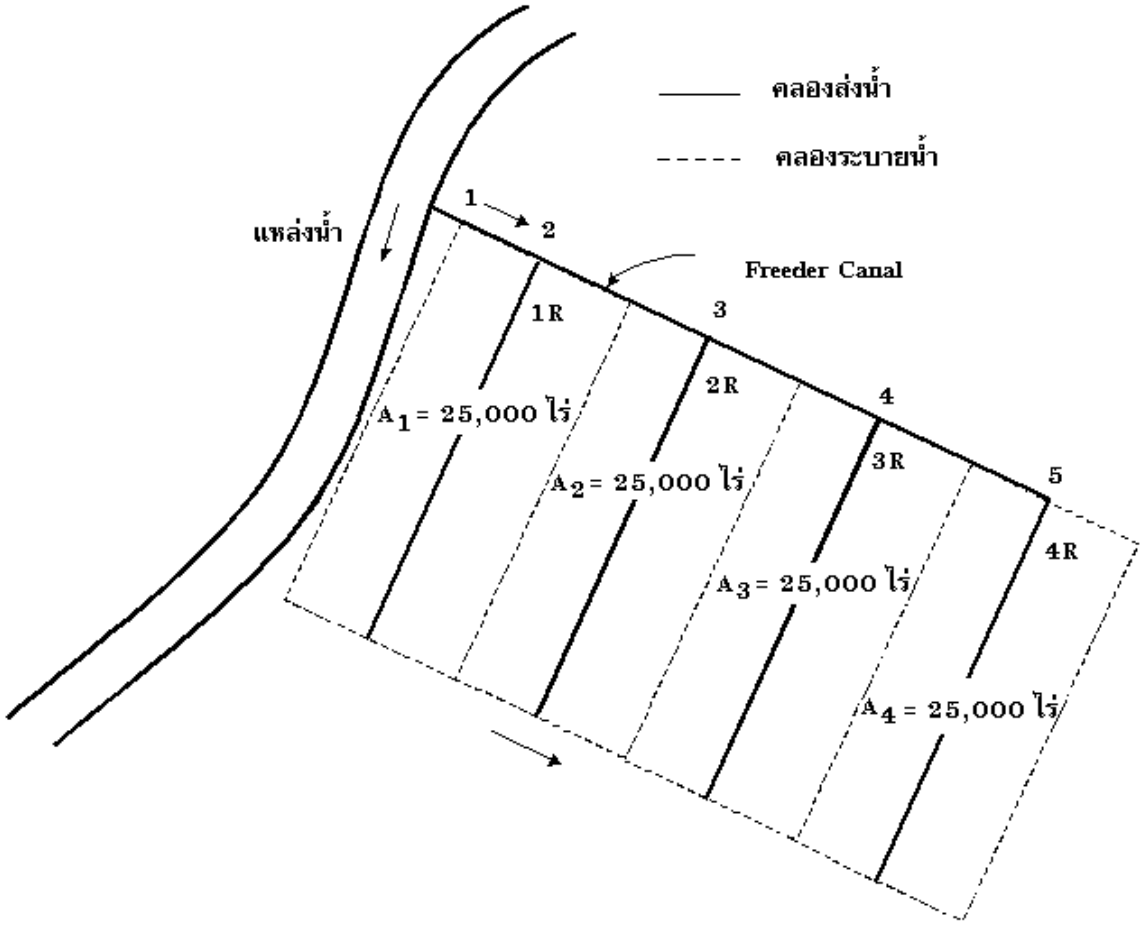
**8.2** โครงการชลประทานแห่งหนึ่งมีพื้นที่ 100,000 ไร่ ปลูกข้าวทั้งโครงการ มีระบบส่งน้ำและระบบระบายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 1 Feeder Canal ส่งน้ำแบบตลอดเวลาให้กับคลองสายใหญ่ 1R, 2R, 3R และ 4R คลองส่งน้ำสายใหญ่ทั้ง 4 สาย ส่งน้ำให้กับระบบกระจายน้ำ (Distribution Canals) เป็นรอบเวร พื้นที่ชลประทานของคลองสายใหญ่แต่ละสายเท่ากับ 25,000 ไร่ ประสิทธิภาพการชลประทานของคลองสายใหญ่เท่ากับ 80 % ประสิทธิภาพการส่งน้ำของ Feeder Canal เท่ากับ 90 %

ต้องการออกแบบระบบส่งน้ำของโครงการดังกล่าวตามแนวความคิดที่ว่า “อัตราการส่งน้ำคงที่”

(1) จงหาขนาด Feeder Canal และคลองส่งน้ำสายใหญ่ทั้ง 4 สาย

(2) จงหาพื้นที่เตรียมแปลงในสัปดาห์ต่าง ๆ

| กำหนดว่า : | | | |
|---|---|---|---|
| | Evapotranspiration | = | 7 มม./วัน |
| | Percolation | = | 2 มม./วัน |
| | Porosity | = | 60 % |
| | Initial Soil Moisture | = | 20 % (โดยปริมาตร) |
| | Plow Layer | = | 60 ซม. |
| | Standing Water Requirement | = | 50 ซม. |
| | Land Preparation Period | = | 6 สัปดาห์ |



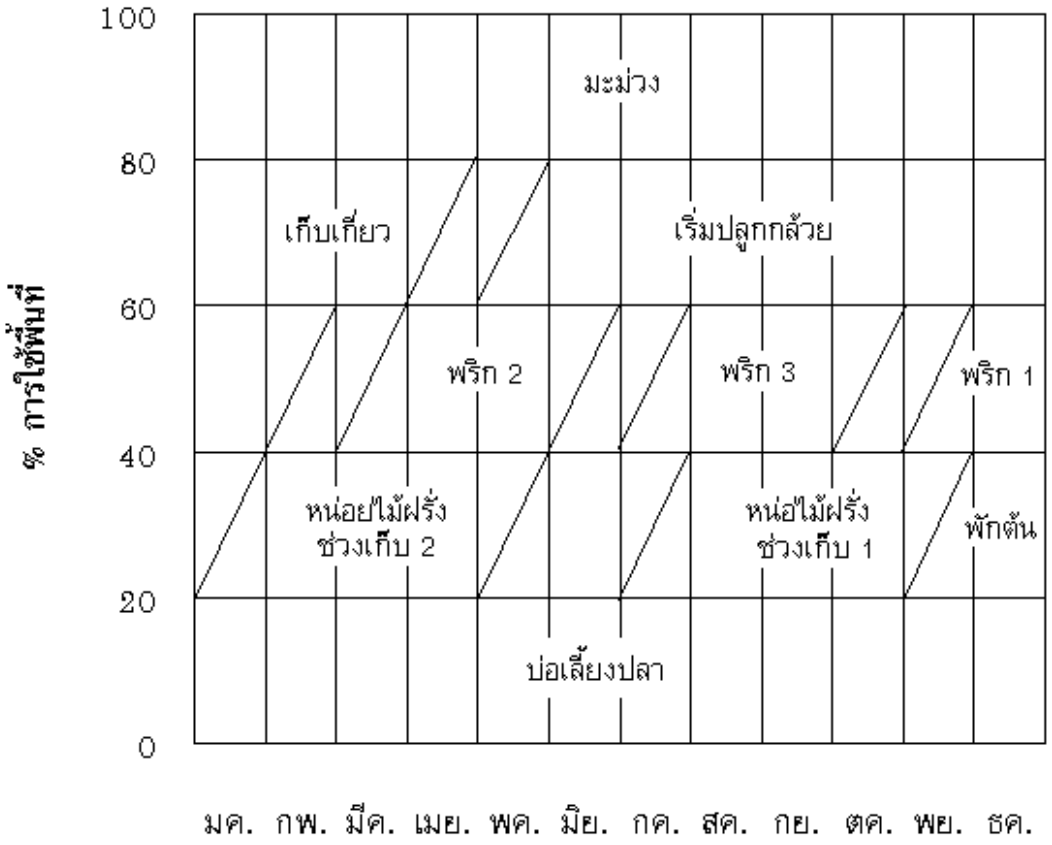

**ระบบส่งน้ำและระบายน้ำในข้อ 8.2 และข้อ 8.3**

**8.3** จงหาขนาด Feed Canal และคลองส่งน้ำสายใหญ่ 1R, 2R 3R และ 4R ของระบบชลประทานในข้อ 8.2 โดยกำหนดให้ออกแบบตามแนวความคิดว่า “อัตราการส่งน้ำคงที่” ตามแนวความคิดของฉลอง และชัยวัฒน์ กำหนดให้

| | | |
|---|---|---|
| Evaporation | = | 9 มม./วัน |
| Potential Evapotranspiration | = | 7 มม./วัน |
| $K_{c1}$ , $K_{c2}$ , $K_{c3}$ , | = | 1.0, 1.10, 1.15 |
| Percolation | = | 2 มม./วัน |
| Porosity | = | 60 % |
| Initial Soil Moisture | = | 20 % (โดยปริมาตร) |
| Plow Layer | = | 60 ซม. |
| Standing Water Requirement | = | 50 ซม. |
| Land Preparation Period | = | 6 สัปดาห์ |

# บทปฏิบัติการที่ 8
# การหาขนาดระบบส่งน้ำในแปลงเพาะปลูก

จงใช้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ CROPWAT คำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานและขนาดของระบบชลประทานแห่งหนึ่ง ซึ่งมีพื้นที่ 2,000 ไร่ ตั้งอยู่ที่ Latitude 14° N Longitude 100 ° E และ Altitude 8 m. เจ้าของมีความต้องการปลูกพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงหมุนเวียนตลอดทั้งปี โดยวางแผนการปลูกพืช และใช้พื้นที่ทั้ง 2,000 ไร่ ไว้ดังนี้




**รูปแบบการปลูกพืช**

กำหนดว่า

| Crops | | Stages | | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Initial | Development | Mid Season | Late Season | |
| Fish Ponds | Length (days) | - | - | - | - | 360 |
| | $K_c$ | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 | |
| Mangoes | Length (days) | - | - | - | - | 360 |
| | $K_c$ | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 | |
| Banana | Length (days) | 90 | 165 | 45 | 30 | 330 |
| | $K_c$ | 0.4 | → | 1.1 | 0.8 | |
| Chili | Length (days) | 20 | 30 | 25 | 15 | 90 |
| | $K_c$ | 0.4 | → | 1.1 | 0.85 | |
| Asparagus | Length (days) | - | - | - | - | 360 |
| | $K_c$ | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | |

**สภาพภูมิอากาศของบริเวณโครงการ**
**(ข้อมูลเฉลี่ยประจำวันของเดือนต่าง )**

| | อุณหภูมิเฉลี่ย $0_c$ | RH % | Wind Velocity km/day | ความยาว ซม. กลางวัน | ฝน มม. |
|---|---|---|---|---|---|
| มค. | 15 | 40 | 30 | 10 | - |
| กพ. | 18 | 40 | 30 | 11 | - |
| มีค. | 22 | 50 | 20 | 12 | 30 |
| เมย. | 30 | 60 | 20 | 12 | 30 |
| พค. | 28 | 60 | 20 | 12 | 75 |
| มิย. | 25 | 75 | 20 | 12 | 150 |
| กค. | 24 | 75 | 10 | 13 | 115 |
| สค. | 23 | 80 | 10 | 13 | 160 |
| กย. | 20 | 80 | 10 | 12 | 250 |
| ตค. | 20 | 70 | 15 | 12 | 270 |
| พย. | 18 | 60 | 20 | 11 | 135 |
| ธค. | 16 | 50 | 30 | 10 | 60 |

<u>สภาพดินในโครงการ</u>

ดินร่วน Field Capacity 40 % โดยปริมาตร
Permanent Wilting Point 20 % โดยปริมาตร
ความลึกของเขตราก และ Critical Point ของพืชต่าง ๆ มีค่าดังตาราง

| พืช | เขตราก (ม.) | Critical Point % AV. |
|---|---|---|
| มะม่วง | 3.0 | 20 |
| กล้วย | 2.0 | 20 |
| พริก | 0.8 | 50 |
| หน่อไม้ฝรั่ง | 1.2 | 60 |

จงให้คำแนะนำในการออกแบบระบบชลประทานของโครงการดังกล่าว กำหนดให้ $E_a$ = 80 % และให้สมมติข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น

# บทที่ 9
# การหาขนาดระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก
# (Determination of Farm Drainage Capacity)

## 9.1 คำนำ

สำหรับในเขตมรสุมเช่นในบ้านเรา ระบบระบายน้ำเป็นสิ่งจำเป็นไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าระบบส่งน้ำ ในอันที่จะระบายน้ำส่วนเกินเพื่อควบคุมระดับน้ำในแปลงนาให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดผลเสียหายแก่พืช ระดับน้ำที่ยอมให้ท่วมขังในแปลงนาจะแปรผันไปตามชนิดของพันธุ์ข้าว และช่วงระยะเวลาในการเจริญเติบโต ข้าวบางพันธุ์อาจได้รับผลเสียหายมาก อย่างไรก็ตามข้าวพันธุ์ผสมใหม่ที่ให้ผลผลิตสูงไม่ชอบให้น้ำท่วมขังมากนัก ตัวเลขที่ได้จากการศึกษาผลกระทบของน้ำท่วมกับข้าวในประเทศญี่ปุ่นชี้ให้เห็นว่า ถ้ายอมให้น้ำท่วมต้มข้าวมิดเป็นเวลานาน 1-2 วัน ในช่วงที่เริ่มเกิดช่อดอก (Young Panacle Formation) จะทำให้ผลผลิตลดลงได้มากถึง 25-70 เปอร์เซ็นต์ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่น้ำท่วม ช่วงเวลาที่น้ำท่วม และเปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ลดลงจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

ในการออกแบบระบบระบายน้ำจะต้องพิจารณาจากข้อมูลน้ำฝน ประกอบกับระยะเวลาในการเจริญเติบโตของพืช และความสูงของพืชในช่วงนั้น เพื่อพิจารณาว่าควรจะยอมให้น้ำท่วมขังในแปลงนาลึกเท่าใด และยอมให้ขังเป็นระยะเวลานานเท่าใดจึงจะไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตหรือกระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด (วราวุธ และพงศธร. 2536)

## 9.2 ความเสียหายเนื่องจากน้ำท่วม

ในการออกแบบระบบระบายน้ำจะต้องพิจารณาถึงความเสี่ยงต่อน้ำท่วม ถ้าทราบข้อมูลเกี่ยวกับความลึกของน้ำและช่วงเวลาที่น้ำท่วมซึ่งมีผลกระทบต่อผลผลิตจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบและหาขนาดของระบบระบายน้ำที่เหมาะสมได้ ตารางที่ 9.1 แสดงให้เห็นถึงผลผลิตของข้าวที่ลดลงเนื่องจากระยะเวลาที่น้ำท่วมต่างกันออกไป ในการออกแบบจะต้องพิจารณาว่าค่าลงทุนที่เพิ่มขึ้นในการจัดทำระบบระบายน้ำนั้นคุ้มกับความเสียหายของพืชเนื่องจากน้ำท่วมหรือไม่ด้วย สำหรับประเทศไทย สุวัฒน์ (2536) ได้ทำการทดลองหาผลของน้ำท่วมต่อผลผลิตข้าวซึ่งได้ผลดังแสดงในรูปที่ 9.1 จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อน้ำท่วมยอดต้นข้าวตั้งแต่ 10 เซนติเมตรขึ้นไป จะทำให้ผลผลิตลดลงและผลผลิตจะลดลงตามระดับที่ท่วมและระยะเวลาที่น้ำท่วม

**ตารางที่ 9.1** ความเสียหายของข้าวที่ถูกน้ำท่วมในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตต่าง ๆ ในประเทศญี่ปุ่น [1/]

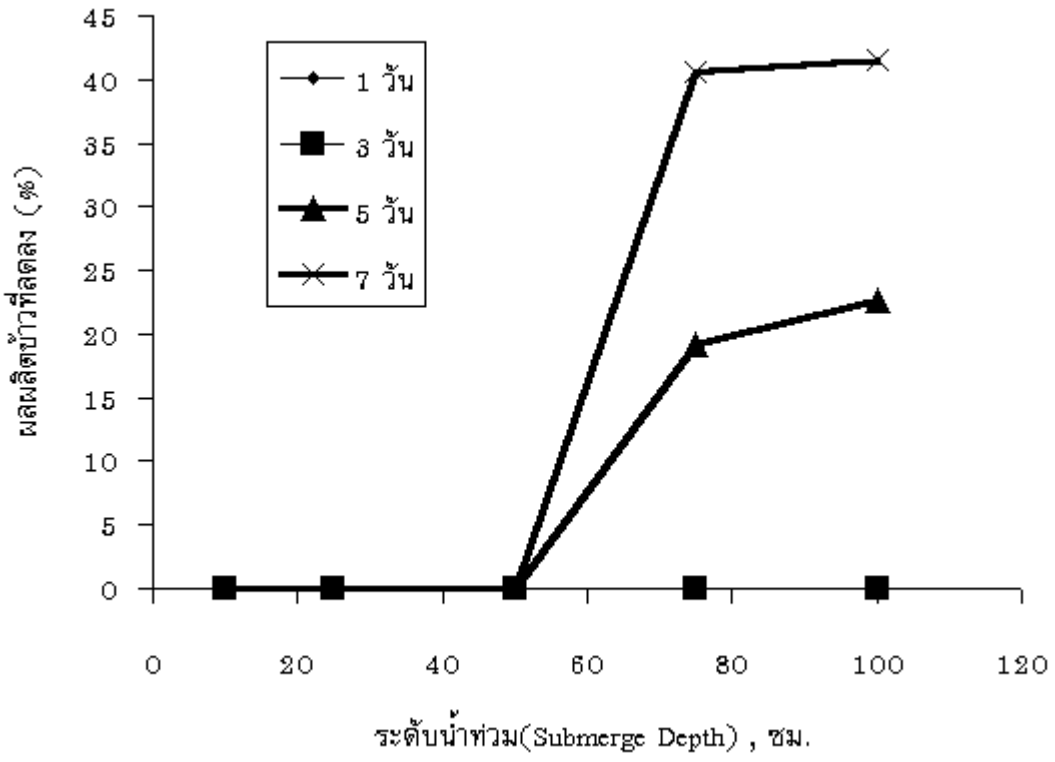
| ช่วงเวลาการเจริญเติบโต | เปอร์เซ็นต์ของผลผลิตที่ลดลงตามจำนวนวันที่น้ำท่วม [2/] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | น้ำใส | | | | น้ำขุ่น | | | |
| | 1-2 | 3-4 | 5-7 | 7 | 1-2 | 3-4 | 5-7 | 7 |
| 20 วันหลังปักดำ | 10 | 20 | 30 | 35 | * | * | * | * |
| ระยะเริ่มเกิดช่อดอก | | | | | | | | |
| น้ำท่วมบางส่วน [3/] | 10 | 30 | 65 | 90-100 | 20 | 50 | 85 | 90-100 |
| ระยะเริ่มเกิดช่อดอก น้ำท่วมมิด | 25 | 45 | 80 | 80-100 | 70 | 80 | 85 | 90-100 |
| ระยะออกรวง (Heading Stage) | 15 | 25 | 30 | 70 | 30 | 80 | 90 | 90-100 |
| ระยะเมล็ดสุก (Ripening Stage) | 0 | 15 | 20 | 20 | 5 | 20 | 30 | 30 |

1/ แหล่งที่มา : Fukuda and Tsutsui (1968)

2/ ถ้าน้ำท่วมเพียงครึ่งวันค่าในตารางจะเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง

3/ น้ำท่วมบางส่วนหมายถึงใบอยู่พ้นน้ำ 9-15 ซม.

* ไม่มีข้อมูล




**รูปที่ 9.1 ผลผลิตที่ลดลงเนื่องจากน้ำท่วม (สุวัฒน์. 2539)**

## 9.3 การเลือกฝนในการออกแบบระบบระบายน้ำในแปลงนา

การเลือกฝนจะต้องพิจารณาความเหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบกัน เพื่อไม่ให้น้ำท่วมต้นพืชจนเกิดผลเสียแก่ผลผลิต หรือออกแบบระบบระบายน้ำซึ่งใหญ่โตเกินความจำเป็น ข้อมูลน้ำฝนที่ใช้ในการออกแบบควรเป็นข้อมูลการตกของฝนรายชั่วโมง แต่ถ้าหากไม่มีข้อมูลรายชั่วโมงก็อาจใช้รายวันแทนได้ และโดยทั่ว ๆ ไปมักจะใช้ฝนที่ตกหนักที่สุดในรอบ 5 ปี 10 ปีมาวิเคราะห์หาขนาดของระบบระบายน้ำในแปลงนา

### 9.3.1 การหาอัตราการระบายน้ำจากแปลงนา

อัตราการระบายน้ำจากแปลงนาจะขึ้นอยู่กับความเข้มของฝน (Rainfall Intensity) ระยะเวลาที่ฝนตก ขนาดและลักษณะของพื้นที่ อัตราการดูดซึมน้ำของดินความสูงของคันนา ความลึกของน้ำในแปลงก่อนฝนตก ตลอดจนความลึกและระยะเวลาที่จะยอมให้น้ำท่วมขังในแปลงนา ถึงแม้ว่าปัจจุบันวิทยาการทางด้านอุทกวิทยาและการระบายน้ำได้เจริญก้าวหน้าไปมาก มีวิธีการและสูตรต่าง ๆ มากมายสำหรับประเมินอัตราการระบายน้ำออกจากพื้นที่ แต่การจะเลือกใช้วิธีการใดหรือสูตรใดมาใช้จะต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับสภาพและขนาดของพื้นที่แต่ละแห่ง ความถูกต้องในการประเมินอัตราการระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับการเลือกฝนและการตั้งสมมติฐานว่าใกล้เคียงความเป็นจริงในขณะที่ฝนตกมากน้อยเท่าใด และจะต้องพิจารณาความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการประเมินอัตราการระบายน้ำที่นิยมใช้โดยทั่วไป

(1) <u>การใช้สูตร Rational หาอัตราการระบายน้ำในแปลงนา</u> (วราวุธ. 2525)

สูตร Rational เดิม

$$Q = C\,I\,A \qquad \text{----------(9.1)}$$

เมื่อ $Q$ = อัตราน้ำที่ต้องระบายสูงสุด (ปริมาตร/เวลา)

$C$ = สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ

$I$ = ความหนาแน่นของฝน (ความลึก/เวลา)

$A$ = พื้นที่ระบายน้ำ

ซึ่ง (Fukuda and Tsntsui, 1973)ได้ดัดแปลงสูตร Rational เดิมให้เหมาะสมยิ่งขึ้นเป็น

$$Q = \frac{10\,f\,R_n\,A}{3600T} \qquad \text{----------(9.2)}$$

เมื่อ $Q$ = อัตราน้ำที่ต้องระบายสูงสุด ($ม^3$./วินาที)

$f$ = ส.ป.ส. การระบายน้ำ

$R_n$ = ปริมาณฝนสูงสุดในช่วง n ชั่วโมง (มม.)

$T$ = ระยะเวลาในการระบายน้ำ (ชั่วโมง)

$A$ = พื้นที่ระบายน้ำ (เฮกแตร์, 1 เฮกแตร์ = 10,000 $ม^2$.)

ค่า n, T และ f จะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นที่ ดังในตารางที่ 9.2

**ตารางที่ 9.2** ค่า n, T, สำหรับสูตร Rational ที่ใช้ในญี่ปุ่น
(Fukuda and Tsutsui, 1973)

| A (เฮกแตร์) | n (ชม.) | T (ชม.) | f |
|---|---|---|---|
| ประมาณ 50 | 4 | 4 | 0.4 - 0.7 |
| < 100 | 24 | 24 | 0.5 - 0.8 |
| < 500 | 24 | 24 | 0.4 - 0.7 |
| < 1,000 | 24 | 48 | 0.6 - 0.8 |

(2) การหาอัตราการระบายน้ำในพื้นที่ปลูกข้าวในที่ลุ่ม

การหาอัตราการระบายน้ำในแปลงนาที่อยู่ในที่ลุ่มในประเทศญี่ปุ่นจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำดังในตารางที่ 9.3 ประกอบกับรูปแบบการระบายน้ำออกจากพื้นที่ (Runoff Pattern) ดังในตารางที่ 9.4

**ตารางที่ 9.3** ปริมาณฝนและสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ

| ปริมาณฝน (มม.) | 0-10 | 10-30 | 30-50 | 50-100 | 100-200 | 200-300 | 300+ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สปส.การระบายน้ำ (%) | 0 | 10 | 30 | 50 | 80 | 90 | 95 |

**ตารางที่ 9.4** ปริมาณฝนที่ตกแต่ละครั้งและรูปแบบการระบายน้ำของพื้นที่ (%)
(Single Rainfall and its Runoff Pathern, %)

| ปริมาณฝนแต่ละครั้ง | รูปแบบการระบายน้ำ (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| (มม.) | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | รวมทั้งหมด |
| 30 | 100 | - | - | - | 100 |
| 30 - 50 | 70 | 30 | - | - | 100 |
| 50 - 100 | 60 | 30 | 10 | - | 100 |
| 100 หรือมากกกว่า | 50 | 30 | 15 | - | 100 |

สมมติว่าถ้าเลือกใช้ฝนที่ตกหนักติดต่อกัน 5 วัน มีปริมาณถึง 300 มม. จะสามารถหาอัตราการระบายน้ำได้ดังแสดงในตารางที่ 9.5

**ตารางที่ 9.5** การหาอัตราการระบายน้ำในแต่ละวันจากฝนที่ตกหนักติดต่อกัน 5 วัน

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| วันที่ | ปริมาณฝนแต่ละวัน (มม.) | ปริมาณฝนสะสม (มม.) | สปส. การระบายน้ำ % | น้ำที่ระบายเนื่องจากฝนรายวัน (มม.) | น้ำที่ต้องการระบายในแต่ละวัน (มม.) | | | | | |
| | | | | | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | วันที่ 5 | วันที่ 6 |
| 1 | 40 | 40 | 30 | 12.0 | 8.4 | 3.6 | - | - | - | - |
| 2 | 150 | 190 | 80 | 120.0 | - | 60.0 | 36.0 | 18.0 | 6.0 | - |
| 3 | 15 | 205 | 90 | 13.5 | - | - | 13.5 | - | - | - |
| 4 | 70 | 275 | 90 | 63.0 | - | - | - | 37.8 | 18.9 | 6.3 |
| 5 | 25 | 300 | 95 | 23.8 | - | - | - | - | 23.8 | - |
| รวม | 300 | | | 232.3 | 8.4 | 63.6 | 49.5 | 55.8 | 48.7 | 6.3 |

**หมายเหตุ** (4) ได้จากตารางที่ 9.3

(5) = (2) x (4)

(6) = (5) x Runoff Pattern (%) จากตารางที่ 9.4

จากการวิเคราะห์ฝนที่ตกหนักติดต่อกัน 5 วัน ซึ่งมีปริมาณฝนรวม 300 มม. จะเห็นว่าอัตราน้ำที่ต้องระบายสูงสุดคือวันที่ 2 เป็นปริมาณถึง 63.6 มม. ต่อ 24 ชั่วโมง เมื่อคูณพื้นที่ระบายน้ำกับค่านี้จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องระบายต่อวัน

เพื่อความสะดวกในการออกแบบระบบระบายน้ำ โดยทั่ว ๆ ไปจะทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ต้องระบายออกจากแปลงโดยวิธีการในทำนองเดียวกับ 2 วิธีที่กล่าวถึง เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ ซึ่งมีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลาต่อพื้นที่ (Drainage Modulus) สำหรับโครงการชลประทานต่าง ๆ ในประเทศไทย มงคล โชติศศิธร ได้รวมค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำซึ่งบริษัทที่ปรึกษาทำการศึกษาไว้ ดังแสดงในตารางที่ 9.6

## 9.4 การหาค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำโดยพิจารณาผลประโยชน์และค่าลงทุน

ภูมิรักษ์และวราวุธ (2537) ได้เสนอแนะวิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยพิจารณาจากผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลดโอกาสความน่าจะเป็นของน้ำท่วม และค่าลงทุนระบบระบายน้ำในแปลงนาของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลายชุมพล ในโครงการพัฒนาเกษตรชลประทานพิษณุโลกระยะที่ 1 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

(1) ทำการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของในโดยวิธี Theissen Polygon

(2) วิเคราะห์ฝนแบบความลึก-ช่วงเวลา-ความถี่

(3) ออกแบบ Hyetograph จากค่าฝนเฉลี่ย

(4) ทำการวิเคราะห์สมดุลของน้ำในนาข้าว เพื่อหาความเสียหายที่เกิดกับต้นข้าว เมื่อถูกน้ำท่วมในระยะเวลาและความสูงของน้ำท่วมต่าง ๆ กัน โดยกำหนดระดับน้ำในนาข้าวเริ่มต้นที่ 100 มิลลิเมตร และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำแปรผันตั้งแต่ 0 ถึง 90 มิลลิเมตรต่อวัน ดังแสดงในตารางที่ 9.7

(5) หาค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยการเปรียบเทียบผลประโยชน์และค่าลงทุน ในเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 9.8

ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นวิธีการที่มีเหตุมีผลมากที่สุดวิธีหนึ่ง ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำเพื่อการออกแบบ แต่วิธีนี้มีทั้งจำกัดคือต้องการข้อมูลมาก โดยเฉพาะข้อมูลผลประโยชน์และค่าลงทุนของระบบระบายน้ำ ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าผลประโยชน์และค่าลงทุนค่อนข้างยุ่งยาก และค่าที่วิเคราะห์ได้ยังขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ใช้อีกด้วย

**รูปที่ 9.6 สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ (Drainage Modulus) ของโครงการชลประทานต่าง ๆ (มงคล. 2524)**

| Projects | Sources of Discussion | Methodology | Drainage Modulus at Farm Level for area 0-2,000 rai in L/sec/rai | Drainage Modulus for Main Drain in L/sec/rai | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | For drainage area (1,000 rai) | | | | | | | |
| | | | | 2 to 5 | 5 to 10 | 10 to 20 | 20 to 50 | 50 to 100 | 100 to 200 | 200 to 500 | 500 to 1,000 |
| Chao Phya Stage I | Ilaco-Nedeco | 46 mm/24 hours | .85 | 0.77 | | | | - | - | - | - |
| Phitsanulok | ELC-NK-SEATEC | Economic Optimization Technique<br>**Criteria and Assumption**<br>1.Ponding depth in the field =100 mm.<br>2.max.5-days consecutive rainfall<br>3.6 and 17 years return period for lower area and upper area | .65 | .61<br>(95)* | .57<br>(90) | .56<br>(87) | .54-.53<br>(85-82) | .51<br>(80-78) | .48<br>(74) | .46-.45<br>(72-69) | .44 -.43<br>(68 -66) |
| Phitsanulok (Feasibility report) | U.S.B.R. | **Criteria and Assumption**<br>1.No ponding depth<br>2.max. 7-days consecutive rainfall<br>3.10 Years return period | .57 | .53<br>(90) | .50<br>(85) | .47<br>(80) | .44<br>(.75) | .44<br>(70) | .38<br>(65) | .35<br>(60) | .32<br>(55) |
| Uttaradit | U.S.B.R. | **Criteria and Assumption**<br>1.No ponding depth<br>2.max.7-days consecutive rainfall<br>3.10-years return period | .67 | .60<br>(90) | .57<br>(85) | .54<br>(80) | .50<br>(75) | .47<br>(70) | .44<br>(65) | .40<br>(60) | .37<br>(55) |

* Figures in parenthesis are reduction factor of Drainage Modulus

**รูปที่ 9.6 (ต่อ)**

| Projects | Sources of Discussion | Methodology | Drainage Modulus at Farm Level for area 0-2,000 rai in L/sec/rai | Drainage Modulus for Main Drain in L/sec/rai | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | For drainage area (1,000 rai) | | | | | | | |
| | | | | 2 to 5 | 5 to 10 | 10 to 20 | 20 to 50 | 50 to 100 | 100 to 200 | 200 to 500 | 500 to 1,000 |
| Mae Klong (Feasibility) | Ilaco | **Criteria and Assumption**<br>1.No ponding depth<br>2.max.5-days consecutive rainfall<br>3.10 years return period<br>4.75% of rainfall is taken into account<br>5.No mention of drainage area | .42 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mae Klong (Feasibility) | JICA | **Criteria and Assumption**<br>1.ponding depth = 100 mm.<br>2.max.daily rainfall<br>3.No mention of drainage area | 0.80 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Lam Takong (Feasibility) | TAHAL | **Criteria and Assumption**<br>1.initial (pre-rain)water depth in paddies = 75 mm.<br>2.Drainage modulus<br>$= \frac{\text{3-days storm -75/2}}{3}$<br>3.max.3-days consecutive rainfall<br>4.5-years return period | 0.64<br>(Q=0.004A,<br>Q = cms,<br>A = ha ) | For area > 1000 ha ; $Q = 35M^{5/6}$ (Cypress Creek Formula)<br>Q = cfs.<br>M = area in sq. miles. | | | | | | | |

| Projects | Sources of Discussion | Methodology | Drainage Modulus at Farm Level for area 0-2,000 rai in L/sec/rai | Drainage Modulus for Main Drain in L/sec/rai | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | For drainage area (1,000 rai) | | | | | | | |
| | | | | 2 to 5 | 5 to 10 | 10 to 20 | 20 to 50 | 50 to 100 | 100 to 200 | 200 to 500 | 500 to 1,000 |
| Lam Pao | TAHAL | **Criteria and Assumptions**<br>1.ponding depth 38 mm.<br>2.max. 3-days consecutive rainfall<br>3.5-years return period | 0.64 | | | For area >1000 ha; Q = $35M^{5/6}$ | | | | | |
| Nam Pong Stage II | TAHAL | **Criteria and Assumptions**<br>The same as Lam Pao Project<br>Rational Formula | | | | | | | | | |
| Nong Wai Pioneer Agriculture | SUNYU | **Criteria and Assumptions**<br>1. ponding depth 300 mm. for 1/3-1/4 of the total area<br>2. 5-days consecutive rainfall<br>3.10-years return period | 0.59<br>(Q=0.0037A)<br>1.00 | For area >1000 ha; Q = $35M^{5/6}$<br>.90<br>(90) | .85<br>(85) | .80<br>(80) | .75<br>(75) | .70<br>(70) | .65<br>(65) | - | - |
| Nong Wai Pioneer Agriculture Project (Design Criteria on Land Consolidation) | SANYA | **Rational Formula**<br>Q = 0.002778 f.r.A. Q = cms.<br>Q = runoff coefficient<br>Q = rainfall intensity (mm./hr.)<br>$= \frac{R}{24} \left(\frac{24}{T}\right)^{2/3}$ | 1.3 | - | - | - | - | - | - | - | - |

**รูปที่ 9.6 (ต่อ)**

| Projects | Sources of Discussion | Methodology | Drainage Modulus at Farm Level for area 0-2,000 rai in L/sec/rai | Drainage Modulus for Main Drain in L/sec/rai | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | For drainage area (1,000 rai) | | | | | | | |
| | | | | 2 to 5 | 5 to 10 | 10 to 20 | 20 to 50 | 50 to 100 | 100 to 200 | 200 to 500 | 500 to 1,000 |
| | | R = proposed daily rainfall (mm.)<br>T = drainage time (hr.)<br>A = drainage area (ha)<br>$Q_1 = A_L \times q_1 = 0.0013\ A_L$<br>(inside L.C.)<br>$Q_1 = 0.0013\ A_L + 0.0016\ A_0$<br>(L.C. + outside L.C.)<br>$A_L$ = Land Conoslidation (L.C) area (rai)<br>$A_o$ = Area outside L.C. (rai) | | | | | | | | | |

**ตารางที่ 9.7 ต่อ**

| รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี) | ช่วงเวลาวิกฤต (วัน) | ผลผลิตข้าวที่ลดลง (%) | ผลผลิตข้าวที่ลดลงเฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 15 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 7 | 3.20 | |
| 5 | 7 | 7.00 | 5.10 |
| 10 | 7 | 9.50 | 8.25 |
| 25 | 7 | 13.00 | 11.25 |
| 50 | 7 | 13.50 | 13.25 |
| 100 | 7 | 13.70 | 13.60 |
| 200 | 7 | 13.80 | 13.75 |
| 500 | 7 | 14.00 | 13.90 |
| 1,000 | 6 | 14.00 | 14.00 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 20 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 5 | 1.50 | |
| 5 | 7 | 5.20 | 3.35 |
| 10 | 7 | 8.00 | 6.60 |
| 25 | 7 | 11.00 | 9.50 |
| 50 | 7 | 13.50 | 12.25 |
| 100 | 7 | 13.60 | 13.55 |
| 200 | 7 | 13.80 | 13.70 |
| 500 | 7 | 14.00 | 13.90 |
| 1,000 | 7 | 14.00 | 14.00 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 25 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 5 | 0.80 | |
| 5 | 7 | 3.50 | 2.15 |
| 10 | 7 | 6.20 | 4.85 |
| 25 | 7 | 9.50 | 7.85 |
| 50 | 7 | 12.00 | 10.75 |
| 100 | 7 | 13.50 | 12.75 |
| 200 | 7 | 13.70 | 13.60 |
| 500 | 7 | 13.80 | 13.75 |
| 1,000 | 6 | 14.00 | 13.90 |

**ตารางที่ 9.7 (ต่อ)**

| รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี) | ช่วงเวลาวิกฤต (วัน) | ผลผลิตข้าวที่ลดลง (%) | ผลผลิตข้าวที่ลดลงเฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 30 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 4 | 0.30 | |
| 5 | 6 | 2.50 | 1.40 |
| 10 | 7 | 4.20 | 3.35 |
| 25 | 7 | 8.50 | 6.35 |
| 50 | 7 | 10.30 | 9.40 |
| 100 | 7 | 12.60 | 11.45 |
| 200 | 7 | 13.50 | 13.05 |
| 500 | 7 | 13.70 | 13.60 |
| 1,000 | 7 | 14.00 | 13.85 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 35 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 5 | 1.50 | 0.75 |
| 10 | 5 | 3.00 | 2.25 |
| 25 | 7 | 6.00 | 4.50 |
| 50 | 7 | 8.50 | 7.25 |
| 100 | 7 | 10.80 | 9.65 |
| 200 | 7 | 13.50 | 12.15 |
| 500 | 7 | 13.60 | 13.55 |
| 1,000 | 7 | 13.70 | 13.65 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 40 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 4 | 0.80 | 0.40 |
| 10 | 5 | 2.40 | 1.60 |
| 25 | 6 | 4.10 | 3.25 |
| 50 | 7 | 6.60 | 5.35 |
| 100 | 7 | 9.00 | 7.80 |
| 200 | 7 | 11.50 | 10.25 |
| 500 | 7 | 13.60 | 12.55 |
| 1,000 | 7 | 13.70 | 13.65 |

**ตารางที่ 9.7 (ต่อ)**

| รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี) | ช่วงเวลาวิกฤต (วัน) | ผลผลิตข้าวที่ลดลง (%) | ผลผลิตข้าวที่ลดลงเฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 45 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 4 | 0.50 | 2.25 |
| 10 | 5 | 1.40 | 0.95 |
| 25 | 5 | 3.00 | 2.20 |
| 50 | 6 | 5.00 | 4.00 |
| 100 | 7 | 7.20 | 6.10 |
| 200 | 7 | 10.00 | 8.60 |
| 500 | 7 | 13.00 | 11.50 |
| 1,000 | 7 | 13.60 | 13.30 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 50 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 4 | 0.80 | 0.40 |
| 25 | 5 | 2.40 | 1.60 |
| 50 | 5 | 3.70 | 3.05 |
| 100 | 6 | 5.50 | 4.60 |
| 200 | 7 | 8.00 | 6.75 |
| 500 | 7 | 11.20 | 9.60 |
| 1,000 | 7 | 13.50 | 12.35 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 55 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 4 | 0.50 | 0.25 |
| 25 | 5 | 1.60 | 1.05 |
| 50 | 5 | 3.00 | 2.30 |
| 100 | 5 | 4.50 | 3.75 |
| 200 | 6 | 6.40 | 5.45 |
| 500 | 7 | 9.50 | 7.95 |
| 1,000 | 7 | 12.00 | 10.75 |

**ตารางที่ 9.7 (ต่อ)**

| รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี) | ช่วงเวลาวิกฤต (วัน) | ผลผลิตข้าวที่ลดลง (%) | ผลผลิตข้าวที่ลดลงเฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 60 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 4 | 1.00 | 0.50 |
| 50 | 5 | 2.20 | 1.60 |
| 100 | 5 | 3.60 | 2.90 |
| 200 | 5 | 5.00 | 4.30 |
| 500 | 6 | 7.60 | 6.30 |
| 1,000 | 7 | 10.10 | 8.85 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 65 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 4 | 0.70 | 0.35 |
| 50 | 4 | 1.50 | 1.10 |
| 100 | 5 | 3.00 | 2.25 |
| 200 | 5 | 4.10 | 3.55 |
| 500 | 6 | 6.20 | 5.15 |
| 1,000 | 6 | 8.50 | 7.35 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 70 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 4 | 0.50 | 0.25 |
| 50 | 4 | 1.00 | 0.75 |
| 100 | 5 | 2.00 | 1.50 |
| 200 | 5 | 3.40 | 2.70 |
| 500 | 6 | 5.30 | 4.35 |
| 1,000 | 6 | 5.20 | 5.25 |

**ตารางที่ 9.7 (ต่อ)**

| รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี) | ช่วงเวลาวิกฤต (วัน) | ผลผลิตข้าวที่ลดลง (%) | ผลผลิตข้าวที่ลดลงเฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 75 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 50 | 4 | 0.80 | 0.40 |
| 100 | 4 | 1.50 | 1.15 |
| 200 | 5 | 2.50 | 2.00 |
| 500 | 5 | 4.50 | 3.50 |
| 1,000 | 6 | 6.00 | 5.25 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 80 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 50 | 4 | 0.50 | 0.25 |
| 100 | 4 | 2.00 | 1.25 |
| 200 | 5 | 1.80 | 1.90 |
| 500 | 5 | 3.60 | 2.70 |
| 1,000 | 5 | 5.00 | 4.30 |
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 85 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 50 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 100 | 4 | 0.80 | 0.40 |
| 200 | 4 | 1.50 | 1.15 |
| 500 | 5 | 2.80 | 2.15 |
| 1,000 | 5 | 4.20 | 3.50 |

**ตารางที่ 9.7 (ต่อ)**

| รอบปีการเกิดซ้ำ (ปี) | ช่วงเวลาวิกฤต (วัน) | ผลผลิตข้าวที่ลดลง (%) | ผลผลิตข้าวที่ลดลงเฉลี่ย (%) |
|---|---|---|---|
| **สัมประสิทธิ์การระบายน้ำ 90 มิลลิเมตรต่อวัน** | | | |
| 2 | 0 | 0.00 | |
| 5 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 25 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 50 | 0 | 0.00 | 0.00 |
| 100 | 4 | 0.50 | 0.25 |
| 200 | 4 | 1.00 | 0.75 |
| 500 | 4 | 2.00 | 1.50 |
| 1,000 | 5 | 3.50 | 2.75 |

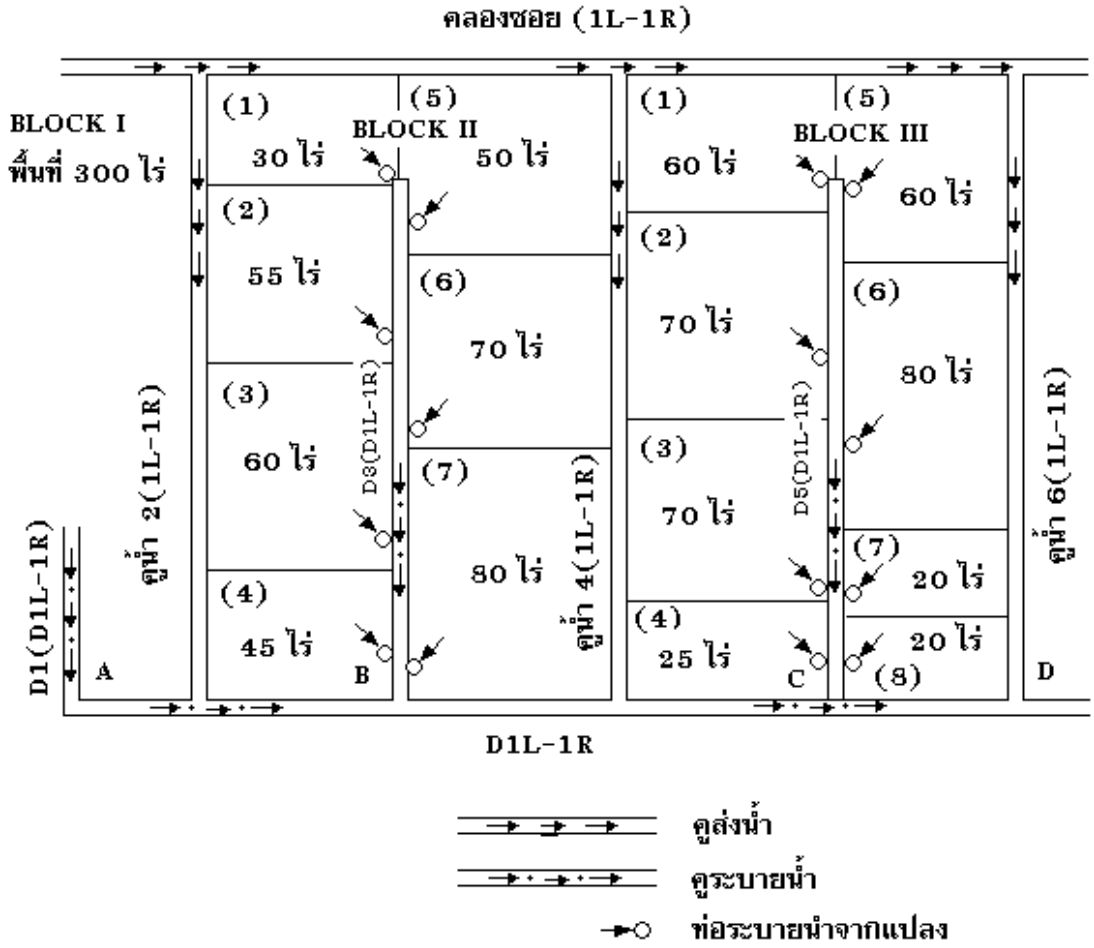
**ตารางที่ 9.8** การหาค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีการพิจารณาค่าลงทุนระบบระบายน้ำและผลประโยชน์ที่ได้จากการลดความเสียหายเนื่องจากน้ำท่วมในเชิงเศรษฐศาสตร์ (ภูมิรักษ์ และ วราวุธ. 2537)

| ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำ | | ผลผลิตที่ลดลงต่อปี | | ผลประโยชน์ได้รับต่อปี | | ค่าก่อสร้างระบบระบายน้ำ | ค่าลงทุนต่อปี | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | B | ΔB | | C | ΔC | B/C | ΔB/ΔC |
| (มม./วัน) | (ลิตร/วินาที/ไร่) | (%) | (บาท/ไร่) | (บาท/ไร่) | (บาท/ไร่) | (บาท/ไร่) | (บาท/ไร่) | (บาท/ไร่) | | |
| ราคาข้าวเปลือก 3,200 บาท/ตัน (ราคาปัจจุบัน) | | | | | | Cost = 214.86+291.47 DM.-52.88DM$^2$(ราคาสูง) | | | | |
| 0 | 0.00 | 5.76 | 121.42 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | | | |
| 5 | 0.09 | 5.13 | 108.14 | 13.28 | 13.28 | 241.37 | 28.96 | 28.96 | 0.46 | 0.46 |
| 10 | 0.19 | 4.37 | 92.12 | 29.30 | 29.30 | 266.97 | 32.04 | 32.04 | 0.91 | 0.91 |
| 15 | 0.28 | 3.55 | 74.83 | 46.59 | 46.59 | 291.67 | 35.00 | 35.00 | 1.33 | 1.33 |
| 20 | 0.37 | 2.74 | 57.76 | 63.66 | 17.07 | 315.46 | 37.86 | 2.86 | 1.68 | 5.98 |
| 25 | 0.46 | 2.07 | 43.64 | 77.79 | 14.12 | 338.35 | 40.60 | 2.75 | 1.92 | 5.14 |
| 30 | 0.56 | 1.56 | 32.88 | 88.54 | 10.75 | 260.34 | 43.24 | 2.64 | 2.05 | 4.08 |
| 35 | 0.65 | 1.05 | 22.13 | 99.29 | 10.75 | 381.42 | 45.77 | 2.53 | 2.17 | 4.25 |
| 40 | 0.74 | 0.76 | 16.02 | 105.40 | 6.11 | 401.59 | 48.19 | 2.42 | 2.19 | 2.53 |
| 45 | 0.83 | 0.53 | 11.17 | 110.25 | 4.85 | 420.86 | 50.50 | 2.31 | 2.18 | 2.10 |
| 50 | 0.93 | 0.32 | 6.75 | 114.68 | 4.43 | 439.22 | 52.71 | 2.20 | 2.18 | 2.01 |
| 55 | 1.02 | 0.23 | 4.85 | 116.57 | 1.90 | 456.68 | 54.80 | 2.10 | 2.13 | 0.91 |
| 60 | 1.11 | 0.14 | 2.95 | 118.47 | 3.79 | 473.24 | 56.79 | 4.08 | 2.09 | 0.93 |
| 65 | 1.20 | 0.10 | 3.11 | 119.31 | 4.64 | 488.89 | 58.67 | 5.96 | 2.03 | 0.78 |
| 70 | 1.30 | 0.08 | 1.69 | 119.73 | 5.06 | 503.63 | 60.44 | 7.73 | 1.98 | 0.65 |
| 75 | 1.39 | 0.05 | 1.05 | 120.37 | 5.69 | 517.47 | 62.10 | 9.39 | 1.94 | 0.61 |
| 80 | 1.48 | 0.04 | 0.84 | 120.58 | 5.90 | 530.41 | 63.65 | 10.94 | 1.89 | 0.54 |
| 85 | 1.57 | 0.02 | 0.42 | 121.00 | 6.32 | 524.44 | 65.09 | 12.39 | 1.86 | 0.51 |
| 90 | 1.67 | 0.01 | 0.21 | 121.21 | 6.53 | 553.56 | 66.43 | 13.72 | 1.82 | 0.48 |

* DM = Drainage Modulus : ผลผลิตเฉลี่ย 659 กก./ไร่

## 9.4 ตัวอย่างการหาขนาดระบบระบายน้ำ

ให้หาขนาดของระบบระบายน้ำของพื้นที่ชลประทานแห่งหนึ่ง (ดังรูปที่ 9.2) ซึ่งอยู่ในเขตโครงการเจ้าพระยา




**รูปที่ 9.2 แบบแสดงตัวอย่างระบบระบายน้ำในแปลงนา**

จากตารางที่ 9.6 สำหรับโครงการเจ้าพระยา

พื้นที่ระหว่าง 0-2000 ไร่ สปส. การระบายน้ำ = 0.85 ลิตร/วินาที/ไร่

พื้นที่ 2000 - 5000 ไร่ สปส. การระบายน้ำ = 0.77 ลิตร/วินาที/ไร่

สำหรับแปลงนาใน Block II

ปริมาณน้ำสูงสุดที่ระบายจากแปลงที่ 1 = 0.85 x 30 = 25.5 ลิตร/วินาที
แปลงที่ 2 = 0.85 x 55 = 46.8 ลิตร/วินาที
แปลงที่ 3 = 0.85 x 60 = 51.0 ลิตร/วินาที
แปลงที่ 4 = 0.85 x 45 = 38.3 ลิตร/วินาที
แปลงที่ 5 = 0.85 x 50 = 42.5 ลิตร/วินาที
แปลงที่ 6 = 0.85 x 70 = 59.5 ลิตร/วินาที
แปลงที่ 7 = 0.85 x 80 = 68 ลิตร/วินาที
รวมปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องระบายจาก Block II = 331.6 ลิตร/วินาที
≈ 332 ลิตร/วินาที

ขนาดของคูระบายน้ำ D3 (D1L - 1R) จะค่อย ๆ ใหญ่ขึ้นจากต้นคูไปยังปลายคู ตามปริมาณน้ำที่ไหลลง

ปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องระบายจาก Block I = 0.85 x 300 ลิตร/วินาที
= 255 ลิตร/วินาที
ปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องระบายจาก Block III = 0.85 x 405 ลิตร/วินาที
= 344 ลิตร/วินาที

∴ ขนาดของคลองระบายน้ำ D1L - 1R

ช่วง AB = 225 ลิตร/วินาที
ช่วง BC = 225 + 332 = 587 ลิตร/วินาที
ช่วง CD = 587 + 344 = 931 ลิตร/วินาที

**9.5 เอกสารอ้างอิง**

1. มงคล โชติศศิธร (2524). เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.

2. ภูมิรักษ์ รัตนผล และวราวุธ วุฒิวณิชย์ (2537). การศึกษาการระบายน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพลายชุมพล. วิศวกรรมสตร์ มก. ฉบับที่ 22. เมษายน-กรกฎาคม 2537. หน้า 85-98.

3. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425

(การออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก). ภาควิชาวิศวกรรมชลประทานคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม

4. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบระบบชลประทานบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

5. สุวัฒน์ อันทรไทยวงศ์ (2539). การศึกษาผลผลิตข้าวที่ลดลงเนื่องจากถูกน้ำท่วม. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม.

6. Fukuda, H and H. Tsutsui (1973), Rice Irrigation in Japan, Overseas Technical Cooperation Agenc, Tokyo, Japan.

**9.6 แบบฝึกหัด**

**9.1** จากการวิเคราะห์ฝนในโครงการชลประทานแห่งหนึ่ง แบบ Intensity-Duration-Return Period พบว่า Intensity ของฝนซึ่งมี Return Period 10 ปี

$$i = 100.4t^{-0.32}$$

เมื่อ i = intensity ของฝน เป็น มม./วัน

t = duration ของฝน เป็น วัน

พิจารณาว่าในการออกแบบระบบระบายน้ำของโครงการ ซึ่งปลูกข้าวเป็นหลัก เลือกใช้ฝนซึ่งมี Duration 5 วัน และ Return Period 10 ปี

ส.ป.ส. น้ำท่า (C) ขึ้นอยู่กับปริมาณฝนที่ตก มีค่าดังตาราง

| ปริมาณฝนสะสม (มม.) | 0-10 | 10-30 | 30-50 | 50-100 | 100-200 | 200-300 | >300 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ส.ป.ส. น้ำท่า (%) | 0 | 10 | 30 | 50 | 80 | 90 | 95 |

จากการศึกษาสภาพการระบายน้ำพบว่ารูปแบบการระบายน้ำในแปลงข้าวของโครงการมีลักษณะดังตาราง

| ปริมาณฝนแต่ละครั้งหรือแต่ละวัน | % น้ำที่ระบายในแต่ละวัน | รวมทั้งหมด |
|---|---|---|

| (มม.) | วันที่ 1 | วันที่ 2 | วันที่ 3 | วันที่ 4 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 30 | 100 | - | - | - | 100 |
| 30 - 50 | 70 | 30 | - | - | 100 |
| 50 - 100 | 60 | 30 | 10 | - | 100 |
| $\geq$ 100 | 50 | 30 | 15 | 5 | 100 |

จงหา ส.ป.ส. การระบายน้ำ (Drainage Modulus) ของโครงการดังกล่าว

**9.2** ในการหาค่า ส.ป.ส. การระบายน้ำ ของพื้นที่ปลูกข้าว ถ้ากำหนดว่าฝนสูงสุดในช่วงเวลา 5 วัน (Maximum 5 days rainfall) มีการแจกแจงแบบกัมเบล ดังสมการ

$$X_{Tr} = Xo - \alpha \ln [- \ln (1-\frac{1}{T_l})]$$

เมื่อ $X_{Tr}$ = ฝนสูงสุดในช่วงเวลา 5 วัน รอบปีการเกิดซ้ำ Tr ปี (มม.)

Xo = 180

$\alpha$ = 34.7

ฝนสูงสุดในช่วงเวลา 5 วัน มีการแจกแจงตามเวลาดังตาราง

| % Cumulative Time | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % Cumulative Rainfall | 5 | 12 | 25 | 50 | 68 | 78 | 85 | 90 | 95 | 100 |

ถ้ากำหนดว่า ส.ป.ส. น้ำท่า และรูปแบบการระบายน้ำในแปลงข้าวของโครงการมีค่าดังแสดงในข้อ 9.1 จงหา ส.ป.ส. การระบายน้ำของโครงการ

# บทปฏิบัติการที่ 9
# การหาขนาดระบบระบายน้ำในแปลงเพาะปลูก

จาก Layout ของระบบระบายน้ำในแปลงนาที่กำหนดให้ ถ้า ส.ป.ส. การระบายน้ำมีค่าเท่ากับ 65 มม./วัน จงดำเนินการต่อไปนี้

(1) เขียน Profile ก้นคูระบายน้ำ ระดับน้ำ ระดับดิน พร้อมระบุอาคารระบายน้ำที่สำคัญตามแนวคูระบาย

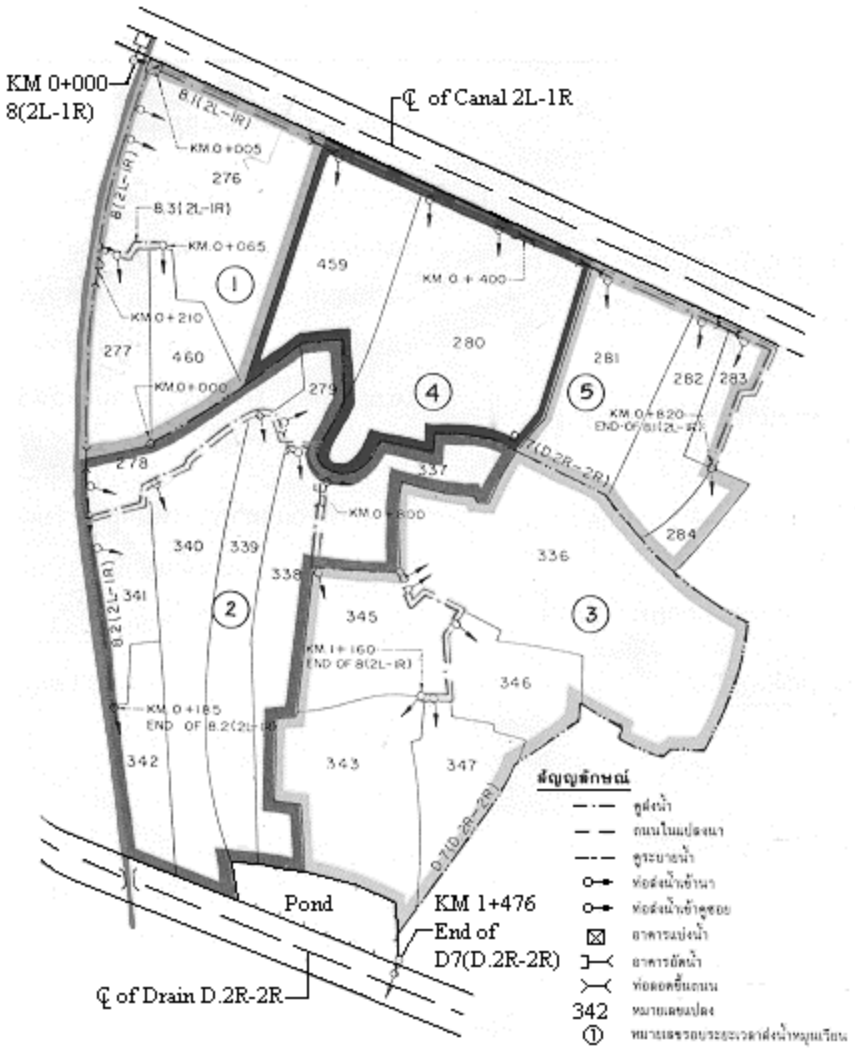
(2) เขียนแบบรูปตัดคูระบายและถนน โดยอาศัย Standard Drawing ที่กำหนดให้

(3) เขียนแบบอาคารระบายน้ำต่าง ๆ

กำหนดให้แต่ละแปลงมีพื้นที่ดังต่อไปนี้

| พื้นที่หมุนเวียน | แปลงหมายเลข | พื้นที่ (ไร่) |
|---|---|---|
| 1 | 276 | 22 |
| | 277 | 7 |
| | 460 | 6 |
| 2 | 278 | 6 |
| | 279 | 4 |
| | 337 | 6 |
| | 338 | 14 |
| | 339 | 14 |
| | 340 | 14 |
| | 341 | 6 |
| | 342 | 6 |
| 3 | 336 | 30 |
| | 343 | 12 |
| | 345 | 12 |
| | 346 | 8 |
| | 347 | 8 |
| 4 | 280 | 12 |
| | 459 | 23 |
| 5 | 281 | 14 |
| | 282 | 10 |
| | 283 | 6 |
| | 284 | 5 |

กำหนดให้พื้นที่ทั้งหมดราบ และต้องการออกแบบคูระบายให้มีความลาดเท 0.02 %




**ระบบระบายน้ำในแปลงนาสำหรับบทปฏิบัติการที่ 9**

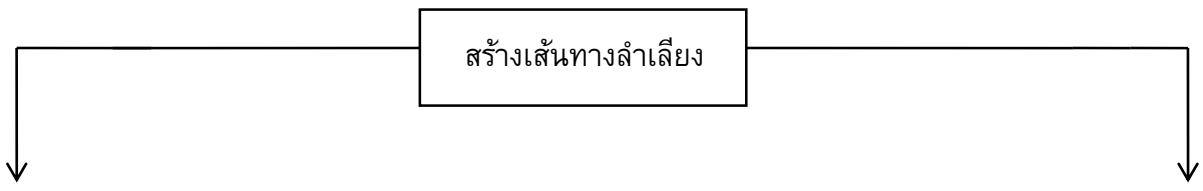
# บทที่ 10
# การออกแบบระบบชลประทานในไร่นา
# (Design of Farm Irrigation Systems)

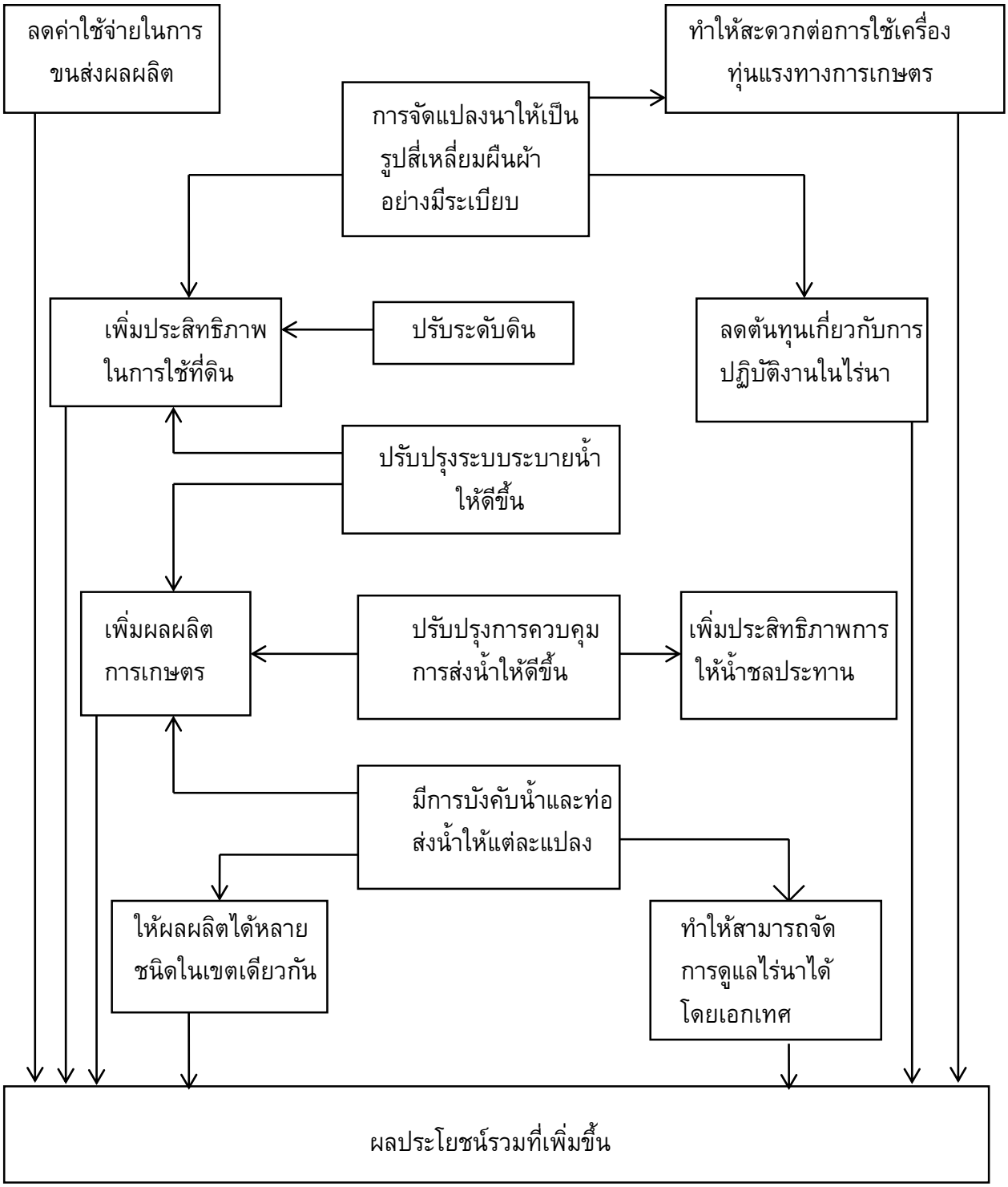
## 10.1 คำนำ

ระบบแจกจ่ายน้ำในไร่นาเป็นระบบที่ทำหน้าที่รับน้ำจากคลองไปส่งน้ำให้พืชถือว่าเป็นระบบที่สำคัญไม่ยิ่งหย่อนกว่าระบบส่งน้ำหลัก หรือระบบคลองเลย การพัฒนาทางการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิตจะบรรลุเป้าหมายที่วางไว้หรือไม่ขึ้นอยู่กับระบบแจกจ่างน้ำในไร่นา จะทำหน้าที่ในการกระจายน้ำไปสู่พืชได้อย่างเพียงพอ ทันกับความต้องการมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด การที่ระบบแจกจ่ายน้ำในไร่นาจะทำหน้าที่นำน้ำไปสู่พืชได้อย่างสมบูรณ์ขึ้นอยู่กับการวางแผน ออกแบบ และการจัดการน้ำเป็นสำคัญ การจะดำเนินงานทั้งสามขั้นตอนดังกล่าวให้ประสบความสำเร็จเป็นเรื่องที่ไม่ยากแต่ก็ไม่ง่าย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบสำคัญ 3 ประการคือ องค์ประกอบทางด้านวิศวกรรม ทางด้านเกษตรและทางด้านเศรษฐกิจ-สังคม ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่1 เนื่องจากงานพัฒนาระบบชลประทานในไร่นามีความเกี่ยวพันกับองค์ประกอบต่าง ๆ อย่างมาก โดยเฉพาะตัวเกษตรกรซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุด ทำให้การชลประทานในไร่นามีลักษณะเฉพาะตัวซึ่งต่างกับงานวิศวกรรมในสาขาอื่น จึงจำเป็นจะต้องมีการศึกษา วิจัย รวบรวมข้อมูลและประสบการณ์ในแต่ละโครงการ จึงจะทำให้การชลประทานในไร่นาประสบผลสำเร็จได้

## 10.2 ลักษณะของระบบชลประทานในไร่นา

ลักษณะของระบบชลประทานในไร่นาที่สมบูรณ์แบบจะต้องประกอบด้วย ระบบคูน้ำ ซึ่งสามารถควบคุมการแจกจ่ายน้ำให้กับแปลงเพาะปลูกโดยตรงได้อย่างทั่วถึงทุกแปลง ระบบระบายน้ำ ซึ่งสามารถระบายน้ำออกจากแปลงเพาะปลูกได้ทุกแปลง ระบบถนน ซึ่งสามารถใช้เป็นทางคมนาคมและทางลำลียงเข้าถึงทุกแปลง การจัดรูปแปลง เพื่อให้เหมาะสมกับการทำการเกษตรชลประทานสมัยใหม่ ตลอดจนการปรับระดับพื้นที่ เพื่อให้การส่งน้ำและการแจกจ่ายน้ำชลประทานไปยังต้นพืชทำได้อย่างทั่งถึงและมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น การพัฒนาระบบชลประทานสมบูรณ์แบบดังกล่าวจะก่อให้เกิดผลดีหลายประการ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 10.1 ทางด้านเทคนิคแล้วการจะพัฒนาระบบชลประทานที่สมบูรณ์แบบดังกล่าวไม่ใช่ของยากแต่อาจไม่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์






**รูปที่ 10.1 ผลประโยชน์รวมที่เกิดจากการพัฒนาการชลประทานในไร่นาและการจัดรูปที่ดิน (วราวุธ. 2525)**

ในกรณีที่มีปัญหาเรื่องเงินทุนงานพัฒนาการชลประทานในไร่นา จำเป็นจะต้องลดระดับความสมบูรณ์ลงโดยการตัดทอนสิ่งที่มีความจำเป็นน้อยกว่าแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการ

ดำเนินการสูงเช่น การปรับพื้นที่ การจัดรูปแปลงใหม่หรือแม้แต่ระบบคูส่งน้ำ ระบบระบายน้ำและระบบถนนก็อาจต้องลดปริมาณงานลงคือ แทนที่จะให้เข้าถึงทุกแปลงโดยตรง อาจต้องให้เข้าถึงเพียงบางส่วน แต่จะต้องอยู่ในลักษณะที่แปลงซึ่งอยู่ไม่ติดกับระบบคูส่งน้ำและระบบระบายน้ำยังคงสามารถได้รับน้ำหรือระบายน้ำผ่านแปลงที่อยู่ติดกับระบบได้

สำหรับประเทศไทยได้มีการพัฒนาระบบชลประทานในไร่นามาเป็นเวลานาน โดยในระยะเริ่มแรกได้ดำเนินการในลักษณะของการจัดทำคันนา-คูน้ำ คือให้มีคันนาเพื่อเก็บน้ำฝนไว้ใช้ประโยชน์ให้มากที่สุดและให้มีคูน้ำเพื่อการชลประทานเสริม คูน้ำดังกล่าวจะวิ่งผ่านไปในพื้นที่เพาะปลูกโดยมีระยะห่างประมาณ 400-500 เมตร ส่วนระบบระบายน้ำมีแต่เพียงคลองระบายสายใหญ่เท่านั้นไม่มีคูระบาย ต่อมาเมื่อมีความจำเป็นต้องเร่งผลผลิตให้ทันกับความต้องการจึงได้มีการดำเนินการจัดรูปที่ดินซึ่งมีทั้งงานพัฒนาระบบการชลประทานในไร่นาที่สมบูรณ์แบบ (Intensive) และไม่สมบูรณ์แบบ (Extensive) ในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะการออกแบบระบบชลประทานในแปลงเพาะปลูกสมบูรณ์แบบเท่านั้น ซึ่งถ้าผู้อ่านมีความเข้าใจในหลักการออกแบบดังที่จะกล่าวต่อไปดี ก็ไม่เป็นการยากที่จะออกแบบระบบไร่นาที่มีความสมบูรณ์น้อยลง

## 10.3 ขั้นตอนการดำเนินการจัดรูปที่ดิน

งานจัดรูปที่ดินเป็นงานพัฒนาการชลประทานระดับไร่นา มีขั้นตอนการดำเนินการร่วมกันหลายฝ่าย ตั้งแต่การวางแผน สำรวจ ออกแบบ ก่อสร้าง และการบริหารงานหลังจากก่อสร้างเสร็จแล้ว แต่ละขั้นตอนจะต้องสอดคล้องและต่อเนื่องกันตามลำดับ หากขาดส่วนหนึ่งส่วนใดอันเป็นข้อมูลสำหรับที่จะต้องใช้ในการทำงานขั้นต่อไปก็ไม่สามารถดำเนินการตามโครงการที่กำหนดไว้หรืออาจทำได้แต่ก็มีอุปสรรค

การดำเนินการตั้งแต่เริ่มแรกจนเสร็จโครงการมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ (วราวุธ. 2525)

(1) วางโครงการจัดรูปที่ดินในท้องที่ต่าง ๆ และกำหนดแผนการดำเนินงาน

(2) ประชุมเกษตรกรเจ้าของที่ดินว่าจะยินยอมให้จัดรูปที่ดินหรือไม่ แล้วจัดทำบันทึกไว้เป็นหลักฐาน

(3) ออกประกาศกำหนดท้องที่ที่จะสำรวจเป็นเขตโครงการจัดรูปที่ดินพร้อมด้วยแผนที่สังเขปแนบท้าย

(4) สำรวจข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นดังนี้
- รูปถ่ายทางอากาศ
- สำรวจตัดแก้ภาพถ่ายทางอากาศ
- สำรวจระดับและจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ
- สำรวจแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินและจัดทำเป็นแผนที่

- สำรวจสมรรถนะที่ดินและจัดทำเป็นแผนที่
- สำรวจสภาวะเศรษฐกิจและสังคมก่อนการจัดรูปที่ดิน

(5) ดำเนินการออกแบบดังนี้
- วางระบบชลประทานและออกแบบจัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์ขั้นต้น
- ประชุมชี้แจงและทำความตกลงกับเกษตรกรเจ้าของที่ดิน
- แก้ไขแบบรูปแปลงกรรมสิทธิ์ขั้นต้น
- ออกแบบขั้นสุดท้าย

(6) ประกาศพระราชกฤษฎีกากำหนดเขตโครงการจัดรูปที่ดิน พร้อมทั้งบัญชีรายชื่อเจ้าของที่ดินและแผนที่แนบท้าย

(7) ปิดประกาศพระราชกฤษฎีกากำหนดเขตโครงการจัดรูปที่ดิน

(8) ประเมินราคาที่ดิน

(9) ดำเนินงานก่อสร้างดังนี้
- วางผังและให้แนวศูนย์กลางต่าง ๆ
- ให้ระดับต่าง ๆ
- ปราบพื้นที่
- สร้างทางลำเลียงในไร่นา
- ขุดคูส่งน้ำ
- ขุดคูระบายน้ำ
- ปรับระดับพื้นที่
- สร้างอาคารบังคับน้ำต่าง ๆ ในคูส่งน้ำ

(10) ออกหนังสือแสดงสิทธิ์ในที่ดิน (ใหม่) ดังนี้
- รังวัดปักเขตทำแผนที่โฉนดเพื่อออกโฉนดตามผังใหม่
- เรียกหนังสือแสดงสิทธิ์ในที่ดิน (ของเดิม) พร้อมด้วยเอกสารสิทธิ์ที่เกี่ยวกับที่ดิน (ถ้ามี) เพื่อประโยชน์ในการออกโฉนดใหม่
- ออกหนังสือแสดงสิทธิ์ในที่ดิน

(11) จ่ายหรือได้รับมูลค่าที่แตกต่างเป็นการทดแทน

(12) จัดตั้งสมาคมผู้ใช้น้ำชลประทานเกี่ยวกับการส่งน้ำและบำรุงรักษา

(13) ดำเนินงานสนับสนุนการเกษตรด้านต่าง ๆ เช่น
- การส่งเสริมการเกษตร
- การสหกรณ์
- การส่งเสริมการประมง
- สินเชื่อเพื่อการเกษตร เป็นต้น

(14) ตรวจสอบ ติดตามผลงานและประเมินผลโครงการ

(15) เกษตรกรเจ้าของที่ดินจ่ายเงินคืนทุนค่าใช้จ่ายในการจัดรูปที่ดิน

ขั้นตอนในการดำเนินการดังกล่าวสามารถเขียนเป็นแผนผังง่าย ๆ ได้ ดังแสดงในรูปที่ 10.2

**10.4 ข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบ**

ข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบจัดรูปที่ดินประกอบด้วย (วราวุธ. 2525)

1. ผลการสำรวจรูปแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินเดิม ซึ่งจะต้องเป็นข้อมูลที่ได้รับการตรวจสอบขนาดแปลงที่ได้จากการสอบถามและแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ แล้วว่าตรงกันหรือผิดพลาดไม่เกิน 0.5 %
   (1) ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1: 4,000 ซึ่งลงแนวแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินแล้ว
   (2) โอเวอร์เลย์ (Over-lay) เป็นกระดาษ Polyester ซึ่งลงแนวแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดิน ชื่อเจ้าของที่ดินเนื้อที่ถือครองและหมายเลยแปลง
   (3) บัญชีการถือครองที่ดิน

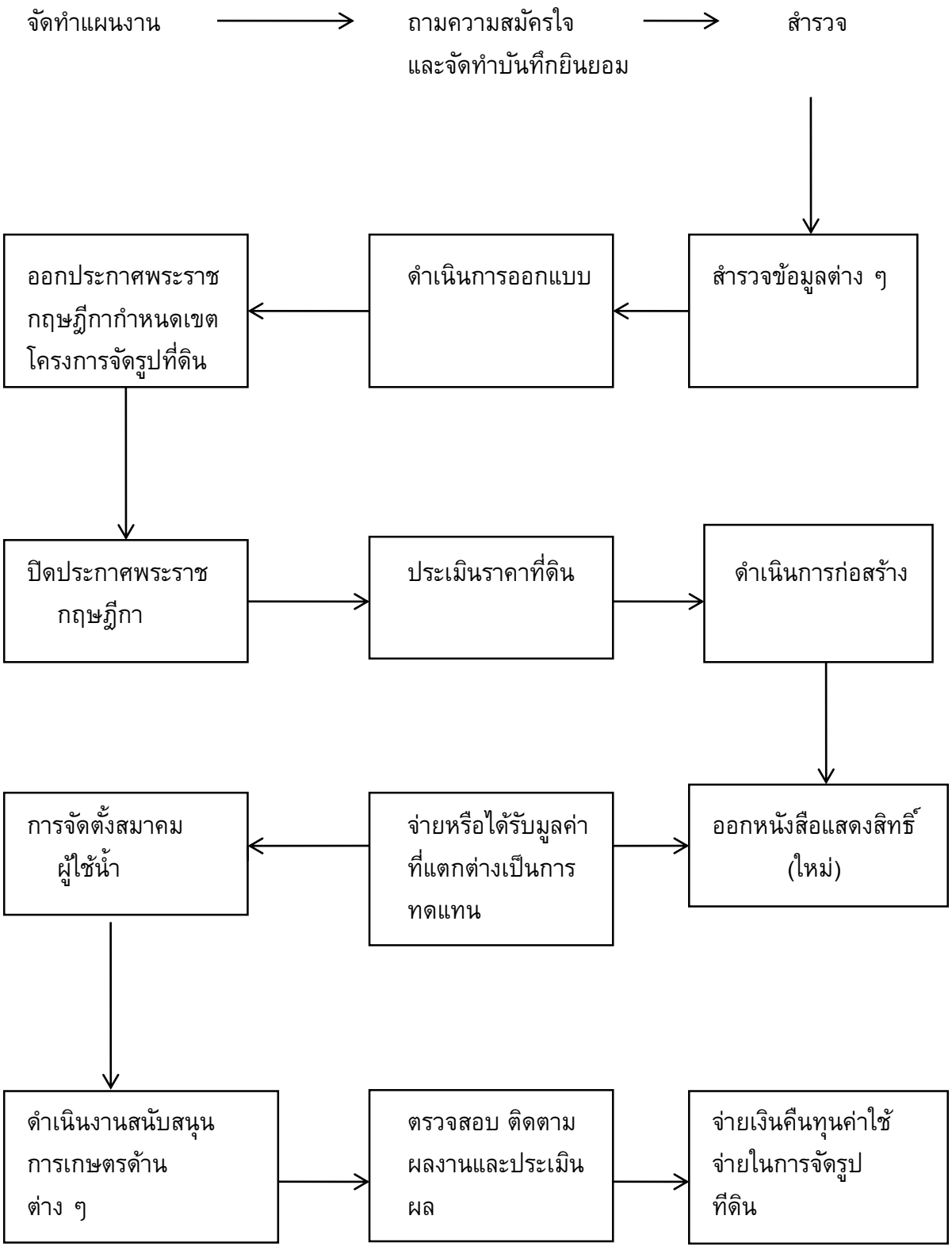
2. ผลการสำรวจสภาพภูมิประเทศ
   (1) แผนที่แสดง จุดสูงสุดและเส้นชั้นความสูง ขนาดมาตราส่วน 1:4,000 ซึ่งได้จากการสำรวจภาคพื้นดินโดยการวางหมุด 40x40 $ม^2$. และลากเส้นระดับชั้นความสูงห่างกัน 0.25 เมตร
   (2) รูปตัดตามยาวและรูปตัวตามขวางของคลองส่งน้ำและถนนเดิม
   (3) รายละเอียดอาคารประกอบในคลองส่งน้ำรวมทั้งท่อส่งน้ำเข้าคู

3. แบบคลองส่งน้ำจากกองออกแบบ กรมชลประทาน
4. ผลการสำรวจสมรรถนะที่ดินจากกรมพัฒนาที่ดิน

**10.5 เกณฑ์การออกแบบและขั้นตอนในการดำเนินการ**

การออกแบบจัดรูปที่ดินจะดำเนินการตามขั้นตอนและเกณฑ์การออกแบบดังนี้

| | | |
|---|---|---|
| วางโครงการและ | ประชุมเกษตรกร สอบ | ออกประกาศเขต |




**รูปที่ 10.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานจัดรูปที่ดิน**

### 10.5.1 การวางแผนระบบชลประทาน (Layout)

การวางแผนระบบชลประทานจะต้องใช้แผนที่ระดับ ซึ่งระดับเส้นชั้นความสูงห่างกัน 0.25 เมตร ประกอบกับแผนที่แปลงกรรมสิทธิ์

1. เกณฑ์ในการวางแนวระบบชลประทาน (Design Criteria for Layout)

(1) วางคูส่งน้ำและคูระบายน้ำให้ขนานกัน

(2) ระยะห่างระหว่างคูส่งน้ำและคูระบายน้ำประมาณ 200-250 เมตร

(3) ความยาวคูส่งน้ำไม่ควรเกิน 1.5 กิโลเมตร

(4) ในกรณีที่ระยะทางระหว่างคลองซอยและคลองระบายมีระยะทางมากกว่า 2 กิโลเมตร ควรมีคูนำน้ำ (Feeder Ditch) ระหว่างกลางของคลองทั้งสองและไม่ควรมีท่อน้ำเข้านา (Farm Inlet) ออกจากคูนำน้ำ (Feeder Ditch) โดยตรง

(5) ขนาดพื้นที่รับน้ำจากคูส่งน้ำสายหนึ่ง ๆ ควรจะอยู่ระหว่าง 400-1000 ไร่ (ตามปกติไม่ควรเกิน 500 ไร่)

(6) แนวคูส่งน้ำและแนวคูระบายน้ำควรจะตั้งแฉกกับเส้นชั้นความสูง เพื่อให้สามารถส่งน้ำและรับน้ำได้ทั้งสองด้าน

(7) ให้มีถนนทางลำเลียงคู่ไปกับคูส่งน้ำ

(8) ถ้าคูระบายสายใหญ่ตัดผ่านพื้นที่ควรมีถนนคู่ไปกับคูระบายด้วย

(9) คูส่งน้ำ คูระบายและถนน ต้องไม่ตัดผ่านหมู่บ้าน และบ่อปลา

(10) ถ้ามีอาคารชลประทานเดิมจะต้องนำมาประกอบพิจารณาด้วย

2. ขั้นตอนการวางแนวระบบชลประทาน

(1) ระบายสีแผนที่ระดับ เพื่อให้เห็นความแตกต่างของบริเวณที่สูงและที่ต่ำได้ชัดเจน โดยใช้สีเข้มกับบริเวณที่มีระดับสูงและสีอ่อนกับบริเวณที่มีระดับต่ำ ในขณะระบายสีก็ควรตรวจสอบความถูกต้องของเส้นระดับชั้นความสูงเสียด้วย ถ้าเกิดสงสัยเกี่ยวกับเส้นระดับให้ส่งไปตรวจสอบในสนามเสียใหม่

(2) กำหนดแนวเขตของพื้นที่ให้ชัดเจน ถ้าเป็นไปได้ให้เลือกแนวเขตที่มีอยู่เดิม เช่น ถนน ทางน้ำ เป็นแนวเขตของพื้นที่แต่ละส่วน และจะต้องพิจารณาถึงอิทธิพลภายนอกที่จะมีผลต่อพื้นที่ที่กำลังออกแบบด้วย เช่น น้ำชลประทานที่เหลือจากเขตอื่นอาจไหลเข้ามาในเขตที่กำลังพิจารณา หรือพื้นที่นอกเขตซึ่งเคยได้รับน้ำจากพื้นที่นี้แต่เดิมก็ไม่สามารถจะตัดสิทธิ์มิให้รับน้ำ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงการขยายเขตชุมชนซึ่งอาจมีอิทธิพลต่อการกำหนดเขตโครงการด้วย

(3) วางกระดาษไขทับลงบนแผนที่ระดับ แล้วลงมือวางแนวตามเกณฑ์การวางแนวระบบชลประทานที่กำหนดไว้ สภาพภูมิประเทศนับว่าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดในการพิจารณากำหนดแนวคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ โดยจะต้องพยายามวางแนวคูส่งน้ำในบริเวณที่สูงและคูระบายในบริเวณที่ลุ่ม

(4) ลอกแนวคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียงลงในแผนที่แปลงกรรมสิทธิ์ และออกไปตรวจสอบแนวกึ่งกลาง (Center Line) ในสนาม หากแนวใดไม่เหมาะสมให้ทำการแก้ไข

**10.5.2 การออกแบบจัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดิน (Reallocation Design)**

การจัดรูปแบบใหม่ก็เนื่องจากเหตุผลที่จะแก้ไขการที่มีดินแปลงเล็กแปลงน้อยกระจายอยู่โดยทั่วไป โดยการรวมแปลงใหม่และการตกแต่งรูปแปลงใหม่เพื่อให้สามารถทำการเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. <u>เกณฑ์การออกแบบจัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดิน</u>

(1) ที่ดินเป็นบ้าน ที่สวน ที่วัด ที่สาธารณะ และที่ดินที่เจ้าของไม่ประสงค์ให้จัดรูปที่ดิน ให้คงสภาพเดิมไว้

(2) ให้กันที่ไว้เป็นที่สาธารณะ (คูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียง) โดยให้ความกว้างดังนี้

ทางลำเลียง + คูสองสาย 16.00 เมตร
ทางลำเลียง + คูหนึ่งสาย 12.00 เมตร
ทางลำเลียง หรือคูหนึ่งสาย 6.00 เมตร

ดูรายละเอียดในรูปที่ 10.3

(3) ที่ดินที่จัดให้ใหม่ ต้องมีเนื้อที่เท่ากับที่ดินเดิมลบด้วยเปอร์เซนต์ที่ดินที่กันไว้เป็นที่สาธารณะ (คูส่งน้ำ คูระบายน้ำและทางลำเลียง) และต้องไม่น้อยกว่า 93 เปอร์เซ็นต์ของเนื้อที่เดิม

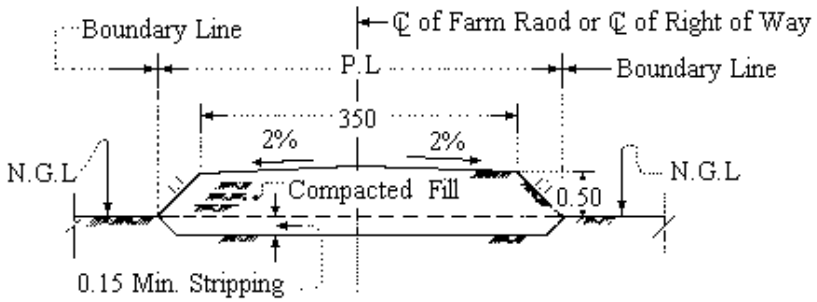
(4) เปอร์เซ็นต์ที่ดินที่กันไว้เป็นที่สาธารณะ (คูส่งน้ำ คูระบายน้ำและทางลำเลียง) ให้คิดจากเนื้อที่ที่จะจัดแปลงใหม่ทั้งหมด แปลงใดที่จัดรูปที่ดินมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ให้คิดจากเนื้อที่เต็มแปลง แปลงใดที่จัดรูปที่ดินน้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ให้คิดจากเนื้อที่ที่จะจัดรูปเท่านั้น

(5) ที่ดินที่จัดให้ใหม่ต้องทับที่ดินเดิมหรือใกล้เคียงที่ดินเดิมเท่าที่สามารถจะทำได้ โดยแปลงที่จัดใหม่ทั้งหมดต้องทับที่ดินเดิมประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

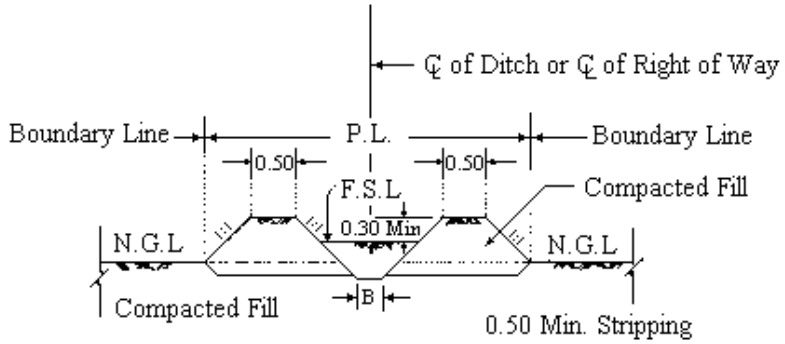
(6) แปลงจัดให้ใหม่ต้องมีส่วนหนึ่งติดทั้งทางลำเลียง คูส่งน้ำ และคูระบายน้ำ

(7) รูปแปลงที่จัดให้ใหม่ต้องเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรืออย่างน้อยสองด้านขนานกัน

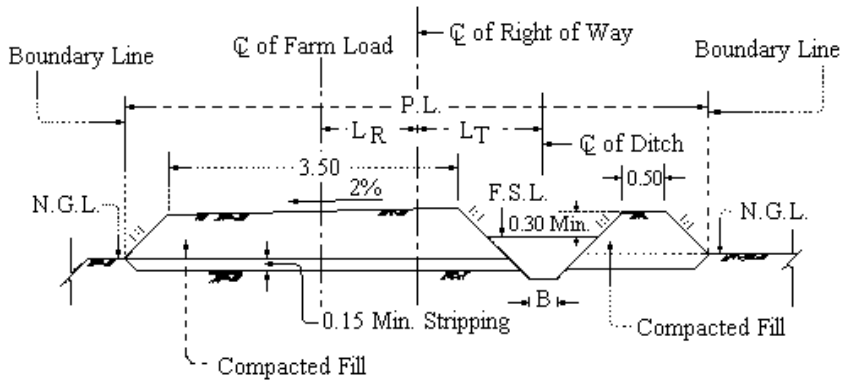
(8) ขนาดของแปลงกรรมสิทธิ์ใหม่จะต้องไม่เล็กกว่า 40x100 $ม^2$. (2.5 ไร่) นอกจากแปลงที่มีพื้นที่น้อยกว่า 2.5 ไร่



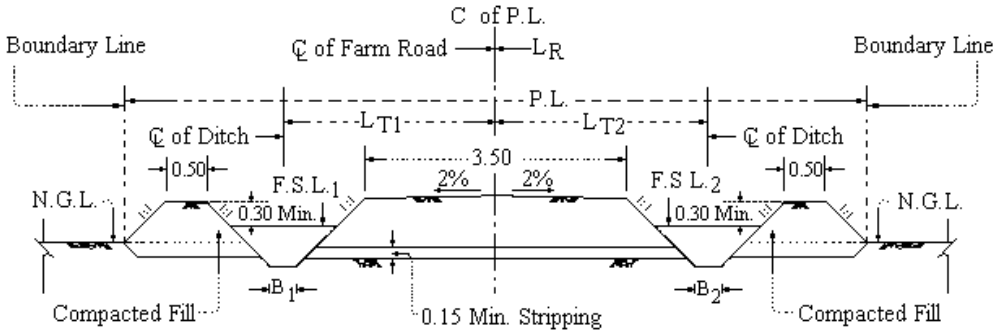

**(1) รูปตัดทางลำเลียง**




**(2) รูปตัดคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ**




**(3) รูปตัดทางลำเลียงและคูน้ำ1 สาย**




**(4) รูปตัดทางลำเลียงและคูน้ำ 2 สาย**

**รูปที่ 10.3 รูปตัดมาตรฐานทางลำเลียง คูส่งน้ำและคูระบายน้ำ ที่ใช้ในโครงการเจ้าพระยา**

(9) กรณีเจ้าของที่ดินมีที่ดินหลายแปลงอาจจัดรวมกันได้ หากได้รับความยินยอมสับเปลี่ยนกันกับเจ้าของที่ดินแปลงข้างเคียง

(10) ที่ดินที่จัดให้ใหม่นี้จะต้องได้รับคำยินยอมจากเจ้าของที่ดินทุกราย

2. ขั้นตอนการออกแบบจัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์

การออกแบบจัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินมีงานที่ต้องดำเนินการดังนี้

ก. งานออกแบบจัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์ขั้นต้น

(1) หาพื้นที่รวมทั้งหมดของบริเวณที่จะจัดรูป

(2) หาพื้นที่ที่จะกันไว้เป็นที่สาธารณะเช่น คูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียง

(3) คำนวณเนื้อที่แปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินใหม่

(4) จัดทำบัญชีรายชื่อเกษตรกรผู้มีที่ดินเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ที่อยู่ระหว่างคูส่งน้ำและคูระบายแต่ละคู่ (SUB-BLOCK) และให้พิจารณาผู้มีที่ดินน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสงค์จะให้จัดที่ดินของตนลงใน SUB-BLOCK นั้น เนื่องจากมีบ้านหรือสวนอยู่ใน SUB-BLOCK นั้นด้วย

(5) หาพื้นที่ของ SUB-BLOCK ในแผ่นที่

(6) จัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินในแต่ละ SUB-BLOCK ตามบัญชีรายชื่อในข้อ 4 ถ้าพื้นที่ตามบัญชีรายชื่อเกษตรกรที่อยู่ใน SUB-BLOCK ไม่พอดีกับพื้นที่จริงของ SUB-BLOCK ก็ให้พิจารณาแบ่งพื้นที่ส่วนที่เกินหรือขาดกับ SUB-BLOCK ข้างเคียง

(7) ตรวจสอบดูว่าผลรวมของพื้นที่ถือครองแต่ละรายเมื่อรวมพื้นที่สาธารณะประโยชน์ทั้งหมดเท่ากับพื้นที่ทั้งหมดที่จะจัดรูปหรือไม่

ข. งานประชุมชี้แจงและทำความตกลงกับเจ้าของที่ดิน

การประชุมชี้แจงและทำความตกลงกับเจ้าของที่ดินนี้ต้องออกไปชี้แจงเจ้าของที่ดินเรื่องการโยกย้าย การเปลี่ยนแปลงรูปแปลง เพื่อให้เจ้าของที่ดินยอมรับสภาพการจัดรูปแปลงกรรมสิทธิ์ใหม่ ต้องดำเนินการคือ

(1) ทำแผนการนัดประชุมเจ้าของที่ดิน

(2) ทำบัญชีรายชื่อเจ้าของที่ดินแยกตามหมู่บ้าน

(3) ทำเรื่องแจ้งสำนักงานจัดรูปที่ดินจังหวัด

(4) เตรียมแผนที่รูปแปลงใหม่ทับรูปแปลงเดิม

ค. งานแก้ไขแบบรูปแปลงกรรมสิทธิ์ขั้นต้น หลังจากพบเกษตรกร

ง. งานออกแบบรูปแปลงกรรมสิทธิ์ขั้นสุดท้าย

**10.5.3 การหาระดับน้ำในคลองส่งน้ำตรงจุดที่ผันน้ำเข้าคูส่งน้ำ**

ระดับน้ำในคลองตรงปากคูจะหาได้จากแบบคลองส่งน้ำ อย่างไรก็ตามการส่งน้ำจริง ๆ ในโครงการอาจต่างไปจากแบบที่ออกไว้ตั้งแต่เริ่มโครงการ จึงควรจะได้นำเอาข้อมูลที่บันทึกการไหลของน้ำผ่านอาคารต่าง ๆ เช่น ประตูระบายกลางคลอง ปลายคลองตลอดจนอาคารอัดน้ำต่าง ๆ มาร่วมพิจารณาด้วย โดยการคำนวณระดับน้ำ (Backwater Curve) โดยใช้วิธีคำนวณเป็นขั้น ๆ โดยตรง (Direct Step Method) หรือวิธีพาราโบล่า

(1) <u>วิธีคำนวณเป็นขั้น ๆ โดยตรง</u> (Dircet Step Method)

วิธีนี้เป็นวิธีการคำนวณระดับน้ำ (Backwater Curve) อย่างง่าย ๆ และเป็นที่นิยมใช้โดยทั่ว ๆ ไป การคำนวณจะเริ่มจากจุดที่รู้ค่าระดับน้ำแล้วจึงสมมุติระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำของจุดที่รู้ค่า หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่าระยะทางระหว่างจุดที่รู้ค่ากับจุดที่สมมุติใหม่โดยใช้สมการสมดุลย์ของพลังงาน (Energy Equation) ดังแสดงในรูปที่ 10.4

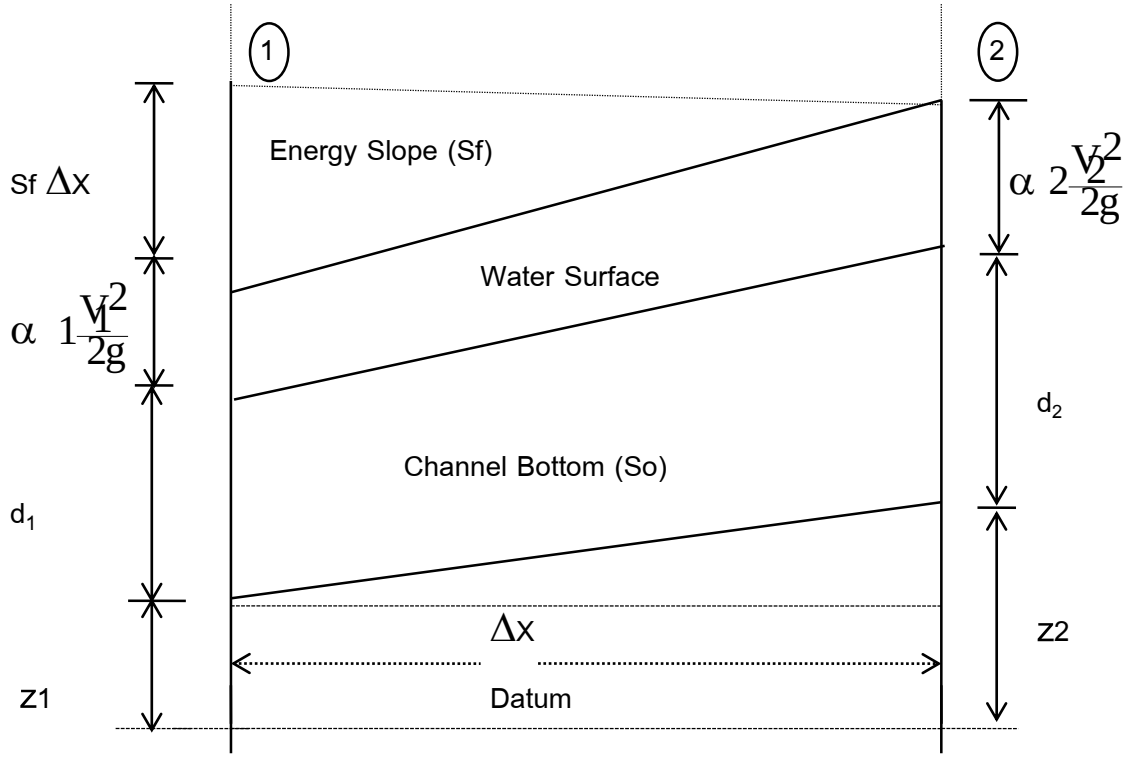
จากรูปที่ 10.4 ตามหลักความสมดุลของพลังงานจะได้ว่า

$$\Delta x = \frac{(d_1+\alpha_1\frac{V_1^2}{2g})-(d_2+\alpha_2\frac{V_2^2}{2g})}{S_o-S_f} \quad \text{.....(10.1)}$$

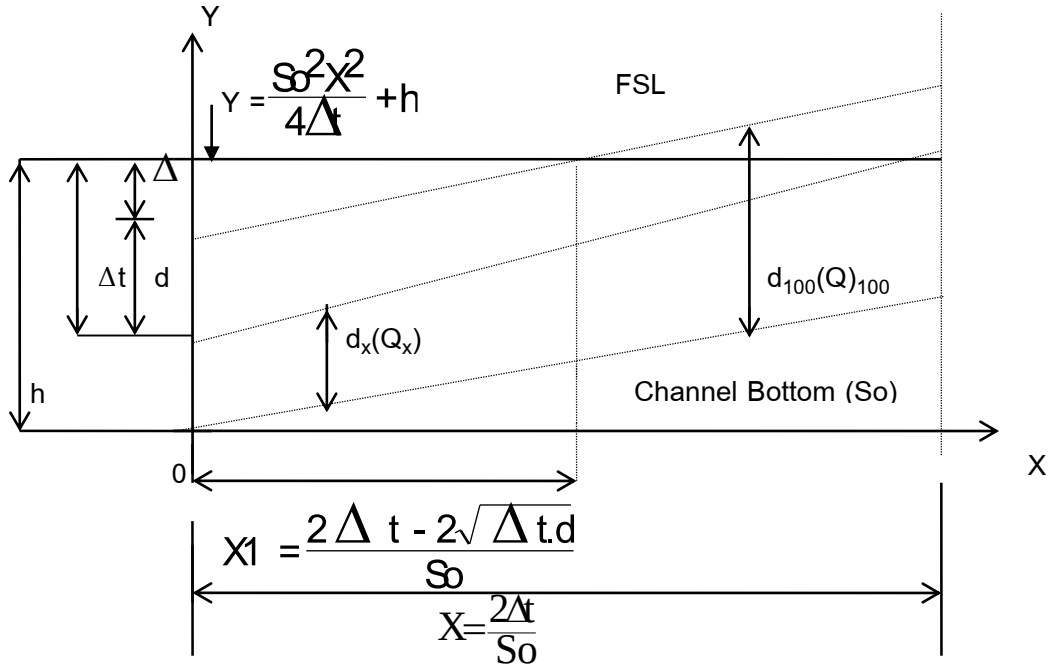
เมื่อ $\alpha_1$ และ $\alpha_2$ = สัมประสิทธิ์ของพลังงาน (Energy Coefficient)

2. <u>วิธีพาราโบล่า</u> (Parabola Method)

โดยวิธีนี้จะสมมุติว่าเส้นระดับน้ำ (Backwater Curve) มีลักษณะเป็นโค้งพาราโบล่าซึ่งลากออกไปสัมผัสกับผิวน้ำที่ไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) เมื่อน้ำไหลไม่เต็มที่ตามที่ออกแบบไว้ (Partial Supply) ดังแสดงในรูปที่ 10.5




**รูปที่ 10.4 ไดอะแกรมการคำนวณระดับน้ำโดยวิธี Dircet Step**




เมื่อ $d_x\,(Q_x)$ = ความลึกของน้ำ เมื่อ Q เท่ากับ X % ของที่ F.S.L.

$d_{100}\,(Q_{100})$ = ความลึกของน้ำ เมื่อ Q เท่ากับ 100 % ของที่ F.S.L.

$\Delta$ , $\Delta t$, d, $x_1$, x, y มีหน่วยเป็นเมตร

**รูปที่ 10.5 ไดอะแกรมแสดงการคำนวณระดับน้ำโดยวิธีพาราโบล่า**

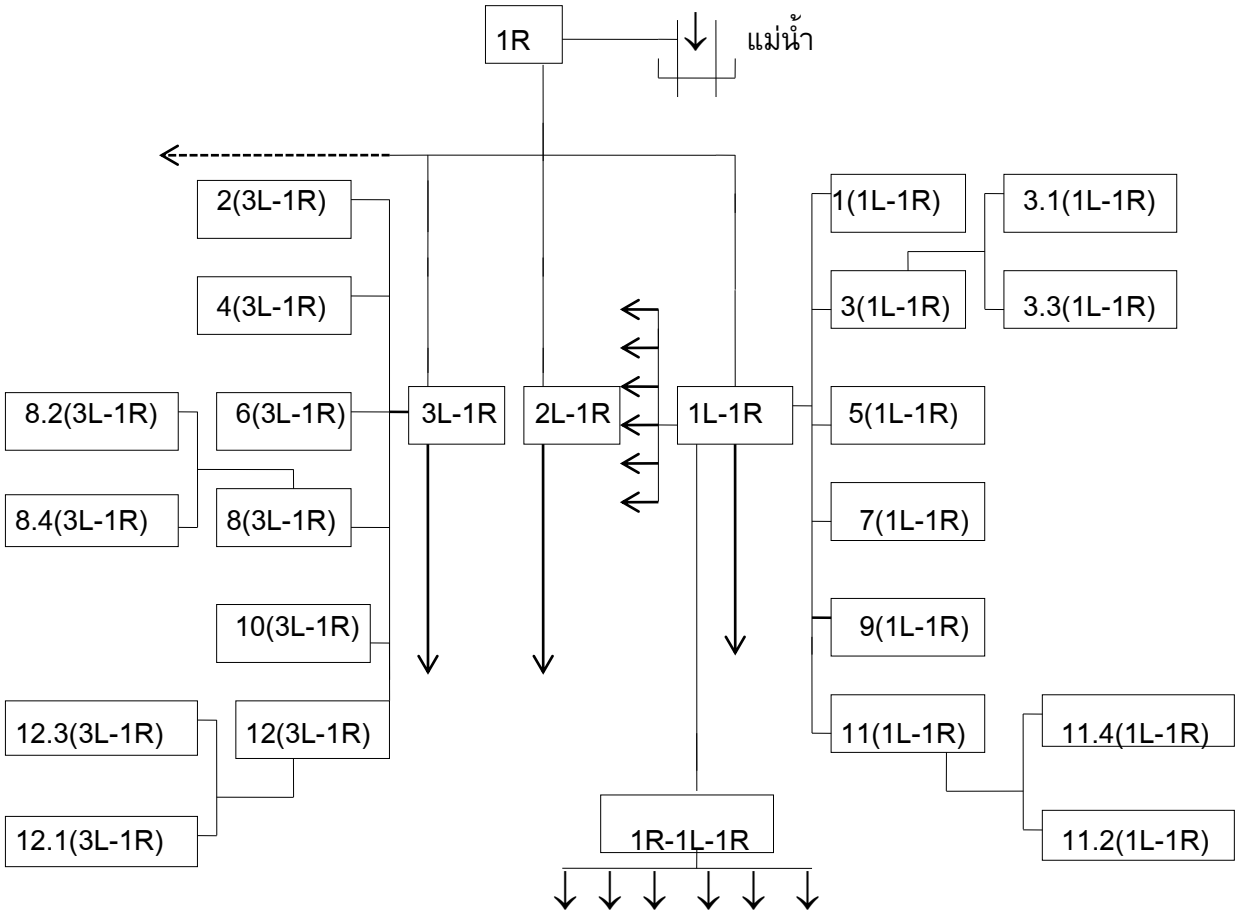
**10.5.4 การออกแบบคูส่งน้ำ คูระบาย และทางลำเลียง**

ในการออกแบบคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียง วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องคอยถามตัวเองอยู่เสมอว่า ได้ออกแบบตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการแล้วหรือไม่เช่น การออกแบบคูส่งน้ำให้มีระดับน้ำอยู่ต่ำมาก ๆ อาจจะประหยัดและมีความเหมาะสมดีในแง่ชลศาสตร์การไหลของน้ำ แต่ไม่มีประโยชน์ในแง่ของการส่งน้ำชลประทาน (วราวุธ. 2525)

(1) <u>เกณฑ์การออกแบบคูส่งน้ำ</u>

1. ค่าชลภาระใช้ 0.21 ลิตร/วินาที/ไร่ หรือ 11.3 มม./วัน
2. คำนวณปริมาตรน้ำในคูส่งน้ำต้องเป็นค่าทวีคูณของ 30 ลิตร/วินาที เช่น 30, 60, 90,..... ลิตร/วินาที
3. ความกว้างก้นคูส่งน้ำต้องใช้ 50 ซม. เป็นอย่างต่ำ และลาดด้านข้างเท่ากับ 1: 1
4. ใช้สูตร Manning $V = \frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$ ในการคำนวณขนาดรูปตัดคูส่งน้ำ
5. Km คือค่า $\frac{1}{n}$ ใช้ 20
6. ค่าความลาดเทก้นคู (S) ใช้ระหว่าง 20 ซม./กม. ถึง 150 ซม./กม.
7. ระดับ F.S.L ของคูส่งน้ำควรสูงกว่าระดับดินเฉลี่ยในแปลงนา ประมาณ 20 ซม. และต้องมีลาดเทเข้ากับสภาพภูมิประเทศ
8. ระดับ F.S.L คูส่งน้ำที่ท้ายอาคารบังคับน้ำปากคูส่งน้ำ (CHO) ต้องต่ำกว่า F.S.L ในคลองส่งน้ำไม่น้อยกว่า 15 ซม.
9. ระดับหลังคันคูส่งน้ำ (Topbank) ต้องสูงกว่า F.S.L ไม่น้อยกว่า 30 ซม.
10. แนวทางลำเลียงที่ขนานกับคูส่งน้ำต้องดูทางฝั่งที่มีจำนวนแปลงน้อย
11. คูส่งน้ำแยกซอยที่มีเนื้อที่ไม่เกิน 50 ไร่ ให้ใช้ความจุ 30 ลิตร/วินาที และใช้ท่อส่งน้ำเข้าคูแยกซอย (Ditch Inlet) เป็นอาคารบังคับน้ำปากคู ถ้าเนื้อที่เกิน 50 ไร่ ให้ใช้ความจุเท่ากับคูส่งน้ำสายใหญ่และใช้อาคารแบ่งน้ำ (Division Box) เป็นอาคารบังคับน้ำ
12. กม. 0+000 ให้นับเริ่มจากเขตชลประทานและ กม. สุดท้ายให้สุดที่แปลงรับน้ำแปลงสุดท้าย
13. ชื่อคูส่งน้ำให้ใช้เป็นตัวเลข โดยคูส่งน้ำที่อยู่ทางฝั่งซ้ายของคลองส่งน้ำหันหน้าไปตามทิศทางการไหลของน้ำ ใช้เลขคี่ เริ่มตั้งแต่ 1, 3, 5,.....คูส่งน้ำที่อยู่ทางฝั่งขวาของคลองส่งน้ำใช้เลขคู่ เริ่มตั้งแต่ 2, 4, 6,..... แล้วเขียนตามด้วยวงเล็บชื่อคลองส่งน้ำที่คูส่งน้ำนั้นรับน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 10.6

สำหรับคูส่งน้ำแยกซอยใช้เกณฑ์เดียวกัน โดยแยกจากคูส่งน้ำสายใดให้ใช้ตัวเลขจากคูส่งน้ำสายนั้น ๆ แล้วตามตัวเลขหลังจุดทศนิยม เช่น 1.1 (1L-1R) คูส่งน้ำแยกซอยสายแรกอยู่ทางฝั่งซ้ายของคูส่งน้ำสายแรกซึ่งอยู่ทางฝั่งซ้ายของคลองส่งน้ำ 1L-1R




**รูปที่ 10.6 เกณฑ์การเรียกชื่อระบบคูส่งน้ำ**

(2) <u>เกณฑ์การออกแบบทางลำเลียง</u>

1. ระดับหลังทางลำเลียงต้องสูงกว่าระดับ F.S.L ของคูส่งน้ำ 40 ซม.
2. ระดับทางลำเลียงให้แสดงในแบบรูปตัดตามยาวคูส่งน้ำเท่านั้น
3. ระดับหลังทางลำเลียงต้องสูงกว่าระดับดินโดยเฉลี่ยประมาณ 60 ซม.
4. ทางลำเลียงที่เชื่อมต่อไปในแนวเดียวกับคูส่งน้ำให้แสดงต่อจากรูปตัดตามยาวคูส่งน้ำ ส่วนทางลำเลียงเชื่อมต่อนอกเหนือไปจากนี้ให้แสดงไว้ต่างหาก
5. ทางลำเลียงที่ใช้ถนนเดิมไม่ต้องแสดงในรูปตัดตามยาวคูส่งน้ำ
6. ทางลำเลียงต้องเชื่อมต่อกันพอสมควร
7. รูปตัดมาตรฐานของทางลำเลียงในไร่นา แสดงไว้ในรูปที่ 10.3

(3) เกณฑ์การออกแบบคูระบายน้ำ

1. ค่าสัมประสิทธิ์การระบายน้ำใช้ 0.85 ลิตร/วินาที/ไร่ สำหรับพื้นที่ระบายน้ำน้อยกว่า 2,000 ไร่ และใช้ 0.77 ลิตร/วินาที/ไร่ สำหรับพื้นที่ระบายน้ำตั้งแต่ 2,000-5,000 ไร่

2. คำนวณปริมาณน้ำในคูระบายน้ำต้องเป็นค่าทวีคูณของ 85 ลิตร/วินาที เช่น 85, 170,255,..... ลิตร/วินาที

3. ความกว้างก้นคูระบายน้ำต้องใช้ 50 ซม. เป็นอย่างต่ำ และลาดด้านข้างเท่ากับ 1 : 2

4. ใช้สูตร Manning $V = \frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2}$ ในการคำนวณขนาดรูปตัดคูระบายน้ำ

5. Km คือค่า $\frac{1}{n}$ ใช้ 40

6. ค่าความลาดเทก้นคู (S) ใช้ระหว่าง 20 ซม./กม. ถึง 150 ซม./กม.

7. ระดับระบายน้ำสูงสุด (FDL) ควรอยู่ต่ำกว่าระดับดินเฉลี่ยประมาณ 10 ซม. และควรสูงกว่าระดับระบายน้ำสูงสุดในคลองระบายน้ำ

8. ระดับหลังคันคูระบายน้ำ (Top bank) ต้องสูงกว่าระดับระบายน้ำสูงสุดไม่น้อยกว่า 40 ซม. และจะต้องสูงกว่าระดับผิวดินโดยเฉลี่ย 20 ซม. เป็นอย่างน้อย

9. ไม่ต้องใส่อาคารอัดน้ำและน้ำตก

10. กม 0+000 เริ่มจากเขตแปลงที่ระบายน้ำแปลงแรกและ กม. สุดท้ายให้สุดที่คลองระบายน้ำ

11. ต้องเปลี่ยน รูปตัด (Section) ทุก ๆ ค่าของปริมาณน้ำที่เพิ่มทุก ๆ 85 ลิตร/วินาที

12. ชื่อคูระบายน้ำใช้เหมือนเกณฑ์การให้ชื่อคูส่งน้ำ โดยใช้อักษร D เติมไว้ข้างหน้าตัวเลขชื่อคูระบายน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 10.7

(4) ขั้นตอนการออกแบบคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียง

1. จำลองแนวคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียง จากแบบรูปแปลงกรรมสิทธิ์ขั้นสุดท้ายลงในแบบ

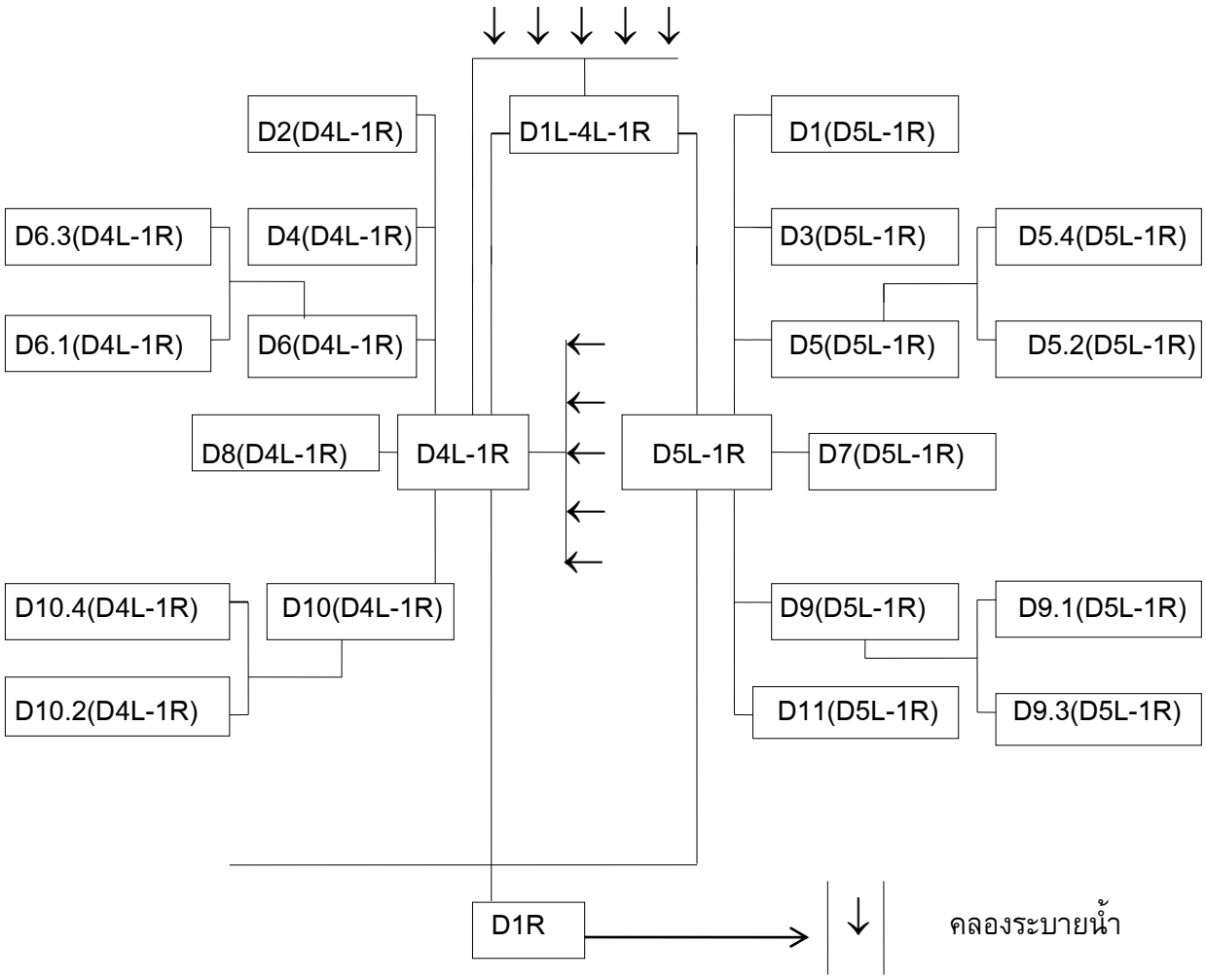
2. กำหนดชื่อคูส่งน้ำและคูระบายน้ำตามเกณฑ์ในรูปที่ 10.6 และ 10.7

3. คำนวณพื้นที่รับน้ำของคูส่งน้ำและพื้นที่ระบายน้ำของคูระบายน้ำแต่ละสาย

4. เขียนระดับดินเฉลี่ยตามแนวคูส่งน้ำและคูระบายน้ำแต่ละสาย

5. คำนวณปริมาณน้ำของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำแต่ละสาย

6. คำนวณมิติต่าง ๆ ของคูส่งน้ำและคูระบายน้ำ เพื่อความสะดวกจะหาขนาดได้จากตารางที่ 10.1 และ 10.2




**รูปที่ 10.7 เกณฑ์การเรียกชื่อระบบคูระบายน้ำ**

7. กำหนดทางลำเลียงว่าควรอยู่ฝั่งไหนของคูส่งน้ำ

8. คำนวณและกำหนดที่ตั้งอาคารประกอบในคูส่งน้ำและคูระบายน้ำโดยใช้สัญญลักษณ์ดังในรูปที่ 10.8 (ดูรายละเอียดการออกแบบในหัวข้อ 10.5.5)

9. กำหนดความลาดเทของผิวน้ำและกันคู

### 10.5.5 การออกแบบอาคารประกอบต่าง ๆ ในคูน้ำ

การที่คูส่งน้ำ คูระบายน้ำ จะทำหน้าที่ดังกล่าวได้อย่างสมบูรณ์จะต้องมีอาคารประกอบต่าง ๆ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมและส่งผ่านน้ำเช่น อาคารควบคุมน้ำปากคู (Turnout) เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าคู ท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Inlet) เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่จะไหลเข้าแปลง ท่อลอด (Culvert) เพื่อส่งผ่านน้ำตรงบริเวณที่คูน้ำตัดผ่านทางลำเลียง (Farm Road) อาคารแบ่งน้ำ (Division Box) เพื่อจัดแบ่งน้ำในคูสายซอยและสายประธาน และอาคารน้ำตก (Drop) ตรง

บริเวณที่มีการลดระดับพื้นทางน้ำ ในการออกแบบจะต้องทำการกำหนดจุดที่ตั้งของอาคารเหล่านี้ตามความจำเป็น คำนวณหามิติและระดับของอาคารตลอดจนการสูญเสียพลังงานขณะน้ำไหลผ่านอาคารเหล่านี้เพื่อประโยชน์ในการกำหนดลาดผิวน้ำที่เหมาะสมของคูน้ำ (วราวุธ และพงศธร. 2536)

(1) อาคารควบคุมน้ำปากคู (Turnout)

อาคารควบคุมน้ำปากคูเป็นอาคารที่ทำหน้าที่รับน้ำจากคลองเข้าสู่คูน้ำ ลักษณะสำคัญของอาคารประกอบด้วย ทางรับน้ำ (Inlet) บานระบาย (Gate) ท่อส่งน้ำผ่านคันดิน (Conduit) และทางปล่อยน้ำ (Outlet Transition) ในการออกแบบสิ่งสำคัญที่จะต้องพิจารณาถึงคือ

1. ความเร็วของน้ำ -สำหรับอาคารซึ่งไม่มีทางปล่อยน้ำ (Outlet Transition) คอนกรีต และคูรับน้ำต่อจากอาคารเป็นคูดิน ความเร็วมากที่สุดของน้ำในท่อที่จะยอมเพื่อไม่ให้เกิดการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำคือ ประมาณ 1 เมตร/วินาที แต่ถ้ามีการออกแบบทางปล่อยน้ำที่เหมาะสมหรือคูรับน้ำเป็นคอนกรีต จะยอมให้ความเร็วเพิ่มขึ้นถึง 1.5 เมตร/วินาที

2. การไหลซึมลอดใต้อาคารและความมั่นคง -การออกแบบอาคารชลประทานทุกประเภทจะต้องมีการตรวจสอบความมั่นคงเนื่องจากการเลื่อนไถล (Sliding) และการลอยตัว (Floatation) และสำหรับการไหลซึมลอดใต้ฐานอาคารจะเป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดเซาะอนุภาคดินใต้ฐานอาคาร ซึ่งอาจจะป้องกันได้โดยการเพิ่มระยะทางที่น้ำซึมโดยการทำคอลล่าร์ (Collar) รอบท่อเป็นระยะ ๆ

**ตารางที่ 10.1 ขนาดคูส่งน้ำซึ่งคำนวณโดยใช้สูตร Manning เมื่อลาดตลิ่ง 1:1 และ $\frac{1}{n}$ = 20**

| | ความลาดเทของคูส่งน้ำ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.02 % | | | 0.03 % | | | 0.04 % | | | 0.05 % | | | 0.06 % | | | 0.07 % | | | 0.08 % | | | .1 % | | |
| | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v |
| 30 | 0.50 | 0.36 | 0.10 | 0.50 | 0.32 | 0.11 | 0.50 | 0.30 | 0.13 | 0.50 | 0.28 | 0.14 | 0.50 | 0.26 | 0.14 | 0.50 | 0.26 | 0.15 | 0.50 | 0.24 | 0.16 | 0.50 | 0.23 | 0.18 |
| 60 | 0.50 | 0.51 | 0.12 | 0.50 | 0.46 | 0.14 | 0.50 | 0.43 | 0.15 | 0.50 | 0.40 | 0.16 | 0.50 | 0.39 | 0.18 | 0.50 | 0.38 | 0.19 | 0.50 | 0.36 | 0.20 | 0.50 | 0.34 | 0.21 |
| 90 | 0.50 | 0.59 | 0.13 | 0.60 | 0.53 | 0.53 | 0.50 | 0.53 | 0.17 | 0.50 | 0.50 | 0.18 | 0.50 | 0.48 | 0.20 | 0.50 | 0.46 | 0.21 | 0.50 | 0.44 | 0.22 | 0.50 | 0.42 | 0.23 |
| 120 | 0.60 | 0.68 | 0.14 | 0.60 | 0.62 | 0.62 | 0.60 | 0.57 | 0.18 | 0.50 | 0.56 | 0.19 | 0.50 | 0.54 | 0.21 | 0.50 | 0.53 | 0.22 | 0.50 | 0.51 | 0.24 | 0.50 | 0.48 | 0.25 |
| 150 | 0.70 | 0.72 | 0.15 | 0.70 | 0.65 | 0.65 | 0.60 | 0.64 | 0.19 | 0.60 | 0.60 | 0.21 | 0.60 | 0.58 | 0.22 | 0.60 | 0.55 | 0.24 | 0.50 | 0.57 | 0.25 | 0.50 | 0.54 | 0.27 |

**หมายเหตุ** b = ความกว้างของก้นคูส่งน้ำ เป็นเมตร

d = ความลึกของน้ำในคู เป็นเมตร

v = ความเร็วของน้ำในคู เป็นเมตร/วินาที

**ตารางที่ 10.2 ขนาดคูระบายน้ำซึ่งคำนวณโดยใช้สูตร Manning เมื่อลาดตลิ่ง 1:1 และ $\frac{1}{n}$ = 20**

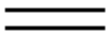
| | ความลาดเทของคูระบายน้ำ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.02 % | | | 0.03 % | | | 0.04 % | | | 0.05 % | | | 0.06 % | | | 0.08 % | | | 0.1 % | | | 0.15 % | | |
| | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v | b | d | v |
| 85 | 0.50 | 0.43 | 0.21 | 0.50 | 0.39 | 0.25 | 0.50 | 0.36 | 0.28 | 0.50 | 0.34 | 0.30 | 0.50 | 0.32 | 0.32 | 0.50 | 0.30 | 0.36 | 0.50 | 0.28 | 0.39 | 0.50 | 0.25 | 0.44 |
| 170 | 0.50 | 0.61 | 0.25 | 0.50 | 0.55 | 0.30 | 0.50 | 0.51 | 0.33 | 0.50 | 0.48 | 0.36 | 0.50 | 0.46 | 0.38 | 0.60 | 0.43 | 0.42 | 0.50 | 0.40 | 0.46 | 0.50 | 0.35 | 0.54 |
| 255 | 0.60 | 0.70 | 0.28 | 0.60 | 0.63 | 0.33 | 0.60 | 0.59 | 0.36 | 0.50 | 0.59 | 0.39 | 0.50 | 0.57 | 0.42 | 0.50 | 0.52 | 0.47 | 0.50 | 0.50 | 0.52 | 0.50 | 0.44 | 0.60 |
| 340 | 0.70 | 0.77 | 0.30 | 0.70 | 0.69 | 0.35 | 0.70 | 0.64 | 0.39 | 0.70 | 0.61 | 0.42 | 0.60 | 0.62 | 0.45 | 0.60 | 0.57 | 0.51 | 0.60 | 0.54 | 0.55 | - | - | - |
| 425 | 0.80 | 0.82 | 0.32 | 0.70 | 0.78 | 0.37 | 0.70 | 0.72 | 0.41 | 0.70 | 0.68 | 0.45 | 0.70 | 0.65 | 0.48 | 0.60 | 0.61 | 0.53 | 0.70 | 0.57 | 0.59 | - | - | - |
| 850 | 0.10 | 1.04 | 0.38 | 1.00 | 0.98 | 0.44 | 0.90 | 0.94 | 0.49 | 0.90 | 0.89 | 0.54 | 0.90 | 0.85 | 0.57 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

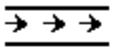
**หมายเหตุ** b = ความกว้างของก้นคูระบายน้ำ เป็นเมตร

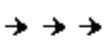
d = ความลึกของน้ำในคูระบาย เป็นเมตร

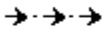
v = ความเร็วของน้ำในคู เป็นเมตร/วินาที

Constant Head Orifice

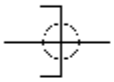

Public Land


Lateral

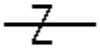

Irrigation Ditch

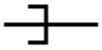

Drain


Farm Road

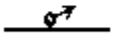

Regulating Structure


Culvert

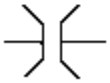

Drop Structure


Check Structure

Division Box


Farm Inlet Pipe

Farm Outlet Pipe

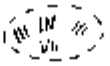

Bridge

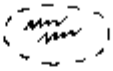
Building

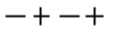
Bench Mark

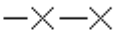

Block Boundary

Tree

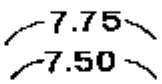

Area with Orchards or Bushes


Swamp


Fench or Wall

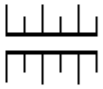

Hedge


Property Boundary



Contour Lines

Water Level


Dike Higher than 1 m.

Bund Lower than 0.50 m.

**216.2-5** Plot Number Old Situation
Owner No. 216 Plot No. 2
Total No. of Plots is 5.

**216 1/2** Plot Number New Situation
Owner No. 216 Plot No.1
Total No. of Plots is 2.

**รูปที่ 10.8 สัญญลักษณ์ในการออกแบบ**

3. ชลศาสตร์ -จะเกี่ยวข้องกับการสูญเสียพลังงานศักย์ขณะที่น้ำไหลผ่านอาคาร สิ่งสำคัญที่จะเป็นตัวกำหนดขนาดของการสูญเสียพลังงานศักย์คือระดับน้ำในคลองและระดับน้ำในคูตอนท้ายอาคารที่ต้องการ ถ้าหากเกิดการสูญเสียพลังงานศักย์มากเกินไปจนทำให้ระดับน้ำในคูต่ำกว่าที่ต้องการจะต้องพิจารณาการสูญเสียพลังงานศักย์ โดยการใช้ท่อที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือโดยการยกระดับน้ำตอนท้ายอาคารด้วยอาคารอัดน้ำ และจะต้องพิจารณาถึงน้ำที่ไหลผ่านทางปล่อยน้ำ (Outlet) ด้วยว่ามีลักษณะเป็นแบบไหน ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปนิยมออกแบบให้เป็นแบบไหลท่วม (Submergence) เพื่อให้น้ำที่ไหลออกจากทางปล่อยน้ำมีลักษณะราบเรียบ

นอกจากนี้ยังอาจต้องติดตั้งที่ระบายอากาศ (Air Vent) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดสูญญากาศบริเวณท้ายน้ำของบานระบายด้วย

ก. อาคารควบคุมน้ำปากคูแบบวัดน้ำไม่ได้

อาคารประเภทนี้ใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการวัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคู ซึ่งจะมีบานระบาย (Gate) เพียงบานเดียวเพื่อทำหน้าที่ปิด-เปิดน้ำที่จะไหลเข้าคูดังแสดงในรูปที่ 10.9 อาคารลักษณะนี้บางแห่งจะเรียกว่า Ditch Off Take

เกณฑ์ทั่ว ๆ ไปในการออกแบบ Ditch Off Take

1. ระดับน้ำในคลองควรท่วมเหนือปากท่อเท่ากับ 1.78 เท่าของศักย์ความเร็วบวก 8 ซม. เป็นอย่างน้อย

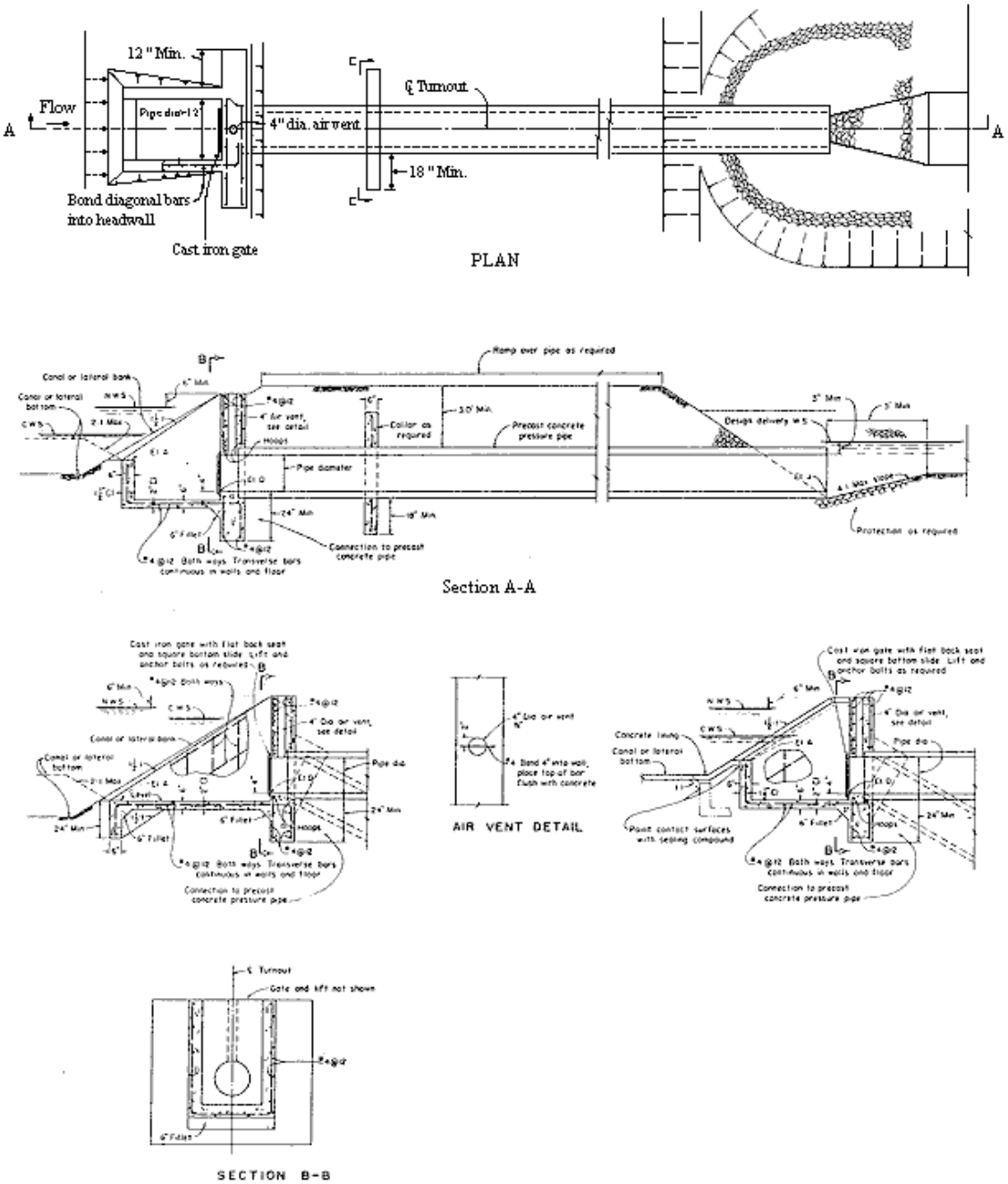
2. สันกำแพงด้านเหนือน้ำ (Cutoff) จะต้องกว้างพอที่จะไม่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคาร ในการนี้อาจเพิ่มความกว้างของกำแพงด้านเหนือน้ำได้โดยการออกแบบกำแพงข้างให้มีมุมถ่วงออกประมาณ

**ตัวอย่างที่ 10.1** ให้ออกแบบอาคารรับน้ำปากคูเพื่อรับน้ำ จำนวน 90 ลิตร/วินาที เข้าสู่คูดินโดยไม่ต้องการให้วัดน้ำได้และไม่ต้องการทางปล่อยน้ำ (Outlet Transition) กำหนดว่าระดับน้ำในคลองส่งน้ำเท่ากับ 8.40 เมตร

เมื่อไม่มีทางปล่อยน้ำและคูรับน้ำเป็นคูดิน ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากท่อจะยอมให้มากที่สุดเท่ากับ 1.00 เมตร/วินาที

สมมุติว่าใช้ท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 เมตร ยาว 15 เมตร และ n = 0.016

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.09 \times 4}{\pi(0.4)^2} = 0.72 \text{ เมตร/วินาที}$$




**รูปที่ 10.9 อาคารรับน้ำปากคูแบบวัดน้ำไม่ได้ (USBR. 1978)**

v $<$ 1 เมตร/วินาที แสดงว่าใช้ได้ ถึงแม้ว่าจะสามารถเลือกท่อที่มีขนาดเล็กกว่านี้ได้แต่ไม่ควรใช้เพราะบำรุงรักษายาก

$$h_V = \frac{V^2}{2g} = \frac{(0.72)^2}{2\times 9.81} = 0.03$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(0.4)^2}{4(0.4)} = 0.10 \quad \text{เมตร}$$

$$S = \left(\frac{nV}{R^{2/3}}\right)^2 = \left[\frac{0.013\times 0.72}{(0.10)^{2/3}}\right]^2$$

= 0.0019 เมตร

การสูญเสียพลังงานขณะที่น้ำไหลผ่านอาคารประกอบด้วย

- การสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า (Entrance Loss) สมมุติว่าเท่ากับ 0.78 hv เมื่อ 0.78 คือ ส.ป.ส. การสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า

0.78 hv = 0.78 x 0.03 = 0.023 เมตร

- การสูญเสียพลังงานในท่อ (Friction Loss)

= 0.0019 x 15 = 0.0285 เมตร

- การสูญเสียพลังงานที่ทางออก (Exit Loss) สมมุติว่าเท่ากับ hv = 0.03 ม.

รวมการสูญเสียพลังงานทั้งหมด

= 0.023 + 0.0285 + 0.03 = 0.08

$\therefore$ ระดับน้ำในคูทางด้านท้ายน้ำของอาคาร = 8.40 - 0.08

= 8.32 เมตร

**จากรูปที่ 10.9** กำหนดระดับ D เพื่อให้น้ำท่วมปากท่อทางด้านเหนือน้ำ ลึกอย่างน้อยเท่ากับ 1.78 hv + 0.08 = 1.78 (0.03) + 0.08 = 0.13 เมตร

<u>การหาระดับ DD</u>

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ระดับน้ำในคลองส่งน้ำ | = | 8.40 เมตร |
| ลบ | ความลึกของน้ำที่ท่วมปากท่อ | = | -0.13 เมตร |
| | ระดับสันท่อด้านบน | = | 8.27 เมตร |
| ลบ | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ | = | -0.40 เมตร |
| | ระดับ D | = | 7.87 เมตร |
| ลบ | 10 ซม. จากรูปที่ 10.10 | = | -0.10 เมตร |

∴ ระดับพื้นด้านเหนือน้ำของบานระบาย = 7.77 เมตร

การหาระดับ A

ระดับสันกำแพงด้านเหนือน้ำ (Cutoff) หรือระดับ A จะต้องอยู่ในระดับที่จะไม่ทำให้สันกำแพงทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการไหลของน้ำ (Control)

สมมุติว่าความกว้างของกำแพงด้านเหนือน้ำเท่ากับความกว้างของพื้นด้านเหนือน้ำ = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ + 30 ซม. = 40 + 30 = 70 ซม.

สมมุติว่ากำแพงด้านเหนือน้ำ (Cutoff) ทำหน้าที่เหมือนฝายวัดน้ำแบบ Suppressed Rectangular Weir จะได้ว่า

$Q = 1.838\ LH^{3/2}$

$H = \left[\frac{0.09}{1.838(0.7)}\right]^{2/3} =$ 0.17 เมตร

ระดับน้ำในคลองส่งน้ำ = 8.40 เมตร

ลบ H = -0.17 เมตร

ระดับ A = 8.23 เมตร

∴ ระดับ A จะสูงสุดได้ไม่เกิน 8.23 เมตร

ในกรณีที่ L มีค่าน้อยเกินไปอาจจะเพิ่มได้โดยการขยายกำแพงข้างจากจุดที่ติดตั้งบานระบายไปสู่กำแพงด้านเหนือน้ำด้วยมุมถ่างออก 1: 8

การหาระดับ J

ระดับ J ควรจะอยู่ในลักษณะที่จะทำให้น้ำท่วมปิดปากท่อด้านท้ายน้ำอย่างน้อย 8 ซม.

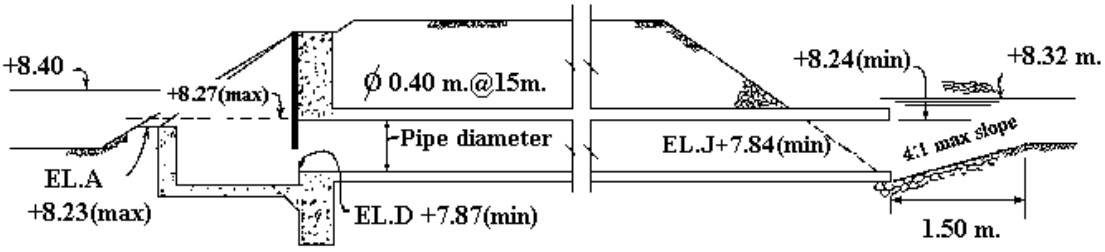
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ระดับน้ำในคู | = | 8.32 | เมตร |
| ลบ | ความลึกของน้ำท่วมปากท่อ | = | -0.08 | เมตร |
| | ระดับสันท่อด้านบน | = | 8.24 | เมตร |
| ลบ | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ | = | -0.40 | เมตร |
| | ระดับ J | = | 7.84 | เมตร |

ระดับและขนาดของอาคารที่คำนวณได้จะแสดงไว้ในรูปที่ 10.10

ข. อาคารควบคุมน้ำปากคูแบบวัดน้ำได้

อาคารประเภทนี้โดยทั่ว ๆ ไปจะเรียกว่า CHO (Constant Head Orifice) ทำหน้าที่ได้ทั้งการควบคุมและวัดปริมาณน้ำที่ไหลเข้าคูน้ำ มีลักษณะพิเศษต่างจากอาคารตามแบบ ก. คือมีประตูน้ำ 2 ชั้น ชั้นแรกเรียกว่า Orifice Gate ติดตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของบ่อพักน้ำเพื่อควบคุมขนาดของช่องเปิด ชั้นที่สองเรียกว่า Turnout Gate อยู่ทางด้านท้ายน้ำของบ่อพักน้ำ ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำในบ่อพักน้ำเพื่อให้เกิดความต่างระดับคงที่ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 10.11 และ

10.12 ในลักษณะนี้ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารจะแปรผันไปตามขนาดของช่องเปิด และความต่างระดับน้ำระหว่างในคลองและในบ่อพักน้ำซึ่งจะสามารถเทียบความสัมพันธ์ได้ดังนี้




**รูปที่ 10.10 ระดับต่าง ๆ ของอาคารรับน้ำปากคูซึ่งรับน้ำได้ 90 ลิตร/วินาที ตามตัวอย่างที่ 10.1**

$$Q = CA\sqrt{2gh} \qquad \text{----------(10.2)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่าน, ลบ.เมตร/วินาที

C = ส.ป.ส. การไหลของน้ำผ่านอาคาร ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.65 ถึง 0.72

A = พื้นที่หน้าตัดของช่องเปิด, ตร.เมตร

h = ความต่างระดับน้ำ , เมตร โดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าเท่ากับ 0.06 เมตร

สำหรับ CHO มาตรฐานซึ่งมีขนาดช่องเปิด (Orifice) กว้าง 0.4 และ 0.5 เมตร และสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านอาคารเท่ากับ 0.70 ดังที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไป ในเขตโครงการชลประทานเจ้าพระยา ความสัมพันธ์ระหว่าง Q, A และ h จะแสดงไว้ในตารางที่ 10.3 และ 10.4

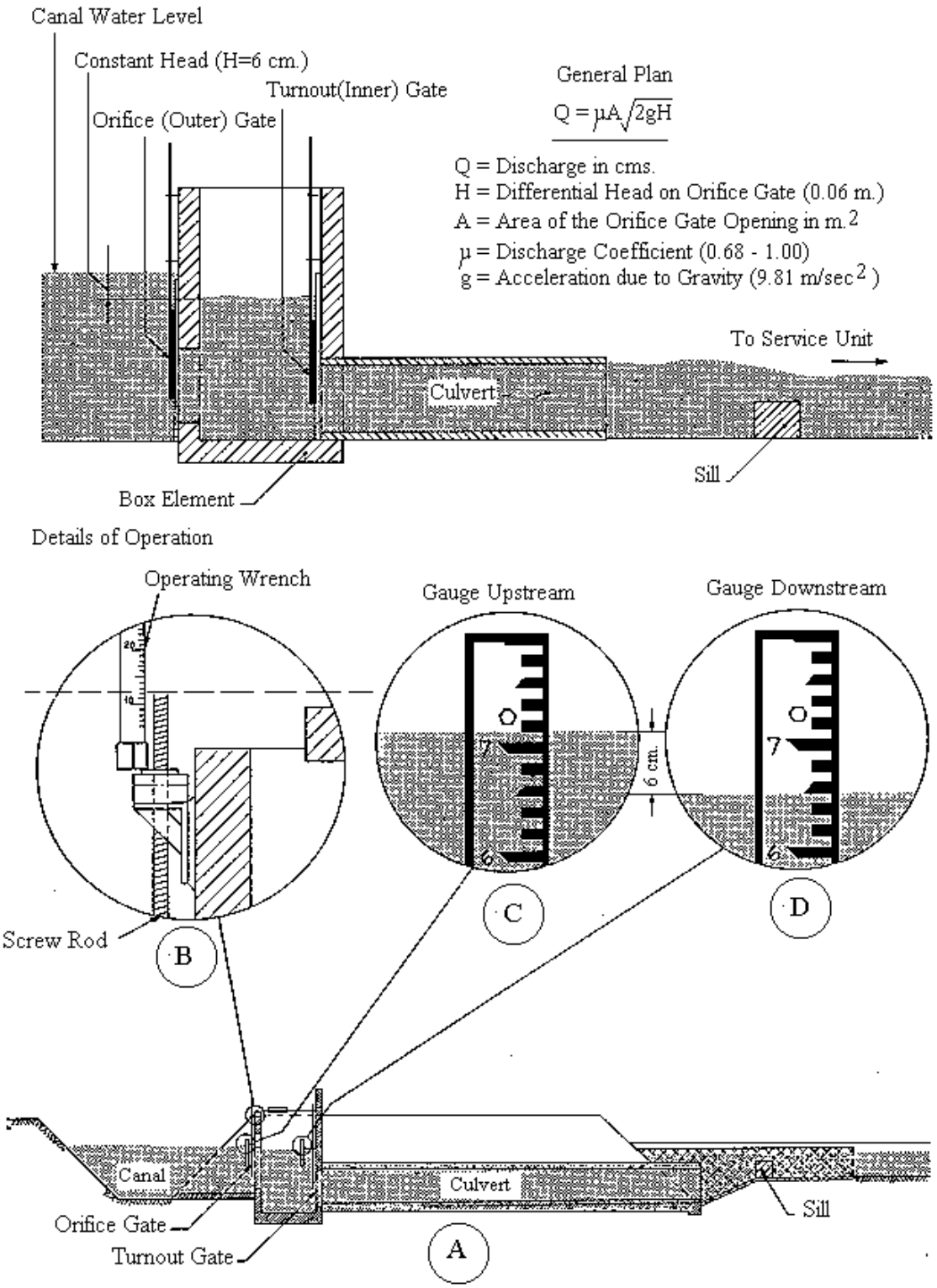
<u>เกณฑ์ทั่ว ๆ ไปในการออกแบบ CHO</u>

1. จากสมการที่ 10.2 จะได้ว่า $A = \frac{Q}{C\sqrt{2gh}}$ แต่ในการออกแบบขนาดของช่องเปิดควรจะโตกว่า A ที่คำนวณได้ประมาณ 30 %

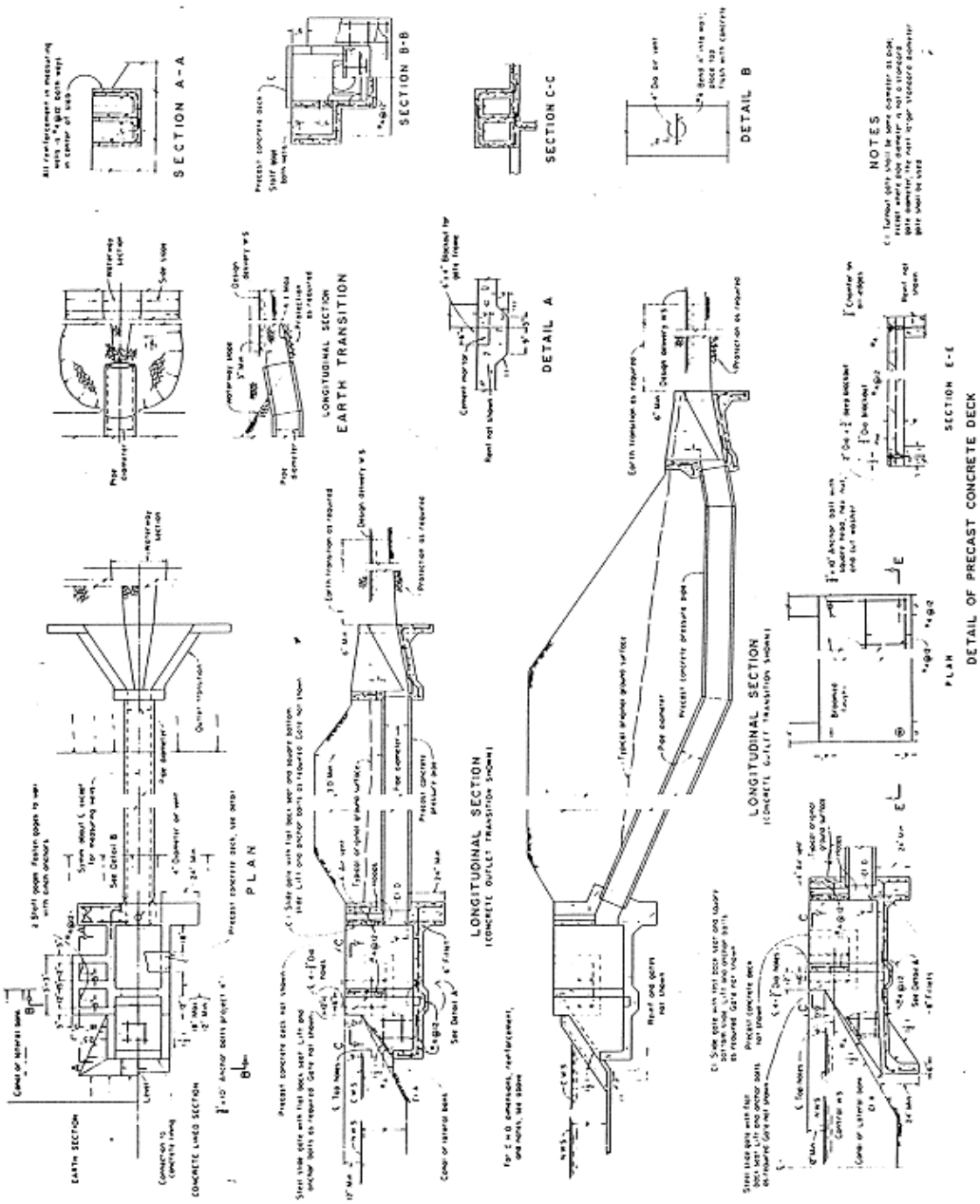
2. ระดับน้ำในคลองควรท่วมเหนือ Orifice Gate อย่างน้อยเท่ากับขนาดความสูงของช่องเปิดเมื่อน้ำไหลผ่านสูงสุด (Ym) ดูรูปที่ 10.13

3. ระดับน้ำในบ่อพักน้ำควรท่วมเหนือ Turnout Gate ประมาณ 1.78 เท่าของศักย์ความเร็วเมื่อน้ำไหลเต็มท่อบวก 8 ซม. เป็นอย่างน้อย

4. พื้นด้านเหนือน้ำของ Orifice Gate ควรจะยาวอย่างน้อยเท่ากับ Ym



**รูปที่ 10.11 Orifice Gate (Ilaco & Nedeco. 1973)**




**รูปที่ 10.12 อาคารรับน้ำปากคลองแบบ CHO (SUBR. 1978)**

**ตารางที่ 10.3 ขนาดความสูงของช่องเปิด สำหรับ CHO ขนาดกว้าง 0.40 เมตร (ส.ป.ส. การไหลผ่านอาคาร = 0.70)**

| Q ลิตร/วินาที / h เมตร | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.04 | 0.12 | 0.24 | 0.36 | 0.48 | 0.61 |
| 0.05 | 0.11 | 0.22 | 0.33 | 0.43 | 0.54 |
| 0.06 | 0.10 | 0.20 | 0.30 | 0.40 | 0.50 |
| 0.07 | 0.09 | 0.19 | 0.27 | 0.37 | 0.46 |
| 0.08 | 0.09 | 0.17 | 0.26 | 0.34 | 0.43 |
| 0.09 | 0.08 | 0.16 | 0.24 | 0.32 | 0.40 |
| 0.10 | 0.08 | 0.15 | 0.23 | 0.31 | 0.38 |

**ตารางที่ 10.4 ขนาดความสูงของช่องเปิด สำหรับ CHO ขนาดกว้าง 0.50 เมตร (ส.ป.ส.การไหลของน้ำผ่านอาคาร = 0.70)**

| Q ลิตร/วินาที / เมตร | 30 | 60 | 90 | 120 | 150 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.04 | 0.10 | 0.19 | 0.29 | 0.39 | 0.48 |
| 0.05 | 0.09 | 0.17 | 0.26 | 0.35 | 0.43 |
| 0.06 | 0.08 | 0.16 | 0.24 | 0.32 | 0.40 |
| 0.07 | 0.07 | 0.15 | 0.22 | 0.29 | 0.37 |
| 0.08 | 0.07 | 0.14 | 0.20 | 0.27 | 0.34 |
| 0.09 | 0.06 | 0.13 | 0.19 | 0.26 | 0.32 |
| 0.10 | 0.06 | 0.12 | 0.18 | 0.24 | 0.31 |

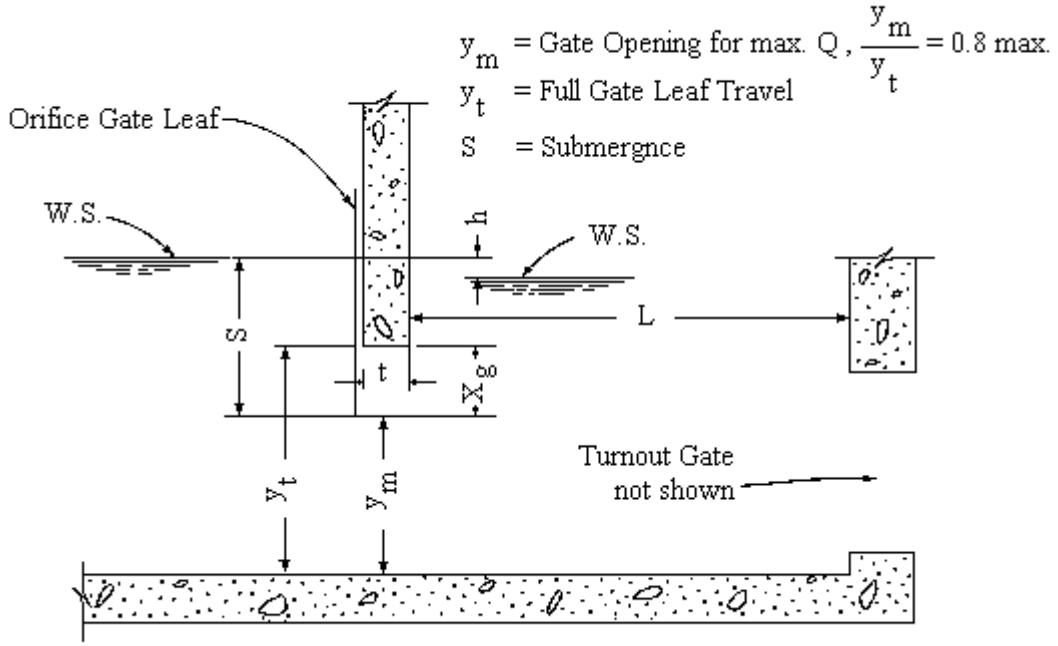
5. สำหรับ CHO ซึ่งผันน้ำได้ไม่เกิน 280 ลิตร/วินาที ระยะระหว่าง Orifice Gate และ Turnout Gate (L) อย่างน้อยควรจะประมาณ 2.25 เท่าของ Ym สำหรับ CHO ซึ่งผันน้ำได้มากกว่า 280 ลิตร/วินาที L ควรจะประมาณ 2.75 เท่าของ Ym

6. สันกำแพงด้านเหนือน้ำ (Cutoff) จะต้องกว้างพอที่จะไม่ทำให้กลายเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคาร ในการนี้อาจจะเพิ่มความกว้างของกำแพงด้านเหนือน้ำได้โดยการออกแบบให้กำแพงข้าง (Side wall) มีมุมถ่างออก 1: 8

7. ควรมีท่อระบายอากาศ (Air Vent) เพื่อป้องกันการเกิดสูญญากาศหลัง Turnout Gate

8. ระดับหลังอาคารต้องสูงกว่า F.S.L. ของคลองส่งน้ำอย่างน้อย 50 ซม.

9. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 40 ซม. สำหรับ Q เท่ากับหรือน้อยกว่า 90 ลิตร/วินาที




**รูปที่ 10.13 มิติต่าง ๆ ของ CHO**

**ตัวอย่างที่ 10.2** ให้ออกแบบ CHO ในลักษณะเดียวกับรูปที่ 10.12 เพื่อรับน้ำเข้าคูน้ำด้วยอัตรา 90 ลิตร/วินาที กำหนดให้ระดับน้ำในคลองส่งน้ำเท่ากับ 8.40 และมีทางปล่อยน้ำ (Outlet Transition)

ทางปล่อยน้ำที่เหมาะสม ความเร็วของน้ำที่ไหลออกจากท่อ (V) จะมีค่าได้มากที่สุด 1.5 เมตร/วินาที

สมมุติว่าใช้ท่อคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 เมตร ยาว 15 เมตร และ n=0.013

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.09 \times 4}{\pi(0.4)^2} = 0.72 \quad \text{เมตร/วินาที}$$

$V < 1.5$ เมตร/วินาที แสดงว่าใช้ได้ ถึงแม้ว่าจะสามารถใช้ท่อซึ่งมีขนาดเล็กกว่านี้ได้ แต่ไม่ควรใช้เพราะบำรุงรักษายาก

ในทำนองเดียวกับตัวอย่างที่ 10.1 จะได้ว่า

hv = 0.03 เมตร และ S = 0.0019 เมตร/เมตร

<u>หาขนาดของช่องเปิด</u> (Orifice)

พื้นที่หน้าตัดของช่อเปิด (A) = $\frac{Q}{C\sqrt{2gh}}$

= $\frac{0.09}{0.7\sqrt{2\times9.81\times0.06}}$

= 0.12

สมมุติใช้ CHO มีช่องเปิดขนาด 0.4 x 0.4 ตร.เมตร

∴ ความสูงของช่องเปิด (Ym) $\frac{0.12}{0.4}$ = 0.30 เมตร

ขนาดของช่องเปิดจริงควรจะโตกว่าขนาดที่คำนวณได้ประมาณ 30 % แสดงว่าขนาด 0.4 x 0.4 ตร.เมตร ใช้ได้

สมมุติให้ความกว้างของอาคารและบ่อพักน้ำ = 0.70 เมตร

พื้นด้านเหนือน้ำของ Orifice Gate ยาวอย่างน้อย = Ym = 0.30 เมตร

ระยะห่างระหว่าง Orifice Gate และ Turnout Gate (L) = 2.25 Ym

= 2.25 x 0.30 = 0.70 เมตร

น้ำท่วมเหนือ Orifice Gate อย่างน้อย = Ym = 0.30 เมตร

<u>การคำนวณระดับต่าง ๆ ของช่องเปิด (Orifice)</u>

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ระดับน้ำในคลอง | = | 8.40 | เมตร |
| ลบ | ความลึกของน้ำเหนือ Orifice Gate | = | -0.30 | เมตร |
| | ระดับขอบบนของ Orifice Gate | = | 8.10 | เมตร |
| ลบ | ความสูงของช่องเปิด (Ym) | = | -0.30 | เมตร |
| | ระดับพื้นอาคารด้านเหนือน้ำ | = | 7.80 | เมตร |
| บวก | ความสูงของช่องเปิดทั้งหมด (Yt) = | | +0.40 | เมตร |
| ∴ | ระดับขอบบนของช่องเปิด | = | 8.20 | เมตร |

จากรูปที่ 10.12 Xg = Yt - Ym = 0.40 - 0.30 = 0.10 เมตร

ความหนาของกำแพงช่องเปิด (Orifice Wall) ควรจะเท่ากับหรือน้อยกว่า Xg แต่ต้องไม่เกิน 0.20 เมตร

<u>คำนวณหาระดับต่าง ๆ ของ Turnout Gate และบ่อพักน้ำ</u>

ระดับน้ำในบ่อพักน้ำควรท่วมเหนือ Turnout Gate อย่างน้อย

= 1.78 hv + 0.08

= 1.78(0.03) + 0.08

= 0.13 เมตร

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ระดับน้ำในคลอง | = | 8.40 | เมตร |
| ลบ | h | = | -0.06 | เมตร |
| | ระดับน้ำในบ่อพักน้ำ | = | 8.34 | เมตร |
| ลบ | ความลึกของน้ำที่ท่วม Turnout Gate | = | -0.13 | เมตร |
| | ระดับขอบบนของ Turnout Gate | = | 8.21 | เมตร |
| ลบ | เส้นผ่าศูนย์กลางของ Turnout Gate | = | -0.40 | เมตร |
| | ระดับขอบล่างของ Turnout Gate | = | 7.81 | เมตร |

ระดับพื้นบ่อพักนักควรจะอยู่ต่ำกว่าขอบล่างของ Turnout Gate ประมาณ 10 ซม.

<u>การหาระดับของสันกำแพงด้านเหนือน้ำ (Cutoff)</u>

สมมุติว่าสันกำแพงด้านเหนือน้ำกว้างเท่ากับความกว้างของอาคาร 0.80 เมตร และทำหน้าที่เสมือนเป็นฝายน้ำล้นแบบ

$$\therefore \quad H = \left[\frac{Q}{1.838L}\right]^{2/3}$$

$$= \left[\frac{0.09}{1.838(0.7)}\right]^{2/3} = 0.17 \text{ เมตร}$$

$\therefore$ ระดับสันกำแพงด้านเหนือน้ำจะสูงได้มากที่สุดไม่เกิน 8.40 - 0.17 = 8.23 เมตร เพื่อจะได้ไม่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการไหลของน้ำผ่านอาคาร

<u>การคำนวณหาการสูญเสียพลังงานขณะที่น้ำไหลผ่านอาคาร</u>

- ความต่างระดับระหว่างน้ำในคลองและน้ำในบ่อพัก (h) = 0.06 เมตร
- การสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า (Entrance Loss)

  = 0.78 hv = 0.78 x 0.03 = 0.023 เมตร
- การสูญเสียพลังงานในท่อ

  = 0.0019 x 15 = 0.0285 เมตร
- การสูญเสียพลังงานที่ทางออก

  = hv = 0.03 เมตร

รวมการสูญเสียพลังงานทั้งหมด = 0.06 x 0.023 + 0.0285 + 0.03

= 0.1415 $\approx$ 0.14 เมตร

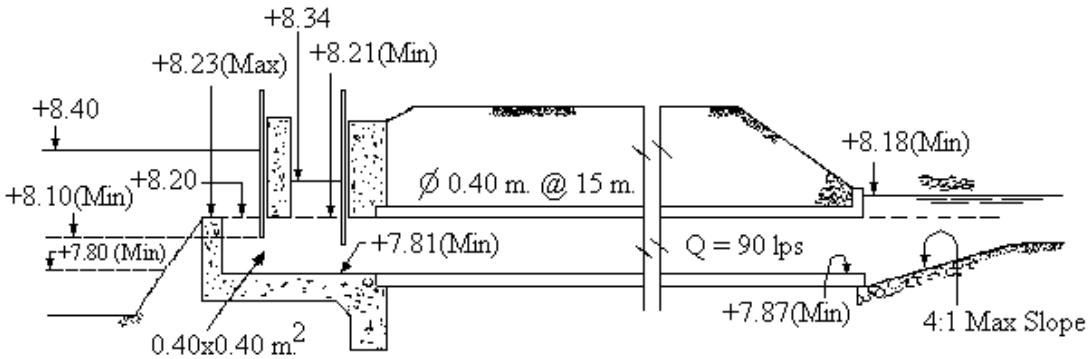
การหาระดับท่อทางด้านท้ายน้ำ

เพื่อให้การไหลของน้ำผ่าน CHO เป็นแบบไหลเต็มที่ ควรจะให้มีน้ำท่วมปากท่อทางด้านท้ายน้ำอย่างน้อย 8 ซม.

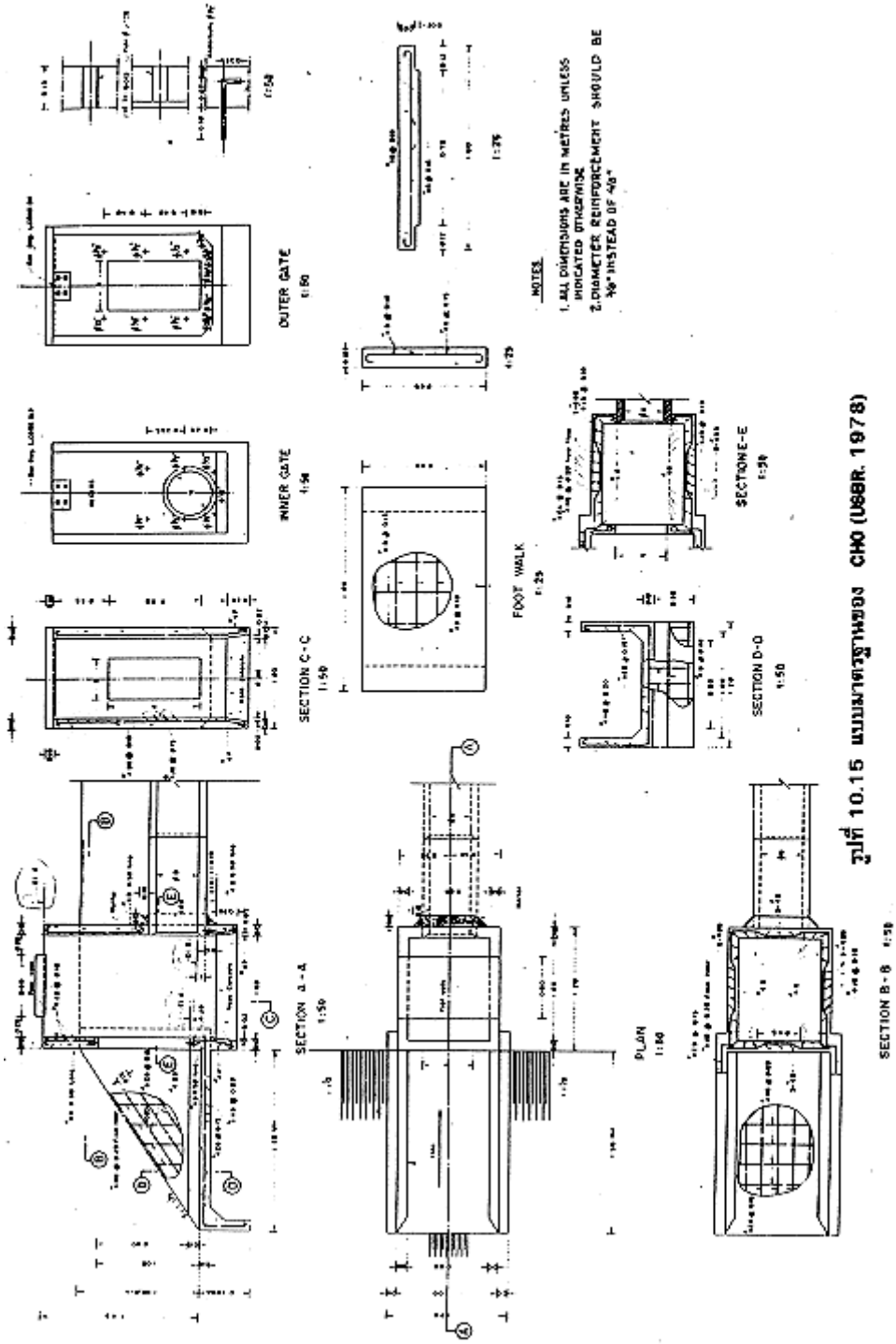
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ระดับน้ำในคลอง | = | 8.40 | เมตร |
| ลบ | การสูญเสียพลังงานศักย์ทั้งหมด | = | -0.14 | เมตร |
| | ระดับน้ำทางด้านท้ายน้ำ | = | 8.26 | เมตร |
| ลบ | ความลึกของน้ำที่ท่วมปากท่อ | = | -0.08 | เมตร |
| | ระดับขอบบนของท่อด้าน | = | 8.18 | เมตร |
| ลบ | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ | = | -0.40 | เมตร |
| | ระดับขอบล่างของท่อ | = | 7.78 | เมตร |

ขนาดและระดับของอาคารที่คำนวณได้ในตัวอย่างนี้จะแสดงไว้ในรูปที่ 10.14

ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นการคำนวณหาขนาดและระดับของอาคารรับน้ำปากคูตามข้อเสนอแนะของ USBR แต่ในทางปฏิบัติอาคารดังกล่าวมีเป็นจำนวนมากเพื่อความสะดวกจึงมักจะมีการจัดทำแบบมาตรฐานสำหรับแต่ละโครงการเพื่อช่วยให้การออกแบบอาคารเหล่านี้ทำได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น ดังเช่นรูปที่ 10.15 ซึ่งแสดงแบบมาตรฐานของ CHO ที่ใช้กันในโครงการชลประทานเจ้าพระยา




**รูปที่ 10.14 ระดับต่าง ๆ ของ CHO ซึ่งรับน้ำได้ 90 ลิตร/วินาทีตามตัวอย่างที่ 10.2**




รูปที่ 10.15 แบบแปลนฐานของ CHO (USBR. 1978)

(2) อาคารแบ่งน้ำ (Division Box)

อาคารแบ่งน้ำเป็นอาคารที่ติดตั้งตรงบริเวณที่มีคูน้ำย่อยแยกออกจากคูน้ำประธาน เพื่อทำหน้าที่แบ่งน้ำให้ไหลเข้าคูย่อยตามปริมาณที่ต้องการ โดยทั่ว ๆ ไปมักนิยมใช้ฝายรูปสี่เหลี่ยมหรือคางหมูแบบปรับสันฝายได้เป็นเครื่องมือในการแบ่งน้ำ โดยการออกแบบฝายให้น้ำไหลแบบอิสระและมีขนาดความกว้างและระดับสันฝายเหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ต้องการจะแบ่ง ซึ่งฝายดังกล่าวจะสามารถควบคุมการแบ่งน้ำได้อย่างถูกต้องมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับระดับน้ำเหนือสันฝาย ถ้าระดับน้ำเหนือสันฝายไม่มากพอสำหรับการสูญเสียระดับน้ำขณะที่น้ำไหลผ่านสันฝายก็เป็นการยากที่จะออกแบบฝายให้แบ่งน้ำได้ตามสัดส่วนของพื้นที่รับน้ำ นอกจากพื้นที่รับน้ำทางด้านท้ายน้ำของฝายแต่ละตัวมีขนาดเท่ากัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่พื้นที่รับน้ำมีขนาดไม่เท่ากัน และระดับน้ำเหนือสันฝายไม่มากพออาจจะหลีกเลี่ยงปัญหาการแบ่งน้ำ โดยการออกแบบฝายแต่ละตัวให้สามารถผันน้ำทั้งหมดที่ไหลมาตามคูน้ำประธานและการแบ่งน้ำจะกระทำในลักษณะให้น้ำทั้งหมดไหลผ่านฝายทีละตัว แต่ถ้าระดับน้ำเหนือสันฝายมากพอจะสามารถออกแบบฝายให้แบ่งน้ำตามสัดส่วนของพื้นที่ได้เช่น ถ้าต้องการออกแบบอาคารแบ่งน้ำในคูน้ำประธานจำนวน 120 ลิตร/วินาที เพื่อแบ่งน้ำให้กับคูน้ำย่อย 2 สายจะมีแนวแนวทางกระทำได้ดังนี้

| | ปริมาณน้ำที่ต้องการแบ่งให้กับคูย่อย (ลิตร/วินาที) | | ปริมาณน้ำที่ใช้ในการออกแบบฝายของอาคารแบ่งน้ำ (ลิตร/วินาที | |
|---|---|---|---|---|
| | คูย่อย 1 | คูย่อย 2 | คูย่อย 1 | คูย่อย 2 |
| ถ้ามีระดับน้ำพอสำหรับการสูญเสียระดับน้ำ | 60<br>30 | 60<br>90 | 60<br>30 | 60<br>90 |
| ถ้ามีระดับน้ำไม่พอสำหรับการสูญเสียระดับน้ำ | 60<br>30 | 60<br>90 | 60<br>120 | 60<br>120 |

ก. เกณฑ์ในการออกแบบอาคารแบ่งน้ำในเขตจัดรูปที่ดิน

1. ให้ใช้อาคารแบ่งน้ำสำหรับคูแยกซอยซึ่งครอบคลุมพื้นที่มากกว่า 50 ไร่ มิฉะนั้นให้ใช้เป็นท่อน้ำเข้านาธรรมดา

2. ถือว่าไม่มีการสูญเสียระดับน้ำ (Head Loss) ขณะที่น้ำไหลผ่านอาคาร

3. ความยาวของสันฝายอาคารแบ่งน้ำจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าความกว้างของกันคูส่งน้ำ

4. ถือว่าทำหน้าเป็นอาคารอัดน้ำหรืออาคารน้ำตกไปในตัวด้วย

ข. การหาขนาดและระดับต่าง ๆ ของอาคารแบ่งน้ำ

รูปร่างลักษณะของอาคารแบ่งน้ำจะแสดงไว้ในรูปที่ 10.16 ซึ่งขนาดและระดับจะหาได้ดังต่อไปนี้

1. ระดับ A, B, C และ D หาจากแนวแสดงระดับก้นคู (Profile) ของคูน้ำแต่ละสาย

2. ขนาดความยาวของสันฝาย $B_1$, $B_2$, $B_3$, และ $B_4$ ต้องเท่ากับหรือมากกว่า $b_1$, $b_2$, $b_3$, และ $b_4$ ตามลำดับ และเพื่อความสะดวกในการใช้งานปกติจะออกแบบให้ $B_1 = B_2 = B_3 = B_4$ (ถ้า $B_1$, $B_2$, $B_3$, และ $B_4$ มีค่าไม่ต่างกันมาก) เพื่อจะได้ใช้บานไม้อัดน้ำ (Slop-log) ขนาดเดียวกัน

3. การกำหนดระดับที่จะต้องใส่บานไม้อัดน้ำขณะทำการแบ่งน้ำให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

ความสูงของระดับสันฝายที่ต้องการ = F.S.L - H

ความสูงของสันฝายตามรูปที่ 10.16 = F.S.L - d + 0.15

$\therefore$ ความสูงของแผ่นไม้อัดน้ำที่ต้องการ = d - 0.15 - H ------(10.3)

เมื่อ F.S.L = ระดับน้ำใช้การเต็มที่

d = ความลึกของน้ำทางด้านเหนือน้ำของอาคาร

H = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย

ค่า H จะสามารถหาได้จากสมการน้ำไหลผ่านฝาย

$Q = C.L.H^{3/2}$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสันฝาย เป็น $ม^3./วินาที$

C = ส.ป.ส. การไหลผ่านฝาย ซึ่งมีค่าประมาณ 1.75

L = ความยาวของสันฝาย

H = ความลึกของน้ำเหนือสันฝาย

เพื่อความสะดวกจะห่าค่า H ได้จากรูปที่ 10.17

**ตัวอย่างที่ 10.3** ให้คำนวณหาความสูงของแผ่นไม้อัดน้ำที่ต้องใส่เมื่อ

Q = 90 ลิตร/วินาที

L = 0.80 เมตร

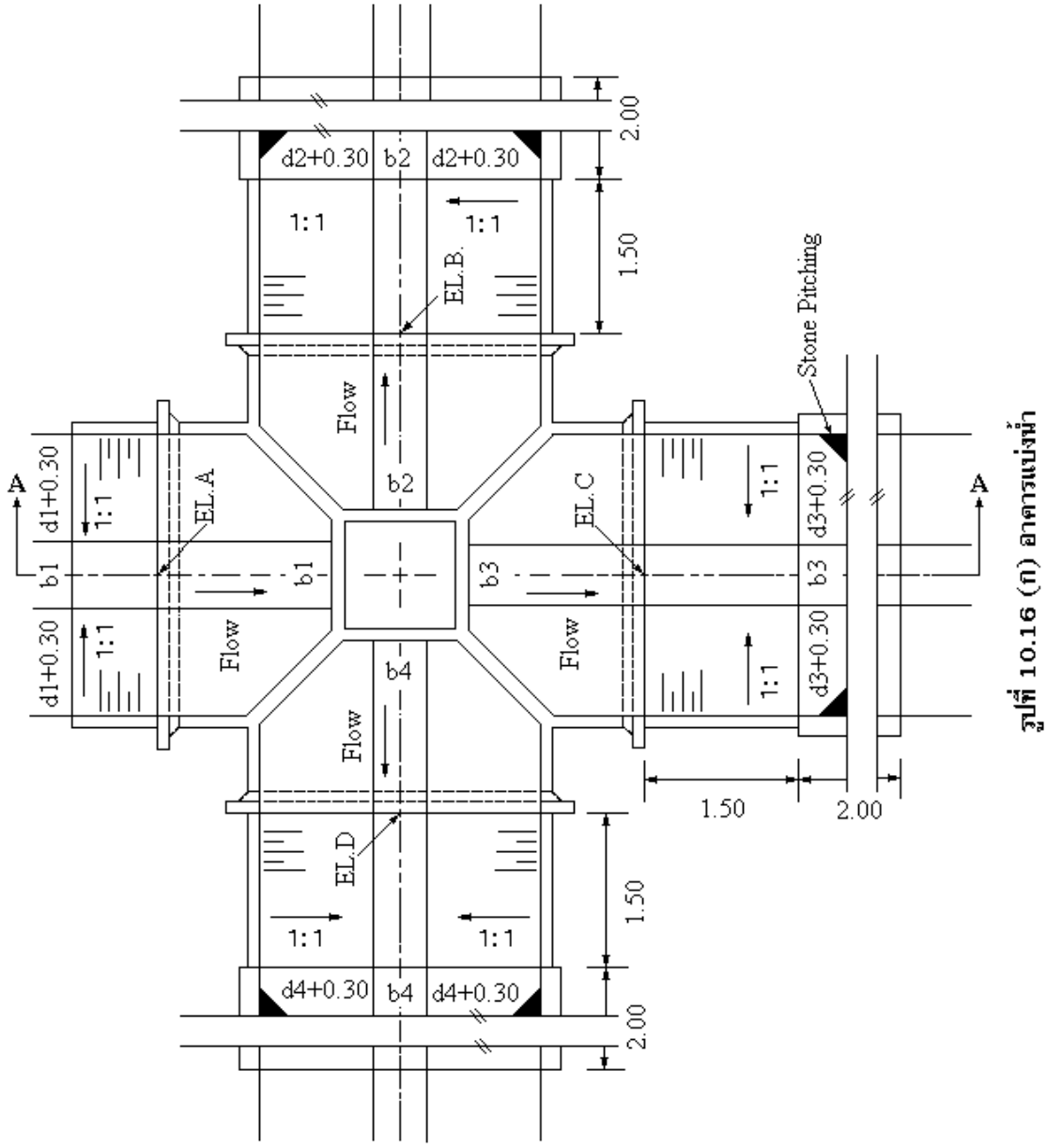
d = 0.59 เมตร

จากรูปที่ 10.17 จะได้ว่า H = 0.16 เมตร

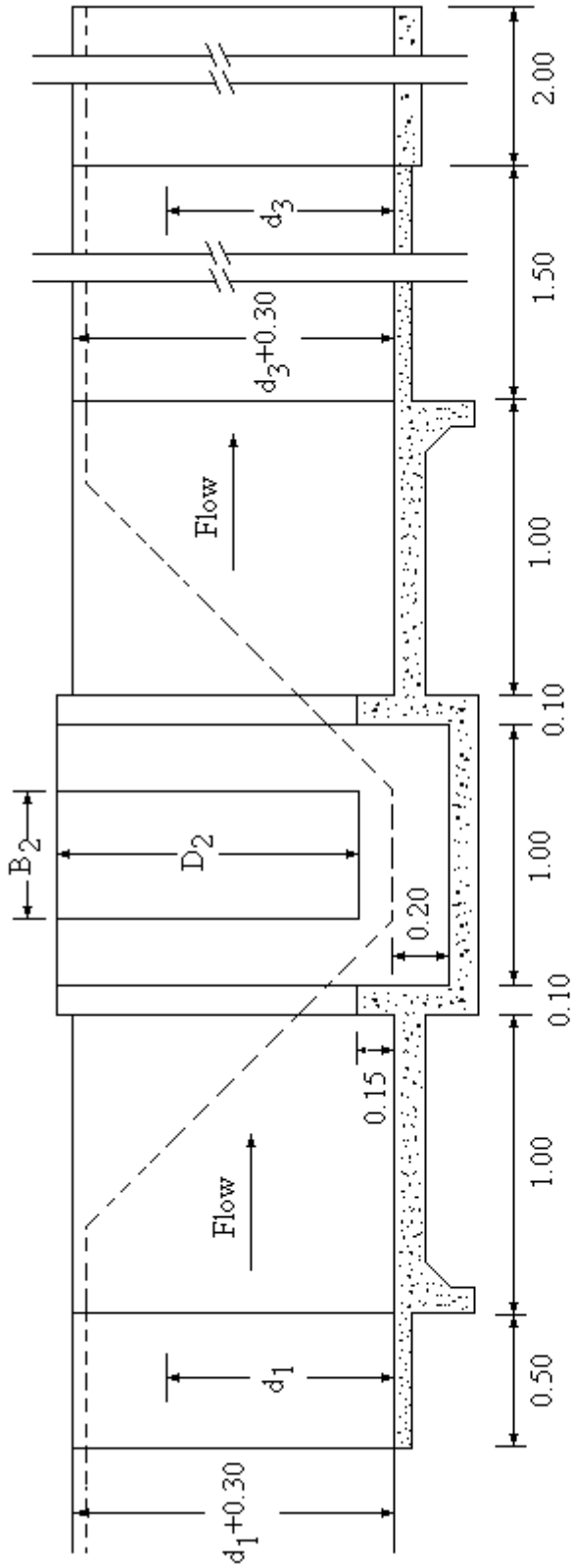
$\therefore$ ความสูงของแผ่นไม้อัดน้ำที่ต้องการ = d - 0.15 - H

= 0.59 - 0.15 - 0.16

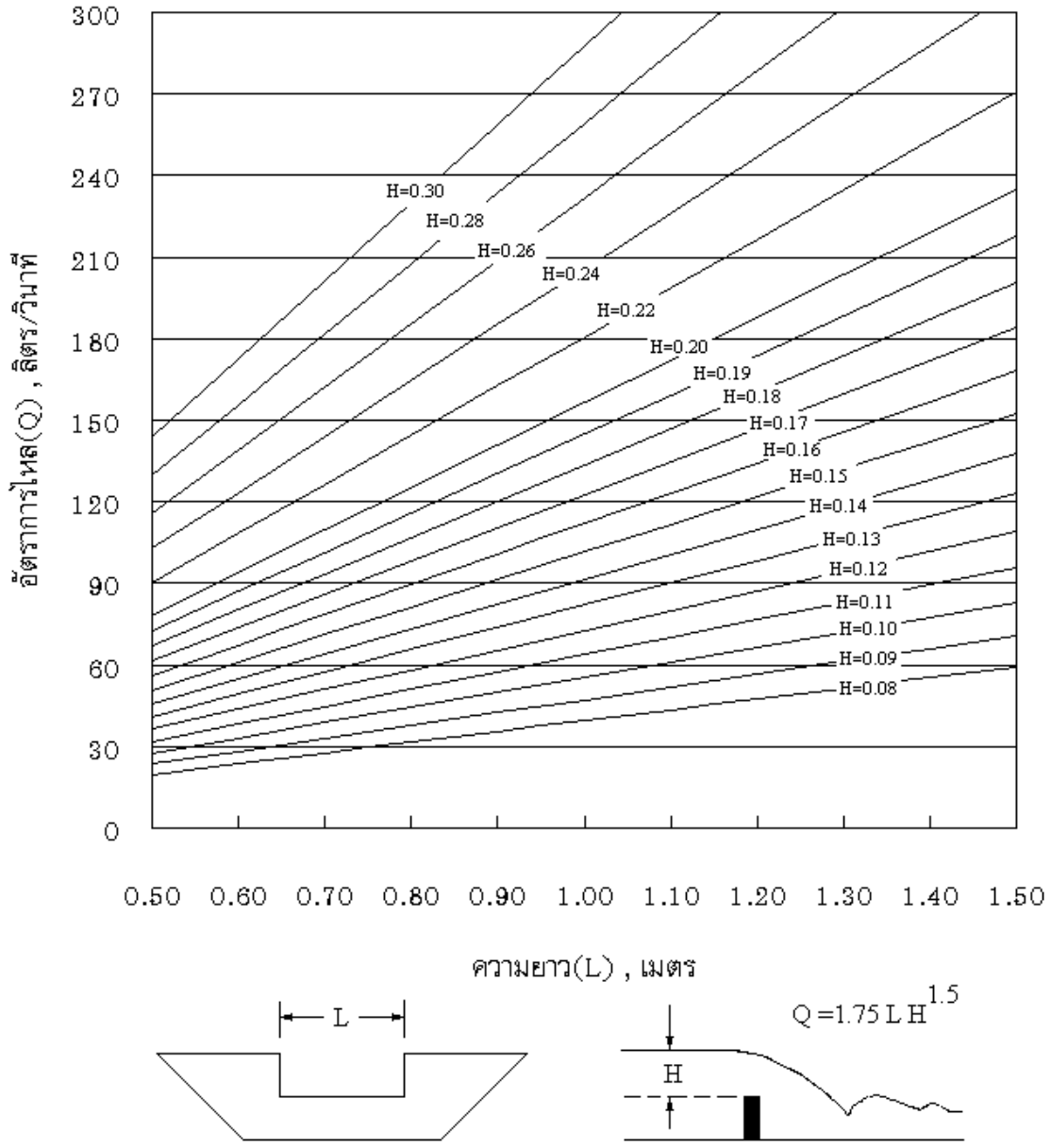
= 0.28 เมตร




**รูปที่ 10.16 (ก) ลาดตามแม่น้ำ**




**รูปที่ 10.16 (ข) รูปตัด A-A ของอาคารแบ่งน้ำ**




**รูปที่ 10.17 กราฟสำหรับคำนวณน้ำไหลผ่านฝายรูสี่เหลี่ยมผืนผ้า**

(3) <u>อาคารอัดน้ำ</u> (Check)

อาคารอัดน้ำเป็นอาคารที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำในคูส่งน้ำให้สูงพอที่จะไหลเข้าแปลงได้ ในกรณีที่พื้นที่เพาะปลูกอยู่สูงกว่าระดับน้ำใช้การในคูส่งน้ำหรือน้ำที่ไหลเข้าคูมีปริมาณน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ และยังทำหน้าที่ควบคุมการส่งน้ำหมุนเวียนในหน่วยหมุนเวียนย่อยอีกด้วย ลักษณะของอาคารอัดน้ำโดยทั่ว ๆ ไปมักนิยมออกแบบเป็นฝายแบบปรับสันได้โดยการใช้แผ่นไม้อัดน้ำ (Stop-log) เพื่อควบคุมระดับน้ำให้สูงต่ำตามความต้องการในลักษณะเดียวกับอาคารแบ่งน้ำตามที่กล่าวถึงในข้อ 10.5.5 (2) สำหรับคูน้ำซึ่งมีความลาดเท 0.02 ถึง 0.15 เปอร์เซ็นต์ อาคารอัดน้ำจะมีอิทธิพลในการยกระดับน้ำเป็นระยะทางประมาณ 400 เมตร

ก. <u>เกณฑ์ในการติดตั้งอาคารอัดน้ำ</u>

1. ที่ตั้งอาคารอัดน้ำต้องพิจารณาทั้งสภาพภูมิประเทศและการส่งน้ำหมุนเวียนประกอบกัน

2. ถือว่าไม่มีการสูญเสียระดับน้ำ (Head Loss) ขณะที่น้ำไหลผ่านอาคารอัดน้ำซึ่งถอดแผ่นไม้อัดออกหมด

3. ต้องพิจารณาใส่อาคารอัดน้ำหรืออาคารน้ำตกอัดน้ำทุกระยะ 400-600 เมตร ตลอดความยาวคูส่งน้ำ

4. ความยาวของสันฝายของอาคารอัดน้ำต้องเท่ากับหรือมากกว่าความกว้างของก้นคูส่งน้ำ

ข. <u>การกำหนดจุดที่ตั้งอาคารอัดน้ำ</u>

จุดที่ตั้งของอาคารอัดน้ำจะต้องสัมพันธ์กับแผนการส่งน้ำหมุนเวียนระยะที่มีอิทธิพลต่อการยกระดับน้ำและสภาพภูมิประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม จะยึดถือให้เหมาะสมกับการจัดแผนการส่งน้ำหมุนเวียนเป็นสำคัญ และจะต้องพิจารณาอาคารอื่น ๆ ในคูซึ่งสามารถทำหน้าที่ในทำนองเดียวกับอาคารอัดน้ำด้วยเช่น อาคารแบ่งน้ำและอาคารน้ำตกอัดน้ำ (Check Drop)

การกำหนดจุดที่ตั้งอาคารอัดน้ำให้สัมพันธ์กับแผนการส่งน้ำหมุนเวียนให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1. เลือกจุดที่ตั้งอาคารอัดน้ำจากสภาพภูมิประเทศ ระยะอิทธิพลในการยกระดับน้ำซึ่งเท่ากับ 400 เมตร โดยพิจารณาถึงอาคารอื่น ๆ ประกอบด้วย ตารางที่ 10.5 และรูปที่ 10.18 จะช่วยในการพิจารณาเลือกจุดที่ตั้งเบื้องต้น

2. หาขนาดพื้นที่ของหน่วยหมุนเวียนย่อยซึ่งอยู่ระหว่างอาคารอัดน้ำแต่ละตัว

3. หาจำนวนท่อส่งน้ำเข้านาซึ่งจะเปิดให้น้ำเข้านาพร้อมกันจากสมการ

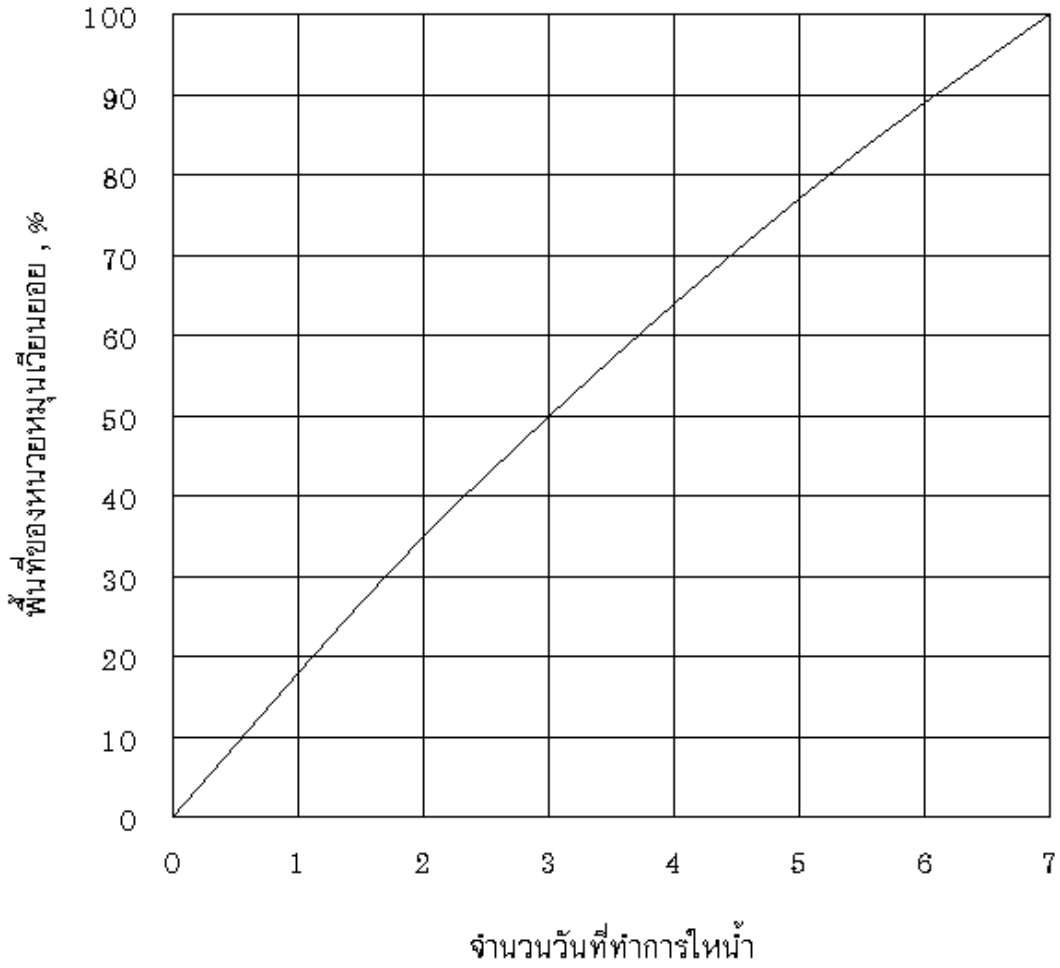
**ตารางที่ 10.5 แนวทางการพิจารณากำหนดจุดที่ตั้งอาคารอัดน้ำในคูส่งน้ำ** [1/]

| หน่วยหมุนเวียนย่อย | อาคารอัดน้ำ 1 ตัว | | อาคารอัดน้ำ 2 ตัว | | อัตราอัดน้ำ 3 ตัว | | อาคารอัดน้ำ 4 ตัว | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % ของพื้นที่[2/] | จำนวนวัน[3/] ที่ส่งน้ำ | % ของพื้นที่ | จำนวนวัน ที่ส่งน้ำ | % ของพื้นที่ | จำนวนวัน ที่ส่งน้ำ | % ของพื้นที่ | จำนวนวัน ที่ส่งน้ำ |
| 1 | 55 | $3\frac{1}{2}$ | 35 | 2 | 27 | $1\frac{1}{2}$ | 20 | 1 |
| 2 | 45 | $3\frac{1}{2}$ | 30 | 2 | 23 | $1\frac{1}{2}$ | 23 | $1\frac{1}{2}$ |
| 3 | - | - | 35 | 3 | 27 | 2 | 21 | $1\frac{1}{2}$ |
| 4 | - | - | - | - | 23 | 2 | 19 | $1\frac{1}{2}$ |
| 5 | - | - | - | - | - | - | 17 | $1\frac{1}{2}$ |
| ความยาวคูน้ำโดยประมาณ (เมตร) | 800 - 1,000 | | 1,000 - 1,600 | | 1,600 - 2,000 | | 2,000 - 2,500 | |
| พื้นที่รับน้ำของคูน้ำ โดยประมาณ (ไร่) | 200 - 300 | | 300 - 450 | | 450 - 600 | | > 600 | |

1/ Ilaco/Empire M&T (1973)

2/ % ของพื้นที่ หมายถึง พื้นที่ของหน่วยหมุนเวียนย่อยเป็นเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หมุนเวียน (พื้นที่ที่รับน้ำจากคูน้ำ)

3/ จำนวนวันที่ส่งน้ำ หมายถึง ระยะเวลาเป็นวัน สำหรับการส่งน้ำให้หน่วยหมุนเวียนย่อย ซึ่งหาได้จากรูปที่ 10.18




**รูปที่ 10.18 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ทำการให้น้ำต่อพื้นที่ของหน่วยหมุนเวียนย่อยเป็นเปอร์เซ็นต์ (Ilaco & Nedeco. 1973)**

$$X = \frac{Q}{30} \qquad \text{----------(10.4)}$$

เมื่อ X = จำนวนท่อส่งน้ำเข้านาที่เปิดพร้อมกัน ซึ่งในที่นี้กำหนดว่าท่อส่งน้ำเข้านาทีขนาด 30 ลิตร/วินาที

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลในคูส่งน้ำ เป็นลิตร/วินาที

4. หาขนาดพื้นที่ซึ่งท่อส่งน้ำเข้านาแต่ละท่อจะต้องส่งน้ำให้ของแต่ละหน่วยหมุนเวียน จากสมการ

$$Y = \frac{A}{X} \qquad \text{----------(10.5)}$$

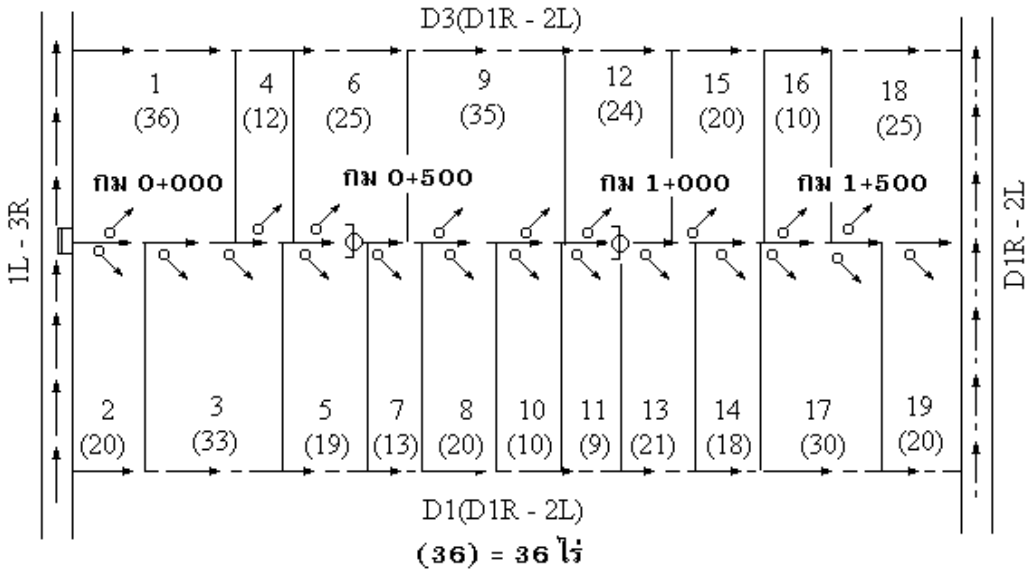
เมื่อ Y = ขนาดพื้นที่ที่ท่อส่งน้ำเข้ามาแต่ละท่อจะต้องส่งน้ำให้

A = ขนาดพื้นที่ของหน่วยหมุนเวียนย่อย

X = จำนวนท่อส่งน้ำเข้านาที่เปิดพร้อมกัน

5. จัดชุดพื้นที่ที่จะรับน้ำจากแต่ละท่อ โดยการแบ่งพื้นที่ของหน่วยหมุนเวียนย่อยออกเป็น X ส่วน ๆ ละ Y ไร่ แล้วพิจารณาดูว่าการส่งน้ำหมุนเวียนเป็นไปได้หรือไม่ดังตัวอย่าง

**ตัวอย่างที่ 10.4** ให้หาจุดที่ตั้งอาคารอัดน้ำในคูส่งน้ำสาย 2(1L-3R) ซึ่งมีปริมาณน้ำ 90 ลิตร ยาว 1500 เมตร และครอบคลุมเนื้อที่ 400 ไร่ ดังรูป



จากตารางที่ 10.5 คูส่งน้ำยาว 1,500 เมตร คลุมเนื้อที่ 400 ไร่ แสดงว่าต้องใช้อาคารอัดน้ำ 2 ตัว เพื่อแบ่งพื้นที่หมุนเวียน 400 ไร่ออกเป็นหน่วยหมุนเวียนย่อย 3 หน่วยในลักษณะดังนี้

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 1= $\frac{35}{100} \times 400$ = 140 ไร่

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 2= $\frac{35}{100} \times 400$ = 120 ไร่

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 3= $\frac{35}{100} \times 400$ = 140 ไร่

จากแบบแปลงกรรมสิทธิ์และแนวคูน้ำ พบว่าอาคารอัดน้ำตัวที่ 1 จะอยู่ที่ กม. 0+500 และอาคารอัดน้ำตัวที่ 2 อยู่ที่ 1+000 ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 หน่วยหมุนเวียนย่อย โดยหน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 1, 2 และ 3 คลุมเนื้อที่ 145, 111 และ 144 ไร่ ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ในตอนแรก

จากสมการที่ 10.4 X = $\frac{Q}{30} = \frac{90}{30}$ = 3

จากสมการที่ 10.4 X = $\frac{Q}{30} = \frac{90}{30}$ = 3

<u>จากหน่วยหมุนเวียนที่ 1</u> ประกอบด้วยแปลงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

| <u>หมายเลขแปลง</u> | <u>ขนาดแปลง (ไร่)</u> | <u>หมายเลขท่อส่งน้ำเข้าแปลง</u> |
|---|---|---|
| 1 | 36 | 1 |
| 2 | 20 | 2 |
| 3 | 33 | 3,4 |
| 4 | 12 | 5 |
| 5 | 19 | 6 |
| 6 | 25 | 7 |
| | <u>รวม 145 ไร่</u> | |

กำหนดให้แปลงที่ 3 ที่ท่อส่งน้ำเข้านา 2 ท่อ คือท่อหมายเลข 3 คลุมเนื้อที่ 10 ไร่ และท่อหมายเลข 4 คลุมเนื้อที่ 23 ไร่

<u>จากสมการที่ 10.5</u> Y = $\frac{145}{3}$ = 48.3 $\approx$ 48 ไร่

ดังนั้นจะสามารถจัดชุดส่งน้ำหมุนเวียนได้ 3 ชุด ดังนี้

ชุดที่ 1 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 1, 5 คลุมเนื้อที่ 48 ไร่

ชุดที่ 2 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 2, 3, 6 คลุมเนื้อที่ 49 ไร่

ชุดที่ 3 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 4, 7 คลุมเนื้อที่ 48 ไร่

| หน่วยหมุนเวียนที่ 2 หมายเลขแปลง | ประกอบด้วยแปลงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ขนาดแปลง (ไร่) | หมายเลขท่อน้ำเข้าแปลง |
|---|---|---|
| 7 | 13 | 8 |
| 8 | 20 | 9 |
| 9 | 35 | 10, 11 |
| 10 | 10 | 12 |
| 11 | 9 | 13 |
| 12 | 24 | 14 |
| | รวม 111 ไร่ | |

แปลงที่ 9 มีท่อส่งน้ำเข้าแปลง 2 ท่อ คือ ท่อหมายเลข 10 คลุมเนื้อที่ 17 ไร่ และท่อหมายเลข 11 คลุมเนื้อที่ 18 ไร่

จากสมการที่ 10.5 $Y = \frac{A}{X} = \frac{111}{3} = 37$ ไร่

ดังนั้นจะสามารถจัดชุดส่งน้ำหมุนเวียนได้ 3 ชุด ๆ ละ 37 ไร่ ดังนี้

ชุดที่ 1 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 8, 14

ชุดที่ 2 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 9, 10

ชุดที่ 3 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 11, 12, 13

| หน่วยหมุนเวียนที่ 3 หมายเลขแปลง | ประกอบด้วยแปลงต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ขนาดแปลง (ไร่) | หมายเลขท่อส่งน้ำเข้าแปลง |
|---|---|---|
| 13 | 21 | 15 |
| 14 | 18 | 16 |
| 15 | 20 | 17 |
| 16 | 10 | 18 |
| 17 | 30 | 19, 20 |
| 18 | 25 | 21 |
| 19 | 20 | 22 |
| | รวม 144 ไร่ | |

แปลงที่ 17 มีท่อส่งน้ำเข้านา 2 ท่อคือ ท่อหมายเลข 19 คลุมเนื้อที่ 7 ไร่ ท่อหมายเลข 20 คลุมเนื้อที่ 23 ไร่

$Y = \frac{144}{3} = 48$ ไร่

ดังนั้นจะสามารถจัดชุดส่งน้ำหมุนเวียนได้ 3 ชุด ๆ ละ 48 ไร่ ดังนี้

ชุดที่ 1 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 15, 19, 22
ชุดที่ 2 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 16, 17, 18
ชุดที่ 3 ประกอบด้วยท่อหมายเลข 20, 21

ในกรณีที่ไม่สามารถจัดทำชุดส่งน้ำหมุนเวียนได้ตามตัวอย่างข้างบนอาจแก้ปัญหาได้โดยการย้ายจุดที่ตั้งอาคารแบ่งน้ำหรือวางท่อส่งน้ำเข้าแปลงนาเพิ่มขึ้น

ถ้ากำหนดว่าระยะเวลาในการให้น้ำทั่วทั้งพื้นที่หมุนเวียนเท่ากับ 7 วัน ระยะเวลาที่ต้องให้น้ำกับหน่วยหมุนเวียนแต่ละหน่วยจะหาได้จากรูปที่ 10.18 ดังนี้

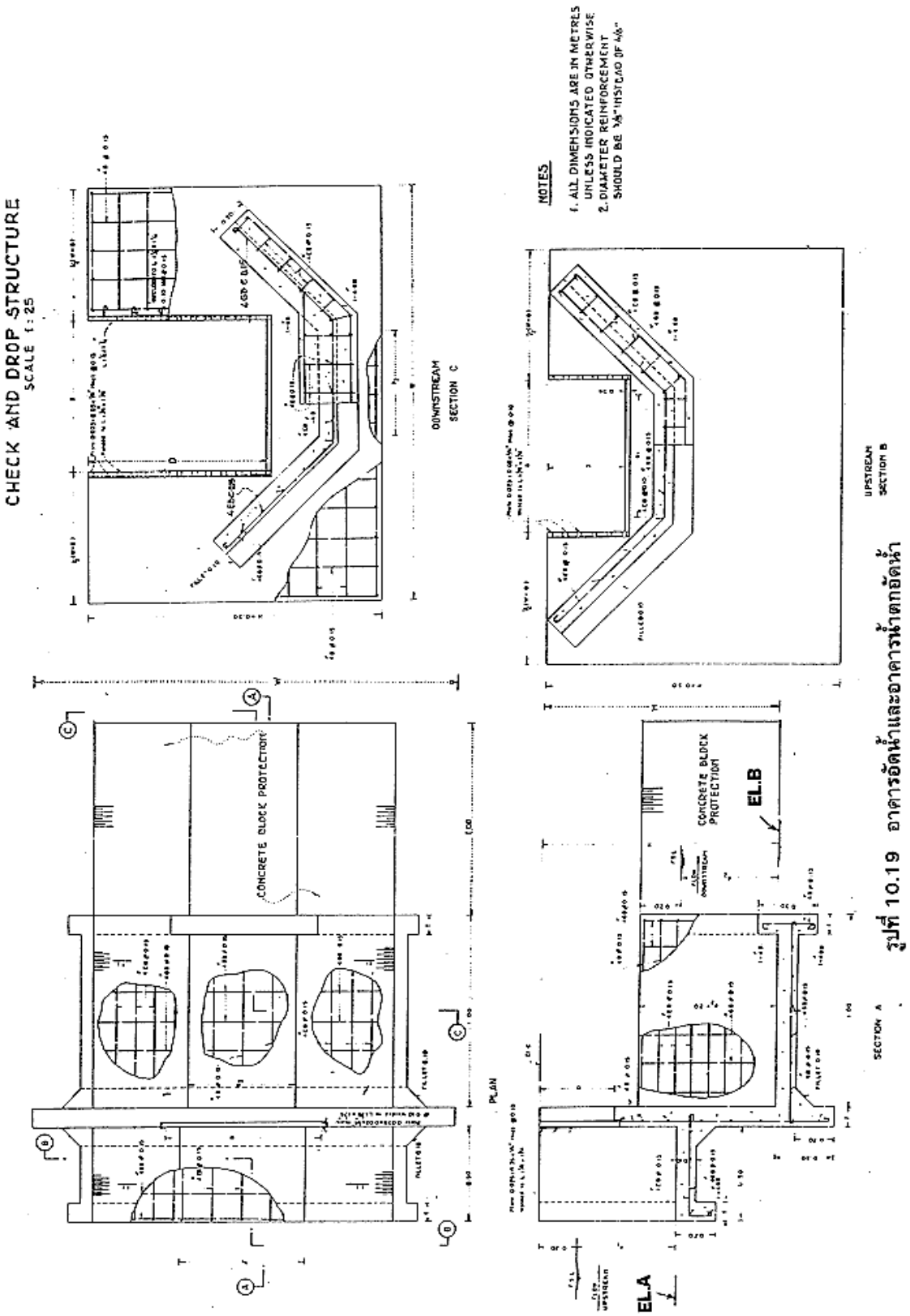
หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 1 มีพื้นที่ = $\frac{145}{400}$ x 100 = 36 %
จะต้องให้น้ำนาน = 2 วัน
หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 2 มีพื้นที่ = $\frac{111}{400}$ x 100 = 28 %
จะต้องให้น้ำนาน = 2 วัน
หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 3 มีพื้นที่ = $\frac{144}{400}$ x 100 = 36 %
จะต้องให้น้ำนาน = 3 วัน

ค. <u>การหาขนาดและระดับต่าง ๆ ของอาคารอัดน้ำ</u>

อาคารอัดน้ำจะมีลักษณะเป็นช่องฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งสามารถปรับระดับสันฝายได้โดยใช้แผ่นไม้อัดน้ำในลักษณะเดียวกับอาคารแบ่งน้ำ เพียงแต่ว่ามีช่องฝายให้น้ำไหลผ่านเพียงช่องเดียว รูปร่างลักษณะของอาคารอัดน้ำจะแสดงไว้ในรูปที่ 10.19 เมื่อระดับ A และ B คือระดับกันคูทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของอาคารอัดน้ำ ระดับสันฝายจะอยู่สูงกว่าพื้นทางด้านเหนือน้ำเท่ากับ 15 ซม. ความยาวของสันฝายจะต้องเท่ากับหรือมากกว่าความกว้างของกันคู การคำนวณหาความสูงของแผ่นไม้อัดน้ำจะทำได้ในทำนองเดียวกับที่กล่าวถึงมาแล้วในเรื่องอาคารแบ่งน้ำโดยใช้สมการที่ 10.3

(4) <u>อาคารน้ำตกอัดน้ำ</u> (Check Drop)

อาคารน้ำตกอัดน้ำเป็นอาคารที่ใช้ควบคุมน้ำตรงบริเวณที่มีการลดระดับผิวน้ำ ขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำไปในตัวด้วย ลักษณะของอาคารประกอบด้วยช่องฝายรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งออกแบบเป็นฝายสันกว้าง (Broad-Crested Weir) ที่สามารถปรับระดับสันฝายได้ และบ่อน้ำนิ่ง (Stilling Pool) ซึ่งรองรับน้ำที่ตกลงมาจากสันฝายเนื่องจากอาคารน้ำตกอัดน้ำทำหน้าที่เหมือนอาคารอัดน้ำ การกำหนดจุดที่ตั้งอาคารน้ำตกจึงต้องพิจารณาถึงแผนการส่งน้ำหมุนเวียนประกอบด้วยในทำนองเดียวกับอาคารอัดน้ำ




รูปที่ 10.19 อาคารอัดน้ำและอาคารน้ำตกอัดน้ำ

ก. <u>เกณฑ์การออกแบบอาคารน้ำตกอัดน้ำ</u>

อาคารน้ำตกอัดน้ำจะใช้ในบริเวณที่มีการลดระดับผิวน้ำมากกว่า 30 ซม. ถ้าไม่น้อยกว่า 30 ซม. ให้พิจารณาออกแบบความลาดเทของพื้นที่ทางด้านเหนือน้ำให้ชันขึ้นแทน ส่วนเกณฑ์อื่น ๆ จะเหมือนกับอาคารอัดน้ำ

ข. <u>การคำนวณหาขนาดและระดับของอาคารน้ำตกอัดน้ำ</u>

รูปร่างลักษณะของอาคารน้ำตกอัดน้ำจะคล้ายกับอาคารอัดน้ำในรูปที่ 10.19 แต่ควรมีการป้องกันกันคูและลาดด้านข้างทางด้านเหนือน้ำของอาคารเป็นระยะทางอย่างน้อย 1 เมตร และทางด้านท้ายน้ำของอาคารเป็นระยะทางอย่างน้อย 3 เมตร โดย 1.50 เมตรสุดท้ายควรใช้หินหยาบเรียง เพื่อป้องกันการไหลซึมลอดใต้ฐานราก ส่วนการคำนวณระดับอาคารและความสูงของแผ่นไม้อัดน้ำจะหาได้ในทำนองเดียวกับอาคารอัดน้ำ

(5) <u>ท่อลอด</u> (Culvert)

ท่อลอดเป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อให้น้ำไหลลอดใต้ถนนทางลำเลียงหรือทางข้ามคูเข้าสู่แปลงนา การออกแบบท่อลอดจะต้องพยายามให้ได้ขนาดท่อที่เล็กเพื่อความประหยัด ขณะเดียวกันก็ต้องไม่เล็กมากจนกระทั่งมีอิทธิพลต่อการไหลของอาคารที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำ โดยเฉพาะท่อลอดอยู่ใกล้อาคารรับน้ำปากคูเพราะจะมีผลทำให้น้ำที่ไหลเข้าคูมีปริมาณน้อยกว่าที่ออกแบบไว้

ก. <u>เกณฑ์การออกแบบท่อลอด</u>

1. ท่อลอดควรจะอยู่ตรงแนวเขตแปลงเพื่อให้ใช้ท่อลอดอันเดียวสำหรับทางที่จะเข้าถึงได้ทั้ง 2 แปลง เพื่อความประหยัด

2. ท่อลอดควรจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. เป็นอย่างน้อย และในคูส่งน้ำแต่ละสายควรออกแบบให้ใช้ท่อลอดขนาดเดียวกันหมดเพื่อความสะดวกในการก่อสร้าง

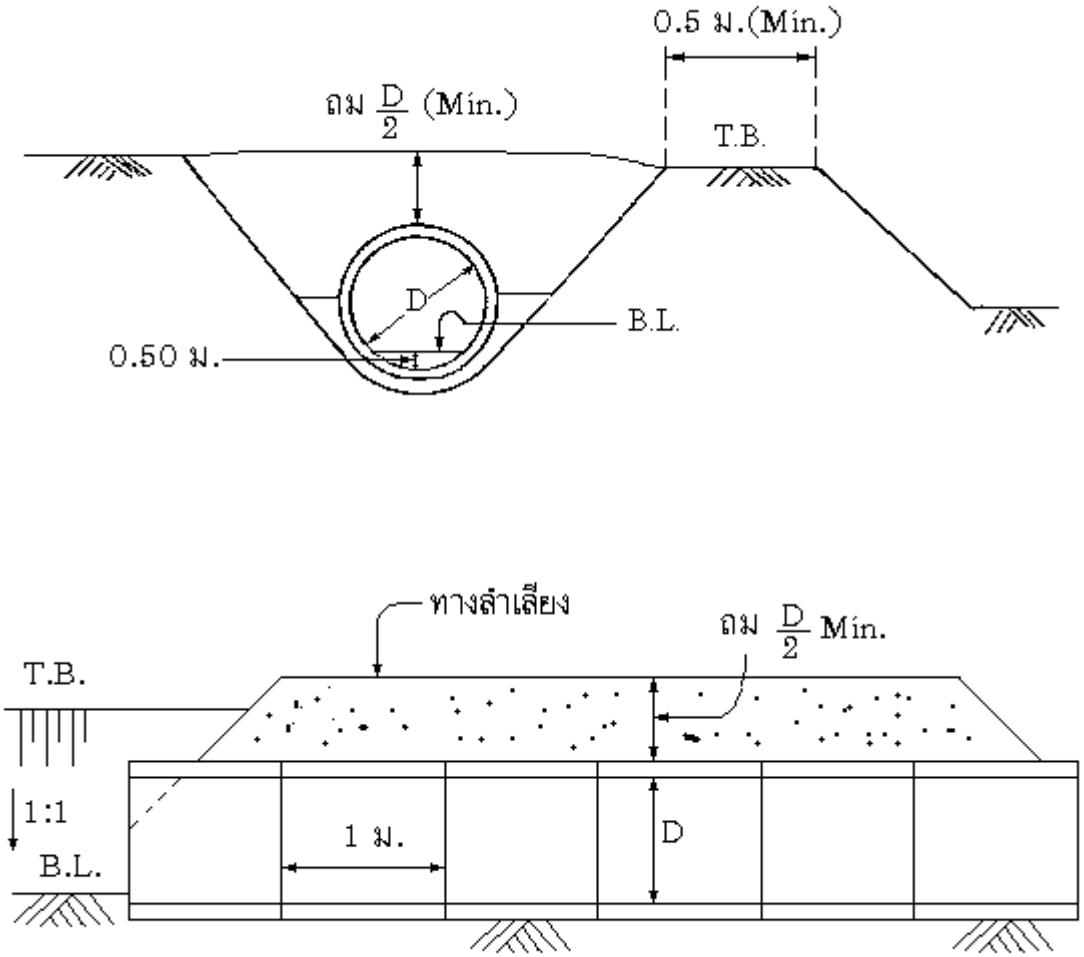
3. ใช้ท่อลอดขนาดยาว 5.00 เมตร สำหรับทางเข้าคูเข้าสู่แปลง และ 7.00 เมตร สำหรับลอดถนนทางลำเลียง ดังแสดงในรูปที่ 10.20 และทั้งสองแบบจะต้องฝังท่อลึกกว่าก้นคู 5 ซม.

4. ท่อลอดจะต้องไม่เล็กมากจนก่อให้เกิดการยกระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำจนมีอิทธิพลไปถึงอาคารที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำ

5. การสูญเสียระดับน้ำ (Head Loss) ขณะไหลผ่านท่อลอดจะต้องมีค่ามากที่สุดไม่เกิน 6 ซม. เพื่อป้องกันการกัดเซาะทางด้านท้ายน้ำ

ข. <u>ขั้นตอนในการออกแบบท่อลอด</u>

1. กำหนดจุดที่ตั้งท่อลอดลงในแบบโดยพิจารณาจากแนวเขตแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินใหม่และแนวคูน้ำเพื่อให้มีทางเข้าถึงแปลงทุกแปลง




**รูปที่ 10.20 ลักษณะการติดตั้งท่อลอด**

2. หาระยะทางระหว่างท่อลอดแต่ละตัว และท่อลอดกับอาคารอื่น ๆ ซึ่งอิทธิพลของระดับน้ำที่ท่อลอดยกขึ้นอาจมีไปถึง

3. หาค่าการสูญเสียระดับน้ำมากที่สุดที่จะยอมให้เกิด (Maximum Permissible Head Loss) โดยพิจารณาจากความลาดเทของพื้นคูน้ำและระยะห่างระหว่างท่อลอดที่กำลังพิจารณากับท่อลอดหรืออาคารที่อยู่เหนือน้ำ จากตารางที่ 10.6

**ตารางที่ 10.6** การสูญเสียระดับน้ำมากที่สุดที่จะยอมให้เกิดในท่อลอด1/

| ความลาดเทของกันคู % | ระยะระหว่างท่อลอดกับอาคารที่อยู่เหนือน้ำ (เมตร) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100 | 100-200 | 200-300 | 300-400 | 400-500 | 500-600 | 600-700 |
| 0.2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 0.3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 0.4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 |
| 0.5 | 1 | 2 | 2 | 4 | 4 | 6 | 6 |
| 0.6 | 1 | 2 | 2 | 4 | 6 | 6 | 6 |
| 0.7 | 1 | 2 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 0.8 | 1 | 2 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 1.0 | 2 | 4 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |

1/ การสูญเสียระดับน้ำมากที่สุดที่ยอมให้เกิดจะมีค่าไม่เกิน 6 ซม. เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำที่ไหลออกจากท่อลอดเร็วเกินไปจนก่อให้เกิดการกัดเซาะ

4. หาขนาดของท่อลอดจากสมการ

$$Q = \mu A \sqrt{2g Z} \qquad \text{----------(10.6)}$$

เมื่อ $Q$ = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อลอด เป็น ม$^3$./วินาที

$\mu$ = ส.ป.ส. การไหลผ่านท่อลอด ซึ่งมีค่าประมาณ 0.8

$A$ = พื้นที่หน้าตัดของท่อลอด เป็น ม$^2$.

$g$ = 9.81 ม./วินาที$^2$

$Z$ = การสูญเสียระดับน้ำ (Head Loss) มีหน่วยเป็นเมตร เพื่อสะดวกอาจหาได้จากกราฟในรูปที่ 10.21

**ตัวอย่างที่ 10.5** ให้หาขนาดของท่อลอดในคูส่งน้ำสายหนึ่งซึ่งมีความลาดเท 0.2 เปอร์เซนต์ น้ำไหลผ่านด้วยอัตรา 90 ลิตร/วินาที สมมติว่าระยะระหว่างท่อลอดเท่ากับ 100 เมตร

จากตารางที่ 10.6 การสูญเสียระดับน้ำมากที่สุดที่ยอมให้เกิดได้ = 1 ซม.

จากสมการที่ 10.6 $Q = A\sqrt{2gZ}$

$$0.09 = 0.8\,\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{2\times 9.81\times 0.01}$$

$$\therefore \quad D = 0.56 \approx 0.60$$

ต้องใช้ท่อลอดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร จึงจะไม่ก่อให้เกิดการยกระดับน้ำจนมีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำผ่านท่อลอดที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำ

ในกรณีที่ต้องการรู้ว่าระดับน้ำยกขึ้น (Backwater Curve) มีอิทธิพลไปได้ไกลเท่าใด สำหรับทางน้ำที่มีความลาดเท 0.2 ถึง 0.5 % อาจจะหาได้โดยรวดเร็วจากตารางที่ 10.7

(6) <u>ท่อส่งน้ำเข้านาและท่อส่งน้ำเข้าคูแยกซอย</u> (Farm Intet และ Ditch Inlet)

ท่อส่งน้ำเข้านาเป็นส่วนสุดท้ายของระบบชลประทานในแปลงนาที่ทำหน้าที่นำน้ำเข้าสู่แปลง ส่วนท่อส่งน้ำเข้าคูแยกซอยเป็นอาคารที่ทำหน้าที่รับน้ำเข้าสู่คูแยกซอยในกรณีที่พื้นที่รับน้ำจากคูแยกซอยมีเนื้อที่ไม่มากนักไม่คุ้มที่จะใช้อาคารแบ่งน้ำ

ก. <u>เกณฑ์การออกแบบ</u>

1. พื้นที่รับน้ำคูแยกซอยน้อยกว่า 50 ไร่ ใช้ท่อส่งน้ำเข้าคูแยกซอย (Ditch Inlet) เป็นอาคารบังคับน้ำแทนอาคารแบ่งน้ำ

2. ขนาดท่อใช้เส้นผ่าศูนย์กลาง 20 ซม.

3. ถือว่าท่อส่งน้ำเข้านาและท่อส่งน้ำเข้าคูแยกซอยท่อหนึ่ง ๆ มีปริมาณน้ำไหลผ่าน 30 ลิตร/วินาที

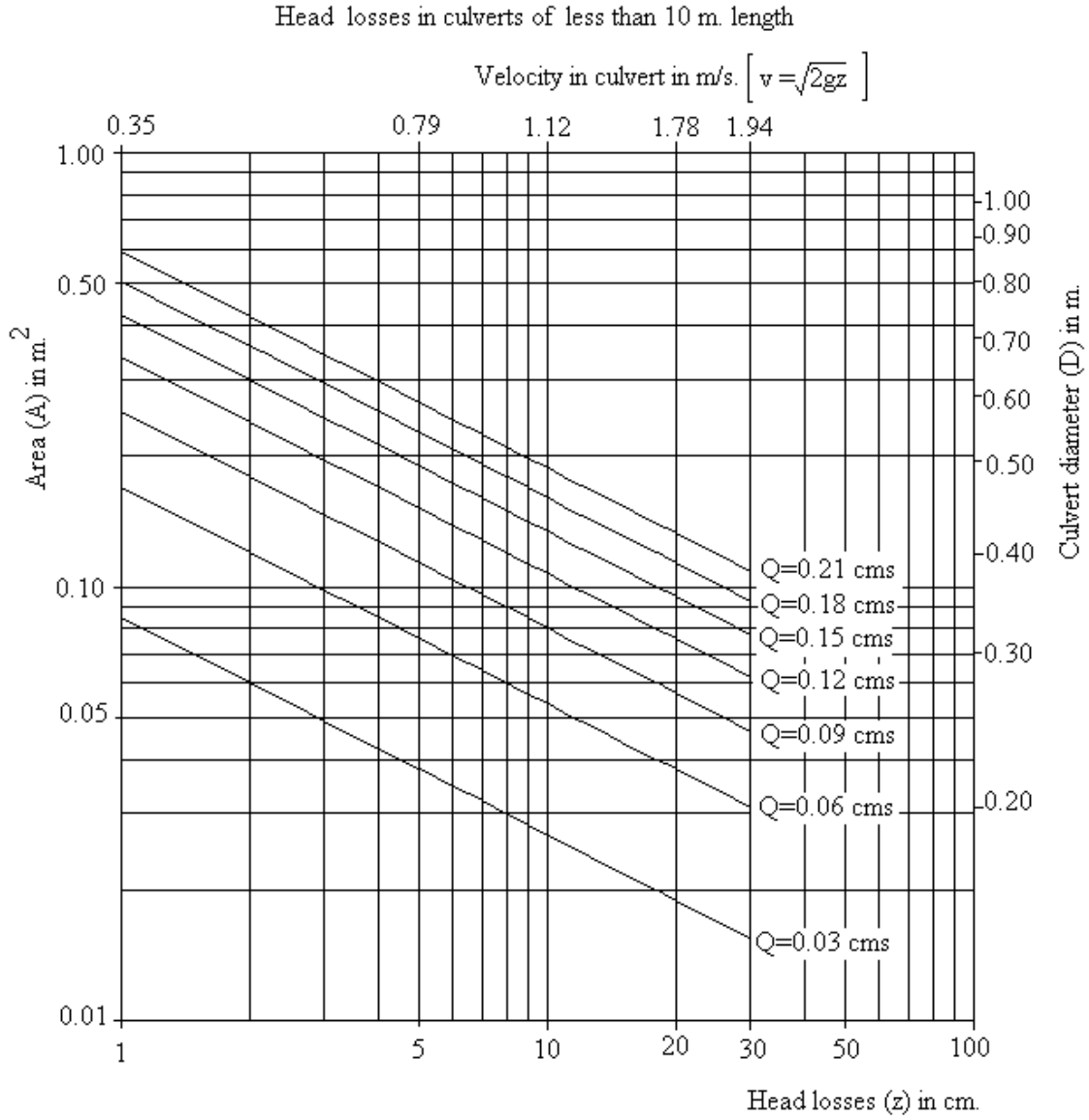
4. ท่อส่งน้ำเข้านาท่อหนึ่ง ๆ ให้ส่งน้ำให้พื้นที่ไม่เกิน 25 ไร่

5. ทุกแปลงกรรมสิทธิ์ต้องมีท่อส่งน้ำเข้านา 1 ท่อเป็นอย่างน้อย

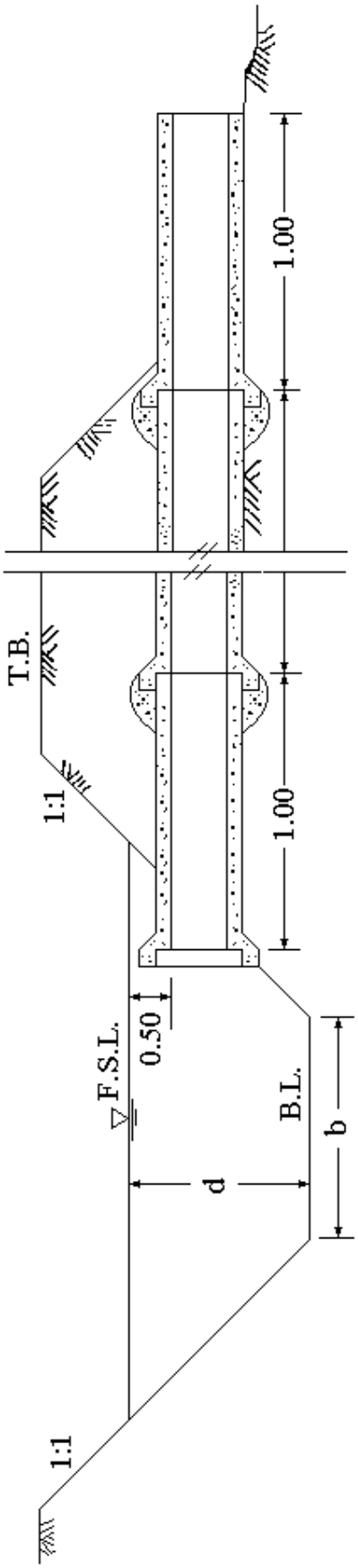
6. ความยาวใช้ 3.00 เมตร สำหรับท่อที่ผังลอดคันคูน้ำและ 7.00 เมตร สำหรับท่อที่ลอดทางลำเลียง

ข. <u>การติดตั้งอาคาร</u>

รูปที่ 10.22 แสดงการติดตั้งท่อส่งน้ำเข้านา โดยใช้ปลายด้านคูส่งน้ำอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ 5 ซม. และปลายด้านแปลงนาวางอยู่บนพื้นดิน ส่วนการติดตั้งท่อส่งน้ำเข้าคูแยกซอยเหมือนกับการติดตั้งท่อลอด




**รูปที่ 10.21 กราฟสำหรับหาขนาดท่อลอดซึ่งยาวไม่เกิน 10 เมตร**




รูปที่ 10.22 ท่อส่งน้ำเข้านา (วรานุ. 2525)

**ตารางที่ 10.7** อิทธิพลของระดับน้ำที่ยกตัวขึ้นเนื่องจากท่อลอดที่ระยะทางต่าง ๆ

| Z* (ซม.) | ระยะทางนับจากท่อลอด เป็นเมตร | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | S = 0.2 % | | | S = 0.3 % | | | S = 0.4 % | | | S = 0.5 % | | |
| | ความลึกของน้ำในคู (เมตร) | | | ความลึกของน้ำในคู (เมตร) | | | ความลึกของน้ำในคู (เมตร) | | | ความลึกของน้ำในคู (เมตร) | | |
| | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.6 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 388 | 465 | 555 | 259 | 324 | 388 | 194 | 243 | 291 | 155 | 194 | 233 |
| 0.5 | 766 | 915 | 1155 | 511 | 638 | 766 | 383 | 479 | 575 | 306 | 383 | 460 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 412 | 498 | 711 | 275 | 332 | 474 | 206 | 249 | 356 | 165 | 199 | 284 |
| 1 | 908 | 963 | 1035 | 605 | 642 | 690 | 454 | 481 | 518 | 363 | 385 | 414 |
| 0.5 | 1268 | 1413 | 1575 | 845 | 942 | 1050 | 634 | 706 | 788 | 507 | 565 | 630 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 268 | 318 | 327 | 179 | 212 | 218 | 134 | 159 | 164 | 107 | 127 | 131 |
| 2 | 680 | 815 | 1038 | 453 | 543 | 692 | 340 | 408 | 519 | 272 | 326 | 415 |
| 1 | 1176 | 1280 | 1362 | 784 | 854 | 908 | 588 | 640 | 681 | 470 | 512 | 545 |
| 0.5 | 1536 | 1730 | 1902 | 1024 | 1154 | 1268 | 768 | 865 | 951 | 614 | 692 | 761 |

* สมมุติว่าการสูญเสียระดับน้ำในท่อลอดเท่ากับ 2, 4, 6 ซม. ตามลำดับ

### 10.5.6 ตัวอย่างการออกแบบจัดรูปที่ดิน

ตัวอย่างนี้จะแสดงการออกแบบจัดรูปที่ดินเป็นขั้น ๆ ตั้งแต่เริ่มแรกตามกฎเกณฑ์และวิธีการที่กล่าวมาแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 10.23 ถึง 10.30 ดังนี้

1. รูปที่ 10.23 และ 10.24 เป็นแผนที่แสดงระดับดินและแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินเดิมซึ่งเป็นข้อมูลที่ต้องใช้ในการออกแบบ

2. รูปที่ 10.25 แสดงการวางแนวคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียงลงในแผนที่ระดับดิน โดยพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศ และเกณฑ์ในการวางแนวระบบชลประทาน

3. รูปที่ 10.26 เป็นการจำลองแนวคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียงลงในแผนที่แปลงกรรมสิทธิ์ที่ดิน เพื่อนำเอาไปตรวจสอบแนวจริงใจสนาม หากไม่เหมาะสมให้แก้ไขเท่าที่จำเป็น

4. รูปที่ 10.27 แสดงการออกแบบแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินใหม่ตามเกณฑ์ในการออกแบบแปลงกรรมสิมธิ์ (ในที่นี้หัก 5 % เป็นพื้นที่สาธารณะ) หลังจากนั้นจึงดำเนินการประชุมเกษตรกรเพื่อชี้แจงสภาพการถือครองใหม่เพื่อให้เกษตรกรลงนามยินยอมเพื่อจะได้ไม่มีปัญหาในภายหลัง

5. รูปที่ 10.28 กำหนดชื่อคูส่งน้ำและคูระบายน้ำพร้อมทั้งลงหลักกิโลเมตร

6. รูปที่ 10.29 เขียนแนวระดับดินเดิมตามคูน้ำเพื่อการกำหนดความลาดเทของกันคู

7. รูปที่ 10.30 หาขนาดคูน้ำจากพื้นที่ที่คูแต่ละสายควบคุมอยู่ คำนวณมิติต่าง ๆ ของคูน้ำจากสูตรของ Manning แล้วนำไปเขียนลาดกันคูและลาดผิวน้ำในรูปที่ 10.29

8. กำหนดจุดที่ตั้งอาคารควบคุมน้ำในคูเช่น อาคารรับน้ำปากคู อาคารแบ่งน้ำ อาคารอัดน้ำ อาคารน้ำตกอัดน้ำ ท่อลอด ท่อส่งน้ำเข้าแปลงนา และกำหนดระดับดินในแปลงตามแนวคูส่งน้ำลงในรูปที่ 10.28 พิจารณาคูส่งน้ำ 4(1L-1R) และ 4.2(1L-1R) ตามรูปที่ 10.28 จะต้องมีอาคารควบคุมน้ำดังต่อไปนี้

<u>CHO</u> เป็นอาคารควบคุมน้ำปากคูที่ กม. 0+000

<u>ท่อลอด</u> จำนวน 6 แห่ง เพื่อให้มีทางเข้าถึงแปลงนาทุกแปลง ทั้งนี้พิจารณาว่าแปลง 102 สามารถเข้าถึงได้โดยทางลำเลียงตามแนวคลองซอย 1L-1R

<u>อาคารแบ่งน้ำ</u> 1 แห่งที่ กม. 0+380 เพื่อแบ่งน้ำเข้าคูซอย 4.2(1L-1R)

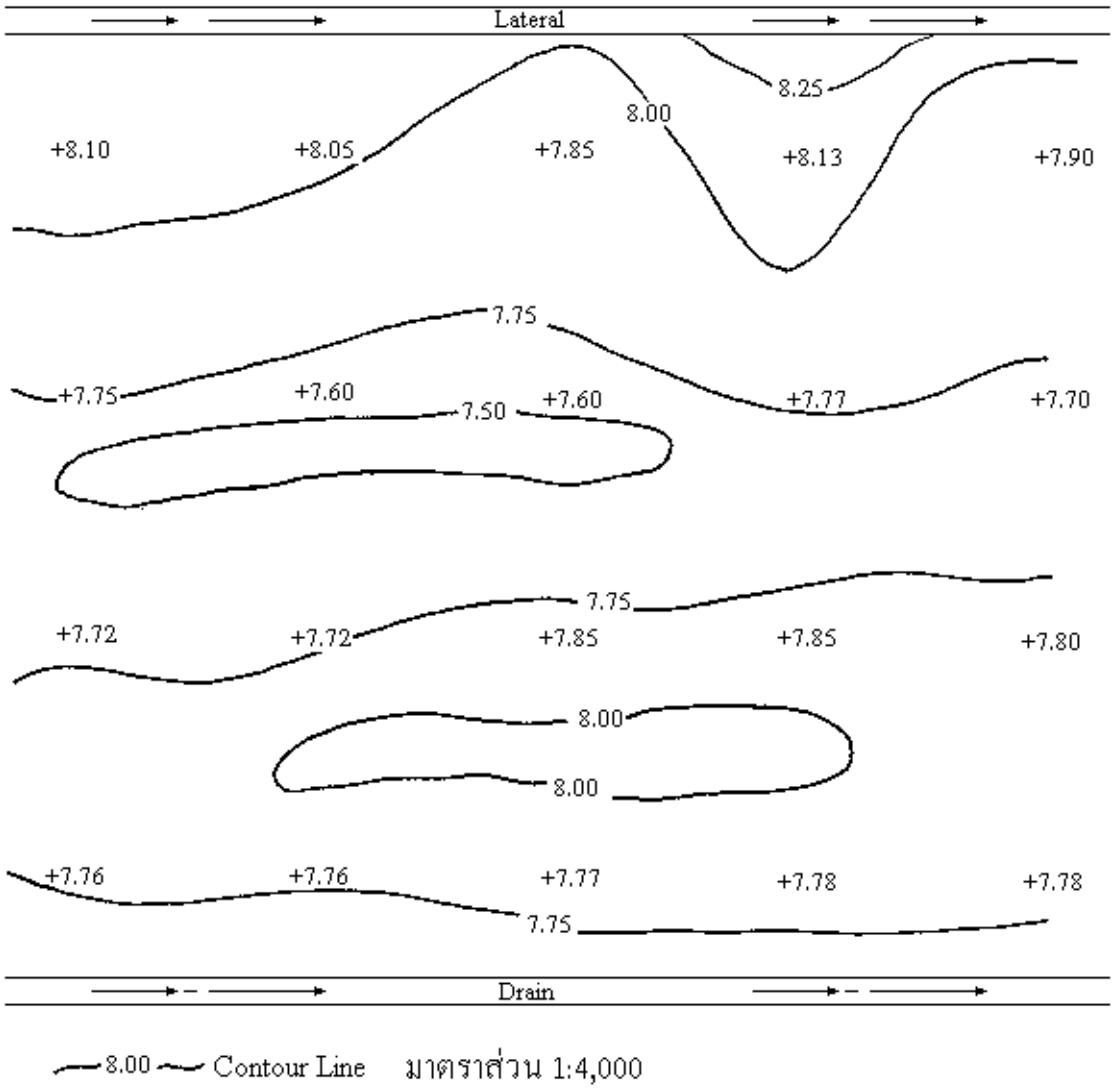
<u>ท่อส่งน้ำเข้านา</u> 23 แห่งตามคูส่งน้ำ 4(1L-1R) และ 4 แห่งตามแนวคูส่งน้ำซอย 4.2(1L-1R)

จากการพิจารณาสภาพภูมิประเทศและแผนการส่งน้ำหมุนเวียนแล้วพบว่าเมื่อมีอาคารแบ่งน้ำที่ กม. 0+380 แล้ว ไม่จำเป็นต้องมีอาคารอัดน้ำในคูส่งน้ำ 4(1L-1R) และ 4.2(1L-1R) เพราะอาคารแบ่งน้ำจะทำหน้าที่เป็นอาคารอัดน้ำไปในตัว ซึ่งแผนการส่งน้ำหมุนเวียนสามารถจัดทำโดยการแบ่งพื้นที่หมุนเวียนของคูส่งน้ำ 4(1L-1R) ออกเป็น 3 หน่วยหมุนเวียนย่อยได้ดังนี้

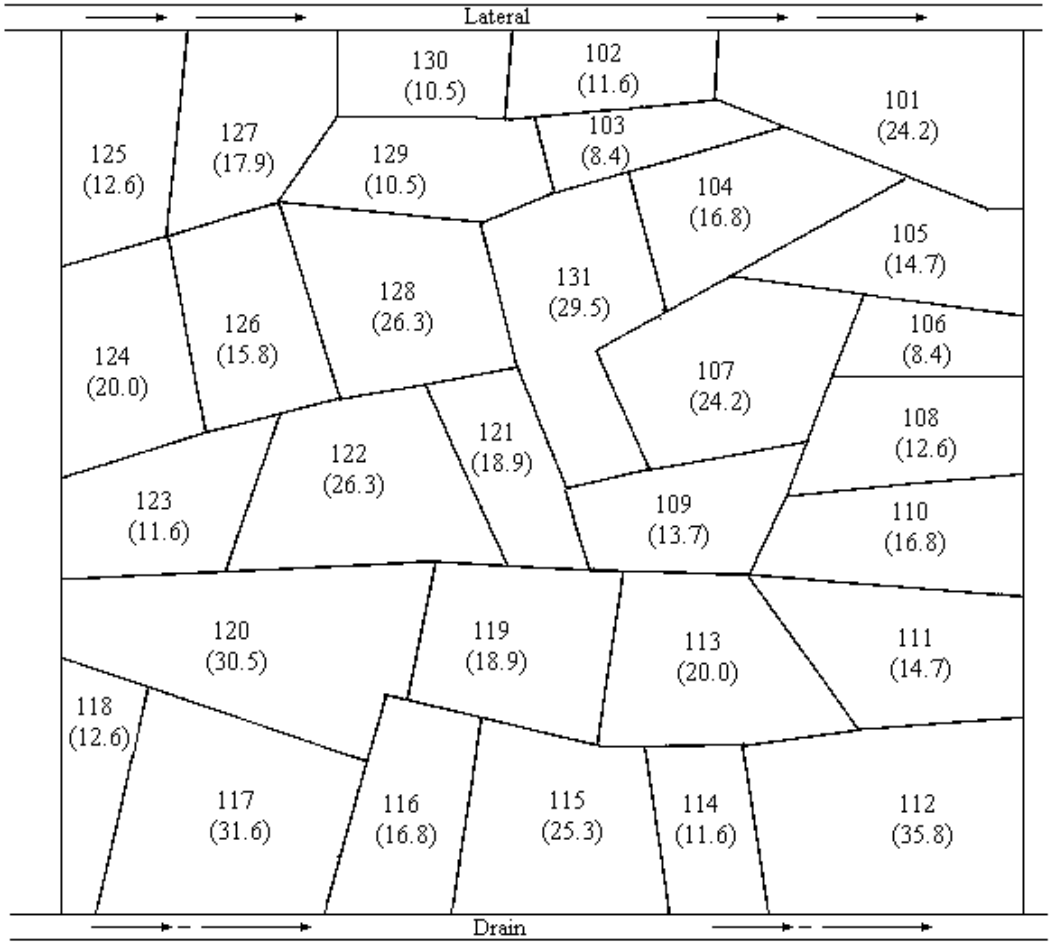
$$Q = 90 \text{ ลิตร/วินาที}$$

$$X = \frac{90}{30} = 3$$

$\therefore$ แต่ละหน่วยหมุนเวียนย่อยจะประกอบด้วยชุดส่งน้ำ 3 ชุด

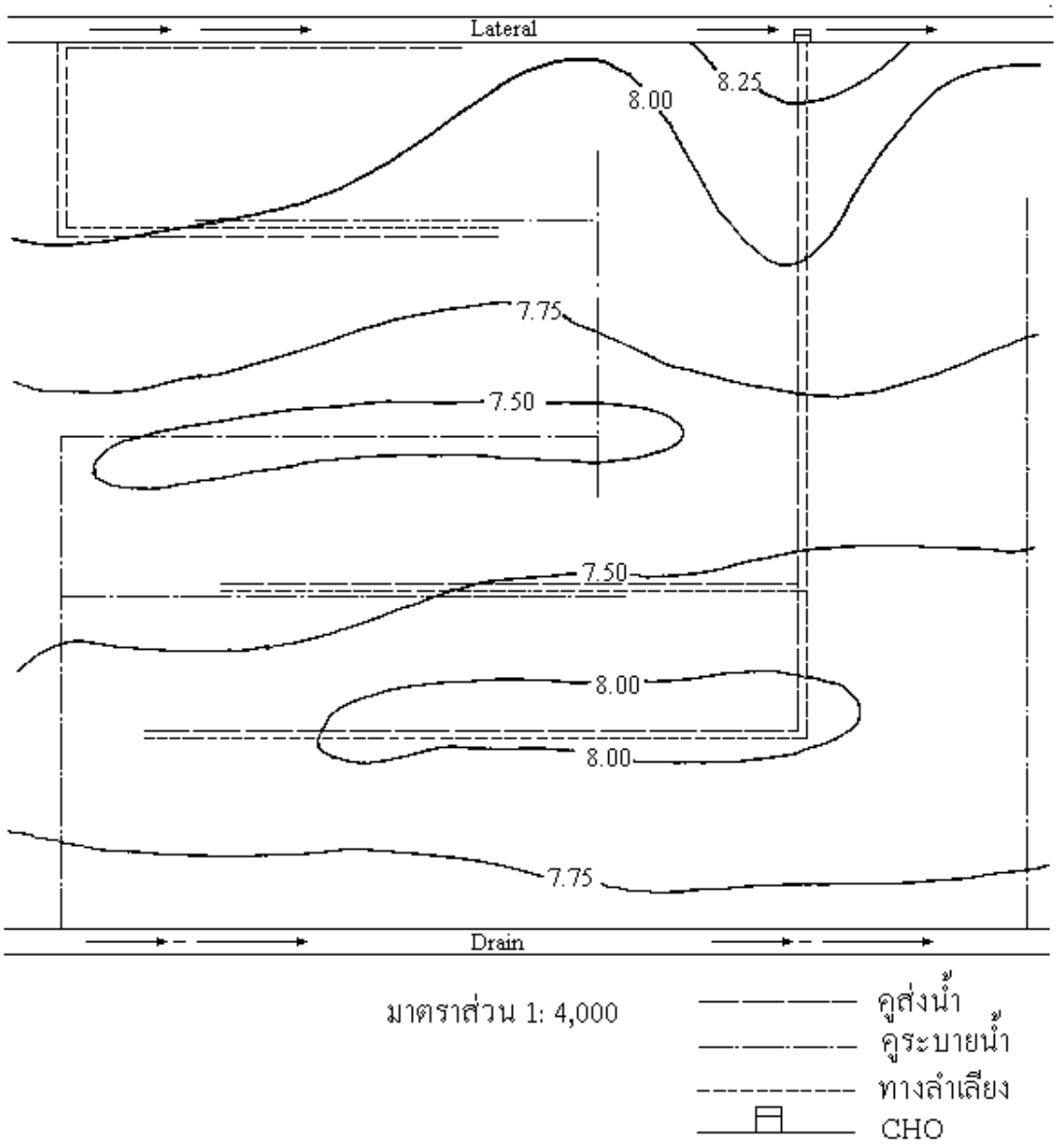



**รูปที่ 10.23 แผนที่ระดับดิน (Spot Height & Contour Map)**

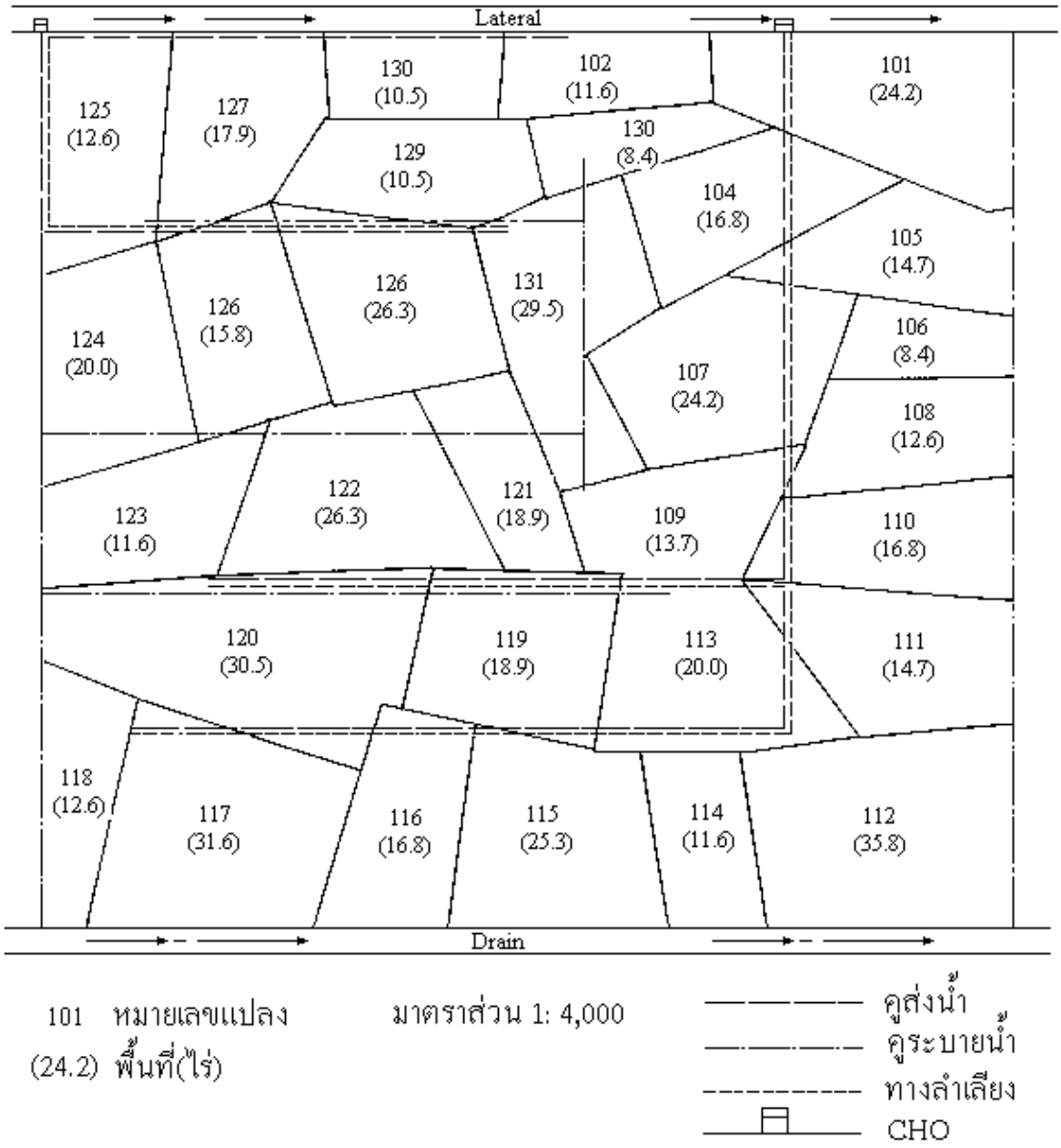



101 หมายเลขแปลง มาตราส่วน 1: 4,000
(24.2) พื้นที่(ไร่)

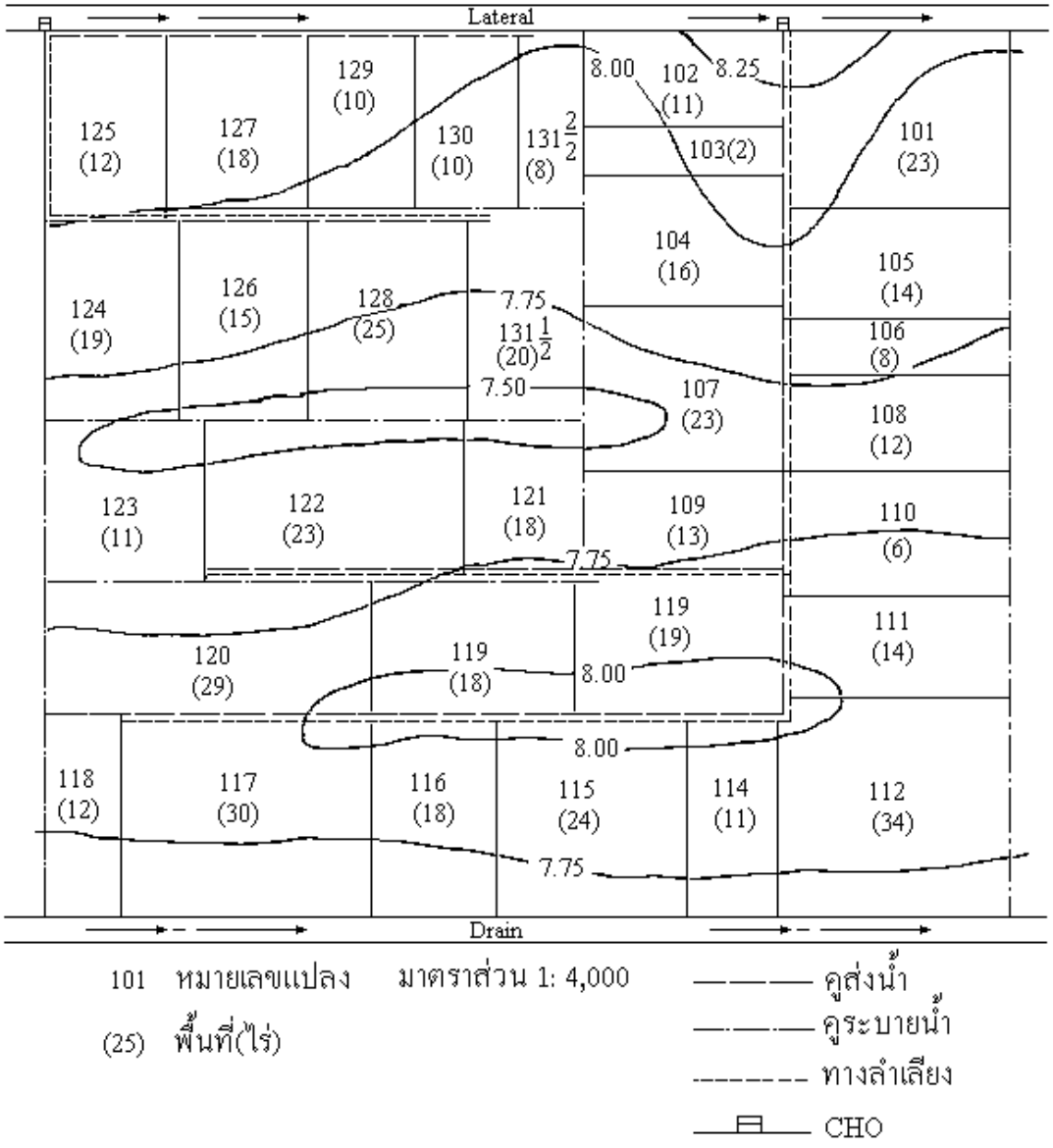
**รูปที่ 10.24 แผนที่แปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินเดิม**



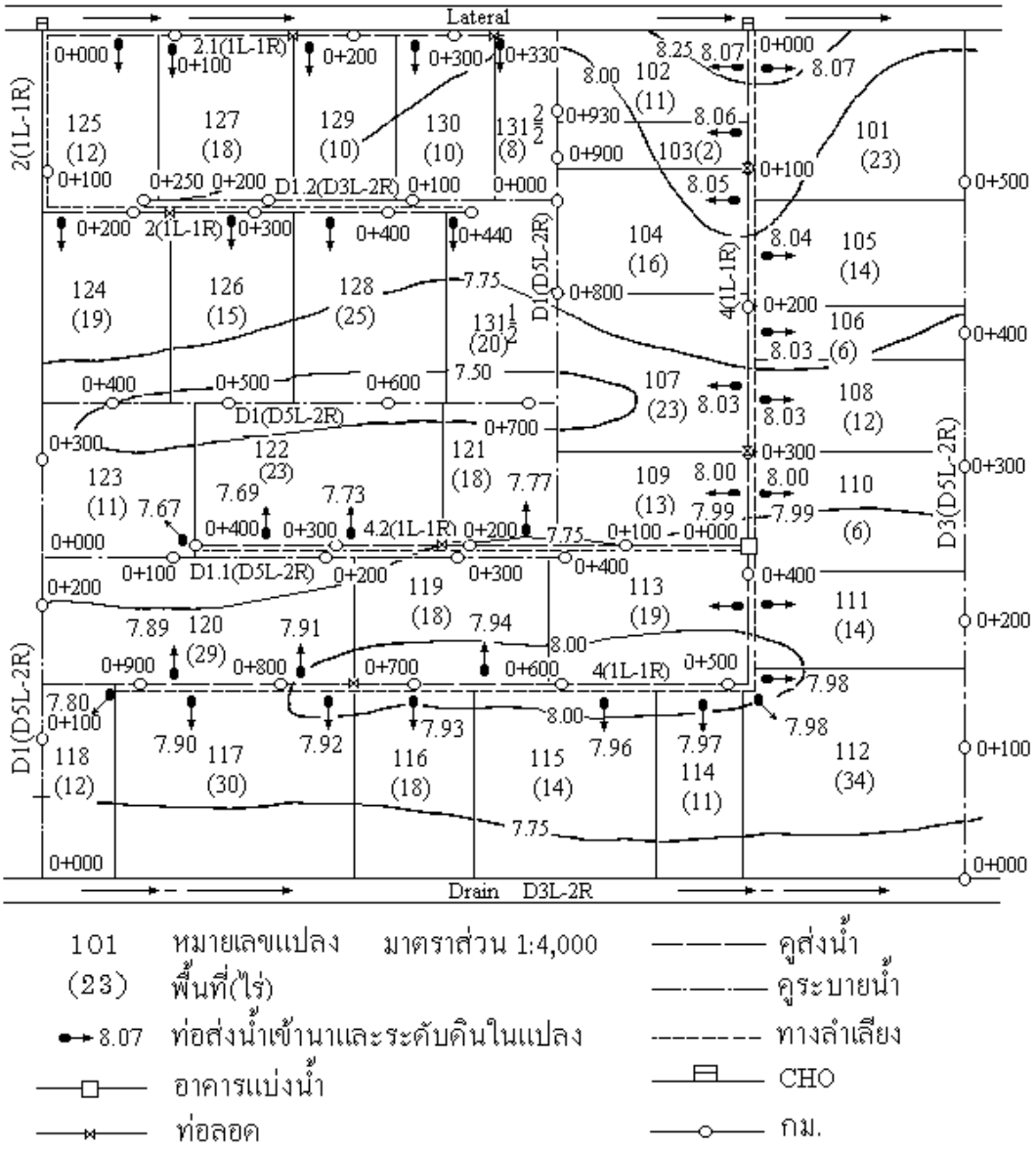

**รูปที่ 10.25 แผนที่แสดงการวางแนวระบบชลประทานในแปลงนา**



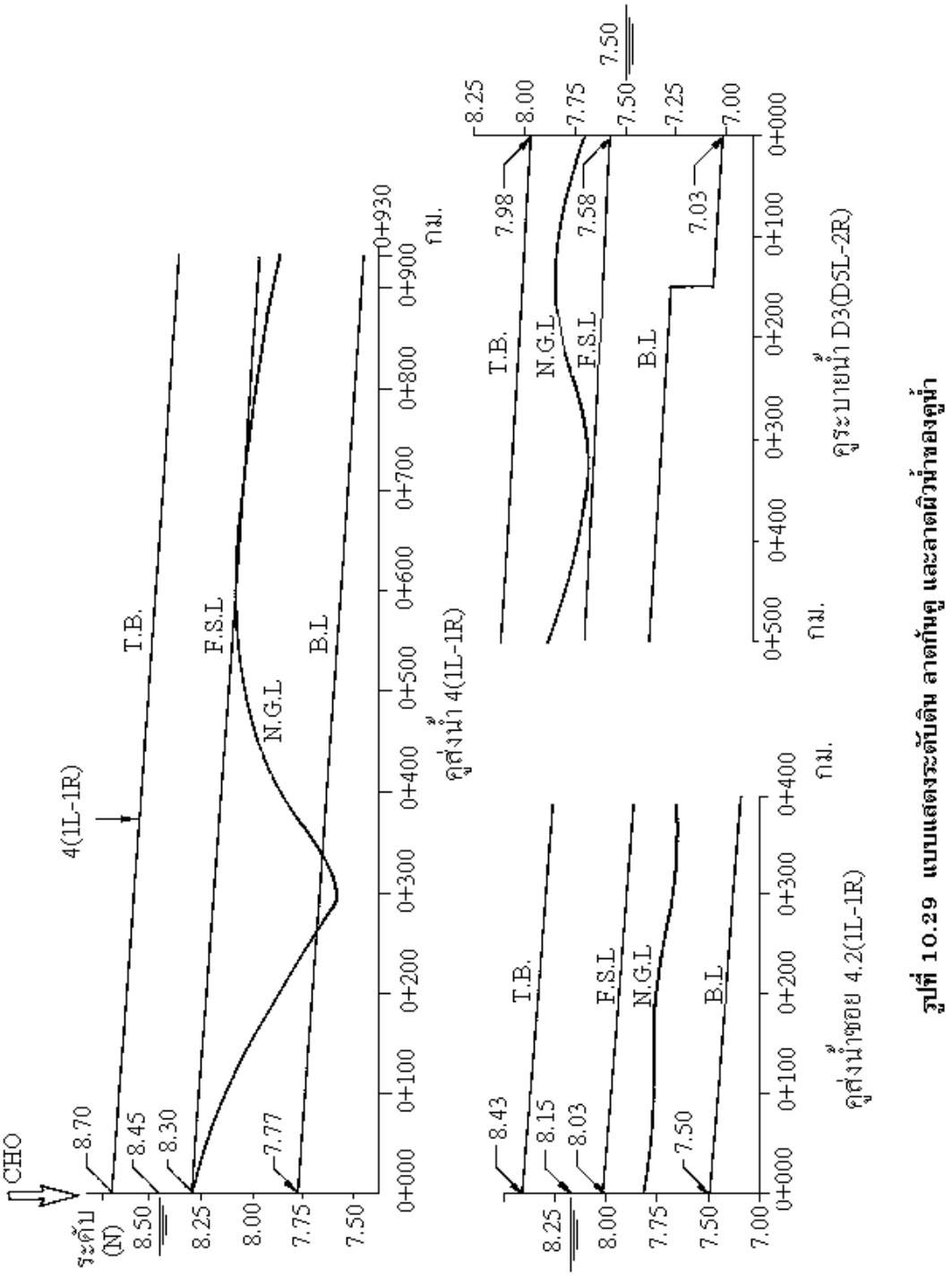

**รูปที่ 10.26 แผนที่แสดงระบบชลประทานและแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินเดิม**




**รูปที่ 10.27 แผนที่แสดงระบบชลประทานและแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินใหม่**




**รูปที่ 10.28 การกำหนดชื่อคูน้ำและหลักกิโลเมตร**




**รูปที่ 10.29 แบบแสดงระดับดิน ลาดตัดคู และลาดผิวน้ำของคูน้ำ**

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 1 ได้แก่พื้นที่ทางด้านเหนือน้ำของอาคารแบ่งน้ำ ซึ่งประกอบด้วยแปลงต่าง ๆ ดังนี้

| หมายเลขแปลง | ขนาดแปลง (ไร่) | ชุดส่งน้ำ |
|---|---|---|
| 101 | 23 | 1 |
| 102 | 11 | 1 |
| 103 | 8 | 2 |
| 104 | 16 | 2 |
| 105 | 14 | 1 |
| 106 | 8 | 2 |
| 107 | 23 | 3 |
| 108 | 12 | 3 |
| 109 | 13 | 3 |
| 110 | 16 | 2 |
| | รวม 144 ไร่ | |

$\therefore Y = \frac{144}{3} = 48$ ไร่

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 1 จะประกอบด้วยชุดส่งน้ำ 3 ชุด ๆ ละ 48 ไร่ ดังแสดง

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 2 ได้แก่พื้นที่ทางด้านท้ายน้ำของอาคารแบ่งน้ำซึ่งจะประกอบด้วยแปลงต่าง ๆ ดังนี้

| หมายเลขแปลง | ขนาดแปลง (ไร่) | ชุดส่งน้ำ |
|---|---|---|
| 111 | 14 | 3 |
| 112 | 34(2 ท่อ) | 3 |
| 113 | 19 | 2 |
| 114 | 11 | 3 |
| 115 | 24 | 1 |
| 116 | 16 | 1 |
| | ท่อ 1-10 ไร่ | 3 |
| 117 | 30 | 2 |
| | ท่อ 2-20 ไร่ | 2 |
| 118 | 12 | 2 |
| 119 | 18 | 2 |
| 120 | 29 (2 ท่อ) | 1 |
| | รวม 207 ไร่ | |

$\therefore Y = \frac{207}{33} = 69$ ไร่

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 2 จะประกอบด้วยชุดส่งน้ำ 3 ชุด ๆ ละ 69 ไร่ ดังแสดง

หน่วยหมุนเวียนย่อยที่ 3 ได้แก่พื้นที่ของคูส่งน้ำ 4.2 (1L-1R) โดยพิจารณาว่าอาคารแบ่งน้ำ กม. 0+380 สามารถแบ่งน้ำเข้าสู่คูสายนี้ได้ด้วยอัตรา 90 ลิตร/วินาที

| หมายเลขแปลง | ขนาดแปลง (ไร่) | ชุดส่งน้ำ | |
|---|---|---|---|
| 121 | 18 | | 1 |
| | | ท่อที่ 1-18 ไร่ | 2 |
| 122 | 25 | | 3 |
| | | ท่อที่ 2-7 ไร่ | 3 |
| 123 | 11 | | 3 |
| | รวม 54 ไร่ | | |

$$\therefore \quad Y = \frac{54}{3} = 18 \text{ ไร่}$$

8. คำนวณมิติและระดับต่าง ๆ ของอาคาร แต่ในที่นี้ไม่ได้แสดงรายละเอียดไว้ เพราะเคยกล่าวถึงขั้นตอนการคำนวณออกแบบอาคารต่าง ๆ ไว้อย่างละเอียดแล้วในหัวข้อ 10.5.5

1. คูส่งน้ำ

(เกณฑ์การออกแบบคูส่งน้ำ 0.21 ลิตร/วินาที/ไร่)

| ชื่อคู | กม. | Q ลิตร/วินาที | n | SS | S % | b. ม. | d ม. | V ม./วินาที | F ม. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2(1L-1R) | 0+000 ถึง 0+440 | 30 | 0.05 | 1:1 | 0.04 | 0.50 | 0.30 | 0.13 | 0.40 |
| 2.1(1L-1R) | 0+000 ถึง 0+330 | 30 | 0.05 | 1:1 | 0.04 | 0.50 | 0.30 | 0.13 | 0.40 |
| 4(1L-1R) | 0+000 ถึง 0+930 | 90 | 0.05 | 1:1 | 0.04 | 0.50 | 0.53 | 0.17 | 0.40 |
| 4.2(1L-1R) | 0+000 ถึง 0+400 | 90 | 0.05 | 1:1 | 0.04 | 0.50 | 0.53 | 0.17 | 0.40 |

1. คูระบายน้ำ

(เกณฑ์การออกแบบคูระบายน้ำ 0.85 ลิตร/วินาที/ไร่)

| ชื่อคู | กม. | Q ลิตร/ วินาที | n | SS | S % | b. ม. | d ม. | V ม./ วินาที | F ม. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D1(D5L-2R) | 0+000 ถึง 0+230 | 340 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.70 | 0.69 | 0.35 | 0.40 |
| | 0+230 ถึง 0+600 | 255 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.60 | 0.63 | 0.33 | 0.40 |
| | 0+600 ถึง 0+800 | 170 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.50 | 0.55 | 0.30 | 0.40 |
| | 0+800 ถึง 0+930 | 85 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.50 | 0.39 | 0.20 | 0.40 |
| D1.1(D5L-1R) | 0+000 ถึง 0+390 | 85 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.50 | 0.39 | 0.20 | 0.40 |
| D1.2(D5L-2R) | 0+000 ถึง 0+280 | 85 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.50 | 0.39 | 0.20 | 0.40 |
| D1.3(D5L-2R) | 0+000 ถึง 0+040 | 85 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.50 | 0.39 | 0.20 | 0.40 |
| D3(D5L-2R) | 0+000 ถึง 0+150 | 170 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.50 | 0.55 | 0.30 | 0.40 |
| | 0+150 ถึง 0+500 | 85 | 0.025 | 1:1 | 0.03 | 0.50 | 0.39 | 0.30 | 0.40 |

**รูปที่ 10.30 การหาขนาดและมิติต่าง ๆ ของคูน้ำ**

## 10.6 เอกสารอ้างอิง


1. วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2525). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศ.ชป. 425 การออกแบบระบบชลประทานบนแปลงเพาะปลูก. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

2. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศ์ธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบระบบชลประทานบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

3. Ilaco & Nedeco (1973) , Land Consolidation Project in The Central Plain of Thailand, Final Report, Volume 2. Technical Report, November.

4. United States Bureau of Reclamation (1978). Design of Small Canal Structures, Water Resources Technical Publication, Denver, Co lorado, USA.

# บทปฏิบัติการที่ 10
# การออกแบบจัดรูปที่ดิน

กำหนดแผนที่ระดับดิน และแผนที่แปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ รายละเอียดแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินเดิม แสดงอยู่ในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** รายละเอียดแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินเดิม

| หมายเลขแปลง | พื้นที่ (ไร่) | หมายเลขแปลง | พื้นที่ (ไร่) |
|---|---|---|---|
| 101 | 24.2 | 111 | 36.8 |
| 102 | 23.1 | 112 | 38.4 |
| 103 | 29.4 | 113 | 26.3 |
| 104 | 34.7 | 114 | 31.0 |
| 105 | 35.8 | 115 | 16.8 |
| 106 | 36.9 | 116 | 44.2 |
| 107 | 18.9 | 117 | 11.6 |
| 108 | 37.9 | 118 | 35.8 |
| 109 | 25.2 | 119 | 30.9 |
| 110 | 22.1 | | |
| รวม 560 ไร่ | | | |

จงดำเนินการออกแบบจัดรูปที่ดิน ดังต่อไปนี้

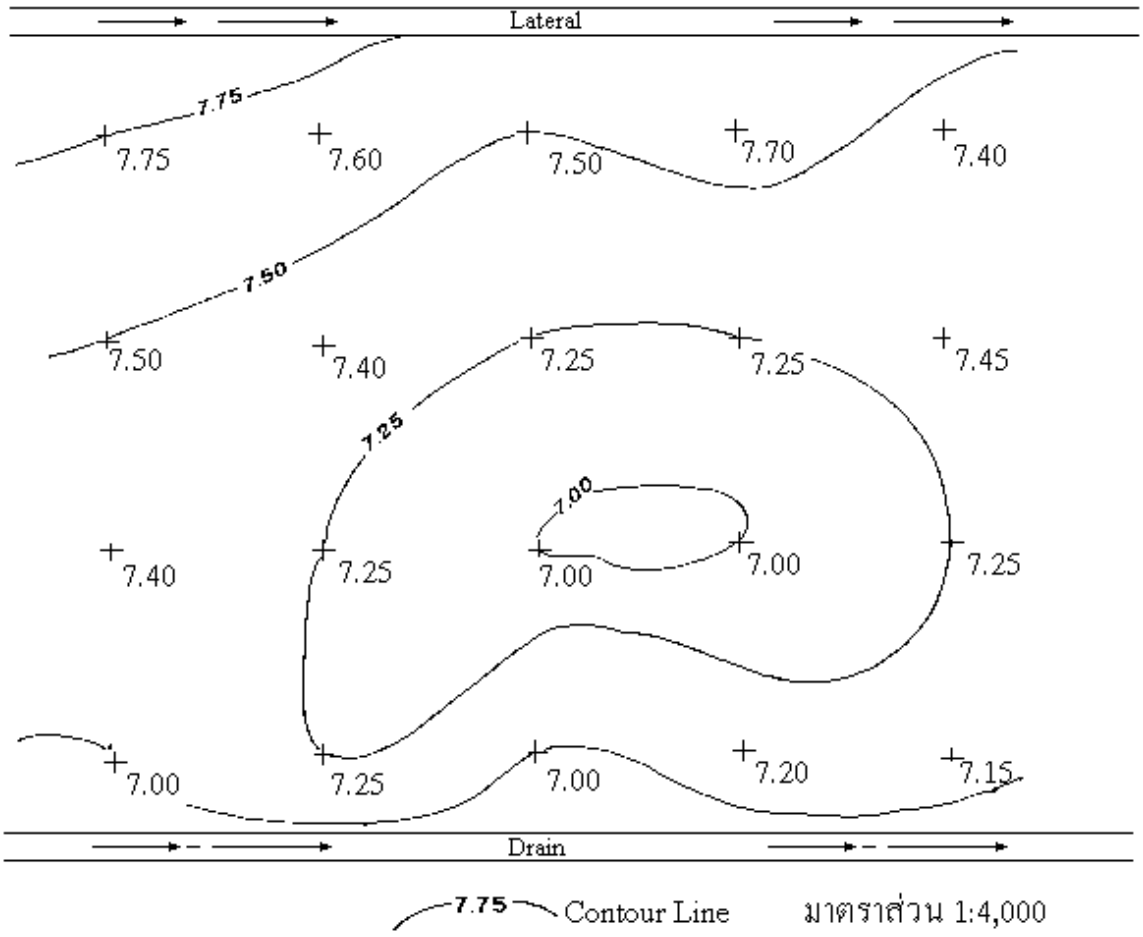
(1) วางแนวคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และทางลำเลียง ลงในแผนที่ระดับดิน โดยพิจารณาจากสภาพภูมิประเทศ ขอบเขตแปลงกรรมสิทธิ์ที่ดินเดิม และเกณฑ์ในการออกแบบระบบชลประทานในแปลงนา

(2) กำหนดชื่อคูส่งน้ำ คูระบายน้ำ และกำหนดหลักกิโลเมตร

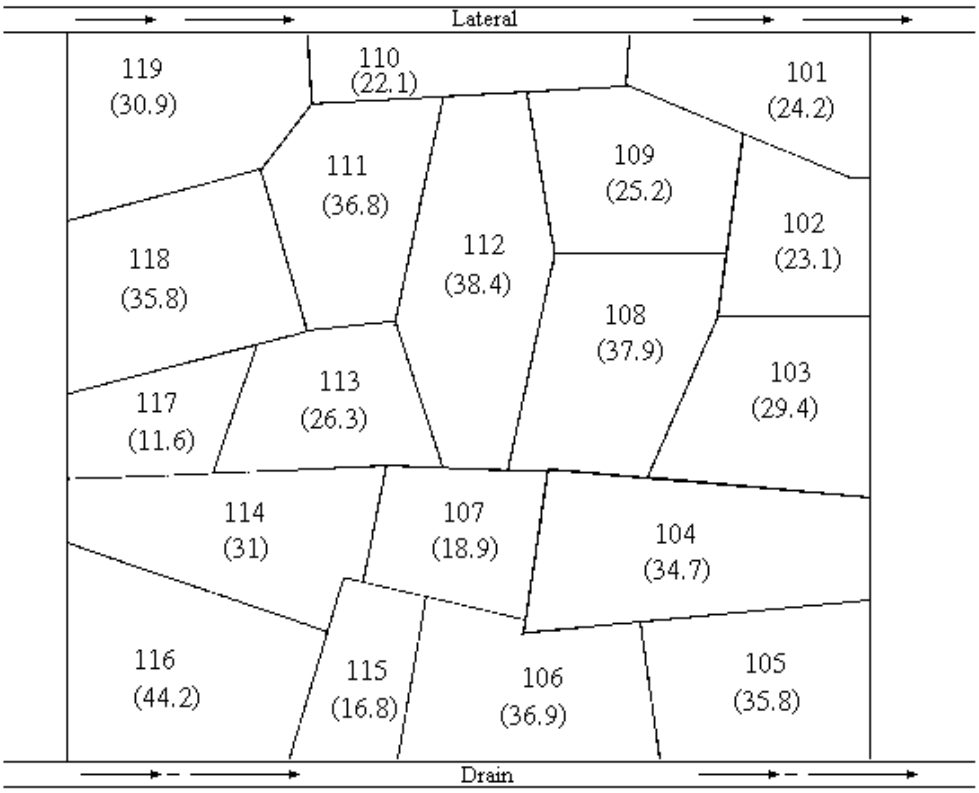
(3) เขียนระดับดินตามแนวคูส่งน้ำ และกำหนดความลาดเทของก้นคู

(4) คำนวณหาขนาดคูส่งน้ำพร้อมกำหนดมิติต่าง ๆ และเขียนลาดก้นคูและลาดผิวน้ำลงในระดับดินใน (3)

(5) กำหนดจุดที่ตั้งอาคารควบคุม พร้อมออกแบบรายละเอียด




**รูปที่ 1 แผนที่ระดับดิน**




**รูปที่ 2 แผนที่กรรมสิทธิ์ที่ดินเดิม**

# บทที่ 11
# การออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน
# (Design of Pipe Irrigation Systems)

## 11.1 คำนำ

การส่งน้ำชลประทานโดยระบบท่อส่งน้ำได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้เป็นเวลาร่วมศตวรรษและเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการส่งน้ำโดยระบบทางน้ำเปิดเช่น ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยและการรั่วซึมไม่เสียที่ดินเพาะปลูกในการทำคู-คลองส่งน้ำ ไม่เป็นอุปสรรคในการทำงานของเครื่องจักร ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับวัชพืชเหมือนระบบคลอง การควบคุมน้ำทำได้ง่ายและใช้แรงงานน้อยกว่า นอกจากนี้ยังใช้ได้ดีในบริเวณพื้นที่ที่ไม่ราบเรียบ เป็นคลื่นเป็นเนิน หรือเป็นไปได้แม้กระทั่งการส่งน้ำย้อนความลาดเทของพื้นที่ แต่ข้อเสียคือค่าลงทุนครั้งแรกสูงมาก จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างระบบท่อส่งน้ำและระบบคลองส่งน้ำพบว่าระบบท่อส่งน้ำจะลดการสูญเสียน้ำประมาณ 30-50 เปอร์เซ็นต์ ลดการสูญเสียพื้นที่ประมาณ 3-4 เปอร์เซ็นต์ และประหยัดแรงงานในการควบคุมน้ำประมาณ 60-75 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในบริเวณที่มีปัญหาการขาดแคลนน้ำ ขาดแคลนแรงงาน สภาพภูมิประเทศไม่เอื้ออำนวยต่อการส่งน้ำด้วยทางน้ำเปิด และการปรับพื้นที่ต้องเสียค่าลงทุนมาก ควรจะได้มีการพิจารณาใช้การส่งน้ำโดยระบบท่อ

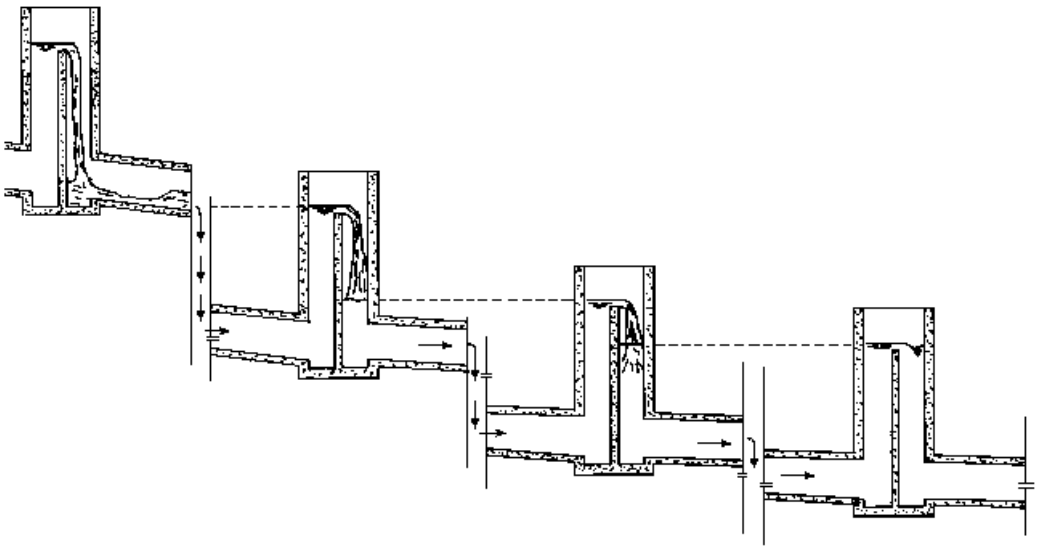
## 11.2 ชนิดของระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน

ระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทานจะมีลักษณะคล้ายกับระบบคลอง-คูส่งน้ำ คือ มีท่อประธานซึ่งทำหน้าที่นำน้ำจากแหล่งน้ำส่งต่อให้กับท่อแยก เพื่อแจกจ่ายต่อไปยังอาคารควบคุมการแจกจ่ายน้ำในแปลงเพาะปลูกอีกทีหนึ่ง จะแตกต่างกันก็เพียงแต่การส่งน้ำโดยระบบท่อส่งน้ำอาศัยความดันซึ่งเกิดจากการติดตั้งถังน้ำไว้ในที่สูงหรือจากเครื่องสูบน้ำเพื่อทำให้น้ำไหลไปยังจุดต่าง ๆ ตามปริมาณและความดันที่ต้องการ ส่วนการส่งน้ำโดยระบบคลอง-คูส่งน้ำ จะเป็นเพียงการกำหนดระดับต่าง ๆ ของคลอง-คูส่งน้ำ และระดับผิวดินในแปลงให้สัมพันธ์กันเพื่อให้น้ำไหลไปเองด้วยแรงดึงดูดของโลก

ระบบท่อส่งน้ำเท่าที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมี 3 ระบบ คือ ระบบเปิด (Open System) ระบบความดัน (Full-Pressure System) และระบบกึ่งปิด (Semiclosed System) แต่ละระบบจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ความดันของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ ชนิดของท่อ ลักษณะของอาคารควบคุมน้ำ วิธีการในการควบคุมน้ำ ตลอดจนราคาค่าลงทุนในการก่อสร้างระบบ ซึ่งจะแยกกล่าวถึงในหัวข้อต่อไปนี้

### 11.2.1 ระบบท่อส่งน้ำแบบเปิด (Open System)

ระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทานแบบนี้บางครั้งอาจจะเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ระบบจำกัดความดัน (Limited Pressure Pipe System) ซึ่งเป็นระบบที่มีลักษณะใกล้เคียงกับระบบคลอง-คูส่งน้ำมากที่สุด ลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบเปิดจะประกอบไปด้วยถังเปิดซึ่งมีฝายน้ำล้นติดตั้งอยู่ภายใน (Open-Top Stand with Overflow Weirs หรือ Baffles) ซึ่งถังเปิดดังกล่าวจะติดตั้งอยู่บนท่อส่งน้ำเป็นระยะ ๆ เพื่อควบคุมความดันภายในท่อทางด้านเหนือน้ำให้อยู่ในระดับที่ต้องการ น้ำที่ส่งมาตามท่อจะถูกแจกจ่ายออกไปตามท่อแยก (Lateral) และท่อแยกย่อย (Sublateral) สู่หัวแจกจ่ายน้ำ (Delivery Point) ในแปลงเพาะปลูก ส่วนที่เกินความต้องการของพื้นที่ที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำของถังเปิดที่หนึ่งก็จะไหลผ่านฝายน้ำล้นเข้าสู่ถังเปิดที่สอง ส่วนที่เหลือจากถังเปิดที่สองก็จะไหลถังเปิดที่สาม และต่อไปเรื่อย ๆ จนลงทางระบายน้ำดังแสดงในรูปที่ 11.1 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบคลอง - คูส่งน้ำ จะเห็นได้ว่าถังแบฟเฟิล (Baffle Stand) ในระบบเปิดจะทำหน้าที่เหมือนกับอาคารอัดน้ำ (Check) และหัวแจกจ่ายน้ำ (Delivery Point) จะทำหน้าที่เหมือนท่อส่งน้ำเข้านา (Farm Inlet) ในระบบคลอง-คูส่งน้ำนั่นเอง



**รูปที่ 11.1 ลักษณะท่อส่งน้ำแบบเปิด**

ในการออกแบบระบบท่อส่งน้ำนอกจากจะให้มีขนาดพอที่น้ำจะไหลได้ตามความต้องการและมีความดันมากพอที่น้ำจะไหลไปถึงปลายท่อ สิ่งที่จะต้องคำนึงถึงคือ ความดันภายในท่อที่เกิดขึ้นจริง ๆ ขณะที่การส่งน้ำต้องไม่มากจนทำให้ท่อแตก ตามปกติการออกแบบระบบเปิดหรือระบบจำกัดความดันจะออกแบบให้มีความดันต่ำ โดยมีความดันมากที่สุดไม่เกิน 7.5 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างถังเปิดที่สูงมากเกินไป จึงทำให้สามารถใช้ท่อคอนกรีตธรรมดาแบบไม่เสริม (Unreinforced Concrete Pipe) ซึ่งมีราคาถูกได้ ในการใช้ท่อคอนกรีตแบบไม่เสริมนี้จะต้องออกแบบให้ความดันใช้งาน (Operating Pressure) ต่ำกว่าความดันระเบิด (Bursting Pressure) มาก ๆ ซึ่งสมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM) ได้กำหนดเกณฑ์ความปลอดภัย (Safety Factor) ในการออกแบบไว้เท่ากับ 6 และได้เสนอแนะค่าความดันมากที่สุดสำหรับการออกแบบท่อขนาดต่าง ๆ ไว้ในตารางที่ 11.1

**ตารางที่ 11.1 ความดันมากที่สุดสำหรับการออกแบบท่อคอนกรีตธรรมดาขนาดต่าง ๆ (ASTM)**

| ขนาดท่อ | | ความดันมากที่สุดวัดจากศูนย์กลางท่อ | |
|---|---|---|---|
| นิ้ว | ซม. | ฟุต | เมตร |
| 10 | 25 | 25 | 7.5 |
| 12 | 30 | 20 | 6.0 |
| 15 | 40 | 20 | 6.0 |
| 18 | 45 | 20 | 6.0 |
| 21 | 50 | 15 | 4.5 |
| 24 | 60 | 15 | 4.5 |

ถ้าจำเป็นต้องออกแบบให้ความดันใช้การในท่อมากกว่าที่กำหนดไว้ใน ตารางที่ 11.1 จะต้องพิจารณาเลือกใช้ท่อคอนกรีตซึ่งหนากว่าธรรมดา หรือใช้ท่อแอสเบสทอสซีเมนต์ (Asbestos-Cement) หรือใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Pipe) แทน

ปัญหาการไหลของน้ำแบบไม่สม่ำเสมอ (Unsteady Flow) และการเกิดเสริจ (Surge) ในท่อส่งน้ำเป็นสิ่งที่ผู้ออกแบบต้องพยายามหลีกเลี่ยงหรือทำให้ลดน้ำลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ซึ่งเรื่องนี้จะสัมพันธ์กับการกำหนดจุดที่ตั้งถังเปิด ท่อระบายอากาศ (Air Vents) และบานควบคุมน้ำต่าง ๆ (Gate) เสริจ (Surge) อาจจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ขณะที่เคลื่อนผ่านถังเปิด ซึ่ง

การป้องกันการขยายตัวของเสริจอาจทำได้โดยการกำหนดจุดที่ตั้งถังเปิดแต่ละคู่ให้มีช่วงห่างไม่เท่ากัน หรือโดยการติดตั้งฝาครอบ (Air Tight Covers) ปิดปากถังเปิดไว้ ซึ่งผาปิดดังกล่าวจะต้องมีอุปกรณ์ระบายอากาศและอุปกรณ์ควบคุมสูญญากาศเพื่อควบคุมความดันและสูญญากาศภายในถังเปิด

### 11.2.2 ระบบท่อส่งน้ำแบบความดัน (Full-Pressure System)

ลักษณะทั่ว ๆ ไปของระบบนี้จะเหมือนกับระบบประปาในเมืองคือ เป็นระบบปิด มีวาล์วเป็นตัวควบคุมความดันและปริมาณน้ำที่ไหลในท่อ การออกแบบจะพิจารณาจากศักยภาพของความดันสูงสุดที่จะเกิดขึ้นภายในท่อคือ ในกรณีที่เปิดวาล์วน้ำหยุดไหลซึ่งจะทำให้ความดันภายในท่อเพิ่มขึ้นเท่ากับความดันสถิตหรือความดันของน้ำนิ่ง (Static Pressure) จึงทำให้ราคาค่าลงทุนค่อนข้างแพงกว่าระบบเปิด เพราะจะต้องใช้ท่อคอนกรีตเสริมเหล็กหรือแอสเบสตอสซึ่งมีราคาแพงและวาล์วที่ทนได้ภายใต้ความดันที่สูงมาก อย่างไรก็ตาม ระบบความดันก็มีข้อดีหลายประการซึ่งเป็นการชดเชยกับที่ต้องเสียค่าลงทุนแพงคือ ไม่มีการสูญเสียน้ำที่ไหลเลยท้ายท่อออกไปจึงไม่จำเป็นต้องมีระบบระบายน้ำเหมือนระบบเปิด และขนาดของท่อส่งน้ำที่ใช้ก็จะมีขนาดเล็กกว่าเมื่อใช้ด้วยวัตถุประสงค์อย่างเดียวกันเนื่องจากวาล์วที่ใช้ควบคุมน้ำจะก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงาน (Friction Loss) น้อยกว่าอาคารควบคุมน้ำของระบบเปิดและคุณภาพของท่อที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไปก็มีคุณสมบัติทางชลศาสตร์ที่ดีกว่า

ปกติแล้วการออกแบบระบบความดันจะต้องมีวาล์วระบายความดัน (Pressure Release Valve) เพื่อระบายความดันในกรณีที่เกิดวอเตอร์แฮมเมอร์ (Water Hammer) เนื่องจากการปิดเปิดวาล์วทางด้านท้ายน้ำ แต่ถ้าไม่มีวาล์วดังกล่าวความดันที่ใช้ในการออกแบบท่อจะต้องคิดจากความดันสถิตรวมกับความดันที่อาจจะเกิดจากวอเตอร์แฮมเมอร์

ปัญหาที่สำคัญของระบบความดันคือ อาจเกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า คาวิเตอร์ชั่น (Cavitation) ขึ้นได้ว่าที่บริเวณวาล์วถ้าหากความดันที่วาล์วแตกต่างกันมากกว่า 10.5 เมตร (35 ฟุต) การแก้ไขอาจจะได้โดยการขยายขนาดท่อทางด้านท้ายน้ำให้โตขึ้นซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวถึงภายหลังในเรื่องที่เกี่ยวกับวาล์ว

### 11.2.3 ระบบท่อส่งน้ำแบบกึ่งปิด (Semiclosed System)

ระบบท่อส่งน้ำแบบกึ่งปิดเป็นระบบที่ผนวกเอาข้อดีของสองระบบแรกเข้าด้วยคือไม่ต้องการระบบระบายน้ำเพราะปลายท่อจะปิดไม่ให้น้ำไหลผ่านและสามารถใช้ได้กับท่อคอนกรีตไม่เสริมธรรมดาซึ่งมีราคาถูกเพราะความดันภายในท่อจะถูกควบคุมด้วยวาล์วลูกลอย (Constant

Head Float Valves) ดังแสดงในรูปที่ 11.2 แต่ลักษณะทั่ว ๆ ไปในการควบคุมน้ำของระบบกึ่งปิดจะคล้ายกับระบบความดัน เนื่องจากวาล์วลูกลายของระบบกึ่งปิดเป็นตัวจำกัดปริมาณน้ำและความดันของน้ำที่ไหลผ่าน จึงเหมาะสำหรับการชลประทานซึ่งไม่ต้องการปริมาณน้ำและความดันมากนักเช่น พื้นที่เล็ก ๆ หรือพื้นที่ที่จำเป็นต้องวางท่อแยก (Lateral) เป็นช่วงสั้น ๆ ซึ่งในกรณีเช่นว่าระบบกึ่งปิดจะเป็นระบบที่ประหยัดที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ

## 11.3 ส่วนประกอบของระบบส่งน้ำเพื่อการชลประทาน

ระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทานจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ เครื่องสูบน้ำ ท่อส่งน้ำ และอาคารควบคุมน้ำแบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 11.3 ซึ่งจะแยกกล่าวถึงรายละเอียดของส่วนต่าง ๆ ในหัวข้อต่อไปนี้ (วราวุธ และพงศธร. 2536)

### 11.3.1 เครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำเป็นส่วนของระบบที่ทำหน้าที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำเพื่อส่งเข้าระบบท่อส่งน้ำตามปริมาณและความดันที่ต้องการในกรณีที่แหล่งน้ำอยู่ต่ำกว่าพื้นที่เพาะปลูก เครื่องสูบน้ำมีมากมายหลายแบบ แต่ละแบบเหมาะสำหรับงานแต่ละลักษณะการเลือกชนิดของเครื่องสูบน้ำจะต้องพิจารณาจากปริมาณน้ำและระยะความสูงของน้ำที่ต้องการสูบ ดังแสดงในตารางที่ 11.2 เช่น ถ้าต้องการสูบน้ำปริมาณน้อยจากแหล่งน้ำที่อยู่ต่ำกว่าพื้นที่มาก ๆ ควรเลือกเครื่องสูบประเภทลูกสูบ (Piston) หรือหอยโข่ง (Centrifugal) ถ้าต้องการสูบน้ำปริมาณมากและระยะความสูงที่สูบน้อยควรเลือกเครื่องสูบน้ำประเภทใบพัดเรือ (Propeller) ถ้าปริมาณน้ำและระยะสูบปานกลางควรเลือกเครื่องสูบน้ำประเภทเทอร์ไบน์ (Turbine) รายละเอียดเกี่ยวกับการเลือกเครื่องสูบน้ำจะหาอ่านได้จากหนังสือเรื่อง “ปั๊มและระบบสูงน้ำ” ของ รศ.ดร. วิบูลย์ บุญยธโรกุล (2529)

สำหรับขนาดของเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ที่ใช้ประกอบกับเครื่องสูบน้ำจะหาได้จากสมการ

$$HP = \frac{\gamma_w \cdot QH}{746.9\, E_p} \qquad \text{----------(11.1)}$$

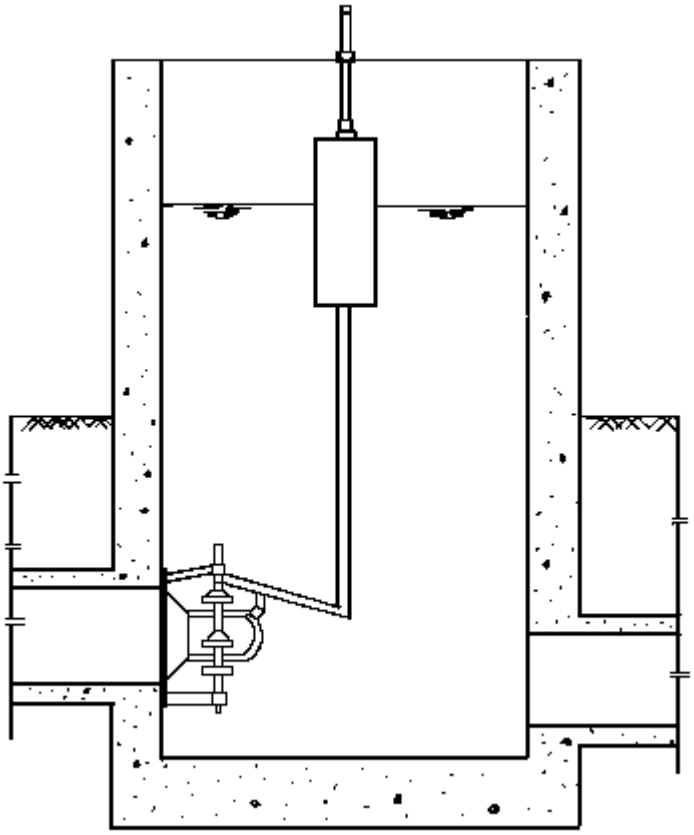
เมื่อ $HP$ = กำลังของเครื่องยนต์ เป็นกำลังม้า

$\gamma_w$ = ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 9800 นิวตัน/ลบ.เมตร

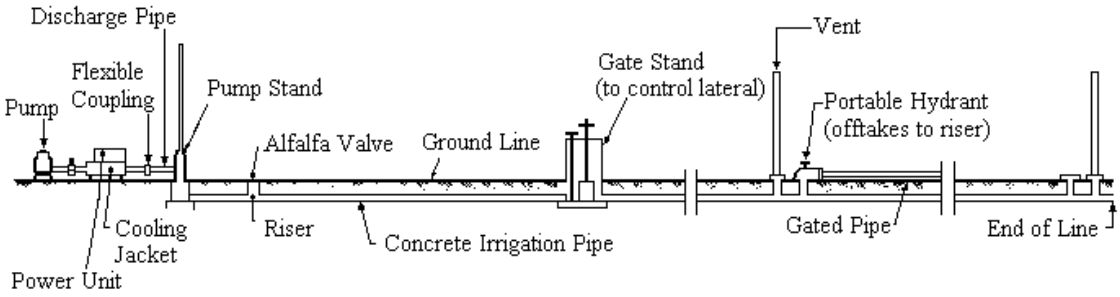
$Q$ = ปริมาณน้ำที่สูบ เป็น ลบ.เมตร/วินาที

$H$ = ระยะความสูงทั้งหมดที่สูบน้ำ (Total Head) เป็นเมตร

$E_p$ = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ



**รูปที่ 11.2** ถังวาล์วลูกลอยสำหรับระบบกึ่งปิด (ความสูงของระดับน้ำในถังจะเป็นตัวกำหนดความดันในท่อทางด้านท้ายน้ำและเป็นตัวควบคุมปริมาณน้ำที่ไหลผ่านวาล์ว)




**รูปที่ 11.3** ส่วนประกอบของระบบส่งน้ำเพื่อการชลประทาน

**ตารางที่ 11.2 คุณสมบัติทั่ว ๆ ไปของเครื่องสูบน้ำแบบต่าง ๆ**

| ประเภทของเครื่องสูบน้ำ | ระยะดูด (Suction) Head) | ระยะส่ง (Discharge) Head) | ปริมาณน้ำที่สูบ (Discharge) Capacity) |
|---|---|---|---|
| ลูกสูบ (Piston หรือ Reciprocating หรือ Displacement) | สูง | สูงมาก | น้อย |
| หอยโข่ง (Centrifugal หรือ Radial Flow) | ปานกลาง | สูง (4 ม. หรือมากกว่า) | น้อยถึงปานกลาง |
| เทอร์ไบน์ (Turbine หรือ Mixed Flow) | ต่ำถึงปานกลาง | ปานกลาง (2 ถึง 8 เมตร) | ปานกลางถึงมาก |
| ใบพัดเรือ (Propeller หรือ Axial Flow) | ต่ำ | ต่ำ (3 ม. หรือน้อยกว่า) | มาก |

### 11.3.2 ท่อส่งน้ำ

ในระบบท่อส่งน้ำจะประกอบด้วยท่อประธาน (Main Pipeline) ท่อแยก (Lateral) และท่อแยกย่อย (Sub-lateral) ซึ่งทำหน้าที่ส่งน้ำที่สูบขึ้นมาส่งต่อไปยังหัวจ่ายน้ำ ขนาดของท่อแต่ละส่วนจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่จะต้องส่งผ่านและการสูญเสียพลังงานที่จะยอมให้เกิดขึ้นขณะที่น้ำไหลผ่านท่อช่วงนั้น ปริมาณน้ำที่ต้องส่งผ่านท่อแต่ละช่วงจะแปรผันไปตามขนาดของพื้นที่ที่จะรับน้ำจากท่อช่วงนั้นและแผนการส่งน้ำที่กำหนดขึ้นเป็นเกณฑ์ในการออกแบบ ถ้าพิจารณาว่าปริมาณน้ำที่ส่งผ่านท่อช่วงใด ๆ มีค่าคงที่ขนาดของท่อส่งน้ำจะขึ้นอยู่กับการสูญเสียพลังงานที่จะยอมให้เกิดขึ้น โดยท่อที่มีขนาดเล็กจะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความผิดขณะที่น้ำไหลผ่านมากกว่าท่อขนาดใหญ่ การหาขนาดท่อจะพิจารณาทีละส่วนโดยเริ่มจากช่วงที่อยู่ปลายสุดของระบบก่อน แล้วไล่เข้าหาแหล่งน้ำเช่น เริ่มหาขนาดของท่อแยกย่อยแต่ละท่อก่อนแล้วจึงหาขนาดของท่อแยกและสุดท้ายจึงหาขนาดของท่อประธาน

ท่อส่งน้ำที่ใช้กันในระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทานมีมากมายหลายแบบซึ่งจะของกล่าวพอเป็นสังเขปดังนี้

1. ท่อคอนกรีตไม่เสริม (Nonreinforced Concrete Pipe) เป็นท่อที่ใช้สำหรับระบบท่อส่งน้ำซึ่งมีความดันต่ำ อาจเลือกใช้ท่อประเภทหล่อสำเร็จ (Precast) หรือจัดทำแบบหล่อเองในที่ก็ได้ ท่อหล่อสำเร็จจะเป็นท่อสั้น ๆ การติดตั้งจะทำได้ง่าย ๆ โดยการขุดร่องคูให้มีขนาดกว้างและลึกที่เหมาะสม โดยทั่ว ๆ ไปขอบบนของท่อควรจะลึกจากผิวดินประมาณ 60 ซม. เชื่อมท่อแต่ละส่วนเข้าด้วยกันด้วยซีเมนต์มอร์ตาร์ (Cement Mortar) ดังรูป 11.4 ท่อประเภทนี้ไม่ควรใช้ในระบบซึ่งมีความดันภายในท่อมากกว่า 7.5 เมตร

2. ท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete) เป็นท่อที่สามารถรับแรงภายนอกได้มาก แต่มีราคาแพงกว่าแบบแรกมาก เหมาะสำหรับใช้ในระบบที่ความดันของน้ำภายในท่อสูง หรือในกรณีที่มีแรงภายนอกกระทำมาก ๆ เช่น การวางท่อลอดใต้ถนน

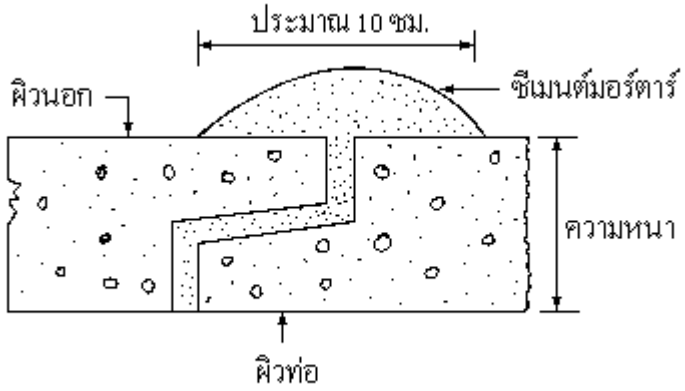
3. ท่อแอสเบสตอสซีเมนต์ (Asbestos- Cement Pipe) เป็นท่อที่สร้างจากคอนกรีตผสมใยแอสเบสตอส (Asbestos Fibres) เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ท่อประเภทนี้มีการผลิตออกมาหลายแบบที่ขนาดต่าง ๆ กัน เพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการ ถึงแม้ท่อประเภทนี้จะมีราคาแพงกว่าท่อคอนกรีตไม่เสริม แต่มีน้ำหนักเบากว่าจึงเหมาะที่จะใช้ในกรณีที่ต้องการขนส่งท่อเป็นระยะทางไกล ๆ

ตามปกติแล้วท่อประเภทที่ 2 และ 3 มักจะมีการออกแบบข้อต่อเป็นพิเศษให้อ่อนตัวได้เช่น พวกข้อต่อวงแหวนยาง (Rubber Gasket Pipe Joint) จึงเหมาะที่จะใช้ในบริเวณที่ดินมีการทรุดตัวและไหวตัวเป็นประจำ และข้อต่อประเภทวงแหวนยางยังสามารถรับแรงดันได้สูงกว่าการเชื่อมด้วยซีเมนต์มอร์ตาร์คือ สามารถรับแรงดันของน้ำได้ถึง 15 เมตร

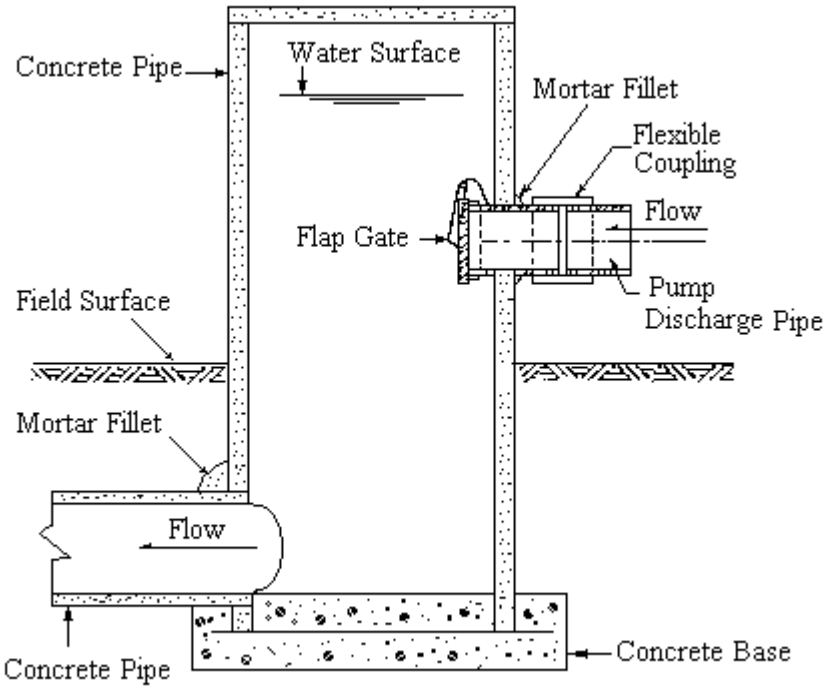
นอกจากยังมีท่อเหล็ก ท่ออลูมิเนียม และท่อพลาสติก การจะเลือกใช้ท่อประเภทไหนขึ้นอยู่กับราคาและตลาดเป็นสำคัญ

### 11.3.3 อาคารควบคุมน้ำ

การที่ระบบส่อท่อน้ำจะทำหน้าที่ส่งน้ำได้อย่างสมบูรณ์และไม่ก่อให้เกิดกปัญหาจะต้องมีอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ อย่างเพียงพอเช่นเดียวกับระบบคลอง -คูส่งน้ำ อาคารควบคุมน้ำดังกล่าวได้แก่ ถังอัดน้ำ ถังแบ่งน้ำ ถังควบคุมความดัน ท่อระบายอากาศ บานระบาย น้ำวาล์วแบบต่าง ๆ ตะแกรงกันสวะ ที่ดักทราย และหัวจ่ายน้ำ เป็นต้น




**รูปที่ 11.4 รายละเอียดการเชื่อมท่อด้วยซีเมนต์มาร์ตาร์**




**รูปที่ 11.5 ถังสูบน้ำสำหรับความดันต่ำ**

1. ถังรับน้ำ (Pipeline Intet Structure)

ถังรับน้ำเป็นอาคารที่ทำหน้าที่รับน้ำจากแหล่งน้ำก่อนที่จะส่งเข้าระบบท่อเพื่อทำให้น้ำไหลเต็มท่อ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดความดันในท่อมากเกินไป ป้องกันการเกิดเสริจทำหน้าที่กรองตะกอนและสวะต่างๆ ที่อาจติดมากับน้ำ ตลอดจนเป็นที่ระบายอากาศ (Air Release Vents) และอาจเป็นอาคารแบ่งน้ำได้อีกด้วย

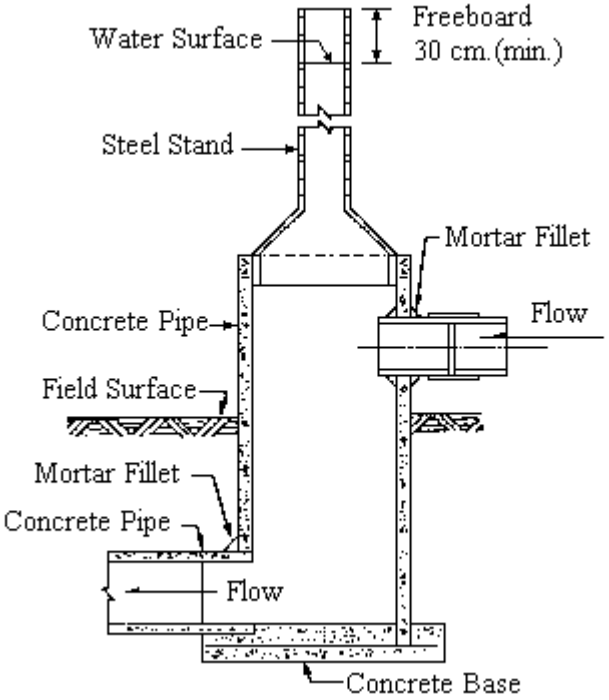
ในกรณีที่ระบบท่อรับน้ำจากเครื่องสูบน้ำโดยตรงจะต้องออกแบบถังรับน้ำเป็นพิเศษ โดยการใช้ข้อต่อประเภทอ่อนตัวได้ (Flexible Coupling) เป็นตัวเชื่อมเครื่องสูบน้ำกับถังรับน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้แรงสั่นสะเทือนจากเครื่องสูบน้ำถ่ายทอดเข้าไปในระบบท่อมิฉะนั้นจะทำให้ท่อส่งน้ำคอนกรีตแตกร้าวเสียหายได้ ถังรับน้ำในลักษณะนี้โดยทั่ว ๆ ไป เรียกว่าถังสูบน้ำ (Pump Stand) ดังแสดงในรูปที่ 11.5 และ 11.6

สำหรับถังรับน้ำที่รับน้ำจากคลองส่งน้ำจะต้องมีการติดตั้งตะแกรงกันสวะ (Trash Screen) ซึ่งอาจลอยติดมากับน้ำไม่ให้เข้าไปในระบบท่อส่งน้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 11.7 ขนาดของตะแกรงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับลักษณะของสวะที่ลอยมากับน้ำ แต่ต้องไม่เล็กจนเกินไปทำให้น้ำไหลเข้าถังน้ำได้สะดวก โดยทั่ว ๆ ไปกำหนดว่าความเร็วของน้ำไหลผ่านตะแกรงควรจะประมาณ 0.15 เมตรต่อวินาที

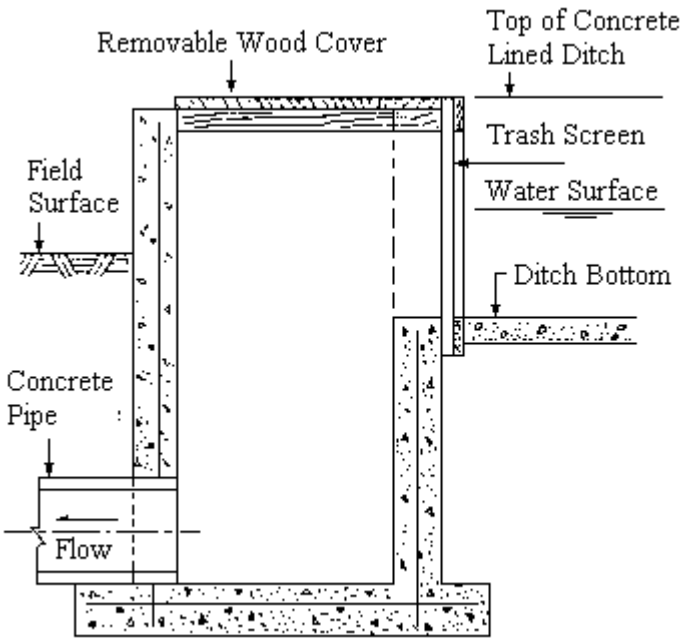
ถังน้ำที่ใช้มีทรายลอยติดมาด้วยจะต้องมีการติดตั้งเครื่องดักทราย (Sand Trap) ในถังรับน้ำ ซึ่งอาจจะทำได้โดยการออกแบบให้น้ำที่ไหลผ่านถังรับน้ำข้ามากจนกระทั่งทรายตกตะกอนก่อนที่จะไหลเข้าระบบท่อ

2. ถังอัดน้ำหรือถังแบฟเฟิล (Overflow or Baffle Stand)

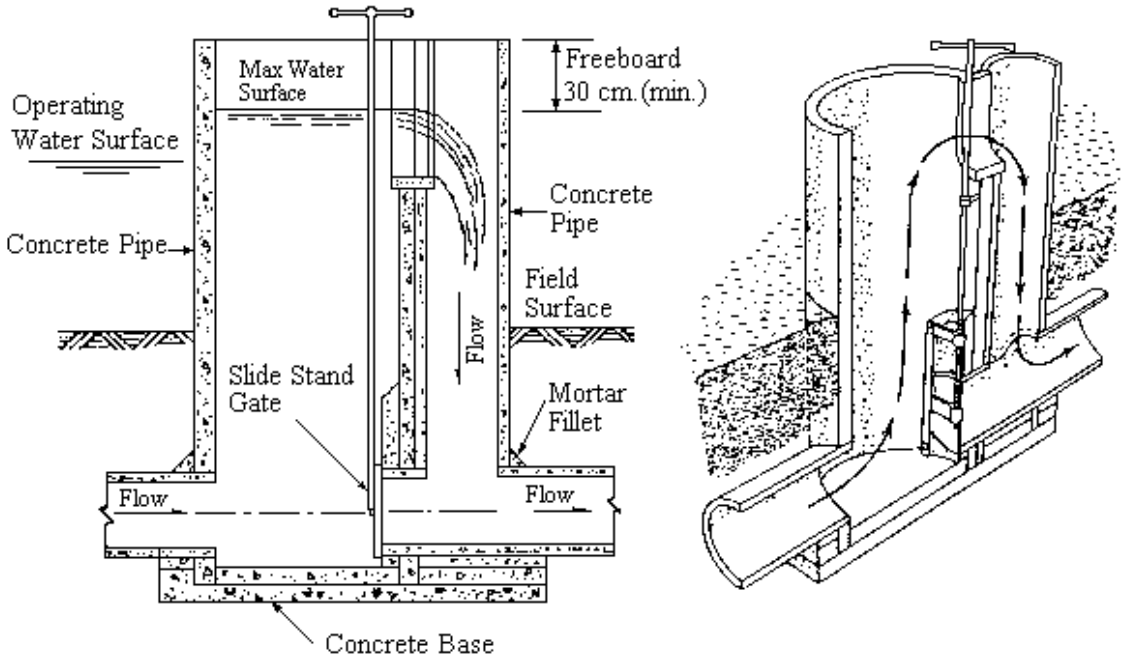
ถังอัดน้ำหรือถังแบฟเฟิลเป็นอาคารควบคุมน้ำที่ใช้ในระบบท่อส่งน้ำเปิด (Open-Pipe Irrigation System) ซึ่งทำหน้าที่ในลักษณะเดียวกับอาคารอัดน้ำ (Check Structure) ในระบบคลอง-คูส่งน้ำ ถังอัดน้ำจะมีฝายน้ำล้นติดตั้งอยู่ตรงกลางถังดังแสดงในรูปที่ 11.8 เพื่อทำหน้าที่ยกระดับน้ำหรือเพิ่มความดันในท่อทางด้านเหนือน้ำของถังให้อยู่ในระดับที่สูงพอที่น้ำจะสามารถไหลผ่านท่อแยกหรือท่อแยกซอยไปสู่พื้นที่เพาะปลูกได้ ระดับสันของฝายน้ำล้นควรจะอยู่ระดับเดียวกับระดับน้ำที่ต้องการสำหรับท่อแยกหรือหัวจ่ายน้ำ แต่ขอบบนของถังเปิดควรจะสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดขณะที่น้ำไหลผ่านฝายน้ำล้นประมาณ 0.30 เมตร และต้องสูงเหนือผิวดินไม่ต่ำกว่า 1.20 เมตร เพื่อป้องกันไม่ให้สัตว์ลงไปกินน้ำในถังได้



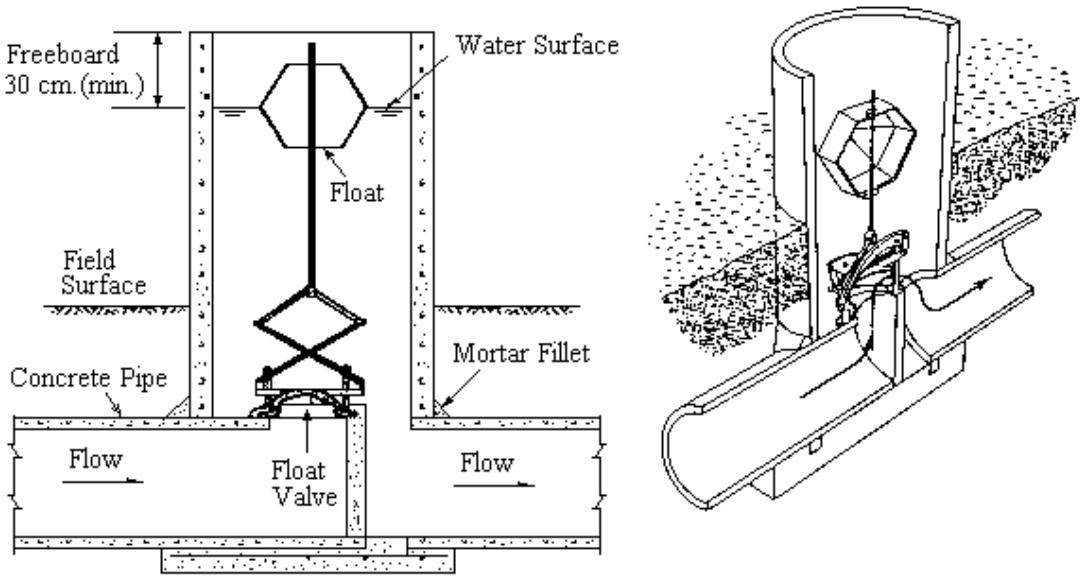

**รูปที่ 11.6 ถังสูบน้ำสำหรับความดันสูง**




**รูปที่ 11.7 ถังรับน้ำจากคลองส่งน้ำ**




**รูปที่ 11.8 ถังอัดน้ำ (Overflow Stand)**




**รูปที่ 11.9 ถังควบคุมความดัน**

การไหลของน้ำผ่านสันฝายในถังอัดน้ำจะสามารถคำนวณหาได้โดยสมการน้ำไหลผ่านฝายรูปสี่เหลี่ยมธรรมดา

$$Q = CLH^{3/2} \quad \text{----------(11.2)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านสันฝาย

C = ส.ป.ส. การไหลของน้ำผ่านสันฝาย สำหรับฝายสี่เหลี่ยมไม่มีผนังข้าง (Suppressed Rectangular Weir) จะมีค่าประมาณ 1.839 (ระบบ SI ) หรือ 3.33 (ระบบอังกฤษ)

L = ความยาวสันฝาย

H = ความลึกของน้ำบนสันฝาย

ในบางครั้งอาจไม่ต้องการให้น้ำไหลล้นสันฝาย เพื่อลดปัญหาการเกิดเสริจ (Surge) จึงควรจะมีการติดตั้งบานระบายที่ฐานของฝายน้ำล้น ดังแสดงในรูปที่ 11.8 ซึ่งบานระบายนี้จะเป็นตัวควบคุมระดับน้ำหน้าฝายตามความต้องการ

ถังอัดน้ำอาจจะเป็นแบบกลมหรือสี่เหลี่ยมก็ได้แล้วแต่ความสะดวกในการประกอบเข้ากับท่อน้ำและความประหยัด แต่ควรมีขนาดใหญ่พอที่จะติดตั้งบานระบายได้สะดวกช่วยทำให้ความเร็วของน้ำในแนวดิ่งทั้งสองข้างของฝายน้ำล้นมีค่าไม่เกิน 1.20 เมตร/วินาที ส่วนความเร็วของน้ำที่ไหลเข้าและออกจากถังไม่ควรเกิน 2.4 เมตร/วินาที

3. <u>ถังควบคุมความดันหรือถังวาล์วลูกลอย</u> (Float Value Stand)

ถังควบคุมความดันเป็นอาคารที่ใช้ประกอบในระบบท่อส่งน้ำแบบกึ่งปิดหรือในการวางท่อส่งน้ำในพื้นที่ที่มีความเทลงมาก ลักษณะสำคัญของถังประเภทนี้คือ มีวาล์วลูกลอยสำหรับควบคุมความดันของน้ำในท่อทางด้านท้ายน้ำของถัง ดังแสดงในรูปที่ 11.2 และ 11.9 ถ้าความดันในท่อทางด้านท้ายน้ำมากเกินกว่าที่กำหนดไว้วาล์วลูกลอยจะปิดไม่ให้น้ำไหลผ่านโดยอัตโนมัติ ถังควบคุมความดันปกติจะติดตั้งไว้ในช่วงระยะที่ระดับท่อส่งน้ำลดลงทุก ๆ 3 เมตร

4. <u>ถังแบ่งน้ำ</u> (Gate Stand for Division)

ถังแบ่งน้ำในระบบท่อส่งน้ำจะทำหน้าที่ควบคุมการแจกจ่ายน้ำระหว่างท่อประธานกับท่อแยก หรือท่อแยกกับท่อแยกซอย ขณะเดียวกันก็จะทำหน้าที่ควบคุมความดันของท่อทางด้านเหนือน้ำไปในตัวด้วย ลักษณะหน้าที่ถังแบ่งน้ำนี้จะเปรียบได้กับอาคารแบ่งน้ำในระบบคลอง-คูส่งน้ำนั่นเอง รูปที่ 11.10 จะแสดงรูปร่างของถังแบ่งน้ำที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไป

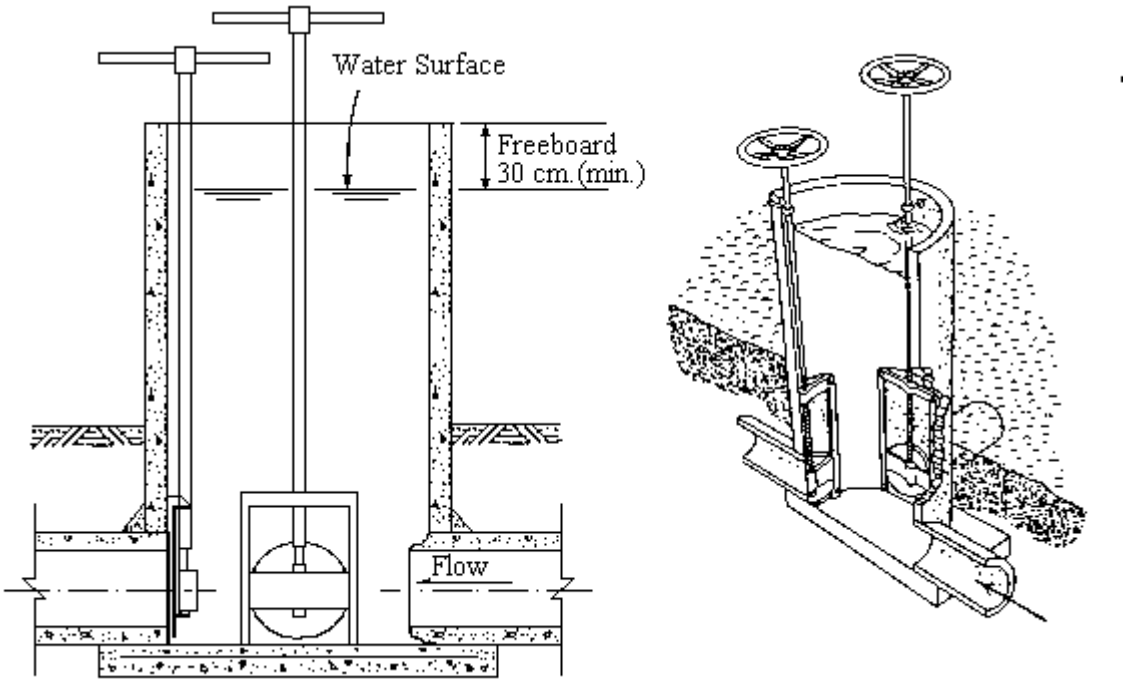
ถังทั้ง 4 แบบข้างต้นนอกจากจะทำหน้าที่ตามที่กล่าวมาแล้วยังทำหน้าที่เป็นท่อระบายอากาศ (Air Vent) และถังลดความดันเสริจ (Surge Chamber) ไปในตัวด้วย

5. ท่อระบายอากาศ (Air Vent)

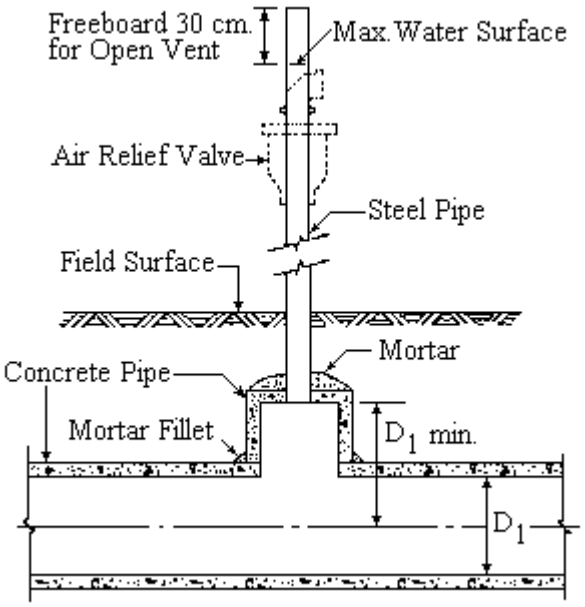
ท่อระบายอากาศดังแสดงในรูปที่ 11.11 เป็นองค์ประกอบที่สำคัญยิ่งสำหรับระบบท่อน้ำ เพื่อทำหน้าที่ดักอากาศที่อาจติดมากับน้ำ จุดที่ควรจะได้รับการพิจารณาติดตั้งท่อระบายอากาศได้แก่ บริเวณจุดสูงสุดของท่อแต่ละช่วง จุดที่มีการเปลี่ยนความลาดเท จุดที่มีการเปลี่ยนทิศทาง ท้ายน้ำของอาคารซึ่งอากาศมีโอกาสจะถูกดูดติดไปกับน้ำได้ และปลายสุดของท่อน้ำแต่ละสาย สำหรับท่อที่มีความยาวมาก ๆ ก็ควรจะติดตั้งท่อระบายอากาศทุก ๆ ระยะ 150 เมตร

ความสูงของท่อระบายอากาศจะพิจารณาอย่างเดียวกับถังควบคุมน้ำทั้งหลายคือ ต้องสูงกว่าระดับน้ำใช้การตรงจุดที่ติดตั้งประมาณ 0.30 เมตร หรือสูงจากผิวดินไม่ต่ำกว่า 1.20 เมตร

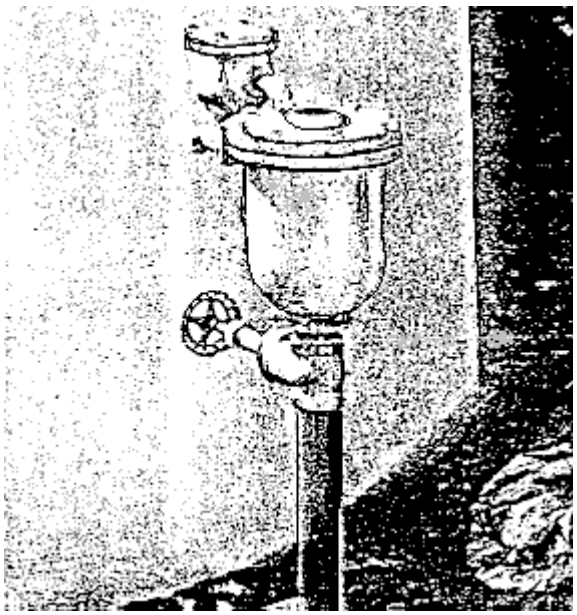
สำหรับระบบท่อส่งน้ำแบบความดันหรือกึ่งปิดอาจใช้วาล์วระบายอากาศ (Air Release Valve) ดังแสดงในรูปที่ 11.12 แทนท่อระบายอากาศได้




**รูปที่ 11.10 ถังแบ่งน้ำ**




**รูปที่ 11.11 ท่อระบายอากาศ**



**รูปที่ 11.12 วาล์วระบายอากาศ**

6. หัวจ่ายน้ำ (Outlet Structure)

หัวจ่ายน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนสุดท้ายของระบบท่อส่งน้ำซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายน้ำให้กับจุดต่าง ๆ ที่ต้องการ หัวจ่ายน้ำจะมีลักษณะเป็นท่อตั้งตรงในแนวดิ่งเชื่อมต่อกับท่อส่งน้ำ โดยท่อตั้ง (Riser) ดังกล่าวจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับท่อส่งน้ำ ปลายบนสุดของท่อตั้งจะมีวาล์วซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายน้ำอีกทีหนึ่ง วาล์วควบคุมน้ำที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปมี 2 แบบ คือ อัลฟัลฟาวาล์ว (Alfalfa Valve) และออร์ชาร์วาล์ว (Orchard Valve) ดังแสดงในรูปที่ 11.13 และ 11.14

การใช้น้ำอาจจะทำโดยการเปิดวาล์วให้น้ำกับแปลงโดยตรงหรือใช้เครื่องมือประกอบเช่น ไฮเดรน (Hydrant) หรือท่อให้น้ำ (Gated Pipe) ดังแสดงในรูปที่ 11.15 ก็ได้

7. วาล์วปิด - เปิดน้ำ (Gate Valve)

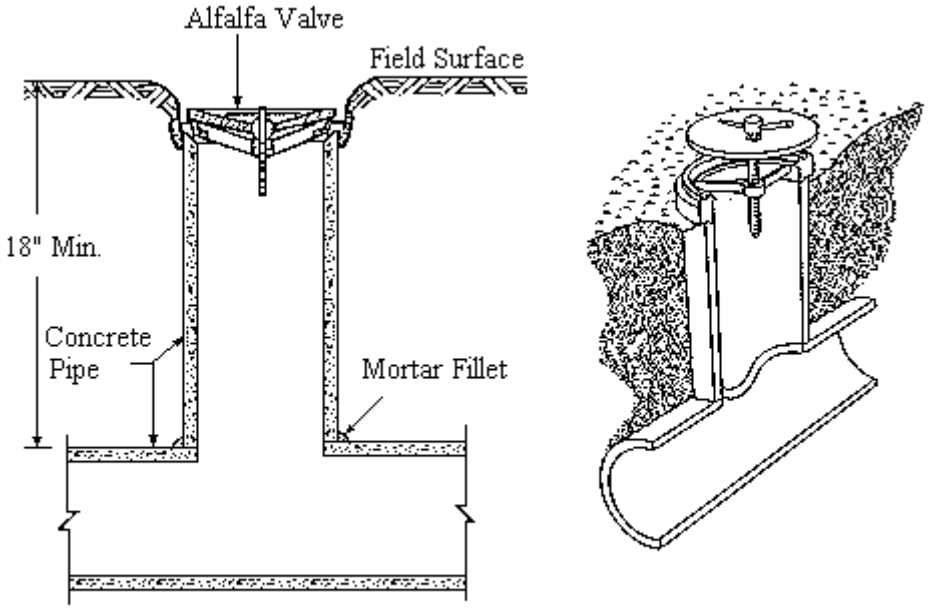
ในระบบท่อส่งน้ำแบบความดันและแบบกึ่งปิดจะใช้วาล์วปิด - เปิดน้ำ เพื่อควบคุมความดันในท่อทางด้านเหนือน้ำ หรือเพื่อการแบ่งน้ำแทนถังควบคุมน้ำแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบท่อส่งน้ำแบบเปิด ซึ่งการควบคุมทำได้ง่ายกว่าเพราะวาล์วปิดน้ำได้สนิทแน่นอนกว่าบานระบายแบบชักขึ้นชักลง (Slide Gate) แต่การใช้วาล์วอาจจะมีปัญหาเกี่ยวกับคาวิเตชั่น (Cavitation) ได้ ถ้าความดันทางด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของวาล์วต่างกันมากกว่า 10.5 เมตร (35 ฟุต) รูปที่ 11.16 จะบอกให้รู้ว่าคาวิเตชั่นที่เกิดรุนแรงมากน้อยแค่ไหนและจะมีทางแก้ไขได้อย่างไร

## 11.4 การออกแบบ

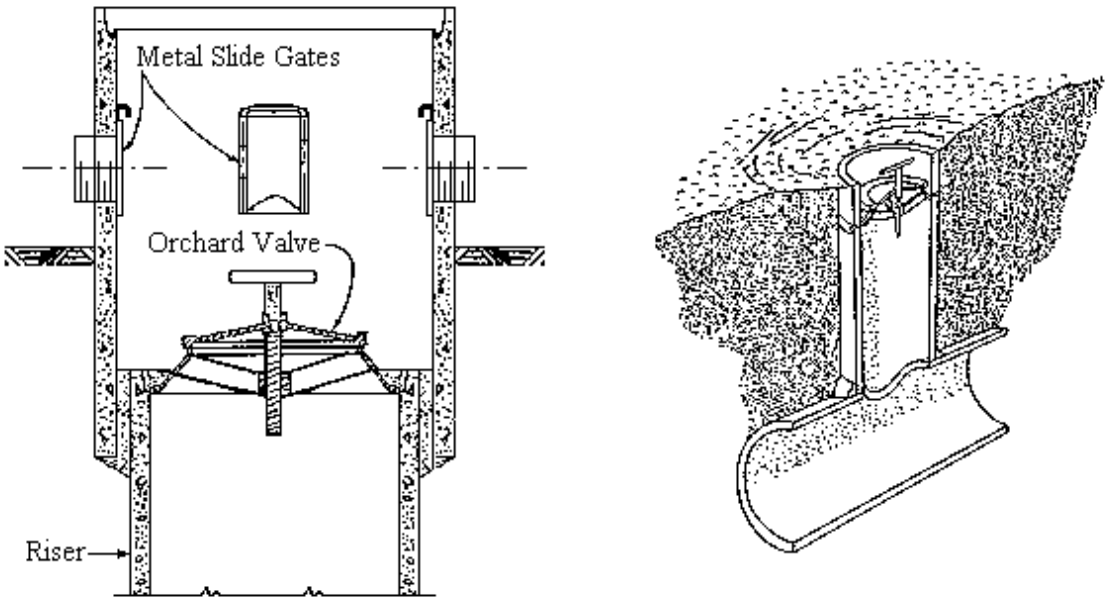
การออกแบบระบบท่อส่งน้ำใช้วิธีการพิจารณาในทำนองเดียวกับระบบคลองคูส่งน้ำ โดยจะต้องดำเนินการเป็นขั้น ๆ เริ่มจากการวางแนว คำนวณหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานของท่อแต่ละสาย กำหนดความดันใช้การ (Operating Head) ในท่อแต่ละส่วน กำหนดจุดที่ตั้งอาคารควบคุมน้ำที่จำเป็น คำนวณหาขนาดท่อส่งน้ำ และขนาดของอาคารควบคุมต่าง ๆ (วราวุธ และพงศธร. 2536)

### 11.4.1 การวางแนว (Layout)

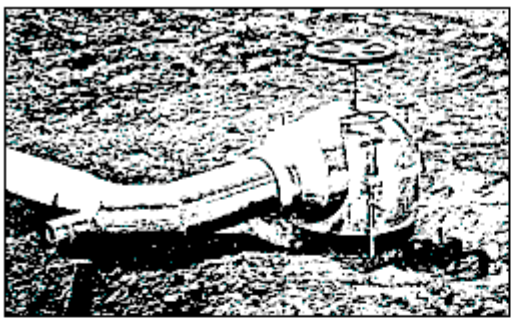
แนวท่อส่งน้ำจะต้องวางไปตามสภาพภูมิประเทศ โดยพิจารณาจากจุดที่ตั้งเครื่องสูบน้ำหรือแหล่งน้ำไปยังพื้นที่ที่จะต้องส่งน้ำไปให้ ถึงแม้ว่าการส่งน้ำด้วยท่อจะสามารถส่งย้อนความลาดเทของพื้นที่ได้ แต่เป็นสิ่งที่ควรจะหลีกเลี่ยงถ้าทำได้เพราะการวางท่อตามความลาดเทของพื้นที่จะช่วยประหยัดพลังงานในการสูบน้ำได้มากกว่า การวางท่อตามแนวสูงสุดของพื้นที่จะช่วยให้สามารถส่งน้ำออกได้ทั้งสองด้านของท่อ ซึ่งจะช่วยทำให้ประหยัดท่อส่งน้ำลงได้ และที่สำคัญการวางแนวท่อจะต้องสัมพันธ์กับแผนการส่งน้ำ



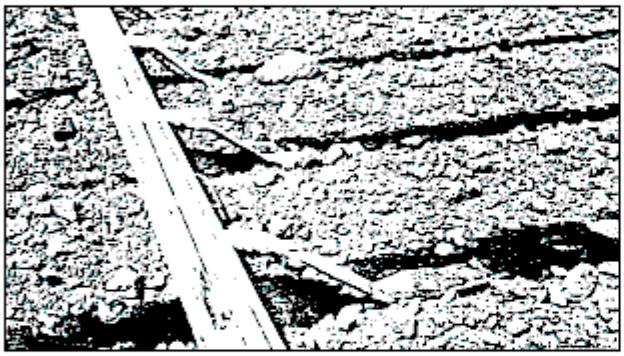

**รูปที่ 11.13 หัวจ่ายน้ำซึ่งติดตั้งอัลฟัลฟาวาล์ว**




**รูปที่ 11.14 หัวจ่ายน้ำซึ่งติดตั้งออร์ชาร์ดวาล์ว**



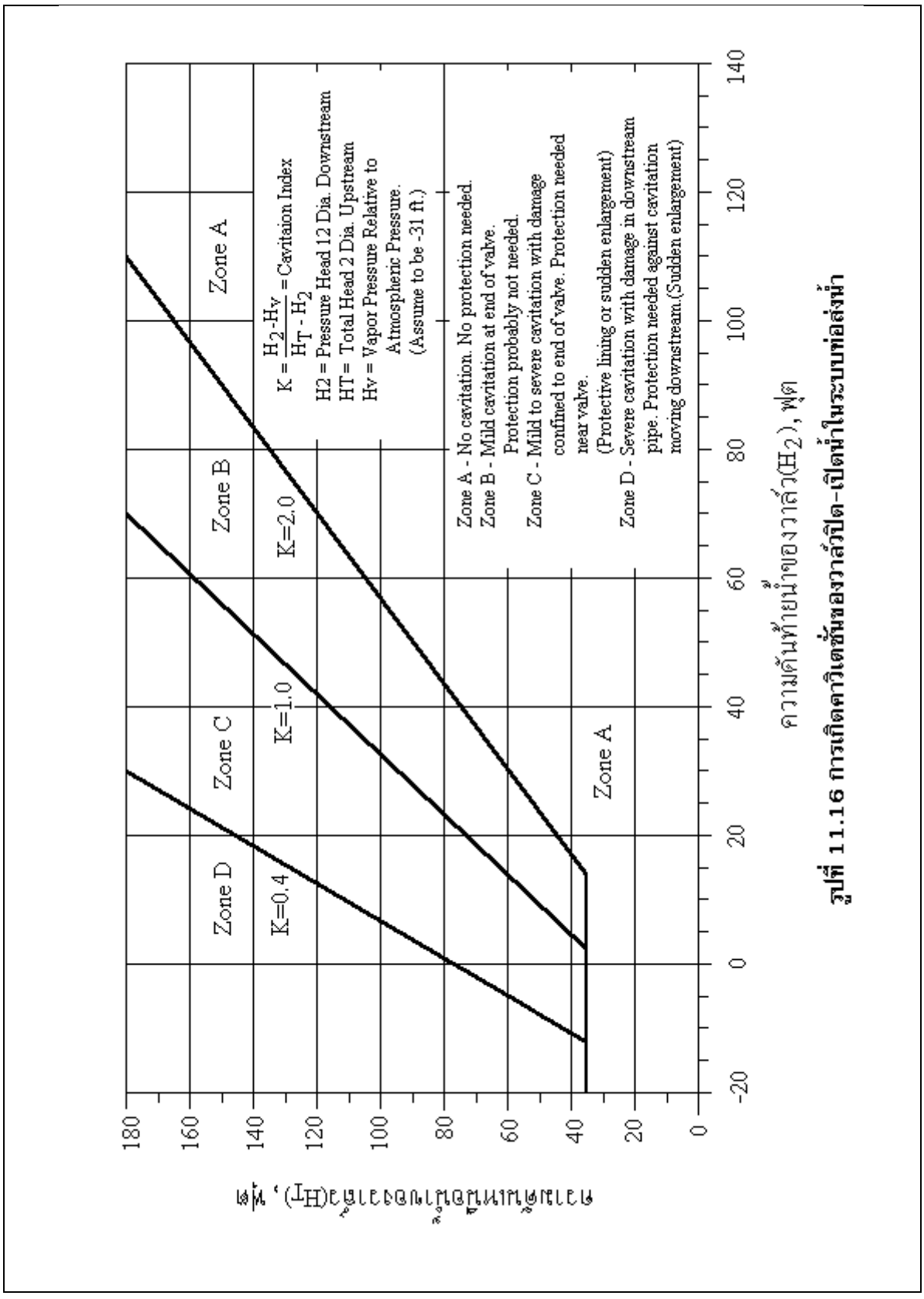
ไฮเดรนรับน้ำต่อจากอัลฟัลฟ่าวาล์ว
เพื่อส่งต่อให้กับท่อจ่ายน้ำ
(Gated Pipe)



การให้น้ำกับร่องดูด้วย
ท่อจ่ายน้ำ

การให้น้ำกับไม้ผลโดยไฮเดรน
แบบช่องเปิด (Open-Pot Hydrant)

**รูปที่ 11.15 การให้น้ำทางผิวดินจากท่อส่งน้ำ**




**รูปที่ 11.16 การเกิดคาวิเตชั่นของวาล์วปิด-เปิดน้ำในระบบท่อส่งน้ำ**

### 11.4.2 การหาปริมาณน้ำที่ต้องส่งในท่อแต่ละสาย

ปริมาณน้ำที่ต้องส่งผ่านท่อแต่ละสายจะขึ้นอยู่กับความต้องการน้ำชลประทานของพืช ความสามารถอุ้มน้ำของดิน ขนาดของพื้นที่เพาะปลูกที่ท่อแต่ละสายครอบคลุมอยู่แผนการส่งน้ำชลประทาน ความถี่และระยะเวลาในการให้น้ำแต่ละรอบ ค่าความถี่ในการให้น้ำพิจารณาจากความต้องการน้ำสูงสุดของพืช ส่วนระยะเวลาในการให้น้ำแต่ละรอบจะพิจารณาจากจำนวนวันที่ต้องการให้ว่างจากการส่งน้ำเพื่อไปทำกิจกรรมอื่น ๆ รายละเอียดการหาปริมาณน้ำที่ต้องส่งในแต่ละท่อจะคล้ายกับระบบคลอง - คูส่งน้ำ ตามที่เคยกล่าวมาแล้วในบทที่ 8

### 11.4.3 การกำหนดความดันใช้การในท่อ (Operating Head)

ความดันใช้การของน้ำในท่อจะต้องมากพอที่จะทำให้น้ำไหลไปถึงปลายท่อและไหลผ่านหัวจ่ายน้ำไปยังต้นพืชได้ตามความต้องการ แต่จะต้องไม่มากเกินไปจนทำให้ท่อแตกได้ ตามปกติแล้วการออกแบบท่อคอนกรีตส่งน้ำจะใช้เกณฑ์ความปลอดภัยประมาณ 4 ถึง 6

### 11.4.4 การหาขนาดท่อส่งน้ำ

ขนาดของท่อส่งน้ำจะแปรผันไปตามปริมาณน้ำที่ไหลในท่อและการสูญเสียพลังงาน (Head Loss) ที่จะยอมให้เกิดขึ้นในท่อ การสูญเสียพลังงานในระบบท่อจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ คือ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อ (Friction Loss) การสูญเสียพลังงานเนื่องจากสิ่งกีดขวาง เช่นข้อต่อวาล์ว บานระบาย ท่อที่มีแนวโค้ง ทางเข้าและทางออก เป็นต้น

1) <u>การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อ</u>

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อมีวิธีการหาได้หลายวิธีดังนี้

ก. <u>สูตรของ Fred C. Scobey</u>

นิยมใช้สำหรับการไหลของน้ำในท่อคอนกรีต

$$V = 9.57\, C_s\, H_f^{0.5}\, d^{0.625} \quad \text{---------- (11.3)}$$

และ $$Q = 7.52\, C_s\, H_f^{0.5}\, d^{0.625} \quad \text{---------- (11.4)}$$

เมื่อ $V$ = ความเร็ว เป็นเมตร/วินาที

$C_s$ = ส.ป.ส. ความฝืด Scobey ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดและลักษณะการเชื่อมต่อท่อเข้าด้วยกัน

$H_f$ = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืด เป็นเมตร/100 เมตร

$d$ = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เป็นเมตร

$Q$ = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ เป็น ลบ.เมตร/วินาที

ค่า $C_s$ = ที่แนะนำให้สำหรับท่อคอนกรีตแบบต่าง ๆ คือ

$C_s$ = 0.310 สำหรับท่อคอนกรีตผสมแห้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.50 เมตร ท่อแต่ละท่อนมีความยาวน้อยกว่า 0.90 เมตร เชื่อมต่อท่อด้วยซีเมนต์มอตาร์และไม่มีการปาดรอยต่อภายในท่อให้เรียบ

$C_s$ = 0.345 สำหรับท่อคอนกรีตผสมเปียกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 0.50 เมตร ท่อแต่ละท่อนมีความยาวน้อยกว่า 0.90 เมตร หรือท่อคอนกรีตผสมแห้งยาวท่อนละ 1.20 เมตร ซึ่งเชื่อมต่อท่อแต่ละท่อนเข้าด้วยกันอย่างประณีต โดยใช้ซีเมนต์มอร์ตาร์หรือวงแหวนยาง (Rubber Gasket)

$C_s$ = 0.370 สำหรับท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่ต่ำกว่า 0.60 เมตร แต่ละท่อนมีความยาวน้อยกว่า 2.40 เมตร ท่อแต่ละท่อนมีขนาดสม่ำเสมอและการเชื่อมต่อประณีตพอสมควร

$C_s$ = 0.400 สำหรับท่อคอนกรีตผสมเปียก โดยใช้เครื่องสั่นสะเทือน แต่ละท่อนยาวมีความยาวน้อยกว่า 3.60 เมตร เชื่อมต่อท่ออย่างประณีตด้วย ซีเมนต์มอร์ตาร์

สมการที่ 11.4 จะเขียนได้ใหม่ว่า

$$Q = 0.005455\, C_s\, H_f^{0.5}\, d^{2.625} \qquad \text{----------(11.5)}$$

เมื่อ Q มีหน่วยเป็น ลบ.ฟุตต่อวินาที $H_f$ มีหน่วยเป็นฟุตต่อ 1,000 ฟุต และ d มีหน่วยเป็นนิ้ว

สำหรับท่อคอนกรีตที่ต่อเชื่อมด้วยวงแหวนยาง ( $C_5$ = 0.37) และเชื่อมด้วยซีเมนต์มอร์ตาร์ ( $C_s$ = 0.31) จะหาค่าการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดได้อย่างรวดเร็วโดยใช้ตารางที่ 11.3 และ 11.4 ตามลำดับ

ข. <u>สูตรของ Manning</u>

$$V = \frac{0.397}{n} d^{2/3} s^{1/2} \qquad \text{----------(11.6)}$$

และ

$$Q = \frac{0.312}{n} d^{8/3} s^{1/2} \qquad \text{----------(11.7)}$$

เมื่อ V = ความเร็วของน้ำ เป็นเมตร/วินาที

n = ส.ป.ส. ความฝืดของ Manning

d = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เป็นเมตร

s = เส้นความลาดเทของพลังงาน เมตร/เมตร

n ที่ใช้โดยทั่ว ๆ ไปสำหรับท่อคอนกรีตมีค่าอยู่ระหว่าง 0.010 (สำหรับท่อที่ภายในเรียบมาก) ถึง 0.014 (สำหรับท่อที่ภายในไม่เรียบ)

ค. สูตรของ Hazen - Williams

$$\frac{hf}{L} = \frac{10.71\,Q^{1.851}}{C^{1.851}d^{4.869}} \qquad \text{----------(11.8)}$$

เมื่อ hf = การสูญเสียพลังงาน เป็นเมตร

L = ความยาวท่อ เป็นเมตร

Q = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านท่อ เป็น ลบ.เมตร/วินาที

d = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เป็นเมตร

C = ส.ป.ส. ความฝืดของ Hazen -William

ค่า C ของ Hazen - William

C = 140 สำหรับท่อเอสเบสตอสซีเมนต์

C = 130 สำหรับคอนกรีตและท่อเหล็กหล่อในสภาพยังใหม่

C = 120 สำหรับท่อไม้ (Wood Stave) และท่อเหล็กเหนียวเชื่อมเข้าด้วยกัน (Welded Steel)

C = 110 สำหรับท่อเหล็กเหนียวที่เย็บติดด้วยหมุด (Riveted Steel)

C = 100 สำหรับเหล็กหล่อที่ใช้หลายปีแล้ว

C = 95 สำหรับท่อเหล็กเหนียวที่เย็บติดด้วยหมุดที่ใช้หลายปีแล้ว

C = 60 ถึง 80 สำหรับท่อเก่าที่สภาพแย่

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อแบบต่าง ๆ ตามสูตรของ Hazen Williams จะหาได้จากตารางที่ 11.5 ถึง 11.8

2. การสูญเสียพลังงานเนื่องจากสิ่งกีดขวาง (Minor Low)

การสูญเสียพลังงานเนื่องจากสิ่งกีดขวางจะคำนวณหาได้จากสมการ

$$h_m = K_m\frac{V^2}{2g} \qquad \text{----------(11.9)}$$

เมื่อ $h_m$ = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากสิ่งกีดขวาง เป็นเมตร

V = ความเร็วของน้ำในท่อ เป็นเมตร/วินาที

$K_m$ = ส.ป.ส. การสูญเสียพลังงานซึ่งจะแปรผันไปตามลักษณะของสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในตารางที่ 11.9

**ตารางที่ 11.3** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อคอนกรีตที่เชื่อมต่อด้วยวงแหวนยาง (ฟุต ต่อ 1,000 ฟุต)

| ปริมาณน้ำ | | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (d) เป็น นิ้ว | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลบ.ฟุต ต่อวินาที | แกลลอน ต่อนาที | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 |
| 0.1 | 45 | 0.2 | | | | | | | | | |
| 0.2 | 50 | 0.8 | 0.2 | | | | | | | | |
| 0.3 | 135 | 1.8 | 0.4 | 0.1 | | | | | | | |
| 0.4 | 180 | 3.2 | 0.7 | 0.2 | | | | | | | |
| 0.5 | 225 | 5.0 | 1.1 | 0.3 | 0.1 | | | | | | |
| 0.6 | 270 | 7.2 | 1.6 | 0.5 | 0.2 | | | | | | |
| 0.7 | 315 | 9.9 | 2.2 | 0.7 | 0.3 | | | | | | |
| 0.8 | 360 | 12.9 | 2.8 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | | | | | |
| 0.9 | 405 | 16.3 | 3.5 | 1.1 | 0.4 | 0.1 | | | | | |
| 1.0 | 449 | 20.1 | 4.4 | 1.4 | 0.5 | 0.2 | | | | | |
| 1.2 | 539 | 29.0 | 6.4 | 2.0 | 0.8 | 0.2 | | | | | |
| 1.4 | 628 | 39.5 | 8.7 | 2.7 | 1.0 | 0.3 | 0.1 | | | | |
| 1.6 | 718 | 51.5 | 11.4 | 3.5 | 1.4 | 0.4 | 0.2 | | | | |
| 1.8 | 808 | 65.2 | 14.4 | 4.5 | 1.7 | 0.5 | 0.2 | | | | |
| 2.0 | 898 | 80.5 | 17.8 | 5.5 | 2.1 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | | | |
| 2.2 | 987 | 97.4 | 21.5 | 6.7 | 2.6 | 0.8 | 0.3 | 0.1 | | | |
| 2.4 | 1,077 | 115.9 | 25.6 | 7.9 | 3.0 | 0.9 | 0.4 | 0.2 | | | |
| 2.6 | 1,167 | 136.1 | 30.1 | 9.3 | 3.6 | 1.1 | 0.4 | 0.2 | | | |
| 2.8 | 1,257 | 157.8 | 34.9 | 10.8 | 4.1 | 1.3 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | | |
| 3.0 | 1,346 | 181.2 | 40.0 | 12.4 | 4.8 | 1.5 | 0.6 | 0.3 | 0.1 | | |
| 3.2 | 1,436 | | 45.5 | 14.1 | 5.4 | 1.7 | 0.6 | 0.3 | 0.2 | | |
| 3.4 | 1,526 | | 51.4 | 15.9 | 6.1 | 1.9 | 0.7 | 0.3 | 0.2 | | |
| 3.6 | 1,616 | | 57.6 | 17.9 | 6.9 | 2.1 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | | |
| 3.8 | 1,706 | | 64.2 | 19.9 | 7.6 | 2.4 | 0.9 | 0.4 | 0.2 | | |
| 4.0 | 1,795 | | 71.1.9 | 22.0 | 8.5 | 2.6 | 1.0 | 0.4 | 0.3 | | |
| 4.5 | 2,020 | | 0.0 | 27.9 | 10.7 | 3.3 | 1.3 | 0.6 | 0.3 | | |
| 5.0 | 2,244 | | 111.2 | 34.5 | 13.2 | 4.1 | 1.6 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | |
| 5.5 | 2,469 | | | 41.7 | 16.0 | 5.0 | 1.9 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.0 | 2,693 | | | 49.6 | 19.1 | 5.9 | 2.3 | 1.0 | 0.5 | 0.2 | |

**ตารางที่ 11.3 (ต่อ)** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อคอนกรีตที่เชื่อมต่อด้วยวงแหวนยาง (ฟุต ต่อ 1,000 ฟุต)

| ปริมาณน้ำ | | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (d) เป็น นิ้ว | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลบ.ฟุต ต่อวินาที | แกลลอน ต่อนาที | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 30 | 36 |
| 6.5 | 2,917 | | | 58.2 | 22.4 | 6.9 | 2.7 | 1.2 | 0.6 | 0.2 | |
| 7.0 | 3,142 | | | 67.5 | 25.5 | 8.0 | 3.1 | 1.4 | 0.7 | 0.2 | |
| 7.5 | 3,366 | | | 77.5 | 29.8 | 9.2 | 3.5 | 1.6 | 0.8 | 0.2 | |
| 8.0 | 3,591 | | | 88.7 | 33.9 | 10.5 | 4.0 | 1.8 | 0.9 | 0.3 | 0.1 |
| 8.5 | 3,815 | | | 99.5 | 38.2 | 11.9 | 4.5 | 2.0 | 1.0 | 0.3 | 0.1 |
| 9.0 | 4,039 | | | 111.6 | 42.9 | 13.3 | 5.1 | 2.3 | 1.1 | 0.3 | 0.1 |
| 9.5 | 4,264 | | | | 47.8 | 14.3 | 5.7 | 2.5 | 1.3 | 0.4 | 0.1 |
| 10.0 | 4,488 | | | | 52.9 | 16.4 | 6.3 | 2.8 | 1.4 | 0.4 | 0.2 |
| 11.0 | 4,937 | | | | 64.0 | 19.8 | 7.6 | 3.4 | 1.7 | 0.5 | 0.2 |
| 12.0 | 5,386 | | | | 76.2 | 23.6 | 9.1 | 4.0 | 2.0 | 0.6 | 0.2 |
| 13.0 | 5,835 | | | | 89.4 | 27.7 | 10.7 | 4.7 | 2.4 | 0.7 | 0.3 |
| 14.0 | 6,284 | | | | 103.7 | 32.1 | 12.3 | 5.5 | 2.7 | 0.8 | 0.3 |
| 15.0 | 6,732 | | | | 119.1 | 36.9 | 14.2 | 6.3 | 3.1 | 1.0 | 0.4 |
| 16.0 | 7,181 | | | | | 42.0 | 16.3 | 7.2 | 3.6 | 1.1 | 0.4 |
| 17.0 | 7,630 | | | | | 47.4 | 18.2 | 8.1 | 4.0 | 1.2 | 0.5 |
| 18.0 | 8,079 | | | | | 53.1 | 20.4 | 9.1 | 4.5 | 1.4 | 0.5 |
| 19.0 | 8,258 | | | | | 59.2 | 22.7 | 10.1 | 5.0 | 1.6 | 0.6 |
| 20.0 | 8,977 | | | | | 65.6 | 25.2 | 11.2 | 5.6 | 1.7 | 0.7 |
| 22.0 | 9,874 | | | | | 79.4 | 30.5 | 13.6 | 6.7 | 2.1 | 0.8 |
| 24.0 | 10,772 | | | | | 94.5 | 36.3 | 16.1 | 8.0 | 2.5 | 1.0 |
| 25.0 | 11,669 | | | | | 110.8 | 42.6 | 18.9 | 9.4 | 2.9 | 1.1 |
| 26.0 | 12,567 | | | | | 110.8 | 42.6 | 18.9 | 9.4 | 2.9 | 1.1 |
| 28.0 | 12,567 | | | | | | 49.4 | 22.0 | 10.9 | 3.4 | 1.3 |
| 30.0 | 13,465 | | | | | | 56.7 | 25.2 | 12.5 | 3.9 | 1.5 |
| 32.0 | 14,363 | | | | | | 64.5 | 28.7 | 14.2 | 4.4 | 1.7 |
| 34.0 | 15,260 | | | | | | 72.8 | 32.4 | 16.1 | 5.0 | 1.9 |
| 36.0 | 16,158 | | | | | | 81.6 | 36.3 | 18.0 | 5.6 | 2.1 |

คำนวณจากสูตร Scobey : $H_f = \frac{33{,}610Q^2}{C_s^2 d^{5.25}}$

$C_s$ = 0.370 ; d = เส้นผ่าศูนย์กลางเป็นนิ้ว

และ $H_f$ = การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืด ฟุต/1,000 ฟุต

**ตารางที่ 11.4** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อคอนกรีตที่เชื่อมต่อด้วยซีเมนต์มอร์ตาร์

| ปริมาณน้ำ | | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ เป็น นิ้ว | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลบ.ฟุต ต่อวินาที | แกลลอน ต่อนาที | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 | 21 | 24 |
| 0.1 | 45 | 0.3 | 0.1 | | | | | | | | | |
| 0.2 | 90 | 1.1 | 0.2 | | | | | | | | | |
| 0.3 | 135 | 2.6 | 0.6 | | | | | | | | | |
| 0.4 | 180 | 4.6 | 1.0 | 0.3 | | | | | | | | |
| 0.5 | 225 | 7.2 | 1.6 | 0.5 | | | | | | | | |
| 0.6 | 270 | 10.4 | 2.3 | 0.7 | 0.3 | | | | | | | |
| 0.7 | 315 | 14.0 | 3.2 | 1.0 | 0.4 | | | | | | | |
| 0.8 | 360 | 18.4 | 4.1 | 1.3 | 0.5 | 0.2 | | | | | | |
| 0.9 | 405 | 23.4 | 5.2 | 1.6 | 0.6 | 0.3 | | | | | | |
| 1.0 | 449 | 28.8 | 6.4 | 2.0 | 0.8 | 0.4 | 0.2 | | | | | |
| 1.2 | 539 | 42.0 | 9.2 | 2.8 | 1.1 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | | | | |
| 1.4 | 628 | 56.0 | 12.5 | 3.9 | 1.5 | 0.7 | 0.5 | 0.3 | | | | |
| 1.6 | 718 | 74.0 | 16.3 | 5.1 | 2.0 | 0.8 | 0.6 | 0.4 | 0.2 | | | |
| 1.8 | 808 | 93.0 | 20.7 | 6.5 | 2.4 | 1.1 | 0.8 | 0.5 | 0.3 | | | |
| 2.0 | 898 | 115.0 | 25.4 | 8.0 | 3.0 | 1.4 | 0.9 | 0.7 | 0.4 | 0.2 | | |
| 2.2 | 987 | 140.0 | 30.8 | 9.5 | 3.7 | 1.6 | 1.1 | 0.8 | 0.4 | 0.3 | | |
| 2.4 | 1,077 | 165.0 | 36.5 | 11.4 | 4.4 | 1.9 | 1.3 | 1.0 | 0.5 | 0.3 | 0.2 | |
| 2.6 | 1,167 | | 43.0 | 13.3 | 5.1 | 2.3 | 1.6 | 1.1 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | |
| 2.8 | 1,257 | | 50.0 | 15.5 | 5.9 | 2.6 | 1.8 | 1.3 | 0.7 | 0.4 | 0.3 | |
| 3.0 | 1,346 | | 57.0 | 17.8 | 6.8 | 3.0 | 2.1 | 1.5 | 0.8 | 0.5 | 0.4 | 0.2 |
| 3.2 | 1,436 | | 65.3 | 20.2 | 7.7 | 3.4 | 2.4 | 1.7 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.2 |
| 3.4 | 1,526 | | 73.5 | 22.8 | 8.8 | 3.9 | 2.7 | 1.9 | 1.0 | 0.6 | 0.5 | 0.2 |
| 3.6 | 1,616 | | 82.5 | 25.6 | 9.8 | 4.4 | 3.0 | 2.2 | 1.2 | 0.7 | 0.7 | 0.3 |
| 3.8 | 1,706 | | 92.2 | 28.5 | 10.8 | 4.9 | 3.4 | 2.4 | 1.3 | 0.8 | 0.6 | 0.3 |
| 4.0 | 1,795 | | | 31.5 | 12.2 | 5.4 | 3.8 | 2.7 | 1.5 | 0.9 | 0.6 | 0.3 |
| 4.5 | 2,020 | | | 39.7 | 15.3 | 6.8 | 4.7 | 3.4 | 1.9 | 1.1 | 0.8 | 0.4 |
| 5.0 | 2,444 | | | 49.1 | 18.8 | 8.4 | 5.9 | 4.2 | 2.3 | 1.3 | 1.0 | 0.5 |
| 5.5 | 2,469 | | | 59.6 | 22.8 | 10.2 | 7.1 | 5.0 | 2.7 | 1.6 | 1.2 | 0.6 |
| 6.0 | 2,693 | | | 70.7 | 27.1 | 12.1 | 8.4 | 6.0 | 3.2 | 1.9 | 1.4 | 0.7 |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6.5 | 2,917 | | 82.7 | 31.8 | 14.2 | 9.9 | 7.1 | 3.8 | 2.2 | 1.7 | 0.8 |

**ตารางที่ 11.4 (ต่อ)** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อคอนกรีตที่เชื่อมต่อด้วยซีเมนต์มอร์ตาร์

| ปริมาณน้ำ | | เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (d) เป็น นิ้ว | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ลบ.ฟุต ต่อวินาที | แกลลอน ต่อนาที | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 | 18 | 20 | 21 | 24 | 30 | 36 |
| 7.0 | 3,142 | | 36.9 | 16.5 | 11.5 | 8.2 | 4.4 | 2.5 | 2.0 | 1.0 | 0.3 | |
| 7.5 | 3,366 | | 42.2 | 18.9 | 13.2 | 9.4 | 5.1 | 2.9 | 2.3 | 1.1 | 0.4 | |
| 8.0 | 3,591 | | 48.2 | 21.5 | 15.0 | 10.7 | 5.8 | 3.3 | 2.6 | 1.3 | 0.4 | |
| 8.5 | 3,815 | | 54.4 | 24.3 | 16.9 | 21.1 | 6.5 | 3.7 | 2.9 | 1.4 | 0.5 | |
| 9.0 | 4,039 | | 61.0 | 27.2 | 19.0 | 13.5 | 7.3 | 4.2 | 3.3 | 1.5 | 0.5 | |
| 9.5 | 4,264 | | 68.0 | 30.3 | 21.1 | 15.1 | 8.2 | 4.7 | 3.6 | 1.8 | 0.6 | 0.2 |
| 10.0 | 4,488 | | 75.3 | 33.6 | 23.4 | 16.7 | 9.0 | 5.2 | 4.0 | 2.0 | 0.6 | 0.2 |
| 11.0 | 4,937 | | | 40.7 | 28.3 | 20.2 | 10.8 | 6.3 | 4.8 | 2.4 | 0.7 | 0.3 |
| 12.0 | 5,386 | | | 48.4 | 33.7 | 24.0 | 12.9 | 7.4 | 5.8 | 2.9 | 0.9 | 0.3 |
| 13.0 | 5,835 | | | 56.8 | 39.6 | 28.2 | 15.2 | 8.8 | 6.8 | 3.4 | 1.0 | 0.4 |
| 14.0 | 6,284 | | | 65.9 | 45.9 | 32.7 | 17.7 | 10.2 | 7.8 | 3.9 | 1.2 | 0.5 |
| 15.0 | 6,732 | | | | 52.6 | 37.5 | 20.3 | 11.7 | 9.0 | 4.5 | 1.4 | 0.5 |
| 16.0 | 7,181 | | | | 60.0 | 42.7 | 23.0 | 13.2 | 10.2 | 5.1 | 1.6 | 0.6 |
| 17.0 | 7,630 | | | | 67.7 | 48.2 | 26.0 | 14.9 | 11.6 | 5.8 | 1.8 | 0.7 |
| 18.0 | 8,079 | | | | | 54.0 | 29.3 | 16.5 | 13.0 | 6.5 | 2.0 | 0.8 |
| 20.0 | 8,977 | | | | | 68.7 | 33.9 | 20.7 | 16.0 | 7.9 | 2.5 | 0.9 |
| 22.0 | 9,874 | | | | | 80.7 | 43.3 | 25.1 | 19.3 | 9.6 | 3.0 | 1.1 |
| 24.0 | 10,772 | | | | | | 51.9 | 28.8 | 23.0 | 11.4 | 3.6 | 1.4 |
| 26.0 | 11,669 | | | | | | 60.8 | 34.9 | 27.0 | 13.4 | 4.1 | 1.6 |
| 28.0 | 12,567 | | | | | | 70.1 | 40.4 | 31.4 | 15.6 | 4.8 | 1.9 |
| 30.0 | 13,465 | | | | | | | 46.2 | 36.0 | 17.9 | 5.6 | 2.1 |
| 32.0 | 14,363 | | | | | | | 53.3 | 41.0 | 20.4 | 6.3 | 2.4 |
| 36.0 | 16,158 | | | | | | | 67.1 | 51.8 | 25.7 | 8.0 | 3.1 |

คำนวณณจากสูตร Scobey โดยใช้ $C_s = 0.310$

**ตารางที่ 11.5** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อคอนกรีต (C = 100)

| อัตราการไหล (Q) | | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 20 ซม. (8 นิ้ว) | 25 ซม. (10นิ้ว) | 30 ซม. (12 นิ้ว) | 35 ซม. (14นิ้ว) | 40 ซม. (16นิ้ว) | 45 ซม. (18นิ้ว) | 50 ซม. (20นิ้ว) | 60 ซม. (24นิ้ว) | 75 ซม. (30นิ้ว) | 90 ซม. (36นิ้ว) | 105 ซม. (42นิ้ว) |
| ลิตรต่อวินาที | ลบ.ฟุตต่อวินาที | เมตรต่อ 100 เมตร, ฟุตต่อ 100 ฟุต | | | | | | | | | | |
| 2.8 | 0.1 | 0.01 | | | | | | | | | | |
| 5.7 | 0.2 | 0.03 | | | | | | | | | | |
| 8.5 | 0.3 | 0.07 | | | | | | | | | | |
| 11.3 | 0.4 | 0.12 | 0.04 | | | | | | | | | |
| 14.2 | 0.5 | 0.19 | 0.06 | | | | | | | | | |
| 17.0 | 0.6 | 0.26 | 0.09 | 0.04 | | | | | | | | |
| 22.7 | 0.8 | 0.45 | 0.15 | 0.06 | | | | | | | | |
| 28.3 | 1.0 | 0.68 | 0.23 | 0.09 | 0.04 | | | | | | | |
| 34.0 | 1.2 | 0.95 | 0.32 | 0.13 | 0.06 | | | | | | | |
| 39.6 | 1.4 | 1.23 | 0.43 | 0.18 | 0.08 | 0.04 | | | | | | |
| 45.3 | 1.6 | 1.62 | 0.55 | 0.22 | 0.11 | 0.06 | | | | | | |
| 51.0 | 1.8 | 2.02 | 0.68 | 0.28 | 0.13 | 0.07 | | | | | | |
| 57.0 | 2.0 | 2.45 | 0.83 | 0.34 | 0.16 | 0.08 | 0.05 | | | | | |
| 38.0 | 2.4 | 3.43 | 1.16 | 0.48 | 0.22 | 0.12 | 0.07 | | | | | |
| 79.0 | 2.8 | 4.57 | 1.54 | 0.63 | 0.30 | 0.16 | 0.09 | 0.05 | | | | |
| 91.0 | 3.2 | 5.85 | 1.97 | 0.81 | 0.38 | 0.20 | 0.11 | 0.07 | | | | |
| 102.0 | 3.6 | 7.27 | 2.46 | 1.01 | 0.48 | 0.25 | 0.14 | 0.08 | 0.04 | | | |
| 113.0 | 4.0 | 8.84 | 2.98 | 1.23 | 0.58 | 0.30 | 0.17 | 0.10 | 0.04 | | | |
| 127.0 | 4.5 | | 3.71 | 1.53 | 0.72 | 0.38 | 0.21 | 0.13 | 0.05 | | | |
| 142.0 | 5.0 | | 4.51 | 1.86 | 0.88 | 0.46 | 0.26 | 0.15 | 0.06 | | | |
| 156.0 | 5.5 | | 5.38 | 2.21 | 1.05 | 0.55 | 0.31 | 0.18 | 0.08 | 0.03 | | |
| 170.0 | 6.0 | | 6.32 | 2.60 | 1.23 | 0.64 | 0.36 | 0.22 | 0.09 | 0.03 | | |
| 184.0 | 6.5 | | 7.33 | 3.02 | 1.42 | 0.74 | 0.42 | 0.25 | 0.10 | 0.04 | | |
| 198.0 | 7.0 | | 8.41 | 3.46 | 1.63 | 0.85 | 0.48 | 0.29 | 0.12 | 0.04 | | |
| 227.0 | 8.0 | | | 4.43 | 2.09 | 1.09 | 0.62 | 0.37 | 0.15 | 0.05 | | |
| 255.0 | 9.0 | | | 5.51 | 2.60 | 1.36 | 0.76 | 0.46 | 0.19 | 0.06 | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 283.0 | 10.0 | | | 6.69 | 3.16 | 1.65 | 0.93 | 0.56 | 0.23 | 0308 | | |

**ตารางที่ 11.5 (ต่อ)** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อคอนกรีต (C = 100)

| อัตราการไหล (Q) | | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 20 ซม. (8 นิ้ว) | 25 ซม. (10นิ้ว) | 30 ซม. (12 นิ้ว) | 35 ซม. (14นิ้ว) | 40 ซม. (16นิ้ว) | 45 ซม. (18นิ้ว) | 50 ซม. (20นิ้ว) | 60 ซม. (24นิ้ว) | 75 ซม. (30นิ้ว) | 90 ซม. (36นิ้ว) | 105 ซม. (42นิ้ว) |
| ลิตรต่อวินาที | ลบ.ฟุตต่อวินาที | เมตรต่อ 100 เมตร, ฟุตต่อ 100 ฟุต | | | | | | | | | | |
| 340.0 | 12.0 | | | 9.38 | 4.43 | 2.31 | 1.30 | 0.78 | 0.32 | 0.11 | 0.04 | |
| 396.0 | 14.0 | | | | 5.89 | 3.08 | 1.73 | 1.04 | 0.43 | 0.14 | 0.06 | |
| 453.0 | 16.0 | | | | 7.54 | 3.94 | 2.22 | 1.33 | 0.55 | 0.18 | 0.08 | |
| 510.0 | 18.0 | | | | | 4.90 | 2.76 | 1.65 | 0.68 | 0.23 | 0.09 | |
| 566.0 | 20.0 | | | | | 5.95 | 3.35 | 2.01 | 0.83 | 0.28 | 0.12 | 0.05 |

**ตารางที่ 11.6** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อแอสเบสตอสซีแมนต์ (C = 100)

| อัตราการไหล (Q) | | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 7.5 ซม (3 นิ้ว) | 10 ซม. (4 นิ้ว) | 12. ซม. (12นิ้ว) | 15 ซม. (6 นิ้ว) | 17.5ซม. (7 นิ้ว) | 20 ซม. (8 นิ้ว) | 25 ซม. (10นิ้ว) | 30ซม. (12นิ้ว) |
| ลิตรต่อวินาที | แกลลอน* ต่อวินาที | เมตรต่อ 100 เมตร, ฟุตต่อ 100 ฟุต | | | | | | | |
| 0.6 | 10 | 0.04 | 0.01 | | | | | | |
| 1.3 | 20 | 013 | 0.03 | 0.01 | | | | | |
| 1.9 | 30 | 0.27 | 0.07 | 0.02 | | | | | |
| 2.5 | 40 | 0.46 | 0.12 | 0.04 | | | | | |
| 3.2 | 50 | 0.70 | 0.18 | 0.06 | 0.03 | | | | |
| 4.4 | 75 | 1.48 | 0.39 | 0.12 | 0.06 | | | | |
| 6.3 | 100 | 2.53 | 0.66 | 0.21 | 0.10 | | | | |
| 7.9 | 125 | 3.82 | 1.00 | 0.32 | 0.15 | | | | |
| 9.5 | 150 | 5.34 | 1.40 | 0.44 | 0.21 | 0.09 | | | |
| 11.0 | 175 | 7.08 | 1.85 | 0.59 | 0.27 | 0.11 | | | |
| 12.6 | 200 | 9.10 | 2.38 | 0.79 | 0.35 | 0.15 | 0.08 | | |
| 15.8 | 250 | 13.60 | 3.60 | 1.14 | 0.53 | 0.22 | 0.13 | | |
| 19.0 | 300 | 19.26 | 5.04 | 1.60 | 0.75 | 0.31 | 0.18 | 0.06 | |
| 22.0 | 350 | 25.61 | 6.70 | 2.13 | 0.99 | 0.41 | 0.24 | 0.07 | |
| 25.2 | 400 | | 8.60 | 2.73 | 1.27 | 0.53 | 0.30 | 0.09 | |
| 28.4 | 450 | | 10.69 | 3.40 | 1.58 | 0.66 | 0.38 | 0.12 | |
| 31.6 | 500 | | 12.98 | 4.12 | 1.92 | 0.80 | 0.46 | 0.14 | 0.06 |
| 37.9 | 600 | | 18.17 | 5.77 | 2.69 | 1.12 | 0.64 | 0.20 | 0.08 |
| 44.2 | 700 | | 24.19 | 7.68 | 3.58 | 1.49 | 0.86 | 0.26 | 0.11 |
| 50.5 | 800 | | 30.99 | 9.84 | 4.58 | 1.91 | 1.10 | 0.34 | 0.14 |
| 56.9 | 900 | | | 12.21 | 5.69 | 2.37 | 1.36 | 0.42 | 0.17 |
| 63.2 | 1000 | | | 14.88 | 6.93 | 2.89 | 1.66 | 0.51 | 0.21 |
| 76.0 | 1200 | | | 20.79 | 9.68 | 4.04 | 2.31 | 0.71 | 0.29 |
| 88.5 | 1400 | | | 27.72 | 12.91.16 | 5.39 | 3.08 | 0.95 | 0.39 |
| 101.0 | 1600 | | | | .53 | 6.90 | 3.95 | 1.22 | 0.50 |
| 113.8 | 1800 | | | | 20.60 | 8.60 | 4.92 | 1.52 | 0.62 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 126.0 | 2000 | | | | 24.99 | 10.43 | 5.97 | 1.84 | 0.79 |

**ตารางที่ 11.7** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อเหล็กเหนียวเชื่อมเข้าด้วยกัน (Welded Steel Pipe, C= 120)

| อัตราการไหล (Q) | | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 ซม. (2 นิ้ว) | 7.5 ซม. (3 นิ้ว) | 10 ซม. (4 นิ้ว) | 12.5 ซม. (5 นิ้ว) | 15 ซม. (6 นิ้ว) | 20 ซม. (8 นิ้ว) | 25 ซม. (10นิ้ว) | 30ซม. (12นิ้ว) |
| ลิตรต่อวินาที | แกลลอน* ต่อวินาที | เมตรต่อ 100 เมตร, ฟุตต่อ 100 ฟุต | | | | | | | |
| 0.6 | 10 | 0.3 | 0.1 | | | | | | |
| 1.3 | 20 | 1.1 | 0.2 | | | | | | |
| 1.9 | 30 | 2.4 | 0.3 | 0.1 | | | | | |
| 2.5 | 40 | 4.1 | 0.6 | 0.2 | | | | | |
| 3.2 | 50 | 6.3 | 0.9 | 0.2 | 0.1 | | | | |
| 4.4 | 75 | 13.1 | 1.9 | 0.5 | 0.2 | | | | |
| 6.3 | 100 | 22.5 | 3.2 | 0.9 | 0.3 | 0.1 | | | |
| 7.9 | 125 | 34.0 | 4.8 | 1.3 | 0.4 | 0.2 | | | |
| 9.5 | 150 | 47.5 | 6.7 | 1.8 | 0.6 | 0.2 | | | |
| 11.0 | 175 | | 8.9 | 2.4 | 0.8 | 0.3 | 0.1 | | |
| 12.6 | 200 | | 11.5 | 3.1 | 1.0 | 0.4 | 0.1 | | |
| 15.8 | 250 | | 17.3 | 4.7 | 1.5 | 0.6 | 0.2 | | |
| 19.0 | 300 | | 24.3 | 6.5 | 2.2 | 0.9 | 0.2 | | |
| 22.0 | 350 | | 32.3 | 8.7 | 2.9 | 1.2 | 0.3 | 0.1 | |
| 25.2 | 400 | | 41.4 | 11.1 | 3.7 | 1.5 | 0.4 | 0.1 | |
| 28.4 | 450 | | | 13.9 | 4.6 | 1.9 | 0.5 | 0.2 | |
| 31.6 | 500 | | | 16.8 | 5.6 | 2.3 | 0.6 | 0.2 | 0.1 |
| 37.9 | 600 | | | 23.6 | 7.8 | 3.2 | 0.8 | 0.3 | 0.1 |
| 44.2 | 700 | | | 31.4 | 10.4 | 4.3 | 1.1 | 0.4 | 0.2 |
| 50.5 | 800 | | | 40.2 | 13.3 | 5.5 | 1.4 | 0.5 | 0.2 |
| 56.9 | 900 | | | | 16.5 | 6.8 | 1.8 | 0.6 | 0.3 |
| 63.2 | 1000 | | | | 20.1 | 8.9 | 2.2 | 0.7 | 0.3 |
| 76.0 | 1200 | | | | 28.1 | 11.6 | 3.0 | 1.0 | 0.4 |
| 88.5 | 1400 | | | | 37.5 | 15.4 | 4.0 | 1.3 | 0.6 |
| 101.0 | 1600 | | | | | 19.7 | 5.2 | 1.7 | 0.7 |
| 113.8 | 1800 | | | | | 24.6 | 6.5 | 2.1 | 0.9 |
| 126.0 | 2000 | | | | | 29.8 | 7.8 | 2.6 | 1.1 |

**ตารางที่ 11.8** การสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อ PVC ประเภทความดันต่ำ (Low-Head Polyvinyl Chloride Pipe, C = 150 )

| อัตราการไหล (Q) | | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (d) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 10 ซม. (4 นิ้ว) | 15 ซม. (6 นิ้ว) | 20 ซม. (8 นิ้ว) | 25 ซม. (10 นิ้ว) | 30 ซม. (12 นิ้ว) | 37.5 ซม (15 นิ้ว) |
| ลิตร ต่อวินาที | แกลลอน* ต่อวินาที | เมตรต่อ 100 เมตร, ฟุตต่อ 100 ฟุต | | | | | |
| 3.2 | 50 | 0.16 | | | | | |
| 6.3 | 100 | 0.58 | 0.08 | | | | |
| 9.5 | 150 | 1.23 | 0.17 | | | | |
| 12.6 | 200 | 2.10 | 0.29 | 0.07 | | | |
| 15.8 | 250 | 3.17 | 0.44 | 0.11 | | | |
| 19.0 | 300 | 4.45 | 0.62 | 0.15 | 0.05 | | |
| 22.0 | 350 | 5.91 | 0.82 | 0.20 | 0.07 | | |
| 25.2 | 400 | 7.57 | 1.05 | 0.26 | 0.09 | | |
| 28.4 | 450 | 9.42 | 1.31 | 0.32 | 0.11 | 0.04 | |
| 31.6 | 500 | 11.45 | 1.59 | 0.39 | 0.13 | 0.05 | |
| 37.9 | 600 | | 2.23 | 0.55 | 0.18 | 0.08 | |
| 44.2 | 700 | | 2.96 | 0.73 | 0.25 | 0.10 | |
| 50.5 | 800 | | 3.79 | 0.94 | 0.32 | 0.13 | |
| 56.9 | 900 | | 4.72 | 1.16 | 0.39 | 0.16 | 0.05 |
| 63.1 | 1000 | | 5.73 | 0.41 | 0.48 | 0.20 | 0.07 |
| 76.0 | 1200 | | 8.04 | 1.98 | 0.67 | 0.28 | 0.09 |
| 88.5 | 1400 | | 10.69 | 2.63 | 0.89 | 0.37 | 0.12 |
| 101.0 | 1600 | | | 3.37 | 1.14 | 0.47 | 0.16 |
| 113.0 | 1800 | | | 4.19 | 1.42 | 0.58 | 0.20 |
| 126.0 | 2000 | | | 5.10 | 1.72 | 0.71 | 0.24 |
| 151.0 | 2400 | | | 7.14 | 2.41 | 0.99 | 0.34 |
| 177.0 | 2800 | | | 9.50 | 3.21 | 1.32 | 0.44 |
| 202.0 | 3200 | | | | 4.10 | 1.69 | 0.57 |
| 227.0 | 3600 | | | | 5.10 | 2.10 | 0.71 |
| 252.0 | 4000 | | | | 6.20 | 2.55 | 0.86 |

* U.S.Gallon

**ตารางที่ 11.9** ส.ป.ส. การสูญเสียพลังงานเนื่องจากสิ่งกีดขวาง
(Minor Loss Coefficients)*

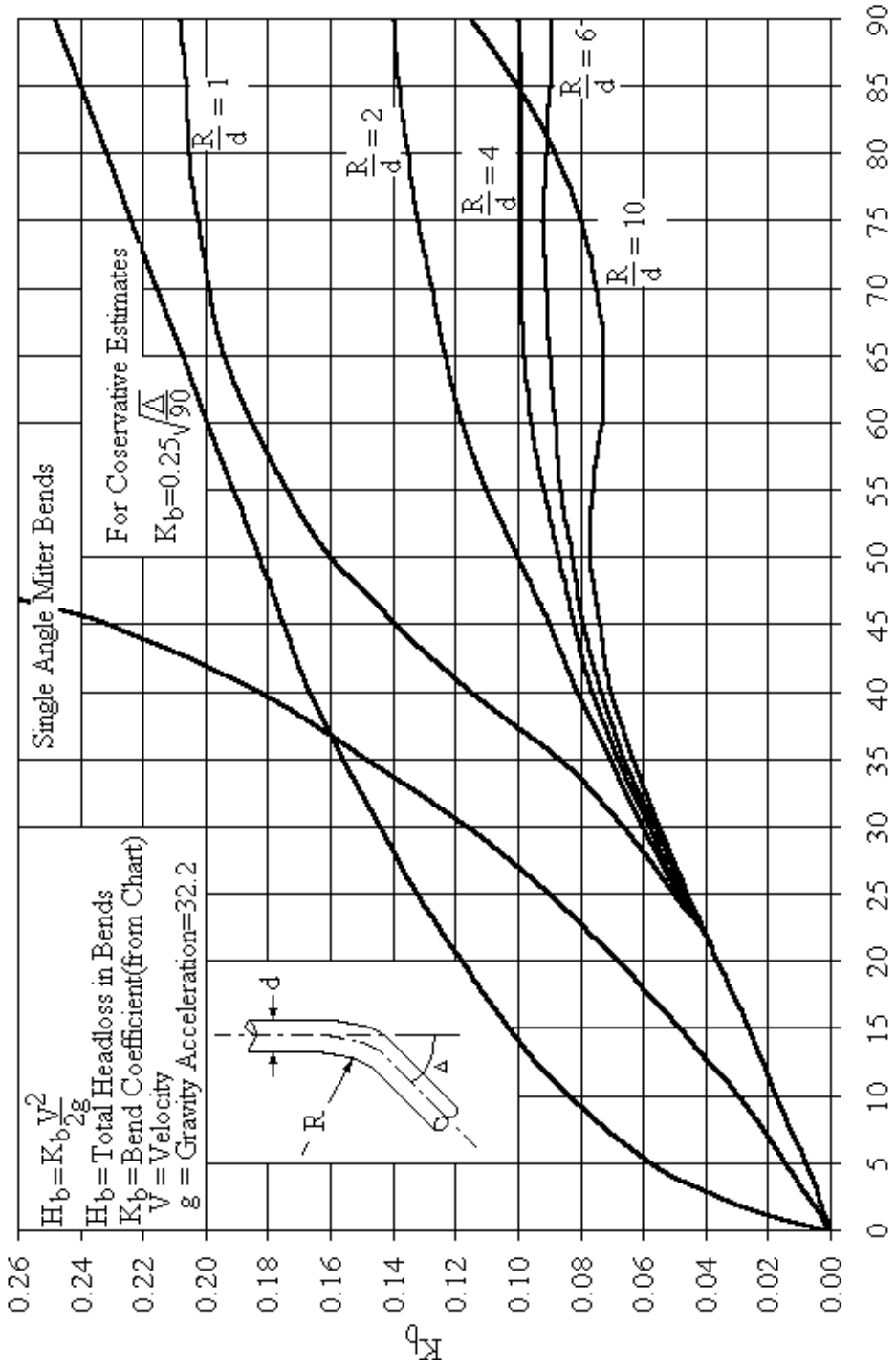
| ลักษณะของสิ่งกีดขวาง | | Km. |
|---|---|---|
| ข้อต่อ (ขยาย) | | 0.15 |
| ข้อต่อ (ลด) | | 0.10 |
| ทางเข้า (Entrance) | - ขอบยื่น (Inward projecting) | 0.78 |
| | - ขอบคม (Sharp cornered) | 0.50 |
| | - ขอบมน (slightly rounded) | 0.23 |
| | - ปากระฆัง (Bell mouth) | 0.04 |
| ทางออก (Exit) | | 1.0 |
| ข้อต่อแบบตัวที (ในท่อประธาน) | | 0.0 |
| ข้อต่อแบบตัวที (แยกออกหัวจ่ายน้ำ) | | 0.23 |
| วาล์วปิด - เปิดน้ำ | | 0.20 |
| วาล์วลูกลอย | | 5.00 |
| อัลฟัลฟาวาล์ว | | ดูตารางที่ 11.10 |
| ออร์ซาร์ดวาล์ว | | ดูตารางที่ 11.11 |
| ท่อโค้ง | | ดูรูปที่ 11.17 |
| | | การสูญเสียพลังงาน |
| มิเตอร์วัดน้ำแบบใบพัดเรือ | | (ฟุต) |
| ขนาด 4 นิ้ว, วัดน้ำระหว่าง 0.0 - 0.6 ลบ.ฟุต/วินาที | | 1 |
| ขนาด 6 นิ้ว, วัดน้ำระหว่าง 0.7 -1.4 ลบ.ฟุต/วินาที | | 1 |
| ขนาด 8 นิ้ว, วัดน้ำระหว่าง 1.5- 2.0 ลบ.ฟุต/วินาที | | 0.42 |
| ขนาด 12 นิ้ว, วัดน้ำระหว่าง 2.1- 3.0 ลบ.ฟุต/วินาที | | 0.20 |
| ขนาด 18 นิ้ว, วัดน้ำระหว่าง 8 - 12 ลบ.ฟุต/วินาที | | 0.13 |
| ขนาด 20 นิ้ว, วัดน้ำระหว่าง 12 - 15 ลบ.ฟุต/วินาที | | 0.13 |
| ขนาด 24 นิ้ว, วัดน้ำระหว่าง 16 - 22 ลบ.ฟุต/วินาที | | 0.10 |
| ถังวัดน้ำแนวดิ่ง (Vertical Flow Meter Stand) | | 1.0 |
| ตะแกรง (Traveling Water Screen) | | 0.1 |

* King, H.W, Handbook of Hydraulics and USBR, Design Standards for Pipe Distribution

Systems and Closed Conduits.

**ตารางที่ 11.10** การสูญเสียพลังงานขณะที่น้ำไหลผ่านอัลฟัลฟาวาล์ว

| อัตราการไหล (Q) | | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ซม.) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 60 | 75 |
| ลิตร วินาที | ลบ.เมตร ต่อชั่วโมง | เซนติเมตร | | | | | | | | | |
| 10 | 36 | 2 | 1 | | | | | | | | |
| 20 | 72 | 10 | 3 | 1 | | | | | | | |
| 30 | 108 | 26 | 7 | 3 | 1 | | | | | | |
| 40 | 144 | 50 | 13 | 5 | 2 | 1 | | | | | |
| 50 | 180 | 83 | 22 | 8 | 4 | 2 | 1 | | | | |
| 60 | 216 | 126 | 34 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | | | |
| 80 | 288 | 250 | 64 | 24 | 11 | 5 | 3 | 2 | 1 | | |
| 100 | 360 | | 105 | 40 | 18 | 9 | 5 | 3 | 2 | | |
| 125 | 450 | | 165 | 35 | 29 | 15 | 7 | 5 | 3 | 1 | |
| 150 | 540 | | 250 | 97 | 44 | 22 | 12 | 7 | 4 | 2 | |
| 175 | 630 | | | 136 | 65 | 30 | 17 | 10 | 6 | 3 | 1 |
| 200 | 720 | | | 185 | 83 | 41 | 22 | 14 | 8 | 4 | 1 |
| 225 | 810 | | | 245 | 100 | 55 | 30 | 18 | 11 | 5 | 2 |
| 250 | 900 | | | | 137 | 69 | 37 | 23 | 14 | 6 | 2 |
| 275 | 990 | | | | 170 | 83 | 45 | 28 | 17 | 7 | 3 |
| 300 | 1080 | | | | 210 | 100 | 56 | 35 | 21 | 9 | 3 |
| 350 | 1260 | | | | 300 | 145 | 77 | 50 | 29 | 13 | 4 |
| 400 | 1440 | | | | | 195 | 103 | 66 | 40 | 17 | 6 |
| 450 | 1620 | | | | | 250 | 135 | 87 | 50 | 23 | 8 |
| 500 | 1800 | | | | | | 170 | 110 | 63 | 29 | 10 |
| 550 | 1980 | | | | | | 210 | 140 | 78 | 36 | 13 |




**รูปที่ 11.17 การสูญเสียพลังงานในท่อโค้ง**

เมื่อรู้ปริมาณน้ำที่ไหลในท่อและการสูญเสียพลังงานที่จะยอมให้เกิดขึ้นจะสามารถคำนวณหาขนาดท่อส่งน้ำได้จากสมการใดสมการหนึ่งตามที่กล่าวมาแล้ว (สมการที่ 11.3 ถึง11.9)

**ตารางที่ 11.11** สมรรถนะของออร์ชาร์ดวาล์ว

| ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อตั้ง (Riser) | ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวาล์ว | ความดันที่ต้องการ | |
|---|---|---|---|
| | | 30 ซม. | 75 ซม. |
| ซม. | | ลิตรต่อวินาที | |
| 15 | 3.75 | 1 | 2 |
| 15 | 6.25 | 3 | 6 |
| 15 | 8.75 | 6 | 12 |
| 20 | 12.50 | 13 | 26 |
| 25 | 15.00 | 19 | 38 |
| 30 | 20.00 | 33 | 67 |

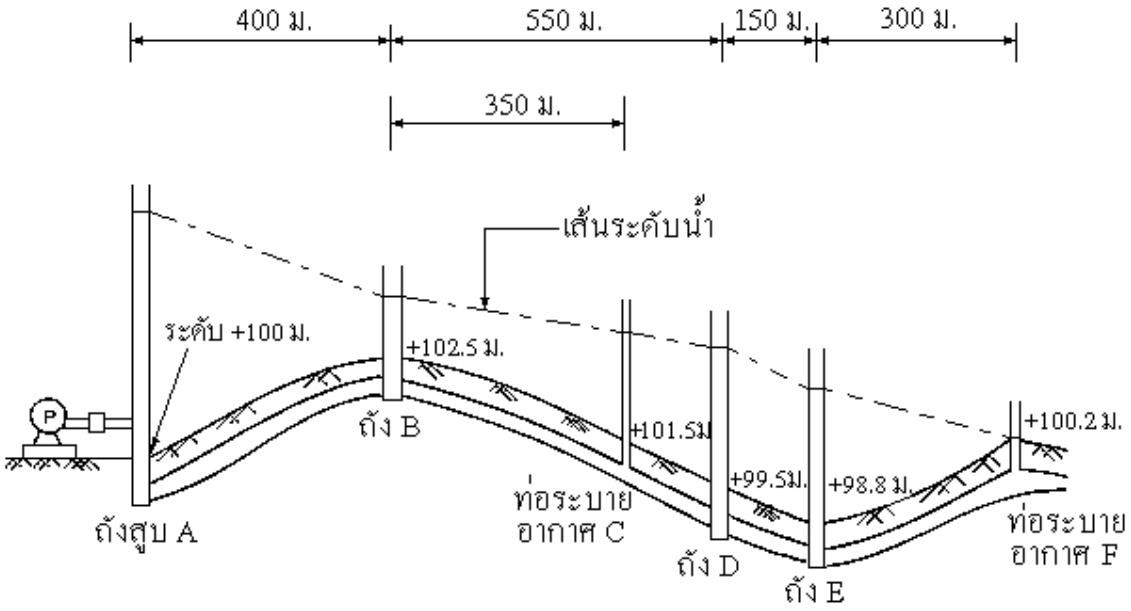
การหาขนาดท่อในระบบท่อส่งน้ำจะพิจารณาจากท่อที่ทำหน้าที่จ่ายน้ำให้กับแปลงโดยตรง แล้วไล่เข้าหาท่อประธานและแหล่งน้ำตามลำดับ

### 11.4.5 การหาขนาดของอาคารควบคุมน้ำ

อาคารควบคุมน้ำเช่น ถังรับน้ำ ถังอัดน้ำ ถังแบ่งน้ำ หรือท่อระบายอากาศ จะต้องสูงพอที่น้ำจะไม่ไหลล้น แต่ต้องไม่สูงมากจนทำให้ค่าลงทุนในการก่อสร้างสูงเกินความจำเป็น หรือทำให้การควบคุมต่าง ๆ ทำได้ยากลำบาก ความสูงของอาคารต่าง ๆ เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับเส้นระดับน้ำ (Hydraulic Gradient) ณ จุดที่ตั้งอาคาร ซึ่งเส้นระดับน้ำนี้สามารถที่จะปรับให้สูงหรือต่ำได้โดยการพิจารณาเพิ่มหรือลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดในท่อ หรือพูดง่าย ๆ ว่าขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ขนาดท่อนั่นเอง

การวิเคราะห์การไหลของน้ำในท่อและการออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทานจะแสดงไว้ในตัวอย่างต่อไปนี้

**ตัวอย่างที่ 11.1** ท่อน้ำระหว่างถังสูง A และถัง B ดังแสดงในรูปที่ 11.8 มีน้ำไหลด้วยอัตรา 0.2 ลบ. เมตร/วินาที ถัง A สูง 5 เมตร เหนือพื้นดิน และต้องเผื่อขอบถังให้เหนือผิวน้ำ (Freeboard) เท่ากับ 0.30 เมตร ถ้ากำหนดว่าระดับน้ำในถัง ต้องสูงเหนือผิวดินอย่างน้อย 0.50 เมตร ให้หาขนาดของท่อส่งน้ำสายนี้




**รูปที่ 11.18 ไดอะแกรมแสดงระบบท่อส่งน้ำสำหรับการคำนวณในตัวอย่างที่ 11.1 ถึง 11.14**

**วิธีทำ**

ต้องหาระดับน้ำต่างระหว่างถัง A และ B แล้วเลือกขนาดท่อซึ่งการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืดเท่ากับค่านี้

จากรูปที่ 11.18

| | | | |
|---|---|---|---|
| ระดับดินที่ถัง A | = | 100.00 | เมตร |
| ระดับดินที่ถัง B | = | 102.50 | เมตร |
| ระยะระหว่างถัง A และ B | = | 400 | เมตร |
| ระดับน้ำในถัง A | = | 100+5-0.30 = 104.70 | เมตร |
| ระดับน้ำในถัง B | = | 102.5+0.50 = 103.00 | เมตร |
| ระดับน้ำต่างระหว่างถึง A และ B | = | 104.7-103.00 = 1.70 | เมตร |

จากสมการที่ 11.4

$$Q = 7.52\ C_s\ H_f^{0.5}\ d^{2.625}$$

เมื่อ $Q$ = 0.2 ลบ.เมตร/วินาที,

$$H_f = \frac{1.70}{400} \times 100 = 0.425 \text{ เมตร/100 เมตร}$$

สมมติว่า $C_s$ = 0.345 (คอนกรีต)

$$0.2 = 7.52(0.345)\ (0.425)^{0.5}\ d^{2.625}$$

$$d = 0.44 \text{ เมตร}$$

เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.50 เมตร

$$H_f = \left[\frac{0.2}{7.5\,(0.345)\,(0.5)^{2.625}}\right]^2$$

$$= 0.23 \text{ เมตร/100 เมตร}$$

ระดับน้ำในถัง A จะต้องไม่ต่ำกว่า $= 103 + \frac{0.23 \times 400}{100}$ เมตร

$= 103.92$ เมตร

**ตัวอย่างที่ 11.2** จากรูปที่ 11.18 ถ้าถัง B เป็นถังแบ่งน้ำ (Division Stand) ซึ่งแบ่งน้ำจากท่อประธานให้กับท่อแยกเป็นปริมาณ 0.05 ลบ.เมตร/วินาที ทำให้เหลือน้ำไหลในท่อประธาน ขนาด 0.50 เมตร เพียง 0.15 ลบ.เมตร/วินาที กำหนดว่าระดับน้ำในถัง B เท่ากับ 103.0 เมตร เหมือนในตัวอย่างที่ 11.1 จงหาระดับน้ำและความสูงของท่อระบายอากาศ C และถัง D

จากรูปที่ 11.18 ระดับดินที่ท่อระบายอากาศ C = 101.50 เมตร

ระดับดินที่ถัง D = 99.50 เมตร

ระยะระหว่างถัง B และถัง C = 350 เมตร

ระยะระหว่างถัง B และถัง D = 550 เมตร

โจทย์กำหนดว่า Q = 0.15 ลบ.เมตร/วินาที

ระดับน้ำในถัง B = 103.00 เมตร

d = 0.50 เมตร

สมมติว่า C = 0.345 เมตร

จากสมการที่ 11.4

$$0.15 = 7.52\,(0.345)\,(H_f)^{0.5}\,(0.5)^{2.625}$$

$$H_f = \left[\frac{0.15}{7.52\,(0.345)\,(0.5)^{2.625}}\right]^2$$

$$= 0.13 \text{ เมตร /100 เมตร}$$

ระดับน้ำในท่อระบายอากาศ C $= 103 - \frac{0.13}{100} \times 350$ เมตร

$= 102.55$ เมตร

ระดับน้ำในถัง D $= 103 - \frac{0.13 \times 550}{100}$ เมตร

$= 102.29$ เมตร

กำหนดว่าอาคารควรจะสูงกว่าระดับน้ำ = 0.30 เมตร

ความสูงของท่อระบายอากาศ C = 102.55+0.30-101.5 เมตร

| | | | |
|---|---|---|---|
| | = | 1.35 | เมตร |
| และความสูงของถัง | = | 102.29+0.30-99.50 | เมตร |
| | = | 3.09 ≈ 3.10 | เมตร |

**ตัวอย่างที่ 11.3** ถัง E ตามรูปที่ 11.18 ทำหน้าที่เป็นถังแบ่งน้ำเพื่อแบ่งน้ำให้กับท่อแยกซอยซึ่งต้องการเฮดน้ำ (Head) ในถัง E เท่ากับ 2.90 เมตร เหนือผิวดินให้หาขนาดท่อส่งน้ำระหว่างถัง D และ E กำหนดว่าปริมาณน้ำที่ไหลในท่อเท่ากับ 0.15 เมตร/วินาที

จากรูปที่ 11.8

| | | | |
|---|---|---|---|
| ระดับดินที่ถัง E | = | 98.80 | เมตร |
| ระยะระหว่างถัง D และถัง E | = | 150 | เมตร |
| กำหนดว่า Q | = | 0.15 | ลบ.เมตร/วินาที |
| ระดับน้ำในถัง D (ตามตัวอย่างที่ 10.2) | = | 102.29 | เมตร |
| ระดับน้ำในถัง E ที่ต้องการ | = | 98.8+2.90 = 101.7 | เมตร |
| ระดับน้ำต่างระหว่างถัง D และถัง E | = | 102.29-101.7 = 0.59 | เมตร |

$H_f = \frac{0.59}{150} \times 100 = 0.39$ ม./ม.

สมมติว่า $C_s = 0.345$

จากสมการที่ 11.4 จะได้ว่า

$0.15 = 7.52(0.345)\ (0.39)^{0.5}\ d^{2.625}$

$d = 0.40$ เมตร

เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.40 เมตร

**ตัวอย่างที่ 11.4** ถัง E แบ่งน้ำให้กับท่อแยกจำนวน 0.10 ลบ.เมตร/วินาที เหลือน้ำไหลในท่อช่วงถัง E และท่อระบายอากาศ F เพียง 0.05 ลบ.เมตร/วินาที กำหนดว่าท่อวางต่ำกว่าผิวดิน 0.45 เมตร และระดับน้ำในถัง E อยู่ที่ 101.7 เมตร จงหาขนาดท่อที่จะทำให้น้ำไหลเต็มท่อที่จุด F

<u>วิธีทำ</u> น้ำจะไหลเต็มที่ที่จุด F ก็ต่อเมื่อเส้นระดับน้ำอยู่เหนือสันบนของท่อจากรูปที่ 11.18

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ระยะระหว่างถัง E และท่อระบายอากาศ | | = | 300 | เมตร |
| ระดับดินที่ท่อ F | | = | 100.2 | เมตร |
| กำหนดว่า | Q | = | 0.05 | ลบ.เมตร/วินาที |
| ระดับน้ำในถัง | E | = | 101.7 | เมตร |
| ระดับน้ำที่จุด | F ที่ต้องการ | = | 100.2-0.45 = 99.75 | เมตร |

$H_f = \frac{(101.7 - 99.75)}{300} 100 = 0.65$

สมมติว่า $C_s = 0.345$

จากสมการที่ 11.4

$0.05 = 7.52\ (0.345)\ (0.65)^{0.5}\ (d)^{2.625}$

$d = 0.24$ เมตร

เลือกใช้ท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 เมตร

**ตัวอย่างที่ 11.5** จงออกแบบระบบท่อส่งน้ำคอนกรีตสำหรับสวนผลไม้ขนาด 75 ไร่ (200 เมตร x 600 เมตร) ดินเป็นดินทรายซึ่งมีอัตราการซึมสูงและมีข้อกำหนดต่าง ๆ ดังนี้

1. พื้นที่มีความลาดเทลงทางทิศใต้ 0.3 % และความลาดเทไปทางทิศตะวันออก 0.15 % ดังแสดงในรูปที่ 11.19
2. แบ่งพื้นที่ออกเป็น 12 แปลงย่อย แต่ละแปลงมีขนาด 6.25 ไร่ (100 เมตร x 100 เมตร)
3. ต้นไม้แต่ละต้นปลูกห่างกัน 10 เมตร
4. ให้น้ำแก่ต้นไม้ทางร่องคู โดยใช้ร่องคูเล็ก 4 ร่อง ต่อต้นไม้ 1 แถว ดังรูปที่ 11.20
5. อัตราการให้น้ำแก่ร่องคูเล็กแต่ละร่องซึ่งยาว 100 เมตร เท่ากับ 0.6 ลิตร/วินาที
6. แหล่งน้ำคือน้ำใต้ดิน ซึ่งมีอัตราการสูบสูงสุด 60 ลิตร/วินาที
7. เฮดของน้ำที่จุดสูบน้ำเท่ากับ 1.20 เมตร
8. เฮดของน้ำที่ต้องการที่หัวจ่ายน้ำอย่างน้อยต้องเท่ากับ 0.30 เมตร

<u>วิธีทำ</u>

ความต้องการน้ำของต้นไม้แต่ละแถว = 0.6 x 4 = 2.4 ลิตร/วินาที

จำนวนแถวต้นไม้ที่จะให้น้ำได้พร้อมกัน = $\frac{\text{อัตราการสูบสูงสุด}}{\text{ความต้องการน้ำของต้นไม้ 1 แถว}}$

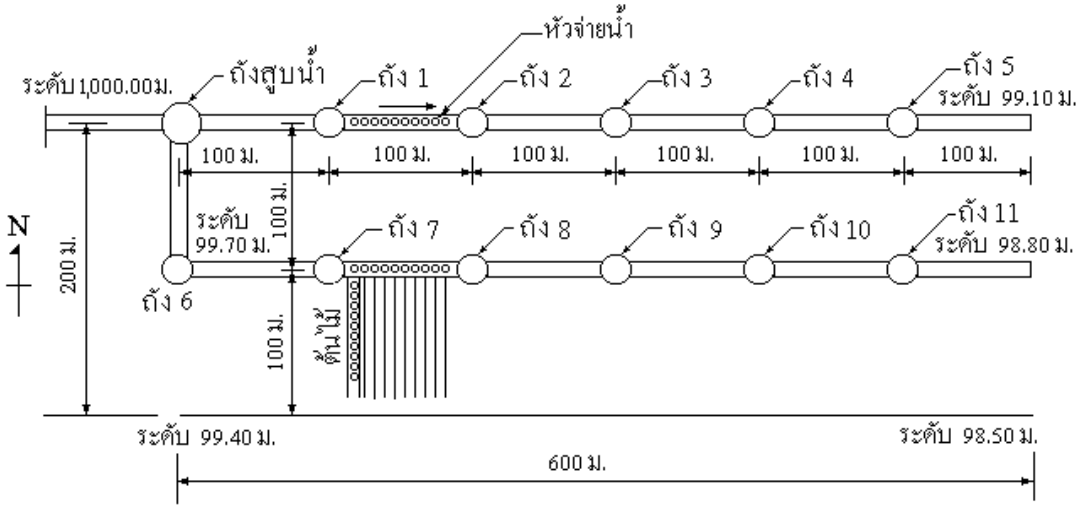
$= \frac{60}{2.4} = 25$ แถว

ด้วยอัตราการสูบสูงสุดจะให้น้ำกับพื้นที่ได้พร้อม ๆ กัน 2.5 แปลง แต่เพื่อความสะดวกในการให้น้ำออกแบบระบบท่อให้ส่งน้ำได้พร้อม ๆ กันเพียงครั้งละ 2 แปลง

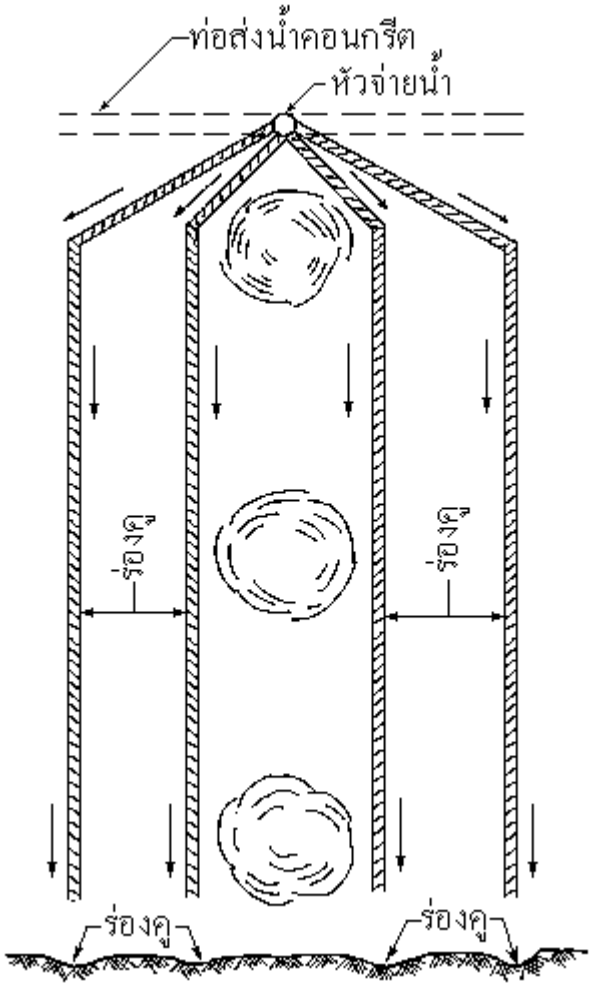
ดังนั้นระบบบ่อจะต้องมีขนาดพอที่จะส่งน้ำได้ = 20 x 2.4 = 48 ลิตร/วินาที

<u>จากรูปที่ 11.19</u>

| | | | |
|---|---|---|---|
| ระดับดินลดลงตามแนวท่อ AB | = | 100-99.10 | = 0.90 เมตร |
| ระดับดินลดลงตามแนวท่อ AC | = | 100-98.80 | = 1.20 เมตร |
| ความยาวของท่อ AB | = | 600 | เมตร |
| ความยาวของท่อ AC | = | 700 | เมตร |
| เฮดของน้ำที่จุดสูบน้ำ | = | 1.20 | เมตร |
| กำหนดว่าการสูญเสียพลังงานที่หัวจ่ายน้ำ | = | 0.30 | เมตร |




**รูปที่ 11.19 การวางแนวระบบท่อส่งน้ำ**




**รูปที่ 11.20 การให้น้ำทางร่องคู โดยใช้ร่องคู 4 ร่อง ต่อต้นไม้ 1 แถว**

การสูญเสียพลังงานที่ยอมให้เกิดในท่อ A = 1.20+0.90-0.30 เมตร

= 1.80 เมตร

การสูญเสียพลังงานที่ยอมให้เกิดในท่อ AC = 1.20+1.20-0.30 เมตร

= 2.10 เมตร

$H_f$ (AB) = $\frac{1.80}{600}$ x 100 = 0.30 เมตร

$H_f$ (AC) = $\frac{2.10}{700}$ x 100 = 0.30 เมตร

<u>หาขนาดท่อ จากสมการที่ 11.4</u>

Q = $7.52\ C_s\ H_f^{0.5}\ d^{2.625}$

สมมติว่า $C_s$ = 0.345

สำหรับท่อ AB : Q = 0.048 ลบ.เมตร/วินาที,

$H_f$ = 0.3 เมตร/100 เมตร

$0.048 = 7.52 \times 0.345 \times (0.3)^{0.5}\ d^{2.625}$

d = 0.28 เมตร

ใช้ท่อขนาด 0.30 เมตร

สำหรับท่อ AC ก็ต้องใช้ท่อขนาด 0.30 เมตร เหมือนกันเพราะ $H_f$ (AB) = $H_f$ (AC)

ในระบบท่อส่งน้ำดังแสดงในรูปที่ 11.19 จะประกอบไปด้วยอาคารต่าง ๆ ดังนี้

1. ถังสูบน้ำ 1 ถัง

2. ถังควบคุม 11 ถัง เพื่อควบคุมการให้น้ำแก่แปลงต่าง ๆ

3. บานระบายปิด-เปิด 12 บาน สำหรับถังสูบน้ำ2 บาน และถังควบคุมน้ำ 10 ถัง ยกเว้นถัง 6 ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีบานระบาย

4. หัวจ่ายน้ำ (Distributing Hydrants) จำนวน 120 หัว

<u>หาความสูงของอาคาร</u>

ถังสูบน้ำและถังควบคุมน้ำต่าง ๆ จะต้องสูงกว่าระดับน้ำประมาณ 0.30 เมตร

จากสมการที่ 11.4 หาความลาดเทของเส้นพลังงาน

$0.048 = 7.52 \times 0.345 \times H_f^{0.5} \times (0.3)^{2.625}$

$H_f$ = 0.19 เมตร/100 เมตร

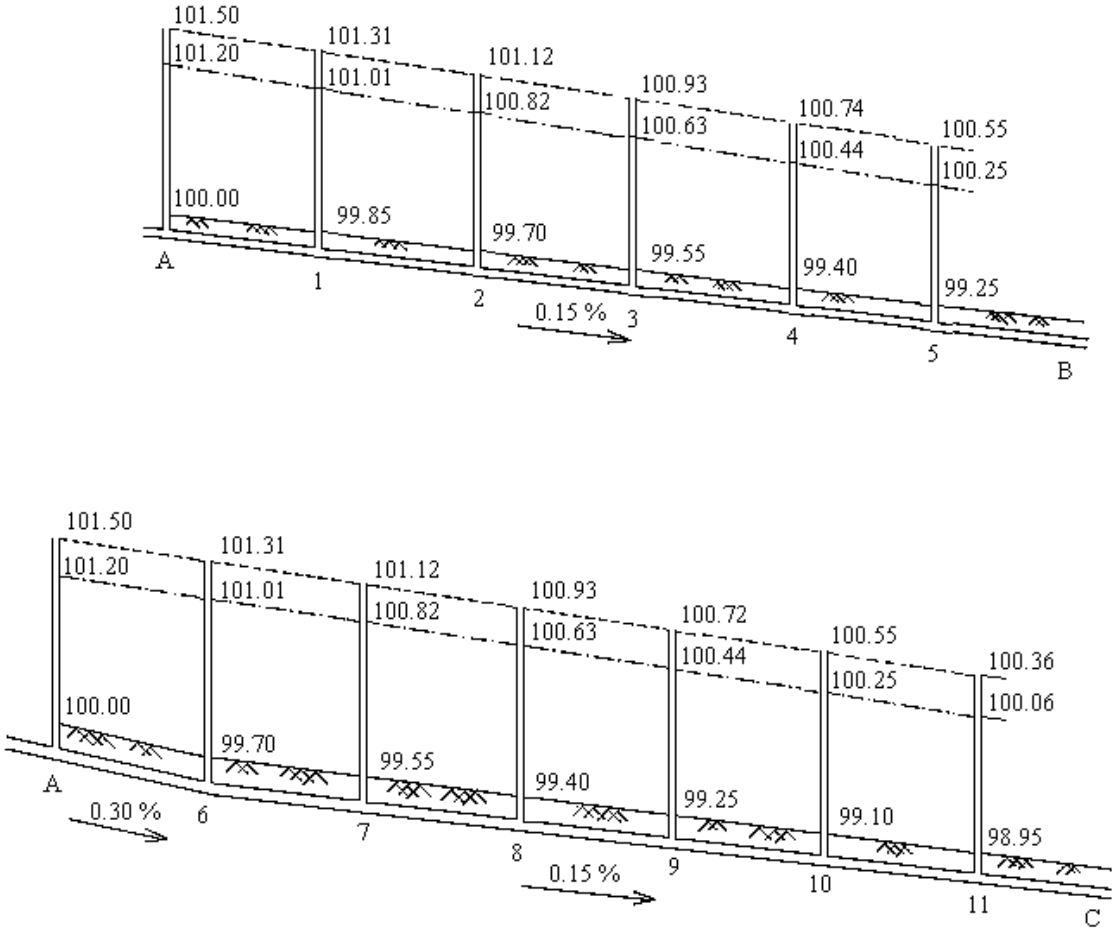
ถังสูบน้ำสูง = 1.20 + .030 = 1.50 เมตร

ถัง 5 สูง = 1.20 + 0.15 x 5 -0.19 x 5 +0.30 ~ 1.30 เมตร

ถัง 6 สูง = 1.20 + 0.3 x 1-0.19 + 0.30 ~ 1.61 เมตร

ถัง 11 สูง = 1.20 + 0.15x5+0.3x1-0.19x6+0.30 ~ 1.41 เมตร

ความสูงของถังต่าง ๆ จะอยู่ระหว่าง 1.3 ถุง 1.6 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 11.21




**รูปที่ 11.21 ถังควบคุมน้ำในระบบท่อในตัวอย่างที่ 11.5**

## 11.5 เอกสารอ้างอิง


1. Portland Cement Association (1960), Concrete Pipe Irrigation Systems.

2. Portland Cement Association (1967), Concrete Pipe for Irrigations.

3. มงคล โชตศศิธร. เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบชลประทานในแปลงเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2525. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.

4. ปฏิภาน อมาตยกุล. เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบชลประทานในแปลงเพาะปลูกปี พ.ศ. 2517. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

5. ไพฑูรย์ พะลายะสุต. คำแนะนำวิธีการส่งน้ำแบบหมุนเวียน. เอกสารวิศวกรรมเกษตร. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรกฎาคม 2518.

6. วราวุธ วุฒิวณิชย์ และพงศธร โสภาพันธุ์ (2536). การออกแบบการชลประทานบนผิวดิน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม.

7. วิบูลย์ บุญยธโรกุล เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบชลประทานในแปลงเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2517. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

8. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเซีย. คู่มือการชลประทานระดับไร่นา. ธันวาคม 2524.

9. หนังสือที่ระลึกในงานพระราชทานเพลิงศพ นายจอน บุญลือ ท.ธ., ท.ม., การจัดรูปที่ดินเพื่อเกษตรกรรม โรงพิมพ์รุ่งเรืองสาส์นการพิมพ์ กรุงเทพฯ 2521.

# บทปฏิบัติการที่ 11
# การออกแบบระบบท่อส่งน้ำเพื่อการชลประทาน

สวนมะม่วงแห่งหนึ่งมีขนาด 1,000 x 1,500 ม.$^2$ (937.5 ไร่) มีลักษณะภูมิประเทศดังแสดงในรูปที่ 1 สวนมะม่วงดังกล่าวมีบ่อน้ำบาดาล 6 บ่อ เป็นแหล่งน้ำเพื่อการชลประทาน แต่ละบ่อมีขนาด 10 นิ้ว ให้น้ำได้สูงสุด 60 lps. ระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ยของทั้ง 6 บ่อ อยู่ที่ระดับ -10 ม. (รทก.)

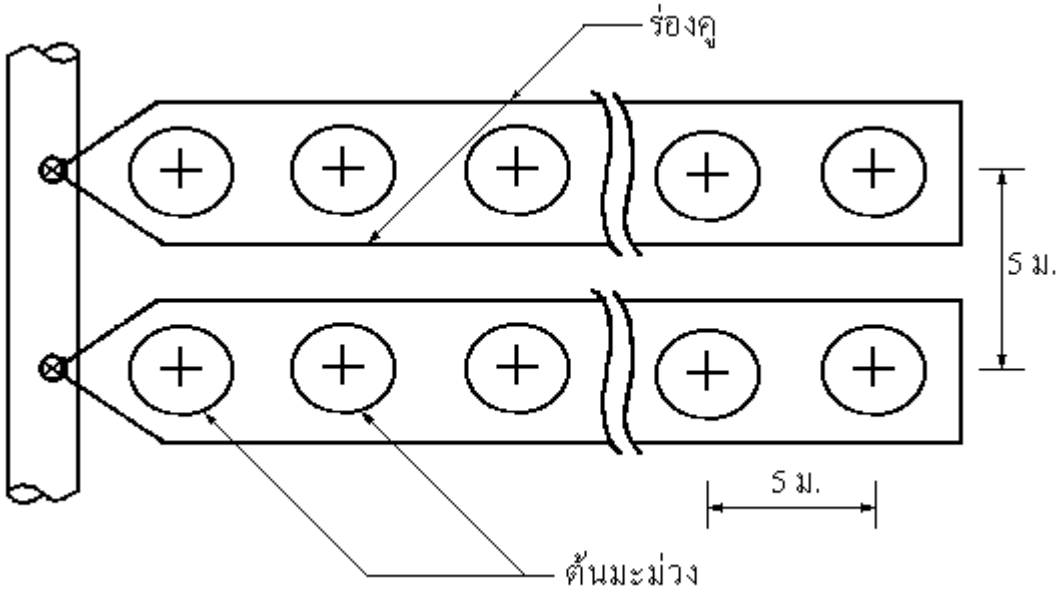
<u>กำหนดให้</u>

1. ดินเป็นดินร่วนปนทราย ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

   Field Capacity = 40 % by volume

   Permanent Wilting Point = 30 % by volume

2. ระยะเขตรากมะม่วงเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่ = 2.5 เมตร
3. ระยะต้นมะม่วง = 5 x 5 ม.$^2$
4. มะม่วงใช้น้ำสูงสุด ($ET_{max}$) = 5 มม./วัน
5. Allowable Depletion ในช่วงวิกฤต = 30 % ของ available moiisture
6. ให้น้ำแก่ต้นมะม่วงทางร่องคู โดยให้แถวละ 2 ร่อง ดังรูป



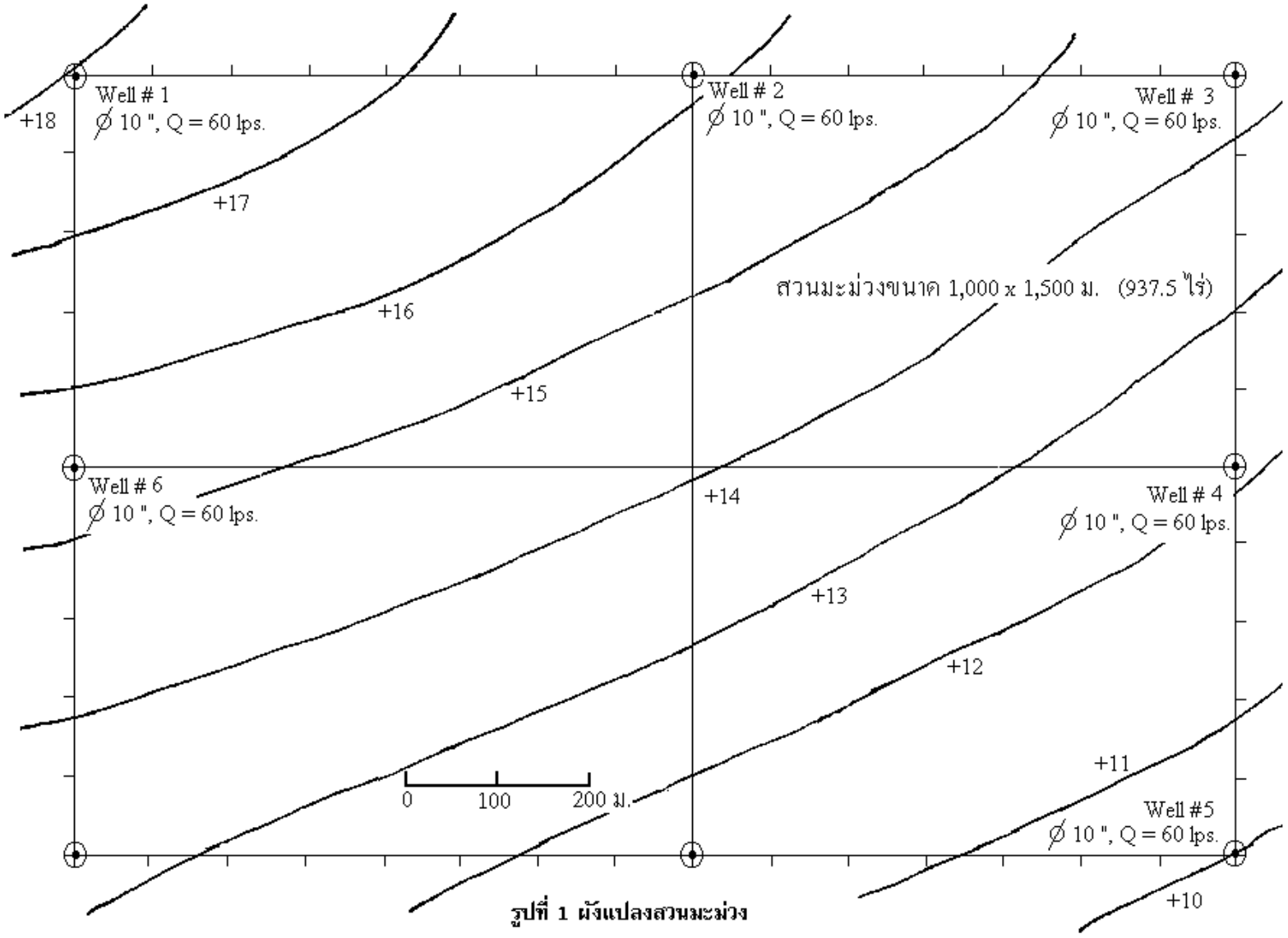

กำหนดให้ร่องคูแต่ละร่องยาว 250 เมตร มีความลาดเทระหว่าง 0.4 - 0.5 %
ให้น้ำด้วยอัตรา 3 lps ต่อร่องคู

7. กำหนดรูปแบบการให้น้ำแก่ร่องคูและแปลงมะม่วง ดังรูปที่ 2
8. ประสิทธิภาพการให้น้ำทางร่องคู = 75 %
9. ชั่วโมงการสูบน้ำสูงสุด = 13 ชม./วัน

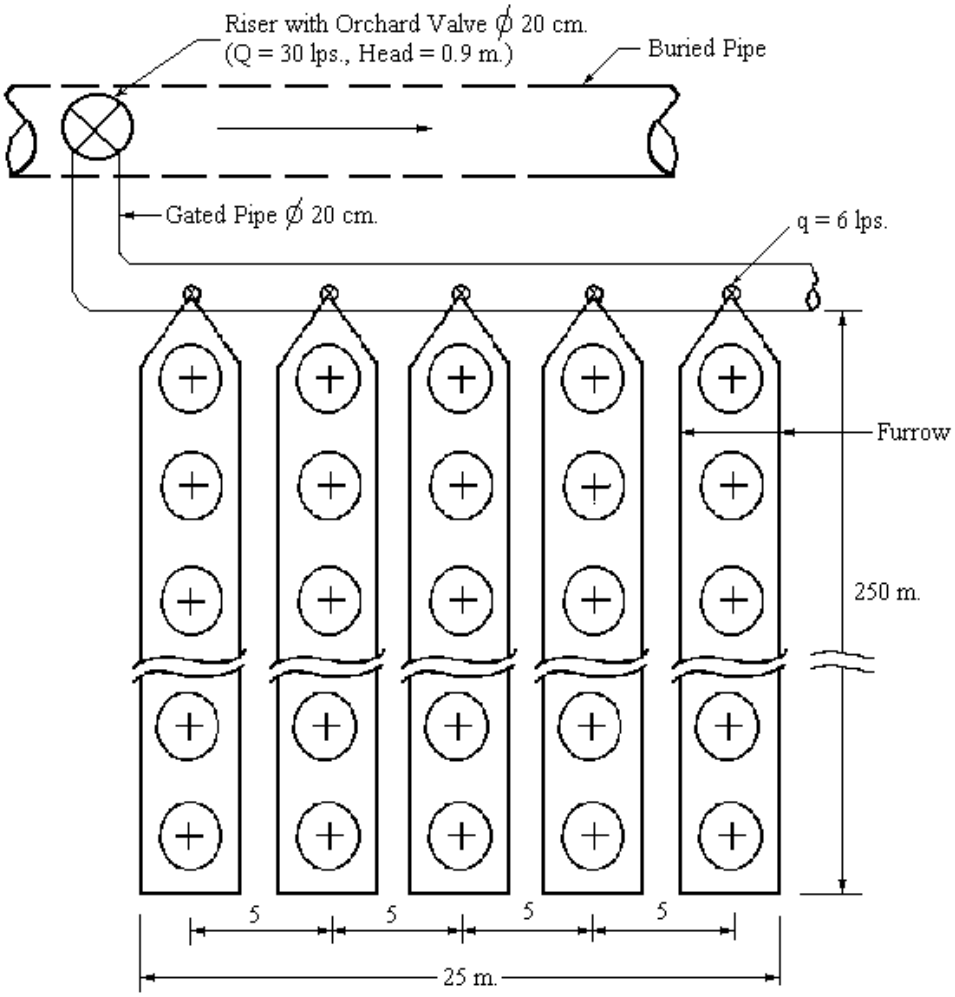
จงออกแบบระบบท่อส่งน้ำสำหรับสวนมะม่วงดังกล่าว โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) Layout ระบบท่อส่งน้ำ
(2) จัดระบบการให้น้ำ
(3) คำนวณหาขนาดท่อส่งน้ำ
(4) หาขนาดเครื่องสูบน้ำ
(5) ออกแบบปรับพื้นที่

สมมติข้อมูลอื่น ๆ ที่จำเป็น




**รูปที่ 1 ผังแปลงสวนมะม่วง**




**รูปที่ 2 รูปแบบการให้น้ำแก่แปลงมะม่วงด้วย Gated Pipe**

| ขนาด (มม.) | เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (มม.) | กก./ม. | บาท/ม. |
|---|---|---|---|
| 16 | 16.0 | 0.06 | 6.0 |
| 20 | 20.0 | 0.09 | 7.8 |
| 25 | 25.0 | 0.15 | 12.0 |

ราคาท่อพีอี. ชนิด HDPE ชั้น PN 6.3

| ขนาด (มม.) | เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก (มม.) | กก./ม. | บาท/ม. |
|---|---|---|---|
| 25 | 25.0 | 0.13 | 15.0 |
| 32 | 32.0 | 0.20 | 20.0 |
| 40 | 40.0 | 0.30 | 32.0 |
| 50 | 50.0 | 0.46 | 50.0 |
| 63 | 63.0 | 0.73 | 78.0 |
| 75 | 75.0 | 1.03 | 109.0 |
| 90 | 90.0 | 1.47 | 156.0 |
| 110 | 110.0 | 2.18 | 234.0 |
| 125 | 125.0 | 2.81 | 300.0 |
| 140 | 140.0 | 3.52 | 377.0 |
| 160 | 160.0 | 3.74 | 491.0 |
| 180 | 180.0 | 4.73 | 618.0 |
| 200 | 200.0 | 5.83 | 765.0 |
| 225 | 225.0 | 7.36 | 963.0 |
| 250 | 250.0 | 9.07 | 1,189.0 |
| 280 | 280.0 | 11.37 | 1,489.0 |
| 315 | 315.0 | 14.36 | 1,889.0 |
| 355 | 355.0 | 18.22 | 2,400.0 |
| 400 | 400.0 | 23.63 | 3,034.0 |

**หมายเหตุ**

1. PN หรือ ชั้นคุณภาพ หมายถึง ชั้นความดันใช้งาน หน่วยเป็น บาร์ (bar)
2. น้ำหนักท่อเป็นค่าโดยประมาณจากการคำนวณ
3. ท่อทุกขนาดมีความยาวมาตรฐาน 6 เมตร และ 12 เมตร (เฉพาะท่อยาว 12 เมตร ผลิตตามส่งเท่านั้น)
4. เฉพาะท่อขนาด 16 ถึง 110 มม. สามารถขดเป็นม้วนได้ มีความยาวม้วนละ 50,100 , 200 และ 500 เมตร ให้เลือก

## ราคา ท่อ พีวีซี.

### ท่อปลายเรียบ, ท่อบานหัว (สีฟ้าและสีเทา) และท่อชนิดต่อด้วยแหวนยาง

| ขนาด | | ท่อปลายเรียบ | | | ท่อบานหัว | | | ท่อชนิดต่อด้วยแหวนยาง (ไม่รวมแหวนยาง) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| มม. | นิ้ว | ชั้น 5 | ชั้น 8.5 | ชั้น 13.5 | ชั้น 5 | ชั้น 8.5 | ชั้น 13.5 | ชั้น 8.5 | ชั้น 13.5 |
| 10 | 1/4 | 17.28 | | | | | | | |
| 15 | 3/8 | 21.96 | | | | | | | |
| 18 | 1/2 | 29.67 | 40.42 | 49.53 | 31.07 | 41.82 | 50.93 | | |
| 20 | 3/8 | 36.91 | 49.53 | 59.81 | 38.31 | 50.93 | 61.21 | | |
| 25 | 1 | 50.93 | 65.42 | 94.39 | 53.73 | 68.22 | 97.19 | | |
| 35 | 1¼ | 61.68 | 81.30 | 123.36 | 64.48 | 84.11 | 126.16 | | |
| 40 | 1½ | 74.76 | 106.54 | 158.87 | 78.50 | 110.28 | 162.61 | | |
| 55 | 2 | 112.14 | 168.22 | 242.99 | 116.35 | 172.42 | 247.19 | | |
| 65 | 2½ | 182.24 | 266.35 | 401.86 | 187.85 | 271.96 | 407.47 | | |
| 80 | 3 | 247.66 | 369.15 | 560.74 | 254.67 | 376.16 | 567.75 | | |
| 100 | 4 | 397.19 | 598.13 | 901.86 | 405.60 | 606.54 | 910.28 | 954.67 | 1,442.52 |
| 125 | 5 | 607.47 | 901.86 | 1,359.81 | 618.69 | 913.08 | 1,371.02 | | |
| 150 | 6 | 845.79 | 1,266.35 | 1,915.88 | 871.96 | 1,292.52 | 1,942.05 | 2,042.52 | 3,075.23 |
| 200 | 8 | 1,266.35 | 2,037.38 | 3,257.00 | 1,316.82 | 2,087.85 | 3,307.47 | 3,282.24 | 5,236.44 |
| 250 | 10 | 1,822.42 | 2,948.59 | 4,901.86 | 1,894.39 | 3,020.56 | 4,973.83 | 4,819.62 | 7,918.50 |
| 300 | 12 | 2,556.07 | 4,158.87 | 6,948.59 | 2,657.00 | 4,259.81 | 7,049.53 | 6,863.55 | 11,414.95 |
| 400 | 16 | | 7,009.34 | | | 7,153.27 | | | |

### ข้อต่อรับความดัน (สีฟ้า)

| ขนาด | | ข้อต่อตรง | | ข้อต่อตรง เกลียวใน | | ข้อต่อตรง เกลียวนอก | | สามตาฉาก | | ข้องอฉาก | | ข้องอ เกลียวใน | | หัวอุด | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| มม. | นิ้ว | บรรจุ | ราคา | บรรจุ | ราคา | บรรจุ | ราคา | บรรจุ | ราคา | บรรจุ | ราคา | บรรจุ | ราคา | บรรจุ | ราคา |
| 18 | 1/2 | 100 | 2.71 | 100 | 2.80 | 120 | 2.42 | 50 | 4.48 | 100 | 3.27 | 100 | 5.14 | 200 | 2.80 |
| 20 | 3/4 | 90 | 3.45 | 90 | 4.11 | 100 | 3.45 | 90 | 6.16 | 125 | 4.39 | 60 | 8.03 | 150 | 4.11 |
| 25 | 1 | 90 | 5.70 | 50 | 6.91 | 50 | 5.14 | 20 | 11.68 | 60 | 7.94 | | | 80 | 6.16 |
| 35 | 1¼ | 30 | 8.50 | 30 | 11.30 | 40 | 9.25 | 20 | 16.63 | 20 | 13.64 | | | 40 | 9.25 |
| 40 | 1½ | 40 | 10.93 | 20 | 16.16 | 40 | 11.30 | 20 | 24.01 | 25 | 17.10 | | | 30 | 13.64 |
| 55 | 2 | 50 | 17.10 | 25 | 26.07 | 35 | 16.16 | 10 | 37.47 | 30 | 25.88 | | | 20 | 20.37 |
| 65 | 2½ | 10 | 28.13 | 15 | 39.06 | 15 | 32.61 | 10 | 82.05 | 6 | 54.67 | | | 20 | 39.06 |
| 80 | 3 | 20 | 46.72 | 10 | 52.05 | 10 | 43.27 | 8 | 146.72 | 5 | 76.63 | | | 5 | 54.20 |
| 100 | 4 | 8 | 84.11 | 4 | 93.45 | 4 | 87.10 | 4 | 317.75 | 5 | 149.53 | | | 5 | 102.80 |

### ข้อต่อรับความดัน (สีฟ้า)

| ขนาด | | ข้อโค้ง 45° | | ข้อโค้ง 90° | | ข้อต่อตรง | | ท่อสั้นหน้าจาน | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| มม. | นิ้ว | ชั้น 8.5 | ชั้น 13.5 | ชั้น 8.5 | ชั้น 13.5 | ชั้น 8.5 | ชั้น 13.5 | ชั้น 8.5 | ชั้น 13.5 |
| 80 | 3 | 86.91 | 126.16 | 112.14 | 160.74 | 39.06 | | | |
| 100 | 4 | 147.66 | 233.64 | 228.03 | 300.93 | 70.37 | | | |
| 125 | 5 | 398.13 | 432.71 | 432.71 | 534.37 | 130.84 | 194.39 | | |
| 150 | 6 | 680.37 | 747.66 | 777.57 | 942.99 | 224.29 | 340.18 | 1,148.00 | 1,442.99 |
| 200 | 8 | 1,515.88 | | 2,332.71 | 2,405.60 | 504.67 | 811.21 | 1,620.00 | 2,006.54 |
| 250 | 10 | 1,904.67 | | 2,915.88 | | 971.96 | 1,205.60 | | |
| 300 | 12 | 3,576.63 | | 5,039.25 | | 1,364.48 | 2,031.77 | | |

## ท่อซีเมนต์ใยหินชนิดทนความดัน ชั้น 15

## ASBESTOS CEMENT PRESSURE PIPES CLASS 15

| ขนาด | นน. กก. | หน่วย | ราคา (บาท/ท่อน) |
|---|---|---|---|
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มม. x 4 ม. | 30.0 | ท่อน | 310.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. x 4 ม. | 47.0 | ท่อน | 510.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. x 5 ม. | 59.0 | ท่อน | 640.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มม. x 4 ม. | 80.0 | ท่อน | 880.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 200 มม. x 5 ม. | 100.0 | ท่อน | 1,085.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มม. x 4 ม. | 114.0 | ท่อน | 1,275.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 250 มม. x 5 ม. | 142.0 | ท่อน | 1,560.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มม. x 4 ม. | 154.0 | ท่อน | 1,820.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 300 มม. x 5 ม. | 192.0 | ท่อน | 2,235.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 400 มม. x 4 ม. | 263.0 | ท่อน | 3,210.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 400 มม. x 5 ม. | 329.0 | ท่อน | 3,920.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 500 มม. x 4 ม. | 448.0 | ท่อน | 4,405.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 500 มม. x 5 ม. | 560.0 | ท่อน | 5,375.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มม. x 4 ม. | 624.0 | ท่อน | 5,850.00 |
| เส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มม. x 5 ม. | 780.0 | ท่อน | 7,160.00 |