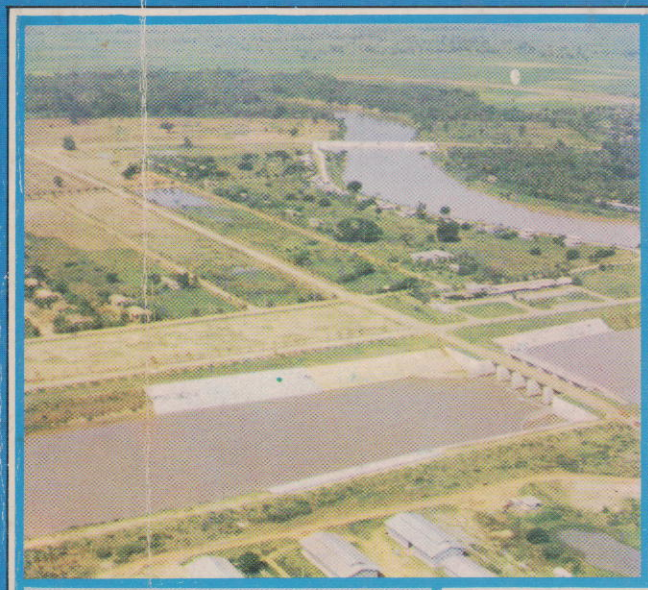
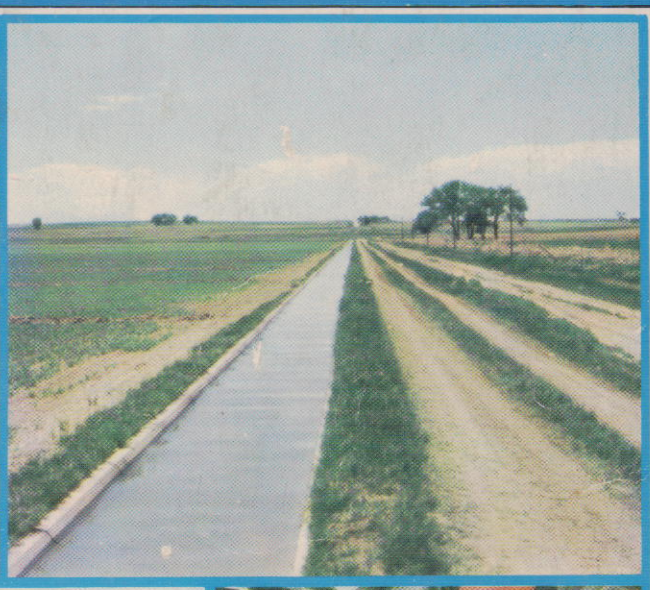
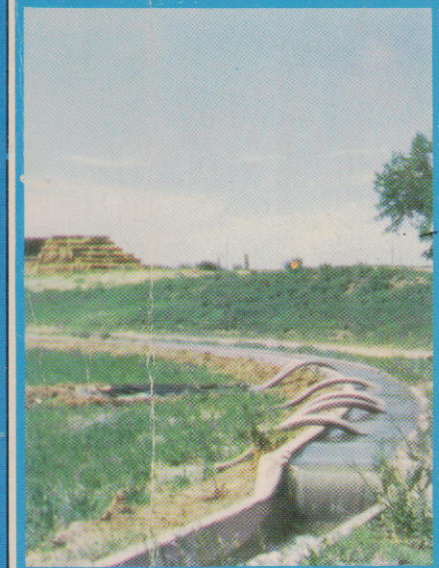
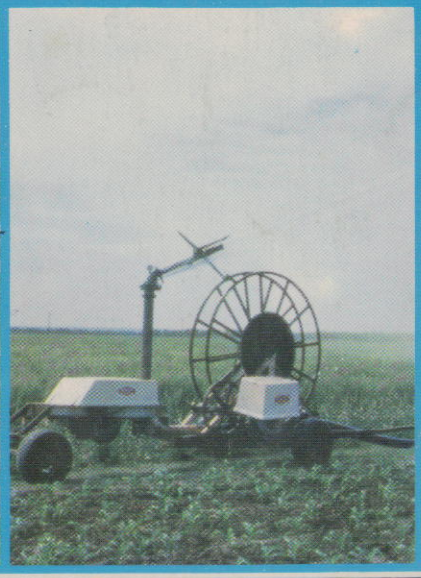
# หลักการชลประทาน

รองศาสตราจารย์ ดร. วินูลย์ บุญยธโรกุล

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

# หลักการชลประทาน

โดย


รองศาสตราจารย์ ดร. วิบูลย์ บุญยธโรกุล

ชป.บ. เกียรตินิยม (เกษตร)

M.S (Univ. of California, Davis) Ph.D (Colorado State)



ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

**ราคา 90 บาท**

สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียนส่วน
ใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้โดยมิได้รับอนุญาต
จากผู้เขียนเป็นลายลักษณ์อักษร

**พิมพ์ที่** ห.จ.ก. โรงพิมพ์เอเชีย 87ก.ซอยน้อมจิต ถนนริมคลองประปา บางซื่อ เขตดุสิต
กรุงเทพฯ โทร.585 - 0509, 585 - 2681 นคร ศรีฟ้า ผู้พิมพ์ผู้โฆษณา 2526

# คำนำ

เป็นที่ยอมรับกันแล้วว่า การชลประทานเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่งในการกสิกรรมและการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ทั้งนี้เพราะสภาพของดินฟ้าอากาศและฝนตามธรรมชาตินั้นมักจะไม่เอื้ออำนวยให้การเพาะปลูกได้ผลอย่างเต็มที่เสมอไป ในปีใดที่ฝนไม่ตกตามฤดูกาลหรือมีปริมาณมากจนเกินไป การเพาะปลูกในปีนั้นก็จะเสียหาย ผลผลิตจากไร่นาก็ขาดแคลนจนต้องลดหรือยกเลิกการส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศลง เศรษฐกิจของประเทศก็จะกระทบกระเทือนจากการขาดเงินตราต่างประเทศไปด้วย

เนื่องจากว่า การเพิ่มผลผลิตโดยการขยายพื้นที่เพาะปลูกให้มากขึ้นย่อมจะทำได้ไม่มากนัก เพราะจะต้องมีการทำลายป่าและต้นน้ำลำธาร ซึ่งจะทำให้ดุลย์ของสภาพแวดล้อมตามธรรมชาติต้องเสียไป ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มผลผลิตโดยการจัดการกับทรัพยากรที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด นั่นคือต้องนำเอาการชลประทานเข้าไปช่วย เพื่อเพิ่มผลผลิตต่อไร่ให้สูงขึ้นและมีความแน่นอนที่จะส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศเป็นประจำทุกปี

หนังสือเล่มนี้ได้เริ่มเรียบเรียงขึ้นในปี 2516 โดยวางโครงเรื่องไว้สำหรับประกอบการบรรยายวิชา **หลักการชลประทาน** ซึ่งเป็นวิชาพื้นฐานขนาด 3 หน่วยกิตสำหรับนิสิตชั้นปีที่ 3 ของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อย่างไรก็ตาม ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมอีกหลายครั้ง บางบทได้ให้รายละเอียดมากพอที่จะนำไปใช้เป็นคู่มือในการปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี ดังนั้น หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ทั้งผู้ที่กำลังศึกษาอยู่ และผู้ที่สนใจทั่ว ๆ ไป

ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบคุณ ดร.เจษฎา แก้วกัลยา หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน และเพื่อนร่วมงานที่ได้ให้การสนับสนุนในการพิมพ์หนังสือเล่มนี้ขึ้น ขอขอบคุณ คุณทริกา ระงับเหตุ และ คุณอำภา ด้วงสงค์ ที่ได้ช่วยพิมพ์ต้นฉบับให้

(ดร.วิบูลย์ บุญยธโรกุล)
รองศาสตราจารย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มกราคม 2526

# สารบัญ


หน้า

คำนำ

สารบัญ ก

บทที่ 1 บทนำ 1

ความหมายของการชลประทาน 1

เหตุใดจึงต้องมีการชลประทาน 2

การชลประทานในประเทศไทย 4

บทที่ 2 ดิน (Soils) 9

ส่วนประกอบของดิน 9

เนื้อดิน (Soil Texture) 10

โครงสร้างของดิน (Soil Structure) 13

ความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง (Real Specific Gravity, $R_s$) 14

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity, $A_s$) 14

ช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน (Pore Space) 15

บทที่ 3 น้ำในดิน และการไหลซึมของน้ำจากผิวดิน 19

น้ำในดิน (Soil Water) 19

ชนิดของน้ำในดิน 19

Field Capacity 20

จุดเหี่ยวเฉาถาวร 20

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture) 21

การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน 23

ดินเก็บน้ำไว้ได้อย่างไร 24

แรงดึงความชื้น (Soil Moisture Tension) 24

การหาจำนวนความชื้นในดิน 26

การไหลซึมของน้ำจากผิวดิน 31

อัตราการไหลซึมของน้ำผ่านผิวดิน 31

การไหลซึมของน้ำในการชลประทานและการระบายน้ำ 41

การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบให้น้ำท่วมผิวดิน 41

หน้า

การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบร่องคู 42
การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบฉีดฝอย 46
การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบใต้ผิวดิน 46
การเคลื่อนที่ของเกลือที่อยู่ในดิน 46

**บทที่ 4 พืชและการใช้น้ำของพืช** 49
การดูดน้ำจากดินของพืช 49
ลักษณะการแผ่กระจายของราก 50
การดูดน้ำจากดินในชั้นต่าง ๆ 52
**การใช้น้ำของพืช (Consumptive Use of Water)** 53
การคายน้ำ (Transpiration) 54
การระเหย (Evaporation) 55
องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช 56

**บทที่ 5 การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช** 59
**การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการวัด** 59
การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช 59
การศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน 66
การศึกษาจากแปลงทดลอง 66
การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช 66
**วิธีคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ($ET_p$)** 69
วิธีของ Thornthwaite 69
วิธีของ Blaney - Criddle 72
วิธีของ Makkink 74
วิธีของ Jensen - Haise 77
วิธีของ Penman 80
การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจาก $ET_p$ 83
**ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริง** 88
**การเทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถาดวัดการระเหย** 90
การติดตั้งถาดวัดการระเหย 90
การใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากถาดวัดการระเหย 93

หน้า

การเทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืช 97

บทที่ 6 วิธีการให้น้ำแก่พืช 99

การให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation) 99

การเลือกใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอย 99

อุปกรณ์ให้น้ำแบบฉีดฝอย 101

ระบบให้น้ำแบบฉีดฝอย 101

การให้น้ำทางผิวดิน 103

ข้อดีและข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดิน 105

วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border Method) 105

วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนราบ (Level Border Method) 107

วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Levee Method) 109

วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Ditch Method) 111

วิธีให้น้ำแบบร่องคูลาด (Graded Furrow Method) 112

วิธีให้น้ำแบบร่องคูราบ (Level Furrow Method) 114

วิธีให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Furrow Method) 115

วิธีให้น้ำทางร่องคูเล็ก (Corrugation Method) 117

การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation) 118

การให้น้ำแบบหยด (Drip or Trickle Irrigation) 121

บทที่ 7 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช 125

พืชกับการกำหนดการให้น้ำ 125

ดินกับการกำหนดการให้น้ำ 127

องค์ประกอบอื่น ๆ กับการกำหนดการให้น้ำ 130

วิธีกำหนดการให้น้ำ 132

การวัดจำนวนความชื้นของดินโดยตรง (Gravimetric Sampling) 132

การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน (Feel and Appearance) 133

การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ทำการวัด 135

เครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน (Tensiometer) 135

เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า (Electrical Resistance Instruments) 140

หน้า

เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (Neutron Moisture Meter) 143
การเปรียบเทียบกับการระเหยที่วัดได้ 145

**บทที่ 8 น้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช และประสิทธิภาพในการชลประทาน 147**

**ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช 147**

ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (Net Water Application, $W_n$) 148
ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช (Gross Water Application, $W_g$) 149
ความถี่ในการให้น้ำ (Irrigation Frequency, Irrigation Interval) 149
รอบเวรในการให้น้ำ (Irrigation Period, Irrigation Rotation) 150

**ประสิทธิภาพในการชลประทาน 152**

ประสิทธิภาพของการชลประทาน (Irrigation Efficiency, $E_i$) 152
ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Water Conveyance Efficiency, $E_c$) 153
ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Water Application Efficiency, $E_a$) 154
ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ 155
ฝนใช้การ (Effective Rainfall) 160

**บทที่ 9 การส่งน้ำชลประทาน 167**

ระบบคลองส่งน้ำ 167
คุณสมบัติของคลองส่งน้ำ 170
ระบบท่อส่งน้ำ 171
วิธีการส่งน้ำ 171

**บทที่ 10 การวัดน้ำชลประทาน 177**

วัตถุประสงค์ของการวัดน้ำชลประทาน 177
การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 177
ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี 178
ฝายวัดน้ำ 178
ข้อกำหนดในการติดตั้งฝายวัดน้ำ 179
การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำ 181
ข้อดีและข้อเสียของฝายวัดน้ำ 193

หน้า

หลักการเบื้องต้นของรางวัดน้ำ 193
รางวัดน้ำแบบพาร์แชล 194
อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล 194
การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชลเพื่อให้การไหลเป็นแบบอิสระ 209
ข้อกำหนดในการติดตั้งและใช้งานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล 211
ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล 211
รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cutthroat Flume) 212
อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ 214
การติดตั้งรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ 224
การวัดความเร็วของกระแสน้ำ 224

**บทที่ 11 การระบายน้ำ 229**

การระบายน้ำจากพื้นที่ชลประทาน 229
ผลของการมีน้ำมากเกินไป 229
ชนิดของทางระบายน้ำ 230
วิธีระบายน้ำ 232

**การระบายน้ำผิวดิน (Surface Drainage) 234**

ลักษณะของปัญหาการระบายน้ำผิวดิน 234
ระบบระบายน้ำผิวดิน 235

**การระบายน้ำใต้ดิน (Subsurface Drainage) 240**

ลักษณะของปัญหาการระบายน้ำใต้ดิน 240
ระบบระบายน้ำใต้ดิน 243
ความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำ 246

**บทที่ 12 โครงการชลประทานและหลักการพิจารณาวางโครงการ 249**

โครงการชลประทาน 249
การพิจารณาวางโครงการชลประทาน 255

**บรรณานุกรม 263**

**ภาคผนวก 265**

# บทที่ 1
# บทนำ

## ความหมายของการชลประทาน

เมื่อพูดถึงคำว่า การชลประทาน คนส่วนใหญ่มักจะนึกถึง เขื่อน อ่างเก็บน้ำ คลองส่งน้ำ และอาคารชลประทานขนาดใหญ่อื่น ๆ แต่ความหมายที่แท้จริงที่ใช้กันอยู่ อาจแบ่งออกเป็น 2 นัยด้วยกันคือ

**ก. ตามที่กรมชลประทานได้ให้คำจำกัดความไว้** ในพระราชบัญญัติการชลประทานราษฎร์ พุทธศักราช 2482 และพระราชบัญญัติการชลประทานหลวง พุทธศักราช 2485 คำว่าการชลประทานในพระราชบัญญัติสองฉบับนี้ หมายถึงกิจการที่ได้จัดทำขึ้น เพื่อส่งน้ำจากทางน้ำหรือแหล่งน้ำใด ๆ ไปใช้ในการเพาะปลูก และหมายถึงการป้องกันการเสียหายแก่การเพาะปลูกอันเกี่ยวกับน้ำ กับทั้งรวมถึงการคมนาคมทางน้ำซึ่งอยู่ในเขตการชลประทานนั้นด้วย

**ข. ตามความหมายที่ตรงกับภาษาอังกฤษว่า Irrigation** ซึ่งหมายถึงการให้น้ำแก่พืชโดยการบรรจุลงในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช แต่โดยความหมายอย่างกว้าง ๆ คำว่าการชลประทาน (Irrigation) นี้หมายความรวมถึงการเก็บกัก การทด การส่งและให้น้ำ เพื่อวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้ คือ

1) เพื่อให้ดินนั้นมีความชุ่มชื้นพอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืช

2) เพื่อเป็นหลักประกันว่า พืชจะไม่ขาดน้ำตลอดฤดูการเพาะปลูก

3) เพื่อทำให้ดินและบรรยากาศรอบ ๆ ต้นพืชเย็นลงในขณะที่อากาศร้อนจัด ส่วนในกรณีที่อากาศหนาวจัด การชลประทานจะช่วยป้องกันมิให้พืชเสียหายจากการแข็งตัวในขณะที่อุณหภูมิของบรรยากาศต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

4) เพื่อการชะล้างหรือละลายเกลือในดินในเขตรากพืช

5) เพื่อทำให้ดินอ่อนนุ่มสะดวกต่อการเตรียมดินและรากสามารถขยายตัวได้ดีขึ้น

6) เพื่อให้สามารถปลูกพืชได้หลายครั้งต่อปี

จะเห็นได้ว่า คำว่าการชลประทานในพระราชบัญญัติทั้งสองฉบับนั้น ให้คำจำกัดความตามลักษณะของงานที่กรมชลประทานจัดทำอยู่ กล่าวคือ เป็นการพัฒนาแหล่งน้ำโดยการจัดสรรน้ำที่มีมาตามธรรมชาติเป็นฤดูกาล และมีปริมาณไม่สม่ำเสมอให้เกิดประโยชน์ในทางเศรษฐกิจมากที่สุด กิจการเหล่านี้ได้แก่

1) การทดน้ำ (Diversion)

2) การเก็บกักน้ำ (Conservation or storage of water)

3) การระบายน้ำ (Drainage)

4) การป้องกันน้ำท่วม (Flood control)

5) การไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydro - electric power)

6) การคมนาคมทางน้ำ (Water communication)

7) การบูรณะสภาพที่ดิน (Reclaimation)

ดังนั้น คำว่าการชลประทานที่กรมชลประทานได้ให้คำจำกัดความไว้นั้น ไม่ตรงกับคำจำกัดความที่จะใช้ต่อไปในหนังสือเล่มนี้นัก แต่ควรจะตรงกับคำว่า Water Resources Development มากกว่า ดังที่ ม.ล. ชูชาติ กำภู (อธิบดีกรมชลประทาน 2492 - 2509) ได้เขียนไว้ในเรื่อง ชลประทานคืออะไร ในหนังสือชลกร ฉบับที่ 2 ปีการศึกษา 2506 - 07 ดังนี้คือ

".....คำว่า ชลประทาน จึงมีความหมายว่า เป็นส่วนราชการที่มีหน้าที่จัดสรรน้ำโดยทุก ๆ วิถีทาง เพื่อก่อประโยชน์สุขแก่ประชาชนนานาประการ ซึ่งตรงกับภาษาอังกฤษที่ว่า Water Resource Development

เหตุใดเล่ากรมนี้จึงมีชื่อเป็นภาษาฝรั่งว่า Irrigation Department ทั้งนี้เพราะเหตุว่าพระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าฯ ได้ทรงสั่งเอาฝรั่งเข้ามาจัดสร้างโครงการทดน้ำป่าสักใต้ และเมื่อได้โปรดเกล้าฯ ให้เปลี่ยนชื่อกรมคลองเป็นกรมทดน้ำ ฝรั่งก็แปลเป็น Irrigation Department แต่ต่อมาเมื่อพระบาทสมเด็จพระปกเกล้าฯ ได้ทรงเปลี่ยนชื่อกรมนี้จากกรมทดน้ำเป็นกรมชลประทานแล้ว ทางราชการก็หาได้เปลี่ยนชื่อภาษาฝรั่งจาก Irrigation Department เป็น Water Resource Development Department ไม่....."

การชลประทาน หรือการให้น้ำในขนาดที่พอเหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชนั้น อาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน คือ

1) โดยการให้น้ำท่วมผิวดินที่ทำการเพาะปลูก (Flood Irrigation)

2) โดยการให้น้ำไหลไปในร่องคูแล้วซึมลงไปในดิน (Furrow Irrigation)

3) โดยการให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation)

4) โดยการฉีดน้ำเป็นฝอยเหนือผิวดิน (Sprinkler Irrigation)

5) โดยการให้น้ำเป็นหยด สายน้ำเล็ก ๆ หรือฉีดเป็นฝอยขนาดเล็ก ๆ (Drip or Trickle Irrigation)

## เหตุใดจึงต้องมีการชลประทาน

ในการเกษตรกรรม น้ำในรูปของความชื้นในดิน และธาตุอาหารซึ่งอยู่ในสารละลายในดินประกอบกับพลังงานแสงแดดเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอันจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ในสภาพตามธรรมชาติแล้วองค์ประกอบเหล่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำซึ่งได้มาจากฝนมักจะไม่มีความพอเหมาะที่จะอำนวยการเจริญเติบโตให้แก่พืชได้อย่างเต็มที่ ดังนั้น เมื่อใดก็ตามที่สภาพตามธรรมชาติไม่อำนวยให้ การจัดหาน้ำมาให้แก่พืชอย่างพอเหมาะและทันกับความต้องการจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะประกันว่า พืชนั้นจะไม่ได้รับความเสียหายและจะได้ผลผลิตตามที่คาดหมายไว้

ดูตัวอย่างง่าย ๆ ประเทศไทยซึ่งมีการปลูกข้าวเป็นพืชหลัก ตั้งอยู่ในเขตชุ่มชื้น(Humid Zone) มีฝนตกเฉลี่ยประมาณ 1500 มิลลิเมตรต่อปี จากผลของการทดลองพบว่าตั้งแต่เริ่มเตรียมดินจนถึงเก็บเกี่ยวเป็นเมล็ดนั้น ข้าวต้องการน้ำประมาณ 1500 ถึง 1800 มิลลิเมตร แต่จำนวนน้ำฝนที่ตกในประเทศไทยระหว่างฤดูฝน

ตารางที่ 1.1 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตามภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย

| ภาค | จำนวนฝนเฉลี่ย - มิลลิเมตร | | |
|---|---|---|---|
| | ตลอดปี | ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.) | ต้นฤดูเพาะปลูก (เม.ย - มิ.ย) |
| เหนือตอนบน | 1,173 | 1,066 | 257 |
| เหนือตอนล่าง | 1,189 | 1,063 | 364 |
| ตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน | 1,519 | 1,375 | 548 |
| ตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง | 1,353 | 1,212 | 445 |
| กลาง | 1,251 | 1,091 | 356 |
| ตะวันตก | 1,178 | 1,117 | 306 |
| ตะวันออกของอ่าวไทย | 2,063 | 1,807 | 624 |
| ใต้ - ฝั่งตะวันตก | 2,803 | 2,265 | 853 |
| ใต้ - ฝั่งตะวันออก | 1,821 | 975 | 339 |

คือตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคม ดังแสดงใน ตารางที่ 1.1 นั้น วัดได้โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 975 ถึง 2265 มิลลิเมตร แต่ถ้าไม่นับภาคใต้และภาคตะวันตกของอ่าวไทยซึ่งมีการปลูกข้าวกันน้อยมาก แล้วจะมีเพียง 1063 ถึง 1375 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งไม่เพียงพอกับความต้องการ นอกจากนั้นบางครั้งก็ตกมากเกินไปจนเกิดความเสียหาย บางครั้งก็ขาดหายไปจนข้าวแห้งตาย ดังนั้น ในระหว่างที่พืชต้องการน้ำแต่ฝนไม่ตกนี้ ก็จำเป็นต้องจัดหาน้ำมาให้เพื่อให้พืชนั้นเจริญงอกงามต่อไปตามปกติ

นอกจากข้าวแล้วในฤดูแล้งเกษตรกรก็ยังปลูกพืชอื่น ๆ อีก เช่น ข้าวโพด ถั่ว และพืชอื่น ๆ พืชเหล่านี่ต่างก็ต้องการน้ำด้วยกันทั้งนั้น ถ้าหากว่าไม่มีการชลประทานแล้วชาวไร่ชาวนาก็จะไม่สามารถปลูกพืชนอกฤดูฝนได้ แม้แต่ในฤดูฝนเองถ้าฝนตกไม่ถูกต้องตามกำหนดเวลาที่พืชต้องการ พืชนั้นก็จะชะงักการเจริญเติบโตและเป็นผลให้ได้ผลผลิตน้อยกว่าที่ควร

การจัดหาน้ำให้เพียงพอแก่ความต้องการของพืชตลอดเวลาเป็นหลักการที่สำคัญที่สุดในการเพาะปลูก กล่าวไว้ว่า ผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการชลประทานช่วย เหตุผลก็คือ

1) พืชจะมีน้ำเพียงพอกับความต้องการอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น จะไม่มีการชะงักการเจริญเติบโตเนื่องจากขาดน้ำ

2) การชลประทานช่วยให้สามารถเพิ่มจำนวนต้นพืชต่อไร่ได้มากขึ้น

3) การชลประทานช่วยให้สามารถใช้ปุ๋ยได้อย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ปุ๋ยจะต้องถูกทำให้อยู่ในรูปของสารละลายเสียก่อนพืชจึงสามารถดูดไปใช้ได้ ถ้าใส่ปุ๋ยแล้วไม่ให้น้ำ พืชก็จะไม่สามารถนำไปใช้ได้

4) ทำให้สามารถปลูกพืชพันธุ์ใหม่ ๆ ที่ได้รับการปรับปรุง เพื่อปลูกในพื้นที่ที่มีการชลประทานได้ พืชพันธุ์ใหม่ ๆ เหล่านี้ให้ผลผลิตสูงกว่าพันธุ์พื้นเมืองมาก

3) จะต้องการน้ำมาทำการชลประทานในระยะเวลาต่าง ๆ เท่าไร และจะหาน้ำนั้นได้จากไหน

4) จะเลือกใช้การชลประทานแบบใด และจะต้องเสียค่าลงทุนเท่าใด

เมื่อเปรียบเทียบค่าลงทุนทั้งหมดกับผลประโยชน์ที่จะได้รับเพิ่มขึ้นจากการมีการชลประทานแล้ว ก็จะช่วยให้ตัดสินใจได้ว่าควรจะมีการชลประทานหรือไม่

ในกรณีที่พื้นที่เพาะปลูกนั้นอยู่นอกเขตโครงการชลประทาน กสิกรอาจจะต้องลงทุนจัดหาน้ำมาด้วยตนเอง ในบางครั้งการลงทุนดังกล่าวอาจจะไม่คุ้มกับผลประโยชน์ที่จะได้รับ ดังนั้น ก่อนตัดสินใจลงทุนจัดหาน้ำมาเพื่อการชลประทาน ควรจะได้พิจารณาจากหัวข้อดังต่อไปนี้เสียก่อนคือ

1) เมื่อมีการชลประทานแล้ว ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตจะเพิ่มขึ้นมากน้อยเพียงใด

2) จะต้องมีวิธีการอื่นใดอีกที่จะช่วยให้การชลประทานนั้นเกิดประโยชน์อย่างแท้จริง เช่นจะต้องใช้ปุ๋ยมากขึ้นเพื่อจะได้ปลูกพืชต่อไร่มากขึ้น และจะต้องใช้เงินเพื่อการนี้เท่าไร

## การชลประทานในประเทศไทย

การจัดหาน้ำมาเพื่อการชลประทานในประเทศไทยเริ่มต้นตั้งแต่เมื่อใดนั้นไม่มีหลักฐานแน่ชัด แต่เชื่อกันว่ากสิกรในภาคเหนือรู้จักทำการชลประทานกันมานานกว่า 700 ปีแล้ว โดยการสร้างฝายเพื่อยกระดับน้ำในแม่น้ำลำธารให้สูงขึ้น จนถึงระดับที่น้ำสามารถไหลเข้าไปในเหมืองหรือคลองที่ขุดไว้ได้ นอกจากนั้นยังรู้จักวิธีส่งน้ำเข้าแปลงเพาะปลูกโดยการสร้างคูส่งน้ำด้วย

ในภาคกลาง การสร้างฝายเพื่อยกระดับน้ำตามแบบที่ทำกันในภาคเหนือนั้นไม่เป็นที่นิยมกันเพราะเหตุว่าแม่น้ำส่วนใหญ่กว้างและลึกมาก นอกจากนั้น ในฤดูน้ำหลากน้ำจะล้นท่วมทั้งสองฝั่งและไหลบ่าเข้าไปในทุ่งนาเอง จึงไม่มีความจำเป็นต้องสร้างระบบส่งน้ำอีก

อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยได้เริ่มมีการขุดคลองขึ้นในสมัยรัชกาลที่ 3 และรัชกาลที่ 4 แต่วัตถุประสงค์ข้อใหญ่เพื่อการคมนาคมทางน้ำ คลองที่ขุดขึ้นในรัชสมัยดังกล่าวก็มีคลองแสนแสบ คลองภาษีเจริญ คลองดำเนินสะดวก เป็นต้น

ในสมัยรัชกาลที่ 5 ได้มีชาวยุโรปมาติดต่อขอซื้อข้าวจากประเทศไทย เพื่อนำไปเลี้ยงประชาชนในประเทศเครือจักรภพ ทั้งนี้ทำให้รัฐบาลในสมัยนั้นได้เห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการสำหรับเพิ่มผลผลิตข้าวให้สูงขึ้นให้เพียงพอต่อการส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ รัฐบาลจึงได้เริ่มพัฒนาแหล่งน้ำในภาคกลางขึ้นเป็นครั้งแรก โดยให้สัมปทานบริษัท คันนา - คูนาสยาม ขุดคลองในทุ่งรังสิตและสร้างประตูน้ำตามปากคลองที่ขุดจากแม่น้ำ เมื่อน้ำขึ้นก็เปิดประตูให้น้ำไหลเข้าไปในคลอง และปิดประตูเก็บน้ำไว้เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำลดลง นอกจากนั้นยังได้จัดสร้างอาคารชลประทานอย่างอื่นเพื่อให้การคมนาคมทางน้ำในคลองได้รับความสะดวกอีกด้วย อย่างไรก็ตาม งานขุดคลองนี้ยังไม่นับว่าเป็นงานชลประทานที่สมบูรณ์ เพราะเพียงแต่อาศัยกักทดน้ำให้สูงขึ้นเมื่อระดับน้ำในแม่น้ำสูงกว่าระดับน้ำในคลองเท่านั้น แต่เมื่อระดับน้ำในแม่น้ำต่ำกว่าระดับน้ำในคลองก็ไม่สามารถที่จะทดน้ำในคลองให้สูงขึ้นพอที่จะไหลเข้าไปในนาได้

ในปี พ.ศ. 2445 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 5 ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ว่าจ้างนายโฮมัน วัน เดอร์ ไฮเด (Homan Van der Heide) ผู้เชี่ยวชาญการชลประทานชาติฮอลันดา เข้ามาสำรวจและวางโครงการชลประทานแบบสมัยใหม่ขึ้น ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญในขณะนั้นได้แนะนำให้สร้างเขื่อนที่ชัยนาท แล้วขุดคลองส่งน้ำไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ในภาคกลาง แต่โครงการนี้เป็นโครงการใหญ่ รัฐบาลสมัยนั้นไม่มีเงินทุนเพียงพอ จึงได้ทรงโปรดเกล้าฯ ให้สร้างแต่เพียงประตูระบายและประตูน้ำในคลองบางแห่ง เช่น ในคลองภาษีเจริญ คลองดำเนินสะดวก คลองพระโขนง คลองสำโรงและคลองด่าน เป็นต้น และเพื่อที่จะให้การเก็บกักน้ำดำเนินไปด้วยดี จึงได้มีพระบรมราชโองการตั้งกรมคลองขึ้นในปี พ.ศ. 2446 โดยให้กรมนี้ขึ้นอยู่กับกระทรวงเกษตร และให้มีหน้าที่คอยขุดลอกคลองและบำรุงรักษาอาคารที่เกี่ยวข้องให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ

ต่อมาในปี พ.ศ. 2456 สมัยรัชกาลที่ 6 ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้ว่าจ้าง เซอร์ ทอมัส วอร์ด (Sir Thomas Ward) ผู้เชี่ยวชาญการชลประทานชาติอังกฤษซึ่งประจำอยู่กับรัฐบาลอินเดีย ให้เข้ามาสำรวจและวางโครงการชลประทานขึ้นอีก ผู้เชี่ยวชาญคณะนี้มีความเห็นเช่นเดียวกันกับคณะแรก คือเห็นว่าควรสร้างเขื่อนขึ้นที่ชัยนาทจึงจะได้ผลแน่นอนในการผลิตข้าวในทุ่งราบภาคกลาง ถึงแม้รัฐบาลในสมัยนั้นไม่มีทุนพอที่จะสร้างโครงการใหญ่ แต่ก็ได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯให้สร้างโครงการเล็ก ๆ ขึ้นก่อน เช่น โครงการป่าสักใต้ เชียงราก - คลองด่าน โพธิพระยา และเหมืองแม่แฝก จังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น และเนื่องจากว่าลักษณะของการส่งน้ำได้ผิดไปจากเดิม จึงได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เปลี่ยนชื่อจากกรมคลองมาเป็นกรมทดน้ำในปี พ.ศ. 2457

ต่อมางานของกรมทดน้ำก็ได้ขยายออกไปอีก กล่าวคือได้รวมเอางานระบายน้ำ การอนุรักษ์ดิน การป้องกันน้ำท่วม และการไฟฟ้าพลังน้ำเอาไว้ด้วย พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 7 จึงได้ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้เปลี่ยนชื่อกรมทดน้ำ เป็นกรมชลประทาน ในปี พ.ศ. 2470

การขยายตัวของงานชลประทานได้มีมากขึ้นหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 คือหลังจากที่ได้มีการก่อตั้งองค์การอาหารและเกษตร (F.A.O.) ขึ้น โดยประเทศไทยได้มีการเจรจาขอกู้เงินจากธนาคารโลกมาทำการก่อสร้างโครงการชลประทานขนาดใหญ่ขึ้นที่ชัยนาท งานสร้างเขื่อนได้เริ่มขึ้นในปี 2495 และเสร็จในปี 2500 ส่วนระบบส่งน้ำมาแล้วเสร็จในปี 2507

รัฐบาลในสมัยต่อมาก็ได้ตระหนักถึงความสำคัญของการชลประทานมากขึ้นตามลำดับ ดังจะเห็นได้จากการบรรจุเอางานชลประทานไว้ในแผนพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติตลอดมาทุกฉบับ ตั้งแต่ฉบับที่ 1 (2504 - 2509) จนถึงฉบับที่ 5 (2525 - 2529) ที่กำลังใช้อยู่ในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม งานชลประทานในแผนพัฒนาการเศรษฐกิจฯ สองฉบับแรกเป็นการลงทุนก่อสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่เสียเป็นส่วนมาก เช่น โครงการเขื่อนภูมิพลที่จังหวัดตาก เขื่อนลำพระเพลิงและเขื่อนลำตะคองที่จังหวัดนครราชสีมา เขื่อนอุบลรัตน์ที่จังหวัดขอนแก่น เขื่อนแก่งกระจาน ที่จังหวัดเพชรบุรี เป็นต้น การเน้นหนักแต่โครงการเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่เช่นนี้ถึงแม้ว่าจะทำให้มีแหล่งน้ำสำหรับทำการชลประทานมากขึ้นแต่ก็ไม่เป็นผลให้โครงการชลประทานประสบผลตามเป้าหมายอย่างแท้จริง ทั้งนี้เนื่องจากว่าโครงการเหล่านี้ส่วนมากยังขาดระบบส่งน้ำในไร่นาที่จะนำน้ำไปสู่แปลงเพาะปลูกอย่างทั่วถึงกันได้ ในแผนพัฒนาการเศรษฐกิจฯ ฉบับที่ 3 จึงได้มีการเร่งรัดงานด้าน

นี้ขึ้นโดยได้เริ่มมีการสร้างคันและคูน้ำพร้อมกับการจัดรูปที่ดิน เพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกทุกแปลงได้มีโอกาสรับน้ำจากคูน้ำได้อย่างทั่วถึงกัน

รัฐบาลพยายามเน้นหนักโครงการขนาดกลาง (ใช้เงินทุนก่อสร้างแต่ละโครงการจาก 2 ถึง 200 ล้านบาท) และโครงการขนาดเล็ก (ไม่เกิน 2 ล้านบาท) พร้อมกับขยายงานจัดรูปที่ดินให้มากขึ้นโครงการขนาดใหญ่เกือบทั้งหมดที่ทำอยู่เป็นงานต่อเนื่องจากแผนพัฒนาการเศรษฐกิจฯ ฉบับก่อน ๆ นอกจากนั้นยังได้พยายามจัดหาน้ำจากแหล่งใหม่ ๆ มาใช้ทำการชลประทาน เช่นโครงการสูบน้ำจากลำน้ำโขง โครงการพัฒนาน้ำใต้ดินเพื่อการชลประทานที่จังหวัดสุโขทัย เป็นต้น

การขยายตัวของงานชลประทานในประเทศไทยในรูปของพื้นที่ชลประทานที่ระยะเวลาต่าง ๆ นั้นดูได้จากตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 พื้นที่ชลประทานที่ระยะเวลาต่าง ๆ

| ปี พ.ศ. | พื้นที่ชลประทาน ไร่ | หมายเหตุ |
|---|---|---|
| 2439 | 350,000 | รัชกาลที่ 5 |
| 2467 | 980,000 | รัชกาลที่ 6 |
| 2475 | 2,464,000 | รัชกาลที่ 7 เปลี่ยนแปลงการปกครอง |
| 2484 | 3,038,000 | เริ่มสงครามโลกครั้งที่ 2 |
| 2490 | 3,818,000 | |
| 2500 | 8,100,000 | |
| 2504 | 9,797,400 | เริ่มแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 1 |
| 2509 | 11,701,050 | สิ้นแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 1 |
| 2514 | 13,357,635 | สิ้นแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 2 |
| 2519 | 15,298,784 | สิ้นแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 3 |

จนถึงปัจจุบัน(2525) รัฐได้ลงทุนในเขตชลประทานทั่วประเทศไปแล้วประมาณ 16 ล้านไร่ แต่มีพื้นที่ชลประทานที่สามารถส่งน้ำเพื่อการเพาะปลูกได้ประมาณ 12.4 ล้านไร่ กระจายไปตามพื้นที่ต่าง ๆ คือ

ภาคเหนือ ใน 17 จังหวัด คือ แม่ฮ่องสอน เชียงราย เชียงใหม่ พะเยา ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ ตาก สุโขทัย พิษณุโลก กำแพงเพชร พิจิตร เพชรบูรณ์ นครสวรรค์ และอุทัยธานี รวมประมาณ 2.2 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.7

ภาคกลาง ใน 9 จังหวัด คือ ชัยนาท ลพบุรี สิงห์บุรี สระบุรี อ่างทอง อยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี และกรุงเทพมหานคร รวมประมาณ 3.1 ล้านไร่คิดเป็นร้อยละ 25.0

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือใน 16 จังหวัดคือ เลย หนองคาย อุดรธานี นครพนม สกลนคร ขอนแก่น

กาฬสินธุ์ ชัยภูมิ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ และศรีสะเกษ รวมประมาณ 1.6 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.9

ภาคตะวันออกใน 8 จังหวัด คือ นครนายก ปราจีนบุรี ฉะเชิงเทรา สมุทรปราการ ชลบุรี ระยอง จันทบุรี และตราด รวมประมาณ 2.1 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.0

ภาคตะวันตกใน 8 จังหวัดคือ กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม ราชบุรี สมุทรสาคร สมุทรสงคราม เพชรบุรี และประจวบคีรีขันธ์ รวมประมาณ 2.2 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 17.7

ภาคใต้ ใน 14 จังหวัดคือ ชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี พังงา กระบี่ ภูเก็ต นครศรีธรรมราช ตรัง พัทลุง สตูล สงขลา นราธิวาส ปัตตานี และยะลา รวมประมาณ 1.2 ล้านไร่ คิดเป็นร้อยละ 9.7

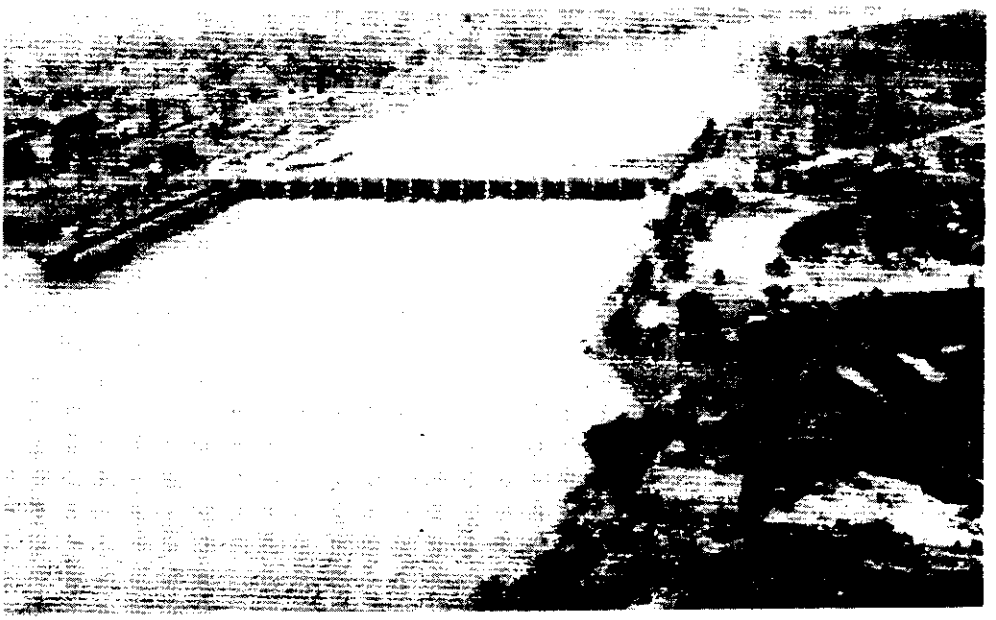
ทั้งนี้ พื้นที่ในเขตชลประทานทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น ก็มีระดับการพัฒนาแตกต่างกันออกไปถึง 4 ระดับ คือ

ระดับ 1 พื้นที่ชลประทานสมบูรณ์แบบ ซึ่งมีการจัดรูปที่ดินแล้ว ประมาณร้อยละ 1

ระดับ 2 พื้นที่ชลประทานที่มีระบบคันนาคูน้ำ แต่ไม่มีการจัดรูปที่ดินประมาณร้อยละ 52

ระดับ 3 พื้นที่ชลประทานที่มีคลองสายประธานและคลองซอย แต่ไม่มีระบบคันนาคูน้ำ และไม่มีการจัดรูปที่ดินประมาณร้อยละ 28

ระดับ 4 พื้นที่ชลประทานที่ไม่มีระบบคลองส่งน้ำ เนื่องจากภูมิประเทศไม่อำนวย ประมาณร้อยละ 19



**รูปที่ 1.1 เขื่อนเจ้าพระยา ซึ่งตั้งอยู่ที่อำเภอสรรพยา จังหวัดชัยนาท**

# บทที่ 2
## ดิน (Soils)

ดิน อาจจะให้คำจำกัดความได้หลายอย่างตามลักษณะของแขนงวิชาที่กล่าวถึง เช่น ทางด้านวิศวกรรมโยธา ดินหมายถึงเปลือกโลกที่ทำหน้าที่รองรับน้ำหนักจากฐานรากของอาคารต่าง ๆ แต่ดินที่จะกล่าวถึงในที่นี้หมายถึงวัตถุที่เป็นส่วนประกอบของสารซึ่งเกิดจากการสลายตัวและผุกร่อนของหิน อินทรีย์วัตถุ น้ำ และก๊าซ ซึ่งทำหน้าที่เป็นที่ยึดเหนี่ยวของลำต้นและเป็นคลังเก็บอาหารและน้ำไว้ให้พืชใช้สำหรับการเจริญเติบโต

โดยคำจำกัดความนี้ ดินซึ่งเป็นสิ่งอำนวยการเจริญงอกงามของพืช ควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้คือ

1. มีความสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ได้เมื่อให้น้ำหรือเมื่อมีฝนตก ปริมาณน้ำที่เก็บไว้ได้นี้จะต้องไม่น้อยเกินไปจนทำให้ต้องให้น้ำบ่อย ๆ

2. มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี เพื่อให้ระบบรากเจริญงอกงาม สามารถแผ่กระจายไปหาอาหารและน้ำได้ทั่ว

3. มีแร่ธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่มากพอตลอดความลึกของชั้นดิน

4. ความเข้มข้นของสารเคมีหรือเกลือในดินจะต้องไม่มากจนเป็นอันตรายต่อพืช หรือมีสภาพที่จะทำให้เกิดโรคพืชได้ง่าย

5. ชั้นดินซึ่งมีคุณสมบัติตามที่กล่าวข้างต้นจะต้องลึกมากพอเหมาะกับชนิดของพืชที่ปลูก เช่นไม่น้อยกว่า 0.60 เมตรสำหรับพืชรากตื้นและอายุสั้น เช่นผักต่าง ๆ และไม่น้อยกว่า 1.50 ถึง 2.0 เมตร สำหรับพืชไร่และพืชยืนต้น นอกจากนั้น ความลึกของชั้นดินดังกล่าวจะต้องไม่ลดน้อยลงได้ง่ายจากการถูกกัดเซาะหรือพัดพาไปด้วยน้ำฝน น้ำชลประทาน หรือลม

6. เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องไม่มีหินก้อนโต ๆ หรือโขดหินกระจัดกระจายอยู่ทั่วไปจนทำให้มีอุปสรรคในการใช้เครื่องมือไถพรวนดิน

## ส่วนประกอบของดิน

ดินในพื้นที่เพาะปลูกทั่ว ๆ ไปจะประกอบด้วยอนินทรีย์วัตถุ (Inorganic Materials) ซึ่งเกิดจากการสลายตัวและผุกร่อนของหินแร่ต่าง ๆ เป็นส่วนใหญ่ ที่เหลือก็จะเป็นอินทรีย์วัตถุ(Organic Materials) น้ำ และก๊าซ

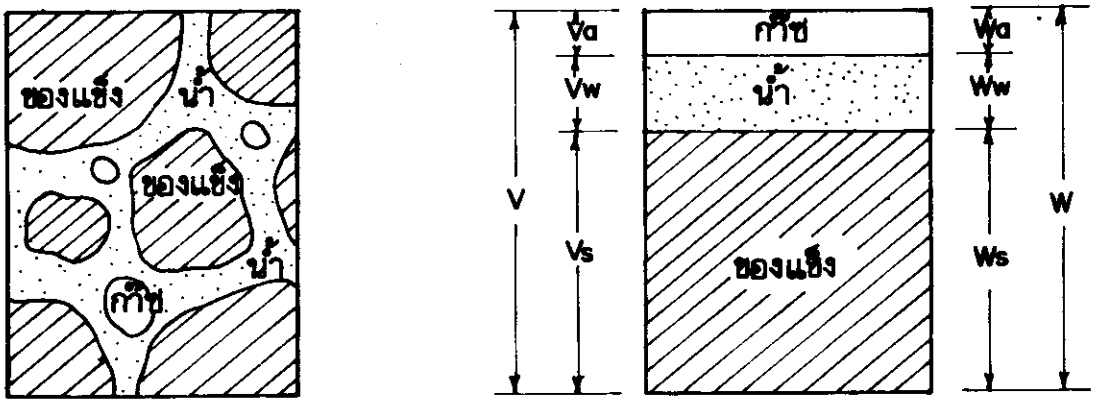
อนินทรีย์วัตถุในดินจะมีรูปร่างเป็นเมล็ดเล็ก ๆ และมีขนาดลดหลั่นกัน เมล็ดดินเหล่านี้อาจจะจำแนกขนาดออกได้เป็นเมล็ดทราย เมล็ดตะกอนทราย (Silt) และเมล็ดดินเหนียว(Clay Particles) ทรายและตะกอนทรายซึ่งมีขนาดเมล็ดโตส่วนใหญ่จะเกิดจากการสลายตัวทางกายภาพของหิน ตรงกันข้ามกับเมล็ดดินเหนียวซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลจากการผุกร่อนทางเคมี

สำหรับอินทรีย์วัตถุในดินส่วนใหญ่ได้มาจากการเน่าผุของพืช ที่เหลืออาจจะได้มาจากสัตว์ แมลง ไส้เดือน สิ่งมีชีวิตในดิน และจุลินทรีย์ต่าง ๆ อินทรีย์วัตถุมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น และทำให้การอุ้มน้ำของดินเนื้อหยาบดีขึ้น อย่างไรก็ตามดินในพื้นที่เพาะปลูกทั่ว ๆ ไปจะมีอินทรีย์วัตถุ

อยู่ไม่มาก คือประมาณไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์เท่านั้น

ส่วนน้ำในดินนั้นจะเกาะอยู่รอบ ๆ หรือแทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินและอินทรีย์วัตถุ ถ้าหากว่าช่องว่างเหล่านี้ไม่มีน้ำบรรจุอยู่เต็มก็จะมีก๊าซเข้ามาอยู่แทนที่

จากที่กล่าวข้างต้นเราอาจจะพิจารณาส่วนประกอบของดินอีกแง่หนึ่งได้ว่า ดินประกอบขึ้นด้วยสสารสามสถานะด้วยกันคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ส่วนที่เป็นของแข็งได้แก่อนินทรีย์และอินทรีย์วัตถุ ส่วนที่เป็นของเหลวได้แก่น้ำและสารละลายที่อยู่ในดิน และก๊าซก็คือส่วนที่เป็นอากาศที่อยู่ในโพรงหรือช่องว่างระหว่างเมล็ดดินที่มิได้เป็นของเหลว เพื่อความสะดวกในการคำนวณคุณสมบัติบางอย่างของดิน เราอาจจะแยกสสารสามสถานะซึ่งอยู่กระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบ ดังรูปที่ 2.1 (ก) ออกเป็นสัดส่วนโดยไม่เปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือน้ำหนักได้ดังแสดงในรูปที่ 2.1 (ข)




(ก) (ข)

**รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของดินเมื่อแยกออกเป็นสสารสามสถานะ**

ตามรูป น้ำหนักของสสารในแต่ละสถานะจะแทนด้วยตัวอักษร W และปริมาตรแทนด้วย อักษร V และถ้าจะใช้บอกว่าเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ห้อยท้ายด้วยอักษร s (Solid) w (Water) และ a (Air) ตามลำดับ แต่ถ้าไม่มีอักษรห้อยท้ายก็แสดงว่าเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของดินทั้งก้อน เช่น $V_a$ เป็นปริมาตรของอากาศ $V_s$ เป็นปริมาตรของของแข็ง V เป็นปริมาตรของดินทั้งก้อน $W_w$ เป็นน้ำหนักของของเหลวหรือน้ำ W เป็นน้ำหนักของดินทั้งก้อน เป็นต้น สำหรับ $W_a$ หรือน้ำหนักของอากาศนั้นมีค่าน้อยมาก ให้ถือว่าเป็นศูนย์

## เนื้อดิน (Soil Texture)

เนื้อดิน หมายถึงขนาดของเมล็ดดินส่วนใหญ่ที่ประกอบกันขึ้นเป็นก้อนดิน เมล็ดดินในพื้นที่เพาะปลูกทั่ว ๆ ไปอาจแบ่งออกเป็น 3 ช่วงขนาดด้วยกันคือ ทราย ตะกอนทราย และอนุภาคดินเหนียว การจำแนกชื่อตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ดดินมีอยู่ 2 ระบบด้วยกัน คือ ระบบของกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Agriculture - USDA) และระบบของ International Soil Science Society

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบการจำแนกดินจากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเมล็ดดินตามระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (USDA) และ International Soil Science Society (ISSS)

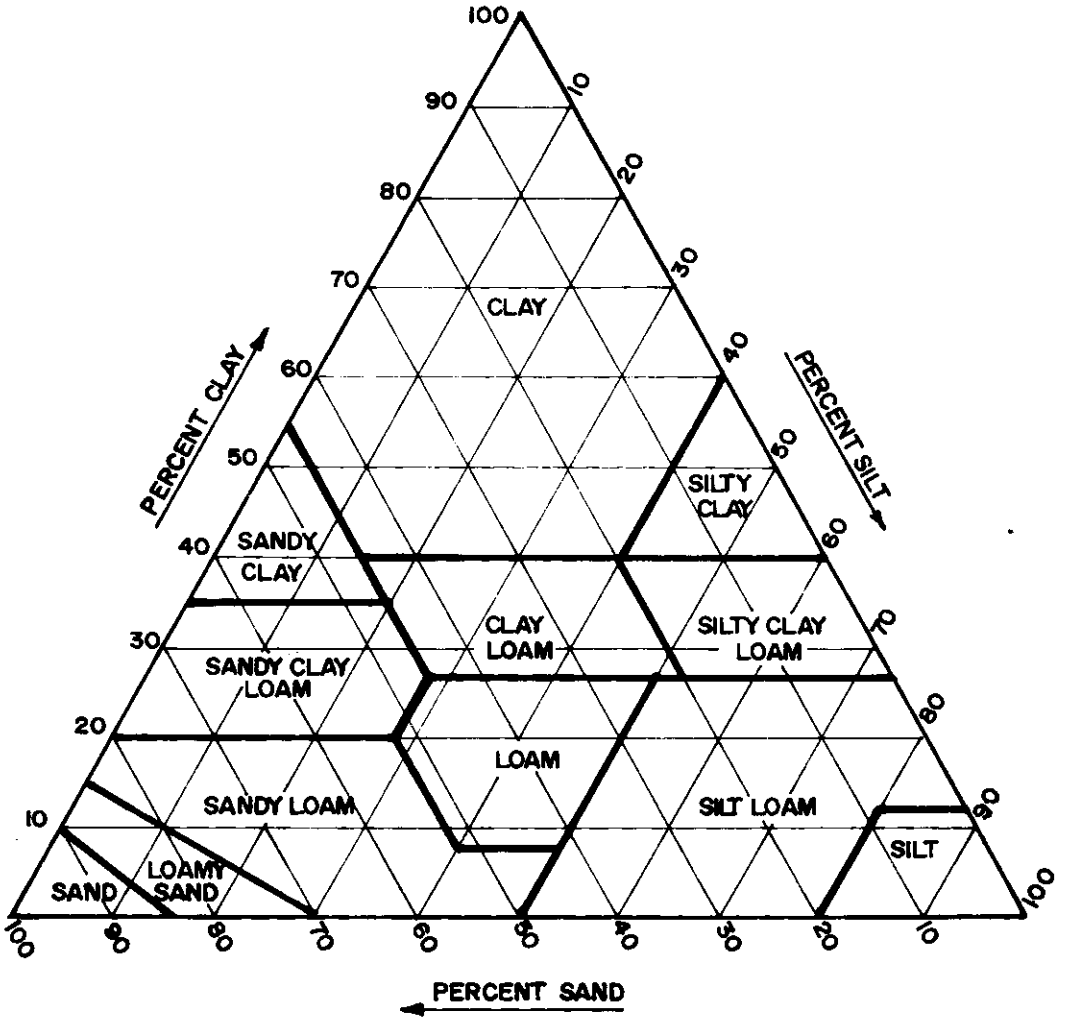
| | ช่วงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเมล็ดดิน - มม. | |
|---|---|---|
| | ระบบ USDA | ระบบ ISSS |
| ทรายหยาบมาก(Very Coarse Sand) | 1.0 – 2.0 | – |
| ทรายหยาบ (Coarse Sand) | 0.5 – 1.0 | 0.2 – 2.0 |
| ทรายหยาบปานกลาง(Medium Sand) | 0.25 – 0.5 | – |
| ทรายละเอียด (Fine Sand) | 0.10 – 0.25 | 0.02 – 0.2 |
| ทรายละเอียดมาก (Very Fine Sand) | 0.05 – 0.10 | – |
| ตะกอนทราย(Silt) | 0.002 – 0.05 | 0.002 – 0.02 |
| อนุภาคดินเหนียว(Clay) | เล็กกว่า 0.002 | เล็กกว่า 0.002 |

(ISSS) การจำแนกชื่อดินของทั้งระบบนี้ แสดงเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 2.1

อย่างไรก็ตาม ดินส่วนใหญ่จะประกอบขึ้นด้วยเมล็ดดินขนาดต่าง ๆ หลายขนาด กล่าวคือจะมีทั้งทราย ตะกอนทราย และอนุภาคดินเหนียวปะปนกัน และเนื่องจากว่าสัดส่วนของทั้งสามกลุ่มนี้ในดินทั้งก้อนมีผลต่อคุณสมบัติอย่างอื่นอีกมาก ดังนั้น จึงได้มีการพยายามแยกแยะเนื้อดินออกไปอีกโดยใช้ขนาดตามระบบของกระทรวงเกษตรสหรัฐเป็นเกณฑ์ การแยกประเภทเนื้อดินนี้ทำโดยหาเปอร์เซนต์ของแต่ละกลุ่มขนาดโดยใช้ตะแกรงร่อน สำหรับขนาดที่เล็กกว่า 0.05 มม. ซึ่งเป็นตะกอนทรายและอนุภาคดินเหนียวไม่สามารถใช้ตะแกรงร่อนได้ ก็ใช้วิธีวัดความเร็วการตกจมของเมล็ดดินในน้ำ เมื่อทราบเปอร์เซนต์ของทราย ตะกอนทราย และอนุภาคดินเหนียวของดินทั้งก้อนแล้ว เนื้อดินชนิดนั้นก็จะดูได้จากรูปที่ 2.2 เช่นสมมุติว่าจากการวิเคราะห์ดินก้อนหนึ่งพบว่ามีทราย 60 เปอร์เซนต์ตะกอนทราย 30 เปอร์เซนต์ และอนุภาคดินเหนียว 10 เปอร์เซนต์ จากรูปที่ 2.2 ก็จะบอกได้ว่าดินก้อนนั้นเป็นดิน Sandy Loam หรือดินร่วนปนทราย เป็นต้น

ในทางปฏิบัติ การจำแนกเนื้อดินอย่างหยาบ ๆ อาจจะทำได้โดยการพิจารณาจากลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน ซึ่งถ้าหากผู้สังเกตมีประสบการณ์พอสมควรก็จะสามารถบอกชื่อดินกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ถูกต้อง ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินกลุ่มที่สำคัญ ๆ มีดังต่อไปนี้ คือ

**ก. ดินทราย (Sand)** ดินทรายเป็นดินที่ประกอบด้วยทรายมากกว่า 85 เปอร์เซนต์ ดังนั้น จะมีลักษณะร่วน เมล็ดไม่เกาะกัน แต่ละเมล็ดสามารถมองเห็นและสัมผัสได้ เมื่อกำให้แน่นในมือในขณะที่ดินแห้งแล้วคลายออกจะแตกร่วน ถ้ากำในขณะที่เปียกชื้นจะเป็นก้อนแต่แตกออกได้ง่ายเมื่อใช้นิ้วกดเบา ๆ




**รูปที่ 2.2 การเรียกชื่อดินตามอัตส่วนของ ทราย ตะกอนทราย และ ดินเหนียว**

**ข. ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam)** เป็นดินที่ประกอบด้วยทรายมากกว่า 50 เปอร์เซนต์ แต่ก็มีตะกอนทรายและอนุภาคดินเหนียวมากพอที่จะประสานให้เกาะกันเป็นก้อนได้ ทรายแต่ละเมล็ดสามารถมองเห็นและสัมผัสได้ เมื่อกำให้แน่นในมือในขณะที่ดินแห้งจะเป็นก้อนแต่แตกออกจากกันได้ง่าย ถ้ากำในขณะที่ดินเปียกจะเป็นก้อนและไม่แตกเมื่อใช้นิ้วกดเบา ๆ

**ค. ดินร่วน (Loam)** เป็นดินซึ่งมีส่วนประกอบของทราย ตะกอนทราย และอนุภาคดินเหนียวมากเกือบพอ ๆ กัน เปอร์เซนต์อนุภาคดินเหนียวต่ำกว่าทรายและตะกอนทรายเล็กน้อย มีลักษณะอ่อนนุ่มเมื่อจับแต่พอจะสังเกตได้ว่ามีความหยาบกระด้างของทรายอยู่บ้าง เมื่อเปียกจะเหนียวเล็กน้อย ถ้ากำให้แน่นในมือขณะที่แห้งจะเป็นก้อนและไม่แตกเมื่อใช้นิ้วกดเบา ๆ แต่ถ้ากำให้แน่นในขณะที่ดินเปียกจะเป็นก้อนแข็ง ไม่แตก

**ง. ดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt Loam)** เป็นดินที่ประกอบด้วยตะกอนทราย

(Silt) มากกว่า 50 เปอร์เซนต์ ที่เหลือส่วนใหญ่เป็นทรายละเอียดในปริมาณที่ไม่น้อยกว่าอนุภาคดินเหนียว ดินชนิดนี้เมื่อแห้งจะจับกันเป็นก้อนแต่ทำให้แตกออกจากกันได้ง่าย ถ้าบี้ให้ละเอียดด้วยนิ้วจะรู้สึกลื่นเหมือนแป้ง เมื่อเปียกจะมีลักษณะเป็นโคลนและไหลไปรวมกันได้ง่าย ปกติจะจับตัวกันเป็นก้อนหยิบได้ไม่แตกหักไม่ว่าดินนั้นจะชื้นหรือแห้ง แต่นำมาบีบให้เป็นแผ่นด้วยนิ้วมือไม่ได้ถึงแม้ว่าดินจะชื้น เพราะจะแตกออกเสียก่อน เนื่องจากมีอนุภาคดินเหนียวไม่มากพอ

**จ. ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam)** เป็นดินเนื้อละเอียดซึ่งจะแตกออกเป็นก้อนแข็งเมื่อแห้ง ถ้าชื้นสามารถนำมาบี้ระหว่างหัวแม่มือและนิ้วชี้ให้เป็นแผ่นได้ แต่จะแตกได้ง่ายและไม่สามารถรับน้ำหนักของตัวมันเองที่เป็นแผ่นยื่นออกไปได้ เมื่อดินชื้นจะเหนียวและไม่แตกเป็นก้อน และเมื่อคลึงในมือจะไม่แตกออกจากกัน แต่จะทำให้ได้ก้อนดินที่แน่นขึ้น

**ฉ. ดินเหนียว (Clay)** เป็นดินเนื้อละเอียดซึ่งจะจับตัวเป็นก้อนแข็งเมื่อแห้ง เหนียว สามารถปั้นเป็นรูปต่าง ๆ ได้เมื่อเปียก และสามารถรีดให้เป็นแผ่นระหว่างนิ้วมือได้ยาว

## โครงสร้างของดิน (Soil Structure)

โครงสร้างของดิน คือการเรียงตัวและเกาะกันระหว่างเมล็ดดินเป็นก้อนดิน โครงสร้างของดินมีอิทธิพลต่อการชอนไชของรากและการกสิกรรมอย่างยิ่ง เพราะโครงสร้างของดินมีอิทธิพลควบคุมการซึมของน้ำผ่านผิวดิน การอุ้มน้ำ การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศของดิน นอกจากนั้น ยังมีอิทธิพลต่อการแผ่กระจายของรากและการเขตกรรมด้วย

ในดินที่มีโครงสร้างเหมาะสมจะมีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศดี ทำให้รากพืชงอกแผ่กระจายไปได้ทั่ว ซึ่งเป็นผลให้พืชมีแหล่งอาหารและน้ำมากขึ้น

โครงสร้างของดินอาจจะเปลี่ยนแปลงได้ โดยปกติแล้วดินชั้นผิวบนซึ่งมีอินทรีย์วัตถุสูงจะมีโครงสร้างดีกว่าชั้นดินที่อยู่ต่ำลงไป ดินที่มีพืชขึ้นอยู่จะมีอินทรีย์วัตถุและรูโพรงที่เกิดจากการเน่าผุของรากพืชมากกว่าดินที่ไม่ได้ปลูกพืช ดังนั้น ดินที่มีพืชขึ้นตลอดปีโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเภทที่ไม่ต้องมีการไถเตรียมดินบ่อย ๆ จะมีโครงสร้างที่ดีกว่า อย่างไรก็ตาม โครงสร้างของดินอาจถูกทำให้เลวลงได้เหมือนกัน เช่น การใช้แทรคเตอร์เตรียมดินในขณะที่ดินยังชื้นมากจะทำให้ดินแน่นขึ้น การไถในระดับความลึกเดียวกันทุกครั้งทำให้เกิดชั้นดินดานซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการแผ่กระจายของรากและการให้น้ำแก่พืช เป็นต้น

เพื่อรักษาโครงสร้างของดินในพื้นที่เพาะปลูกให้ดีขึ้น หรืออย่างน้อยก็ไม่ทำให้เลวลงควรปฏิบัติดังนี้ คือ

1. การไถเตรียมดินจะต้องไถให้ลึกกว่าระดับที่ดินอัดกันแน่น และจะต้องไม่ไถที่ระดับความลึกเดียวกันทุก ๆ ปี
2. เมื่อไถแล้วควรตากดินทิ้งไว้ให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ ก่อนที่จะให้น้ำหรือก่อนที่จะยกร่อง
3. พยายามเติมอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

4. พยายามปลูกพืชหลาย ๆ ชนิดหมุนเวียนกันโดยมีพืชตระกูลถั่วและพืชที่มีรากฝอยมาก ๆ แทรกอยู่บ้าง
5. ลดการบดอัดดินโดยจำกัดการไถพรวนดินด้วยแทรคเตอร์ให้เหลือเท่าที่จำเป็นเท่านั้น

## ความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง (Real Specific Gravity, $R_s$)

ความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง คือ อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของเมล็ดดินซึ่งไม่รวมน้ำหนักของน้ำและอากาศในดิน ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าปริมาตรของเมล็ดดินนั้น ความถ่วงจำเพาะที่แท้จริงของดินที่เกิดจากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีอินทรีย์วัตถุไม่มากนักจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 5 ดินในพื้นที่เพาะปลูกทั่ว ๆ ไป จะมีความถ่วงจำเพาะที่แท้จริงประมาณ 2.65 ค่าความถ่วงจำเพาะที่แท้จริงอาจคำนวณหาได้จากสูตร

$$R_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \qquad \text{.....(2.1)}$$

ในเมื่อ $W_s$ = น้ำหนักของดินซึ่งอบให้แห้งด้วยเตาอบ

$V_s$ = ปริมาตรของเมล็ดดินเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็ง

$\gamma_w$ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ

## ตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างทรายแห้งจำนวนหนึ่งหนัก 120 กรัม เมื่อทำการหาปริมาตรทั้งหมดของเมล็ดทรายตัวอย่างโดยการแทนที่น้ำปรากฏว่าได้ปริมาตร 321 ลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาความถ่วงจำเพาะที่แท้จริงของทรายตัวอย่าง

**วิธีทำ**

$W_s$ = น้ำหนักของทราย = 120 กรัม

$V_s$ = ปริมาตรทั้งหมดของเมล็ดทราย = 321 ลบ.ซม.

$\gamma_w$ = น้ำหนักจำเพาะของน้ำ = 1 กรัม/ลบ.ซม.

จากสูตร $R_s = \frac{W}{V_s \cdot \gamma_w}$

$$= \frac{120}{321 \quad 1.0} = 2.675$$

ดังนั้น ความถ่วงจำเพาะที่แท้จริงของทราย = 2.675

## ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity, $A_s$)

ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของดินต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่าปริมาตรของดินที่นำมาหาความถ่วงจำเพาะปรากฏนี้ เท่ากับปริมาตรของเมล็ดดินรวมกับปริมาตรของน้ำและ

อากาศที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเมล็ดดินด้วย ความถ่วงจำเพาะปรากฏนี้บางครั้งเรียกว่า **Bulk Density** ซึ่งมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร แต่เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำเท่ากับหนึ่ง ดังนั้น ค่าตัวเลขของความถ่วงจำเพาะปรากฏกับ **Bulk density** จึงเท่ากันเมื่อหน่วยที่ใช้เป็นกรัมและเซนติเมตร ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏอาจคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$A_s = \frac{W_s}{V \cdot \gamma_w} \qquad \text{.....(2.2)}$$

ในเมื่อ V = ปริมาตรของก้อนดินทั้งก้อน ซึ่งเท่ากับปริมาตรของเมล็ดดินรวมกับปริมาตรของน้ำและอากาศ

ในงานชลประทานเรามักจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏมากกว่าความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการจะหาปริมาณความชื้นในดินหรือปริมาณน้ำที่จะต้องให้แก่พืช ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินในพื้นที่เพาะปลูกทั่ว ๆ ไปจะมีค่าน้อยที่สุดที่ผิวดินเนื่องจากดินโปร่งและมีอินทรีย์วัตถุมาก ค่าดังกล่าวนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อต่ำจากผิวดินมากขึ้น และจะมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อต่ำกว่าผิวดินประมาณ 40 เซนติเมตร

ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินชนิดต่าง ๆ จะดูได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินชนิดต่าง ๆ

| เนื้อดิน | ความถ่วงจำเพาะปรากฏ ($A_s$) | |
|---|---|---|
| | ช่วงค่าปกติ | ค่าเฉลี่ย |
| ดินทราย (Sand ) | 1.55 — 1.80 | 1.65 |
| ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) | 1.40 — 1.60 | 1.50 |
| ดินร่วน (Loam) | 1.35 — 1.50 | 1.40 |
| ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam) | 1.30 — 1.40 | 1.35 |
| ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay) | 1.25 — 1.35 | 1.30 |
| ดินเหนียว (Clay) | 1.20 — 1.30 | 1.25 |

## ช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน (Pore Space)

ช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน หมายถึงส่วนที่เป็นของเหลวหรือก๊าซซึ่งแทรกตัวอยู่ระหว่างเมล็ดดิน ปริมาตรของช่องว่างนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและการเรียงตัวของเมล็ดดิน ดินที่มีขนาดเมล็ดดินสม่ำเสมอกันตลอดจะมีช่องว่างมากกว่า ดินที่มีเมล็ดหลายขนาดคละกัน สำหรับดินที่มีขนาดคละกัน ดินที่มีเมล็ดขนาดใหญ่ เช่นกรวดจะมีปริมาตรของช่องว่างน้อยกว่าทรายซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ปริมาตรช่องว่างระหว่างเมล็ดดินนี้อาจจะวัดได้สอง

อย่างคือ ความพรุน (Porosity) และสัดส่วนช่องว่าง (Void ratio)

**ก) ความพรุน (Porosity)** เป็นอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเมล็ดดินต่อปริมาตรของก้อนดิน คือ

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100 \qquad \text{.....(2.3)}$$

ในเมื่อ n คือความพรุน $V_v$ เป็นปริมาตรของช่องว่างระหว่างเมล็ดดินซึ่งเท่ากับปริมาตรของอากาศรวมกับปริมาตรของน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเมล็ดดิน และ V คือปริมาตรของดินทั้งก้อนซึ่งเท่ากับปริมาตรของเมล็ดดินรวมกับปริมาตรของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน ความพรุนของดินชนิดต่าง ๆ ในพื้นที่เพาะปลูกจะดูได้จากตารางที่ 2.3

สูตรที่ 2.3 อาจจะดัดแปลงให้อยู่ในเทอมของความถ่วงจำเพาะได้เป็น

$$n = 100\left(1 - \frac{A_s}{R_s}\right) \qquad \text{.....(2.4)}$$

โดย $A_s$ = ความถ่วงจำเพาะปรากฏ

$R_s$ = ความถ่วงจำเพาะที่แท้จริง

**ข) สัดส่วนช่องว่าง (Void Ratio)** เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างระหว่างเมล็ดดินต่อปริมาตรของเมล็ดดิน หรือ

$$e = \frac{V_v}{V_s} \qquad \text{.....(2.5)}$$

e คือสัดส่วนช่องว่าง และ $V_s$ คือปริมาตรทั้งหมดของเมล็ดดิน สัดส่วนช่องว่างจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0.30 สำหรับดินที่แน่นมากจนถึง 2.0 สำหรับดินเหนียวบางชนิด

ตารางที่ 2.3 ความพรุน (Porosity)) ของดินชนิดต่าง ๆ

| เนื้อดิน | ความพรุน (n) - % | |
|---|---|---|
| | ช่วงค่าปกติ | ค่าเฉลี่ย |
| ดินทราย (Sand ) | 32 — 42 | 38 |
| ดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) | 40 — 47 | 43 |
| ดินร่วน (Loam) | 43 — 49 | 46 |
| ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam) | 47 — 51 | 49 |
| ดินเหนียวปนตะกอนทราย (Silty Clay) | 49 — 53 | 51 |
| ดินเหนียว (Clay) | 51 — 55 | 53 |

## ตัวอย่างที่ 2.2

ตัวอย่างดินเหนียวซึ่งอิ่มตัวด้วยน้ำก้อนหนึ่งหนัก 102.8 กรัม หลังจากอบให้แห้งด้วยเตาอบแล้วหนัก 73.4 กรัม ถ้าความถ่วงจำเพาะที่แท้จริงของดินเหนียวเท่ากับ 2.74 จงหาความถ่วงจำเพาะปรากฏ ความพรุน (Porosity) และสัดส่วนช่องว่าง (Void Ratio)

## วิธีทำ

เนื่องจากดินอิ่มน้ำ ดังนั้น ปริมาตรของอากาศในดินจึงไม่มี ($V_a = 0$) และปริมาตรของน้ำจะเท่ากับปริมาตรของช่องว่างทั้งหมด

น้ำหนักของน้ำในดิน = 102.8 - 73.4

= 29.4 กรัม

ปริมาตรน้ำ $V_w = \frac{29.4}{1.0} = 29.4$ ลบ.ซม.

ปริมาตรของเมล็ดดิน $V_s = \frac{W_s}{R_s \gamma_w}$

$= \frac{73.4}{2.74 \times 1.0} = 26.8$ ลบ.ซม.

ดังนั้น ปริมาตรของดินตัวอย่าง = ปริมาตรน้ำ + ปริมาตรเมล็ดดิน

= 29.4 + 26.8 = 56.2 ลบ.ซม.

ความถ่วงจำเพาะปรากฏ $A_S = \frac{W_S}{V \gamma_w}$

$= \frac{73.4}{56.2 \times 1.0} = 1.31$

ความพรุน $n = \frac{V_v}{V} \times 100$

$= \frac{29.4}{56.2} \times 100 = 52.3\%$

หรืออาจคำนวณได้จากสูตร $n = 100 \left(1 - \frac{A_S}{R_S}\right)$

$= 100 \left(1.0 - \frac{1.31}{2.74}\right)$

$= 52.2\%$

สัดส่วนช่องว่าง $e = \frac{V_v}{V_S}$

$= \frac{29.4}{26.8} = 1.1$

# บทที่ 3
# น้ำในดิน และการไหลซึมของน้ำจากผิวดิน

## น้ำในดิน
## (Soil Water)

การที่พืชจะเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่นั้น พืชจะต้องดูดน้ำจากดินได้มากพอตลอดเวลา ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องทราบว่า ดินชนิดหนึ่ง ๆ นั้นมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้มากน้อยเพียงไร พืชนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างแท้จริงเท่าไร ตลอดจนจะต้องทราบว่าน้ำเคลื่อนที่ในดินอย่างไร และจะให้น้ำแก่ดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชื้นพอเหมาะอย่างไร

## ชนิดของน้ำในดิน

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า การเรียงตัวของเม็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปทรงต่าง ๆ ขึ้น เมื่อฝนตกหรือให้น้ำแก่พืช น้ำก็จะแทรกเข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ และเกาะติดอยู่กับเม็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดินกับโมเลกุลของน้ำ (Cohesive Force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (Adhesive Force) ซึ่งรวมเรียกว่าแรงดูดซับ (Capillary Force) ถ้าหากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่าง เราจะกล่าวว่าดินนั้น อิ่มน้ำ (Saturated) และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมดจะเป็นปริมาตรสูงสุดที่ดินจะเก็บสะสมอาไว้ได้ถ้าไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ แต่เนื่องจากว่าสสารทุกอย่างที่อยู่บนผิวโลกจะถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งน้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วย ในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำที่อยู่ตรงกลางของช่องว่างกับเม็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นเมื่อผลรวมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำต่อน้ำและน้ำต่อดินน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก น้ำก็จะไหลลงสู่ที่ต่ำกว่า น้ำในดินที่ไหลด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้เรียกว่า น้ำอิสระ(Gravitational Water หรือ Free Water) เมื่อฝนหยุดตกหรือหยุดให้น้ำแก่พืช น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะระบายออกโดยใช้เวลา 2 - 3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี น้ำอิสระจะถูกระบายออกไปหมดก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืชและจะมีอากาศเข้ามาแทนที่ ส่วนน้ำในช่องว่างที่มีขนาดเล็กซึ่งไม่ถูกระบายออกด้วยแรงดึงดูดของโลก อาจจะยังคงมีการเคลื่อนที่อยู่ด้วยแรงดูดซับ (Capillary Force) น้ำซึ่งอยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็กดังกล่าวนี้เรียกว่า น้ำซับ (Capillary Water) ซึ่งมีการเคลื่อนที่ช้ามาก ช้ากว่าน้ำอิสระ และจะมีทิศทางไปทางใดก็ได้ โดยเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่มีแรงดูดซับมากที่สุดเสมอ

การสูญเสียน้ำโดยการระเหยจากผิวดิน และจากที่พืชดูดเอาไปใช้จะทำให้ปริมาณความชื้นในดินลดลงจนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่น้ำในดินไม่มีการเคลื่อนที่อีก ทั้งนี้เพราะว่าแรงที่น้ำหรือความชื้นจับยึดติดแน่นเป็นแผ่นบาง ๆ รอบเม็ดดินจะมากจนกระทั่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้ พืชก็จะเหี่ยวเฉา และถ้าหากไม่ให้น้ำแก่พืชในตอนนี้แล้วพืชก็จะตาย น้ำซึ่งยึดติดแน่นกับเม็ดดินและไม่สามารถที่จะทำให้เคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลก หรือแรงดูดซับ (Capillary Force) นี้เรียกว่า น้ำเยื่อ (Hygroscopic Water)

บรรดาน้ำในดินทั้งสามชนิดที่กล่าวมานี้ น้ำที่เกี่ยวข้องกับงานด้านชลประทานมากที่สุดคือ น้ำอิสระ (Gravitational Water) และ น้ำซับ (Capillary Water) ส่วนน้ำเยื่อ (Hygroscopic Water) นั้น พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้จึงไม่ค่อยมีความสำคัญนัก

## Field Capacity

หลังจากที่น้ำอิสระได้ถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้วความชื้นในดินก็จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง เพราะน้ำที่เหลืออยู่มีการเคลื่อนที่ช้ามาก ปริมาณความชื้นในดินหลังจากน้ำอิสระถูกระบายออกไปหมดแล้วนี้เรียกว่าเป็นความชื้นที่ Field Capacity

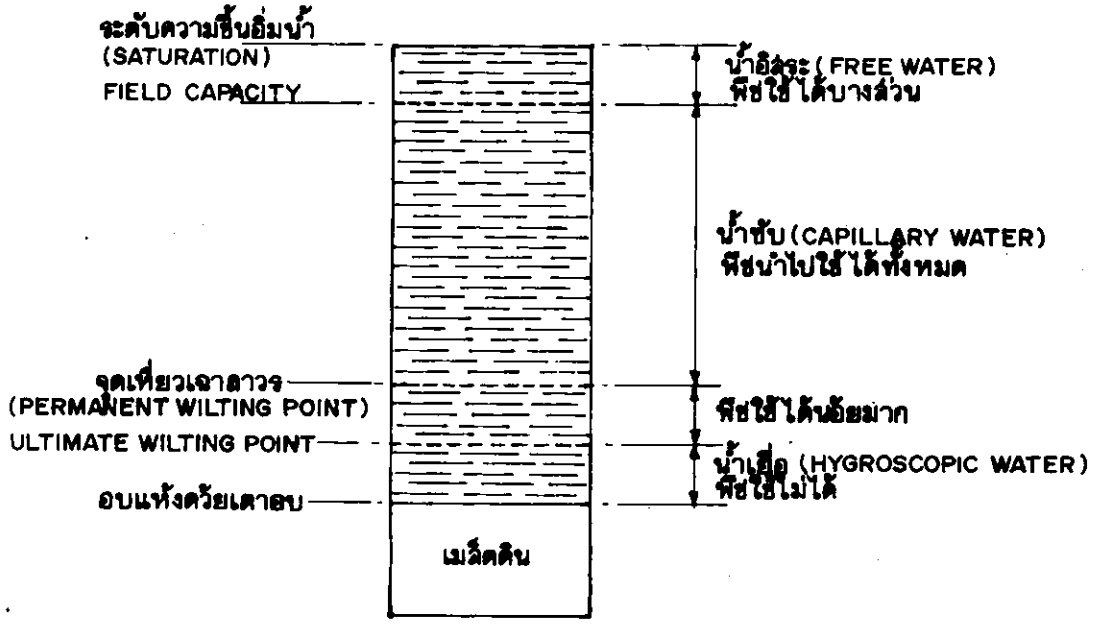
จำนวนความชื้นที่ Field Capacity นี้ไม่อาจหาเป็นค่าตัวเลขที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะยังคงมีการเคลื่อนที่ของน้ำซับอยู่ตลอดเวลา แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นไม่มากนัก ในทางปฏิบัติมักจะถือว่า ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี ปริมาณความชื้นหลังจากที่มีฝนตกหนักหรือหยุดให้น้ำแล้ว 2 - 3 วัน เป็นความชื้นที่ Field Capacity

## จุดเหี่ยวเฉาถาวร

ความชื้นในดินเมื่อพืชไม่สามารถดูดมาใช้ให้เพียงพอสำหรับการคายน้ำ และพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเรียกว่าเป็นความชื้นที่ จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้งก่อนที่จะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น ตอนกลางวันที่มีอากาศร้อนจัด ความชื้นของอากาศต่ำ ลมแรง และพืชมีใบกว้าง ลักษณะของอากาศและพืชเช่นที่กล่าวนี้จะทำให้พืชมีการสูญเสียน้ำโดยการคายออกทางใบมาก และเมื่ออัตราที่พืชดูดน้ำจากดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ พืชก็จะมีการเหี่ยวเฉาถึงแม้ว่าขณะนั้นดินจะมีความชื้นอยู่มากก็ตาม แต่เมื่ออากาศเย็นลงพืชก็จะสดขึ้นตามเดิม จะเห็นได้ว่า อาการเหี่ยวเฉาของพืชไม่ว่าจะเป็นการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรหรือชั่วระยะเวลาหนึ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช ความลึกและการแผ่กระจายของราก จำนวนความชื้นในดิน ตลอดจนความสามารถของดินที่จะเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ เราถือว่าพืชมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรถ้าหากว่านำพืชที่เฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็นและมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 100 เปอร์เซนต์ ซึ่งพืชจะมีการสูญเสียน้ำน้อยมาก หรือไม่มีการสูญเสียเลยแล้วพืชนั้นยังไม่สดขึ้น

หลังจากที่ความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้ว พืชอาจจะยังดูดความชื้นจากดินได้อีกถึงแม้ว่าจะเป็นปริมาณไม่มากนักก็ตาม กล่าวคือความชื้นที่ได้นี้ไม่พอที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตขึ้น แต่จะสามารถหล่อเลี้ยงชีวิตพืชให้อยู่ต่อไปได้อีกช่วงสั้น ๆ ช่วงเวลาหนึ่งจนกว่าจะได้รับน้ำมาเพิ่มเติม ถ้าหากไม่ให้น้ำแก่พืช น้ำในดินก็จะเหลือแต่น้ำเยื่อ (Hygroscopic Water) ซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้และจะตายไปในที่สุด ความชื้นของดินที่มีแต่น้ำเยื่อเหลืออยู่นี้เรียกว่าเป็นความชื้นที่ Ultimate Wilting Point ความชื้นในดินจากจุดเหี่ยว




**รูปที่ 3.1 น้ำในดิน และ ระดับความชื้นของดินที่จุดต่างๆ**

เฉาถาวร ถึง Ultimate Wilting Point เรียกว่า Wilting Range ซึ่งเป็นความชื้นที่พืชเริ่มเหี่ยวเฉาจากใบที่แก่ที่สุดจนกระทั่งเหี่ยวหมดทั้งต้นเมื่อความชื้นในดินถึง Ultimate Wilting Point น้ำในดิน และระดับความชื้นของดินที่จุดต่าง ๆ จะดูได้จากรูปที่ 3.1

## ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตก็คือ น้ำซับ ซึ่งอยู่ระหว่าง Field Capacity กับ จุดเหี่ยวเฉาถาวร ดังนั้นผลต่างระหว่างความชื้นในดินสองค่านี้ก็คือ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้นี้มักจะวัดเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซนต์โดยปริมาตร หรือเป็นความลึกของน้ำ เช่น ดินร่วน(Loam) มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.5 มิลลิเมตรต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น หน่วยทั้งสามนี้สามารถเปลี่ยนจากหน่วยหนึ่งไปเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ถ้าทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน

ขนาดของเม็ดดิน หรือเนื้อดินจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชนำไปใช้ได้มาก กล่าวคือในดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตาม ดินทรายบางชนิดอาจมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินเหนียว ทั้งนี้เพราะดินที่มีเนื้อละเอียดมาก ๆ จะมีน้ำที่ยึดอยู่รอบ ๆ เม็ดดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้เป็นจำนวนมากด้วย

ตารางที่ 3.1 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่าง ๆ

| เนื้อดิน | นิ้ว น้ำ/ฟุต ดิน | มม.น้ำ/ซม.ดิน |
|---|---|---|
| เนื้อหยาบมาก เช่นทรายหยาบมาก | 0.40 - 0.75 | 0.35 - 0.65 |
| เนื้อหยาบ เช่น ทรายหยาบ ทรายละเอียด และ ดินทรายปนดินร่วน | 0.75 - 1.25 | 0.65 - 1.00 |
| เนื้อค่อนข้างหยาบ เช่น ดินร่วนปนทราย และ ดินร่วนปนทรายละเอียด | 1.25 - 1.75 | 1.00 - 1.50 |
| เนื้อปานกลาง เช่น ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก ดินร่วน และดินร่วนปนตะกอนทราย | 1.50 - 2.30 | 1.20 - 1.90 |
| เนื้อค่อนข้างละเอียด เช่นดินร่วนปนดินเหนียว ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย และ ดินร่วนปนดินเหนียวปนทราย | 1.75 - 2.50 | 1.50 - 2.10 |
| เนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวปนทราย ดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินเหนียว | 1.60 - 2.50 | 1.30 - 2.10 |
| ดินที่เกิดจากการเน่าผุของพืชและมูลสัตว์ | 2.00 - 3.00 | 1.70 - 2.50 |

ในดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีมักจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะว่าที่ Field Capacity น้ำที่บรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินซึ่งส่วนมากมีขนาดใหญ่จะถูกระบายออกไปจนหมด จึงมีความชื้นที่เก็บไว้ได้น้อย ดินที่มีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากมักจะเป็นดินที่มีเมล็ดขนาดปานกลางหรือค่อนข้างละเอียด เช่น ดินที่ประกอบขึ้นด้วยตะกอนทราย (Silt) เป็นส่วนใหญ่ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่าง ๆ จะดูได้จากตารางที่ 3.1

ตามปกติแล้วเรามักจะมองข้ามความสำคัญของน้ำอิสระไปโดยถือว่าพืชไม่ได้ใช้น้ำนี้ แต่ตามความเป็นจริงแล้วพืชอาจใช้น้ำอิสระได้มากเหมือนกัน เช่น ในการให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation) หรือแบบผิวดิน (Surface Irrigation) ซึ่งน้ำจะซึมจากผิวดินและทำให้ดินชั้นบนอิ่มน้ำก่อนที่การให้น้ำนั้นจะเสร็จ ขณะที่ดินชั้นบนอิ่มน้ำนี้รากพืชตอนบนจะดูดน้ำอิสระ ไปใช้ได้บ้าง แต่จะเป็นปริมาณมากน้อยเท่าไรนั้นย่อมขึ้นอยู่กับว่าดินจะระบายน้ำออกจนเหลือเป็นความชื้นที่ Field Capacity โดยใช้เวลานานเท่าใด และความถี่ในการให้น้ำนั้นบ่อยครั้งแค่ไหน แต่เนื่องจากว่าโอกาสที่พืชจะดูดไปใช้มีไม่มากนัก ดังนั้นน้ำส่วนนี้จึงมักจะไม่นำเข้ามาพิจารณาโดยถือว่าเป็นส่วนน้อยที่ตัดทิ้งได้

## การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน

การหาทิศทางการไหลของน้ำในดินนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินนั้นไม่อิ่มน้ำ ทั้งนี้เพราะน้ำที่ไหลนั้นอาจจะอยู่ในสภาพของของเหลวหรือไอน้ำ และแรงที่ทำให้เกิดการไหลอาจจะเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับ (Capillary Force) หรือเนื่องมาจากความร้อนก็ได้ กล่าวคือ แรงดึงดูดของโลกจะทำให้น้ำไหลลงในแนวดิ่ง แรงดูดซับทำให้น้ำไหลในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินในทิศทางใดก็ได้ และความร้อนทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำและแพร่กระจายผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน

อัตราการไหลของน้ำอิสระ(Free Water) ในดินส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับขนาดและความต่อเนื่องกันของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน โดยปกติแล้วมันจะไหลในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ได้เร็วกว่าในช่องว่างขนาดเล็ก ทั้งนี้เพราะช่องว่างขนาดเล็กจะมีความเสียดทานต่อการไหลมากกว่า การไหลของน้ำอิสระจะถูกทำให้ช้าลงถ้าหากว่ามีชั้นดินซึ่งมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ (Low Permeability) ขวางอยู่ เช่นมีชั้นดินเหนียวแทรกตัวอยู่ในดินทรายเป็นต้น ในกรณีที่มีชั้นดินทรายแทรกตัวอยู่ในดินเหนียว น้ำที่ซึมลงมาจากชั้นดินเหนียวจะหยุดอยู่ตรงผิวสัมผัสระหว่างดินทั้งสองชั่วระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่าช่องว่างระหว่างเมล็ดดินทั้งสองมีขนาดแตกต่างกัน จึงทำให้ไม่เกิดความต่อเนื่องในการไหล แต่เมื่อน้ำนั้นไหลเข้ามาบรรจุจนเต็มช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แล้ว การไหลซึมของน้ำก็จะดำเนินไปตามปกติ

ขณะที่ให้น้ำแก่ดินน้ำจะเคลื่อนตัวแผ่ออกไปเป็นแนว ดินส่วนที่อยู่ใกล้จุดที่ให้น้ำหรือสัมผัสกับน้ำจะอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated) ส่วนที่อยู่ถัดต่อมาจะมีความชื้นน้อยลง และจะมีการเปลี่ยนความชื้นอย่างรวดเร็ว คือจากความชื้นใกล้จุดอิ่มตัวด้วยน้ำถึงความชื้นของดินเดิมในแนวที่น้ำแผ่กระจายไปถึง แนวที่น้ำแผ่กระจายออกไปนี้จะเห็นได้ชัดถ้าดินนั้นแห้ง

การเคลื่อนที่ของน้ำซับ (Capillary Water) นั้น เนื่องมาจากความแตกต่างของแรงดึงระหว่างน้ำซึ่งเกาะอยู่รอบ ๆ เมล็ดดินที่มีความหนาต่างกัน น้ำจะเคลื่อนที่จากเมล็ดดินที่มีน้ำเกาะอยู่หนาไปสู่เมล็ดดินที่มีน้ำเกาะบางกว่า ถ้าหากแรงที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่นี้คิดเป็นแรงดึง น้ำซับก็จะไหลจากจุดที่มีแรงดึงน้อยไปสู่จุดที่มีแรงดึงมากกว่า ในดินที่เปียกมากหรืออิ่มน้ำ น้ำจะเคลื่อนที่ในดินทรายได้เร็วกว่าดินเหนียว แต่ในดินแห้งน้ำจะเคลื่อนที่ในดินเหนียวได้เร็วกว่าในดินทราย ทั้งนี้เพราะว่าในขณะที่มีน้ำอยู่ในดินเป็นปริมาณมากน้ำย่อมจะไหลในดินที่มีช่องว่างขนาดใหญ่ได้เร็วกว่า แต่เมื่อดินนั้นแห้ง น้ำจะไหลไม่เต็มช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ จึงต้องเคลื่อนตัวไปบนผิวของเมล็ดดินซึ่งทำให้ไหลได้ช้ามาก สำหรับดินที่มีช่องว่างขนาดเล็กน้ำจะยังคงไหลได้เต็มช่องว่าง ดังนั้น ในดินแห้ง น้ำซับจึงเคลื่อนที่ในดินเหนียวได้เร็วกว่าในดินทราย

ความร้อนทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ ขณะที่ไอน้ำแพร่กระจายผ่านดินตอนผิวดินมันอาจจะกลั่นตัวเป็นน้ำและขังอยู่ในดิน หรือไหลออกมาสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำก็ได้ ขณะที่น้ำระเหยจากผิวดินดินชั้นบนจะแห้งและก่อให้เกิดแรงดึงความชื้นขึ้น น้ำซับจากดินชั้นที่อยู่ต่ำลงมาซึ่งมีความชื้นมากกว่าก็จะไหลขึ้นมาแทนที่ การระเหยนี้จะมีต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งความหนาของชั้นดิน แห้งบนผิวดินมากขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะดังกล่าวก็จะหมดไป แต่อาจจะยังมีการสูญเสียน้ำจากดินได้อีกในรูปของไอน้ำที่แพร่กระจายผ่านชั้นดินที่แห้งขึ้นมา

## ดินเก็บน้ำไว้ได้อย่างไร

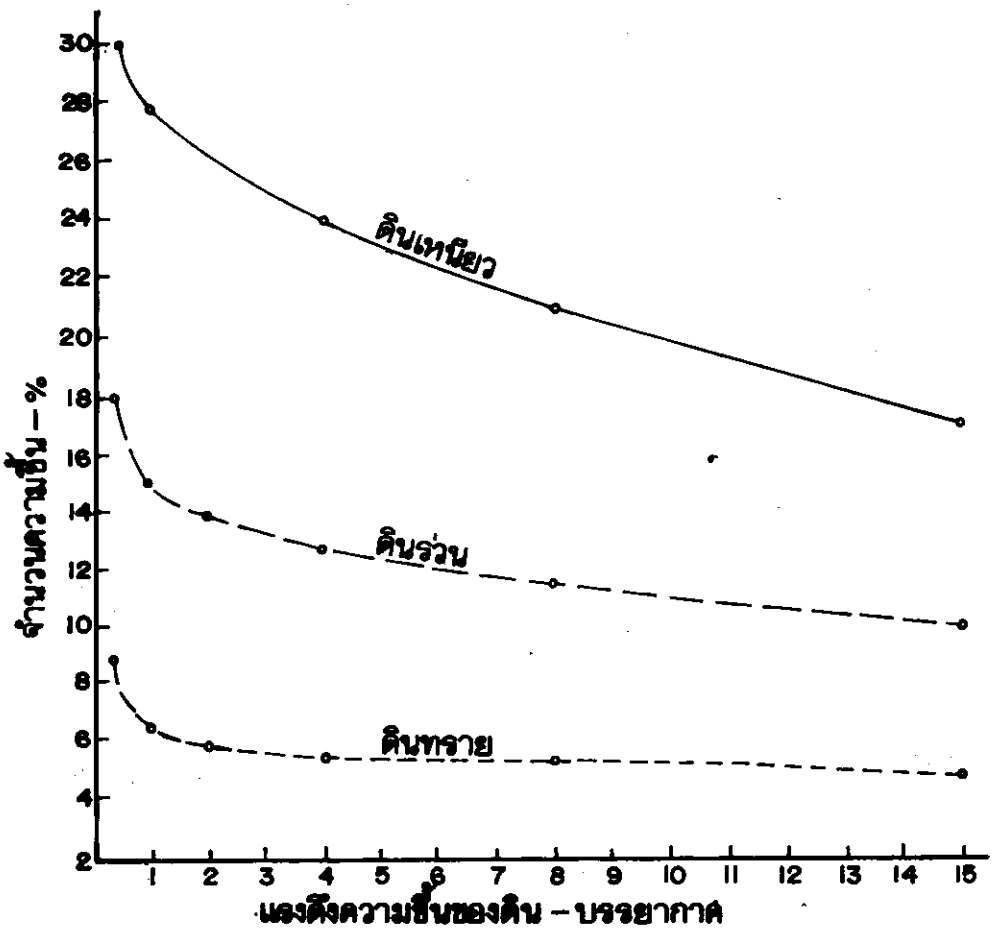
ดังที่ได้อธิบายไว้ในตอนแรกแล้วว่า เมื่อให้น้ำแก่ดิน น้ำก็จะไหลซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน และยึดติดกับเมล็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของเมล็ดดิน (Adhesive Force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (Cohesive Force) รวมเป็นแรงดูดซับ (Capillary Force) ดังนั้นการที่จะทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่หรือดูดน้ำออกจากดินจึงต้องใช้แรงที่มากกว่าแรงดังกล่าวนี้ ขนาดของแรงที่จะใช้ซึ่งอยู่ในรูปของแรงดึง จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน กล่าวคือ ถ้าดินยิ่งมีความชื้นมากเท่าใด น้ำที่เกาะอยู่รอบ ๆ เมล็ดดินก็จะหนามากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ห่างจากเมล็ดดินมากก็จะไม่ได้รับอิทธพลจากแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลดิน ดังนั้นมันจะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงดึงดูดของโลกหรือไหลไปสู่เมล็ดดินที่มีน้ำเกาะอยู่บางกว่าได้ง่าย แต่เมื่อความชื้นในดินลดลง แรงยึดเหนี่ยวจากโมเลกุลดินก็จะมีอิทธิพลมากขึ้น การที่จะดูดน้ำจากดินไปใช้จึงต้องใช้แรงมากขึ้น

## แรงดึงความชื้น (Soil Moisture Tension)

แรงดึงความชื้น คือแรงซึ่งใช้วัดความเหนียวแน่นที่ดินยึดเอาน้ำไว้ และเป็นแรงที่จะต้องใช้เพื่อที่จะดูดน้ำออกจากดินต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หน่วยที่ใช้วัดแรงดึงความชื้นที่มักจะวัดเป็นบรรยากาศ(ความกดดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส) หนึ่งบรรยากาศจะมีค่าเท่ากับความกดดัน 14.71 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือแท่งน้ำสูง 34.01 ฟุต หรือ 1,036 เซนติเมตร

ค่าแรงดึงความชื้นของดินนั้นไม่ได้เป็นสิ่งที่แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน หรือบอกปริมาณน้ำที่จะสามารถดูดออกจากดินได้ แต่จะบอกถึงความยากง่ายที่พืชจะดูดน้ำจากดินไปใช้ได้มากกว่า เพราะว่าปริมาณน้ำในดินจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินและโครงสร้างของดิน โดยทั่ว ๆ ไปแล้วน้ำในดินทรายจะถูกระบายออกเกือบหมดโดยใช้แรงดึงความชื้นเพียงเล็กน้อย แต่ดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียว จะยังคงมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมากถึงแม้ว่าแรงดึงความชื้นจะมีค่าสูงในขนาดที่พืชซึ่งปลูกในดินที่มีแรงดึงความชื้นขนาดนั้นจะแสดงอาการเหี่ยวเฉาแล้วก็ตาม

ถ้าหากต้องการจะทราบว่าดินเก็บน้ำไว้ได้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าไรเมื่ออยู่ใต้แรงดึงความชื้นขนาดต่าง ๆ กัน ก็จำเป็นจะต้องดูจากกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนความชื้นในดินกับแรงดึงความชื้นดังแสดงในรูปที่ 3.2 กราฟดังกล่าวนี้เรียกว่ากราฟแสดงลักษณะการอุ้มน้ำของดิน (Soil Moisture Characteristic Curve หรือ Soil Moisture Extraction Curve) กราฟนี้จะแสดงให้เห็นถึงความยากง่ายที่จะดูดความชื้นออกจากดิน และแสดงให้เห็นถึงจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่เมื่อได้รับแรงดึงความชื้นขนาดต่าง ๆ แล้ว




**รูปที่ 3.2 กราฟแสดงลักษณะการอุ้มน้ำของดิน**

จากรูปข้างบนนี้จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวยังคงระบายน้ำออกจากดินอย่างสม่ำเสมอเมื่อแรงดึงความชื้นเพิ่มขึ้น ส่วนดินทรายจะระบายน้ำออกเกือบหมดเมื่อได้รับแรงดึงความชื้นเพียงเล็กน้อย สำหรับดินร่วนนั้นจะอยู่ระหว่างดินเหนียวกับดินทราย

แรงดึงความชื้นดังที่ได้อธิบายมานี้ถือว่าน้ำในดินนั้นเป็นน้ำบริสุทธิ์ ถ้าหากว่าน้ำในดินมีเกลือละลายอยู่น้ำดังกล่าวก็จะมีความข้นเหนียว (Viscoscity) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ต้องเพิ่มแรงดึงขึ้นอีกถ้าจะดูดน้ำออกจากดินเป็นปริมาณเท่าเดิม ในกรณีที่เป็นพืช ปริมาณน้ำที่พืชสามารถดูดไปใช้ได้ก็จะลดลง ทั้งนี้เพราะรากพืชมีความสามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ด้วยแรงดึงความชื้นขนาดหนึ่ง เมื่อน้ำในดินมีความข้นเหนียวมากขึ้นพืชก็ต้องเพิ่มแรงดึงความชื้นขึ้น แรงดึงความชื้นของรากพืชนั้นเกิดจาก Osmotic Pressure ซึ่งมีหลักอยู่ว่า ถ้ามีสารละลายสองชนิดซึ่งมีความเข้มข้นต่างกัน ถูกกั้นไว้ด้วยเซลล์ผืนบาง ๆ ซึ่งไม่ยอมให้สารที่ถูกละลายผ่านไปได้ น้ำจะไหลจากสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า แรงที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำผ่านเซลล์ผืนบาง ๆ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในลักษณะเช่นที่กล่าวนี้เรียกว่า Osmotic pressure

น้ำในดินซึ่งอยู่ในพื้นที่เพาะปลูกมักจะมีเกลือละลายอยู่ด้วย ความเข้มข้นของเกลือในดินนี้ทำให้เกิด

ความต้านทานแรงดูดน้ำของรากพืช ทั้งนี้เพราะว่าพืชจะต้องใช้แรงดูดทั้งหมดเท่ากับแรงดึงความชื้นของดินรวมกับ Osmotic Pressure ของน้ำในดิน เช่น ถ้าดินมีแรงดึงความชื้น 1 บรรยากาศ พืชสามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้อย่างพอเพียง แต่ถ้าหากน้ำในดินมีเกลือมากและมี Osmotic Pressuve เท่ากับ 10 บรรยากาศ พืชจะต้องใช้แรงดูดความชื้นถึง 11 บรรยากาศจึงจะได้น้ำไปใช้ ซึ่งพืชอาจจะไม่สามารถดูดน้ำไปใช้ให้ทันกับความต้องการได้

เนื่องจากว่าความชื้นของดินที่ Field Capacity และที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรเป็นความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในดินเมื่อน้ำจำนวนหนึ่งได้ถูกระบายออกไปแล้ว เราอาจจะหาความชื้นเหล่านี้ในห้องทดลองได้โดยการนำตัวอย่างดินมาทำให้อิ่มน้ำ แล้วให้รับแรงดึงความชื้นหรือดูดน้ำออกในขนาดที่จะทำให้น้ำอิสระระบายออกไปหมด หรือขนาดที่ความชื้นที่เหลืออยู่ในดินนั้นทำให้พืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร

จากการทดลองพบว่า ความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อผ่านการดูดความชื้นออกด้วยแรงขนาด 1/10 ถึง 1/3 บรรยากาศจะเป็นความชื้นที่ Field Capacity ถ้าหากว่าน้ำในดินนั้นมีเกลือละลายไม่เกินกว่าระดับปกติ ค่าแรงดึงความชื้นที่ Field Capacity นี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการระบายน้ำของดินด้วย เช่นดินทรายจะมีแรงดึงความชื้นประมาณ 1/10 บรรยากาศ ดินเหนียวมีแรงดึงความชื้นสูงกว่า คือประมาณ 1/3 บรรยากาศ ดินในพื้นที่เพาะปลูกทั่ว ๆ ไปจะมีแรงดึงความชื้นที่ Field Capacity ประมาณ 1/10 บรรยากาศ อย่างไรก็ตาม จำนวนความชื้นที่เหลืออยู่ในดินเมื่อมันได้รับแรงดึงความชื้น 1/10 และ 1/3 บรรยากาศนั้นอาจแตกต่างกันมาก ดังนั้นจึงควรพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสม มิฉะนั้นจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการคำนวณปริมาณความชื้นที่ต้องให้แก่ดินได้

แรงดึงความชื้นที่ จุดเหี่ยวเฉาถาวร มีค่าประมาณตั้งแต่ 7 ถึง 40 บรรยากาศ ทั้งนี้อยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช ความหนาแน่นและการแผ่กระจายของราก โครงสร้างของดิน เนื้อดิน และปริมาณเกลือในดิน ถ้าหากอุณหภูมิและอัตราการใช้น้ำของพืชสูง อาการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรของพืชก็อาจจะเกิดขึ้นได้ในขณะที่แรงดึงความชื้นไม่มากนัก คือความชื้นในดินยังสูงอยู่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าโดยปกติแล้วความชื้นที่เหลืออยู่ในดินจะมีปริมาณน้อยมาก ถึงแม้ว่าจะเพิ่มแรงดึงความชื้นมากขึ้นเท่าไร ความชื้นที่เหลืออยู่ในดินก็จะไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงมักถือว่าความชื้นในดินเมื่อมีแรงดึงความชื้น 15 บรรยากาศเป็นความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

## การหาจำนวนความชื้นในดิน

การหาจำนวนความชื้นในดิน ถึงแม้ว่าจะเป็นงานที่ต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองมากแต่ก็เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในงานชลประทาน การหาจำนวนความชื้นตามปกติจะทำโดยการใช้สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกที่ต้องการ แล้วบรรจุในกระป๋องเก็บตัวอย่างซึ่งมีฝาปิดมิดชิด นำมาชั่งและอบให้แห้งในเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าดินนั้นจะแห้งทั่วถึงกัน ตัวอย่างดินที่เก็บมาควรจะหนักไม่น้อยกว่า 100 กรัม น้ำหนักที่หายไปหลังจากที่อบให้แห้งแล้วก็คือน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในดิน

การหาจำนวนความชื้นในดินอาจทำได้ 2 แบบ คือคำนวณเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง และเปอร์เซนต์โดยปริมาตร

**ก. เปอร์เซนต์ความชื้นโดยน้ำหนัก** เหมาะสำหรับ หาจำนวนความชื้นเมื่อไม่ทราบปริมาตร

ของตัวอย่างดินที่เก็บมา หรือเมื่อทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏ(Apparent Specific Gravity, $A_S$) ของดินแล้ว การคำนวณเปอร์เซนต์ความชื้น โดยน้ำหนักทำโดยใช้สมการ

$$P_w = \frac{W_w}{W_S} \times 100 \quad \text{.....(3.1)}$$

ในเมื่อ $P_w$ = เปอร์เซนต์ความชื้นโดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้ง

$W_w$ = น้ำหนักของน้ำในดิน

$W_S$ = น้ำหนักของดินที่อบให้แห้งด้วยเตาอบ

การบอกเปอร์เซนต์ความชื้นโดยน้ำหนักนั้น บอกโดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้งเสมอ

## ตัวอย่างที่ 3.1

สมมุติว่ากระป๋องเก็บตัวอย่างหนัก 17 กรัม น้ำหนักของดินตัวอย่างรวมกับกระป๋องหนัก 138 กรัม เมื่อ อบให้แห้งด้วยเตาอบแล้วดินและกระป๋องหนัก 105 กรัม จงหาเปอร์เซนต์ความชื้นของดินตัวอย่าง

## วิธีทำ

น้ำหนักของน้ำในดิน $W_w = 138 - 105 = 33$ กรัม

น้ำหนักของดินแห้ง $W_S = 105 - 17 = 88$ กรัม

ดังนั้น $P_w = \frac{W_w}{W_S} \times 100$

$= \frac{33}{88} \times 100 = 37.5\%$ โดย น.น.

**ข. เปอร์เซนต์ความชื้นโดยปริมาตร** การหาจำนวนความชื้นเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตรทำได้ยากกว่าเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง ทั้งนี้เพราะจำเป็นต้องทราบปริมาตรของตัวอย่างดินด้วย ทำให้ต้องใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (Soil Core Sampler) หรือหาปริมาตรของก้อนตัวอย่างดินโดยวิธีอื่น อย่างไรก็ตาม การบอกเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตรนี้จะมีประโยชน์ในการใช้งานมากกว่าการคำนวณเปอร์เซนต์ความชื้นโดยปริมาตรทำโดยใช้สมการ

$$P_v = \frac{V_w}{V} \times 100 \quad \text{.....(3.2)}$$

ในเมื่อ $P_v$ = เปอร์เซนต์ความชื้นโดยเทียบกับ ปริมาตรของดินทั้งก้อน

$V_w$ = ปริมาตรของน้ำในดิน

$V$ = ปริมาตรของก้อนดิน

ถ้าการเก็บตัวอย่างทำโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเท่ากับ A ดังนั้น ปริมาตรของน้ำในดินจะเท่ากับ d.A และปริมาตรก้อนดินเท่ากับ D.A ในเมื่อ d และ D เป็นความลึกของน้ำที่อยู่ในดินและความลึกของแท่งดินตามลำดับ จากสมการที่ (3.2) จะได้ว่า

$$P_v = \frac{d.A}{D.A} \times 100$$

หรือ $$d = \frac{P_v}{100} D \qquad \text{.....(3.3)}$$

## ตัวอย่างที่ 3.2

ในการเก็บตัวอย่างดินโดยใช้กระบอกเก็บตัวอย่างซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 5.5 เซนติเมตร ลึก 6 เซนติเมตร กระบอกเก็บตัวอย่างและกระป๋องเก็บหนักรวมกัน 48.5 กรัม น้ำหนักของดินเปียกรวมกับกระบอกเก็บตัวอย่างและกระป๋องหนัก 276 กรัม หลังจากอบให้แห้งในเตาอบแล้วเหลือหนัก 245 กรัม จงหาจำนวนความชื้นเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เปอร์เซนต์โดยปริมาตร และความลึกของน้ำในแท่งดินตัวอย่าง

## วิธีทำ

ก. เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

น้ำหนักของน้ำ $W_w = 276 - 245 = 31$ กรัม

น้ำหนักของดินแห้ง $W_s = 245 - 48.5 = 196.5$ กรัม

ดังนั้น $$P_w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 = \frac{31}{196.5} \times 100$$

$$= 15.8\% \text{ โดย น.น.}$$

ข. เปอร์เซนต์โดยปริมาตร

ปริมาตรของน้ำ 31 กรัม $V_w = 31$ ลบ.ซม.

ปริมาตรของก้อนดิน $V$ = พ.ท. หน้าตัด × สูง

$$= \frac{\pi}{4} (5.5)^2 \times 6$$

$$= 142.6 \text{ ลบ.ซม.}$$

ดังนั้น $P_v = \frac{V_w}{V} \times 100$

$= \frac{31}{142.6} \times 100 = 21.7\%$ โดยปริมาตร

ค. ความลึกของน้ำในแท่งดินตัวอย่าง

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

$= \frac{21.7}{100} \times 6 = 1.30$ เซนติเมตร

ในกรณีที่ทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏหรือ Bulk Density ของดินแล้ว การหาจำนวนความชื้นของดินเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตรจะง่ายขึ้นโดยทำการหาความชื้นเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักซึ่งสะดวกกว่าเสียก่อน แล้วใช้สูตร

$$P_v = P_w \cdot A_s \qquad \text{.....(3.4)}$$

ในเมื่อ $A_s$ เป็นความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน หรือเมื่อต้องการหาความลึกของน้ำในดิน ก็ดัดแปลงสูตรโดยการแทนค่า $P_v$ จากสมการที่ (3.3) ลงในสมการที่ (3.4) ก็จะได้

$$d = \frac{P_w}{100} \cdot A_s \cdot D \qquad \text{.....(3.5)}$$

ในเมื่อ d เป็นความลึกของน้ำที่อยู่ในดิน D เป็นความลึกของดิน ความลึกทั้งสองอย่างนี้จะต้องมีหน่วยอย่างเดียวกัน คือถ้า D เป็นเซนติเมตร d ก็จะต้องเป็นเซนติเมตรด้วย

ในงานชลประทานบนแปลงเพาะปลูก จำนวนความชื้นที่พืชเอาไปใช้ได้มักจะคำนวณโดยมีหน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยความลึกของดิน เมื่อต้องการจะทราบว่าจะต้องให้น้ำแก่พืชคิดเป็นความลึกเท่าไร ก็เอาความลึกของเขตราก คูณกับค่าจำนวนความชื้นที่หาได้ ก็จะได้ความลึกของน้ำที่ต้องให้แก่พืช

## ตัวอย่างที่ 3.3

จงหาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชื้นที่ Field Capacity

ความชื้นของดินก่อนให้น้ำ = 8.3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

ความชื้นของดินที่ Field Capacity = 21.1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

ความลึกของเขตราก (Root Zone) = 1.20 เมตร

ความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน = 1.15

## วิธีทำ

จำนวนความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชื้นที่ Field Capacity

$= 21.1 - 8.3 = 12.8$ เปอร์เซนต์

ดังนั้น $P_w = 12.8$ %

$D = 1.20$ เมตร $= 120$ ซ.ม.

$A_s = 1.15$

จากสูตร $d = \frac{P_w}{100} . A_s . D$

$$= \frac{12.8 \times 1.15 \times 120}{100}$$

$= 17.7$ ซ.ม. $= 177$ มม.

ดังนั้นจะต้องให้น้ำแก่ดิน 177 มม. ดินจึงจะมีความชื้นที่ Field Capacity ตลอดความลึกของเขตราก 1.20 เมตร

กรณีที่ดินในเขตรากมีเนื้อดินไม่สม่ำเสมอกันตลอด กล่าวคือ มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน การคำนวณหาปริมาณความชื้นที่จะต้องให้แก่ดินก็ต้องทำเป็นชั้น ๆ แล้วจึงนำเอาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินในแต่ละชั้นมารวมกันก็จะได้เป็นความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินทั้งหมด

## ตัวอย่างที่ 3.4

จงหาความลึกของน้ำที่พืชได้รับจากการชลประทานจากตารางที่กำหนดให้

| ดิน | ความลึกจากผิวดิน ซ.ม. | $A_s$ | ความชื้นหลังให้น้ำ $P_{w2}$ — % | ความชื้นก่อนให้น้ำ $P_{w1}$ — % |
|---|---|---|---|---|
| ดินทรายปนดินร่วน | 0 — 20 | 1.15 | 21.1 | 8.3 |
| ดินทรายปนดินร่วน | 20 — 35 | 1.25 | 22.5 | 8.7 |
| ดินทรายปนดินร่วน | 35 — 50 | 1.23 | 17.0 | 5.1 |
| ดินทราย | 50 — 65 | 1.39 | 9.8 | 3.0 |
| ดินทราย | 65 — 80 | 1.47 | 6.0 | 1.4 |

## วิธีทำ

| ดิน | ความลึกของชั้นดิน ซ.ม | $A_s$ | $P_{w2} - P_{w1}$ | $d = \frac{(1)\ (2)\ (3)}{100}$ |
|---|---|---|---|---|
| | (1) | (2) | (3) | (4) |
| ดินทรายปนดินร่วน | 20 | 1.15 | 12.8 | 2.94 |
| ดินทรายปนดินร่วน | 15 | 1.25 | 13.8 | 2.59 |
| ดินทรายปนดินร่วน | 15 | 1.23 | 11.9 | 2.20 |
| ดินทราย | 15 | 1.39 | 6.8 | 1.42 |
| ดินทราย | 15 | 1.47 | 4.6 | 1.01 |
| | | | รวมทุกชั้นดิน | 10.16 ซ.ม. |

ดังนั้น ความลึกของน้ำที่ให้แก่พืช = 10.16 เซ่นติเมตร = 101.6 ม.ม.

## การไหลซึมของน้ำจากผิวดิน

ในการชลประทานเกือบทุกประเภท เราให้น้ำแก่พืชทางผิวดินและให้มันไหลซึมเข้าไปเก็บไว้ในดินเพื่อที่พืชจะนำไปใช้ในภายหลัง ดังนั้นลักษณะการไหลซึมของน้ำเข้าไปในดินจึงเป็นสิ่งที่ควรจะทำความเข้าใจไว้

เมื่อให้น้ำแก่พืชทางผิวดินหรือเมื่อมีฝนตก น้ำจะไหลซึมเข้าไปในช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน รอยแตกระแหง และรูโพรงที่เกิดจากการเน่าผุของรากพืชหรือที่เกิดจากการเตรียมดิน การไหลซึมของน้ำจากผิวดินเข้าไปในดินนี้เรียกว่า การซึมผ่านผิวดิน (Infiltration)

หลังจากที่น้ำไหลซึมผ่านผิวดินเข้ามาแล้วมันก็จะไหลต่อไปด้วยแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับ (Capillary force) และจากความกดดันของน้ำที่ขังอยู่บนผิวดิน การไหลซึมของน้ำในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดของโลกและความกดดันของน้ำในขณะที่ให้น้ำ หรือการไหลซึมของน้ำที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกเพียงอย่างเดียวเมื่อหยุดให้น้ำแล้วเรียกว่า การซึมในดิน (Percolation)

การซึมผ่านผิวดิน (Infiltration)และการซึมในดิน (Percolation) มีอิทธิพลต่อการให้น้ำแก่พืชมาก กล่าวคืออัตราที่น้ำซึมผ่านผิวดินเข้าไปในดิน จะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปเก็บไว้ในดินในขณะที่ให้น้ำ อัตราการซึมของน้ำในดิน จะมีผลต่อการแผ่กระจายของน้ำในดินและที่จะสูญเสียไปโดยการไหลซึมเลยเขตรากพืช (Deep Percolation)

## อัตราการไหลซึมของน้ำผ่านผิวดิน

อัตราที่น้ำที่ขังบนผิวดินไหลซึมเข้าไปในดินต่อหนึ่งหน่วยเวลาเรียกว่า อัตราการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration

rate) หรืออัตราการดูดซับของดิน (Intake Rate) เมื่อต้องการเน้นว่าการไหลซึมนั้นมีทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง เช่นในการให้น้ำทางร่องคู (Furrow) เป็นต้น ค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น ความลึกของน้ำที่ขังอยู่บนผิวดิน ลักษณะโครงสร้างของดิน เนื้อดิน อุณหภูมิของน้ำและดิน ตลอดจนจำนวนความชื้นในดินก่อนการให้น้ำ เป็นต้น

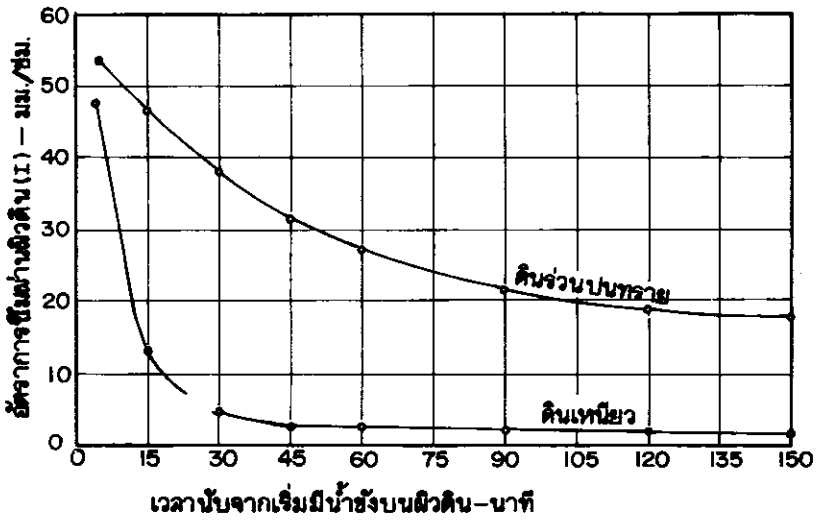
ในตอนแรกที่ให้น้ำแก่ดิน อัตราการซึมผ่านผิวดิน จะมีค่าสูงเนื่องจากผิวดินยังแห้งอยู่ จึงดูดซับเอาน้ำไว้อย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นน้ำจำนวนหนึ่งจะต้องไหลเข้าไปบรรจุอยู่ในรอยแตกระแหงหรือโพรงที่เกิดจากการเน่าผุของรากพืชจนเต็ม ระดับน้ำที่ขังบนผิวดินจึงลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไปดินชั้นบนจะเริ่มอิ่มน้ำ อัตราการซึมผ่านผิวดินก็จะค่อย ๆ ลดลง และในที่สุดจะถึงระดับหนึ่งซึ่งอัตราการซึมมีค่าเกือบคงที่ตลอดไปจนกว่าจะหยุดให้น้ำ ค่าที่เกือบคงที่นี้จะมีค่าประมาณเท่ากับความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้(Permeability) ของดินในชั้นบน

การวัดอัตราการซึมผ่านผิวดิน วิธีที่ดีที่สุดนั้นทำได้โดยการวัดอัตราที่ให้น้ำแก่แปลงและที่ไหลออกจากแปลง แต่ถ้าหากวิธีดังกล่าวไม่สะดวกก็อาจจะใช้วิธีวัดจากถังหรือบางครั้งเรียกว่าถังวัดอัตราการซึม(Infiltrometer) ถังที่ใช้วัด ส่วนมากเป็นถังกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ถึง 40 เซนติเมตร หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร และยาวไม่ต่ำกว่า 30 เซนติเมตร เปิดหัวและท้ายทั้งสองด้าน การติดตั้งก็ทำโดยกดถังให้จมลงไปในดินในแนวดิ่งลึกประมาณ 15 ถึง 20 เซนติเมตรตรงจุดที่คิดว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกับสภาพทั่ว ๆ ไปของที่ดินทั้งผืน เทน้ำลงไปในถังโดยให้มีความลึกประมาณเท่ากับที่จะเกิดขึ้นจริงในขณะที่ให้น้ำ แล้วจดบันทึกความลึกของน้ำที่ลดลงที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากเทน้ำลงไปในถังเป็นระยะ ๆ

หลังจากที่น้ำซึมลงไปถึงปลายของถังที่กดลงไปในดินแล้ว มันจะพยายามไหลซึมออกทางด้านข้างซึ่งจะทำให้อัตราการซึมผ่านผิวดินที่วัดได้สูงกว่าที่ควร การไหลซึมออกทางด้านข้างนี้อาจจะป้องกันได้โดยการใช้ถังอีกใบหนึ่งที่มีขนาดใหญ่กว่ากดลงไปในดินโดยให้ถังใบเล็กอยู่ตรงกลาง เติมน้ำลงไปในช่องระหว่างถังทั้งสองใบนั้นโดยให้ระดับน้ำทั้งสองมีขนาดเท่ากัน โดยวิธีนี้ความกดดันของน้ำระหว่างถังทั้งสองใบจะป้องกันมิให้น้ำในถังเล็กซึ่งใช้วัด อัตราการซึมผ่านผิวดิน ไหลซึมออกทางด้านข้างซึ่งจะเป็นผลให้ได้ค่าที่ถูกต้องดีขึ้น ในกรณีที่มีถังเพียงลูกเดียวก็อาจจะใช้ดินกั้นเป็นคันล้อมรอบถังไว้แล้วเติมน้ำในคันดินแบบเดียวกันกับที่มีถังสองลูกก็ได้

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ความลึกของน้ำเหนือผิวดินมีอิทธิพลต่ออัตราการซึม ความลึกของน้ำในถังจึงควรมีขนาดเดียวกันกับที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจริงในขณะที่ให้น้ำแก่พืช มิฉะนั้นจะทำให้ค่าที่วัดได้ผิดจากความเป็นจริงไปมาก

เมื่อนำเอาอัตราการซึมผ่านผิวดินที่วัดได้ และเวลาที่น้ำท่วมผิวดินนับจากเริ่มให้น้ำมาเขียนลงในกระดาษกราฟแบบธรรมดาก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมกับเวลาดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมผ่านผิวดินกับเวลาอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตาม กราฟที่เขียนบนกระดาษเลกลธรรมดานี้นำไปใช้งานไม่ได้เต็มที่ เนื่องจากมีข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาที่ต้องการทราบอัตราการซึมมักจะมากกว่าช่วงเวลาที่วัดไว้ แต่ข้อจำกัดนี้อาจแก้ได้โดยการนำค่าที่วัดได้มาเขียนลงในกระดาษกราฟ log - log ขนาด 3x3 ไซเคิล




**รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมผ่านผิวดินกับเวลา เมื่อนำมาเขียนในกระดาษ-กราฟแบบธรรมดา**

ซึ่งจะได้เป็นกราฟเส้นตรงที่สามารถต่อเส้นกราฟออกไปได้อีก กราฟเส้นตรงนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการซึมผ่านผิวดิน (I) กับเวลานับจากเริ่มมีน้ำขังบนผิวดิน (t) ในรูปของสมการ

$$I = at^n \qquad \text{.....(3.6)}$$

โดย a และ n เป็นค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินที่ทำการวัด ค่าตัวเลขของมันเทียบหาได้จากกราฟที่เขียนในกระดาษ log - log

เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น สมการข้างบนอาจจะเขียนเสียใหม่ได้เป็น

$$\log I = n \log t + \log a \qquad \text{.....(3.7)}$$

ซึ่งเทียบได้กับ สมการเส้นตรง

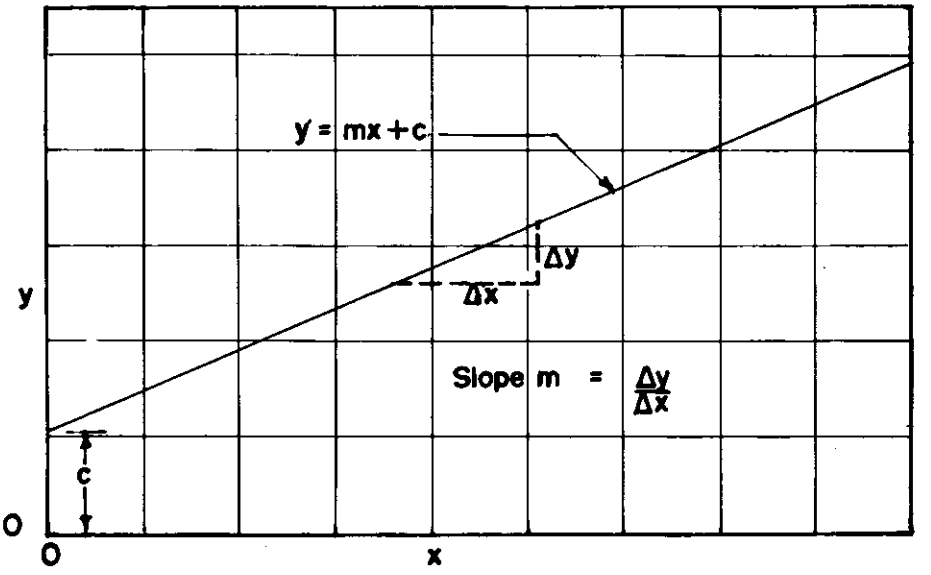
$$y = mx + c$$

คือ y เทียบกับ log I, m เทียบได้กับ n, x เทียบได้กับ log t และ c เทียบได้กับ log a

จากเรขาคณิตวิเคราะห์เราทราบว่า m เป็นความลาด (Slope) ของกราฟเส้นตรง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\triangle y/\triangle x$ และ c เป็นค่าคงที่ซึ่งเท่ากับระยะจากจุดกำเนิด (Origin) ถึงจุดที่กราฟตัดแกน Y ดังแสดงในรูปที่ 3.4

จากคุณสมบัติของกราฟเส้นตรงดังกล่าวนี้ ค่า n และ a จะเทียบหาได้จากกราฟที่เขียนบนกระดาษ log - log โดย

n = ความลาดของเส้น และมีค่าเท่ากับระยะทาง(เลกลปกติเพราะ n เทียบได้กับ m) ในแนวตั้งหารด้วยระยะทางในแนวราบระหว่างจุดสองจุดบนเส้น โดยปกติแล้ว n จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ -1




**รูปที่ 3.4 กราฟเส้นตรงของสมการ $y = mx + c$**

a = ระยะทางจากจุดกำเนิดถึงจุดที่เส้นตัดกับแกนตั้ง ในที่นี้จะมีค่าเท่ากับอัตราการซึมผ่านผิวดิน (I) ที่เวลา t=1 หรืออาจคำนวณได้จากสมการ (3.6) โดยการสมมุติให้ t=1 เนื่องจาก 1 ยกกำลังอะไรก็ตามจะได้ผลลัพธ์ 1 เสมอ

จากสมการ (3.6) เราอาจจะหาความลึกสะสมของน้ำที่ไหลซึมผ่านผิวดิน (Accumulated Depth, D) ที่ระยะเวลาต่าง ๆ หลังจากให้น้ำได้ โดย

$$D = \int_0^t I \, .dt \qquad \text{.....(3.8)}$$

$$\int_0^t at^n dt$$

$$D = \frac{a}{n+1} .t^{n+1} \qquad \text{.....(3.9)}$$

สมการนี้มีลักษณะเดียวกันกับสมการ (3.6) คืออยู่ในรูปของ

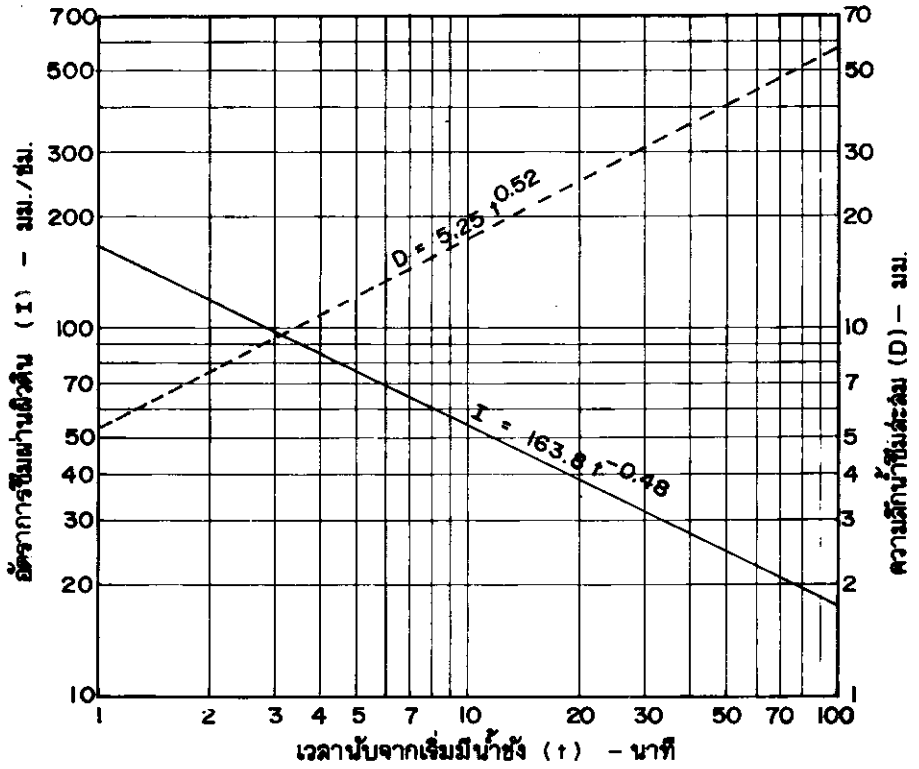
$$D = At^B \qquad \text{.....(3.10)}$$

โดย A เป็นระยะจากจุดกำเนิด (Origin) ถึงจุดที่กราฟตัดกับแกนตั้ง B เป็นความลาดของเส้นกราฟที่เขียนในกระดาษ log - log และจะมีค่าเป็นบวกเสมอ สมการของความลึกน้ำซึมสะสม (Accumulated Depth) นี้สามารถเปลี่ยนให้เป็นสมการของอัตราการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration Rate) ได้โดย

$$I = \frac{d}{dt}(D) = \frac{d}{dt}(At^{B}) = A.B\,t^{B-1} \quad \text{.....(3.11)}$$

ในทางปฏิบัติจะพบว่า ถ้าเป็นการวัดโดยให้น้ำขังท่วมผิวดิน เราอาจหาอัตราการซึมผ่านผิวดินที่เวลาใดเวลาหนึ่งได้สะดวกกว่า โดยการหาความลึกสะสมของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ แล้วนำมาเขียนกราฟในกระดาษ log - log เพื่อหาสมการของความลึกน้ำซึมสะสม(Accumulated Depth) เช่นสมการที่ (3.10) แล้วจึงหาสมการของอัตราการซึมผ่านผิวดิน(Infiltration Rate) โดยใช้สมการที่ (3.11) แต่ถ้าเป็นการวัดโดยวิธีวัดอัตราที่น้ำไหลเข้าและไหลออกจากแปลงแล้ว ก็จะต้องเริ่มต้นจากสมการที่ (3.6)

ตัวอย่างของกราฟเส้นตรงของสมการ $I = 163.8t^{-0.48}$ และ $D = 5.25t^{0.52}$ เมื่อเขียนบนกระดาษ log - log ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.5



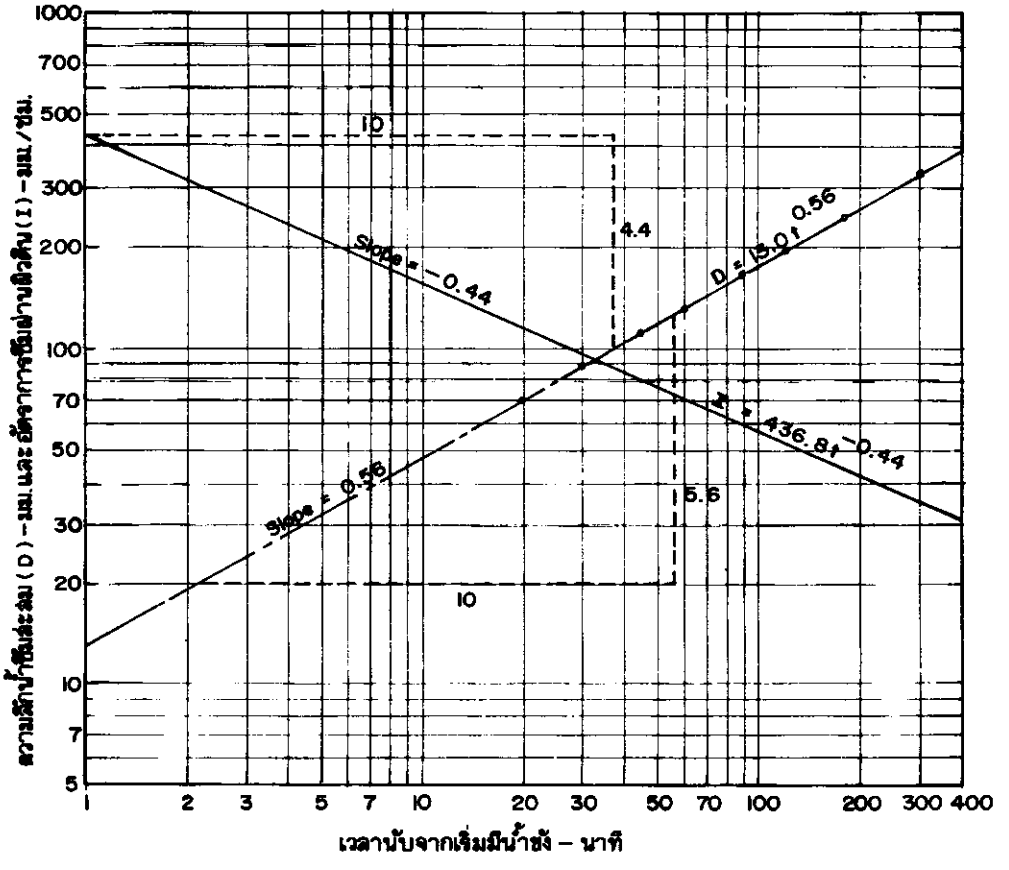

**รูปที่ 3.5 กราฟเส้นตรงของสมการ $I = 163.8\,t^{-0.48}$ และ $D = 5.25\,t^{0.52}$ เมื่อเขียนบนกระดาษ log–log**

## ตัวอย่างที่ 3.5

จากการทดลองหาอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินด้วยถังวัดอัตราการซึมได้ผลดังช่องที่ (1) และ (4) ของตาราง จงหาสมการของอัตราการซึมผ่านผิวดิน (Infiltration Rate) และความลึกน้ำซึมสะสม (Accumulated Depth) และจงหาว่า (ก) ถ้าต้องการจะให้น้ำแก่พืช 100 มิลลิเมตร จะต้องให้น้ำขังบนผิวดินนานเท่าใด (ข) จงหาอัตราการซึมผ่านผิวดินหลังจากที่มีน้ำขังบนผิวดินแล้ว 15 นาที และ 2 ชั่วโมง

## วิธีทำ

เนื่องจากว่าการทดลองนี้เป็นการวัดความลึกของน้ำที่ซึมเข้าไปในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ แต่สมการที่ (3.10) เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลานับจากเริ่มมีน้ำขังกับความลึกสะสมของน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน ดังนั้นจึงต้องคำนวณค่าทั้งสองนี้โดยการหาช่วงเวลาระหว่างการวัด 2 ครั้งติดต่อกันและความลึกของน้ำที่ซึมหายไป ซึ่งทำได้โดยการหาผลต่างของการวัด 2 ครั้งต่อเนื่องกันดังแสดงในช่องที่ (2) และที่ (4) ของตาราง จากนั้นนำค่าของสองช่องนี้มาสะสมกันโดยถือว่าเมื่อเริ่มทำการวัด เวลาและความลึกของน้ำที่ซึมผ่านผิวดินเป็นศูนย์ จากนั้นก็บวกสะสมลงมาจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ดังแสดงในตารางช่องที่ (3) และ (6) หลังจากนั้นจึงเอาค่าในตารางสองช่องนี้มาพล็อตในกระดาษ log - log โดยให้แกนราบแทนเวลาซึ่งมีจุดกำเนิดเท่ากับ 1 นาที แกนตั้งแทนความลึกสะสมของน้ำที่ซึมผ่านผิวดิน ดังแสดงในรูปที่ (3.6)




**รูปที่ 3.6 กราฟอัตราการซึมผ่านผิวดิน (I) และ ความลึกน้ำซึมสะสม (D)**

# ข้อมูลการวัดอัตราการซึมผ่านผิวดิน

สถานที่ทำการวัด แปลงทดลอง ผู้ทำการวัด นิสิต วันที่ 16 พ.ค. 24

เนื้อดิน ดินทรายปนดินร่วน ความชื้น แห้ง พืชที่ปลูก

หมายเหตุ.....

| เวลา - นาที | | | การซึมผ่านผิวดิน - มม. | | |
|---|---|---|---|---|---|
| เวลา - น. | ช่วงเวลา | สะสม | ความลึก☆ | ความลึกต่าง | สะสม |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| 8:00 | 10 | 0 | 0 | 44 | 0 |
| 10 | 10 | 10 | 44 | 26 | 44 |
| 20 | 10 | 20 | 70 | 19 | 70 |
| 30 | 15 | 30 | 89 | 22 | 89 |
| 45 | 15 | 45 | 111 R | 20 | 111 |
| 9:00 | 30 | 60 | 20 | 36 | 131 |
| 30 | 30 | 90 | 56 | 29 | 167 |
| 10:00 | 60 | 120 | 85 R | 48 | 196 |
| 11:00 | 120 | 180 | 48 | 76 | 244 |
| 13:00 | | 300 | 124 | | 320 |

**หมายเหตุ** ☆ ค่าที่อ่านได้จาก Hook gage ซึ่งติดตั้งที่ปากถัง

R เติมน้ำในถังจนกระทั่ง Hook gage อ่านได้ศูนย์

จากกราฟของความลึกน้ำซึมสะสม D ระยะจากจุดกำเนิดถึงจุดที่กราฟตัดกับแกนตั้งเท่ากับ 13.0 และความลาด (slope) ของเส้นเท่ากับ 0.56 ดังนั้นสมการของความลึกน้ำซึมสะสมคือ

$$D = 13.0\ t^{0.56}$$

D เป็นความลึกสะสมของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ นับตั้งแต่เริ่มมีน้ำขังบนผิวดิน มีหน่วยเป็นมิลิเมตร และ t เป็นเวลานับ ตั้งแต่เริ่มมีน้ำขังบนผิวดิน มีหน่วยเป็นนาที จากสมการที่หาได้นี้ สมการของอัตราการซึมผ่านผิวดินจะหาได้โดย

$$I = \frac{d}{dt}(D) = \frac{d}{dt}(13.0\ t^{0.56})$$

$$= 13.0 \times 0.56t^{0.56 - 1} \quad \text{มม./นาที}$$

$$= 60 \times 13.0 \times 0.56t^{-0.44} \quad \text{มม./ชม.}$$

$$= 436.8t^{-0.44} \quad \text{มม/ชม.}$$

เพื่อความสะดวกในการหาอัตราการซึมผ่านผิวดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ สมการที่หาได้นี้อาจจะเขียนลงในกระดาษกราฟแผ่นเดียวกันกับ กราฟน้ำซึมสะสมได้ โดยเริ่มจากจุดที่กราฟของอัตราการซึมผ่านผิวดิน ตัดกับแกนตั้ง คือ 436.8 จากจุดนี้สร้าง slope ให้มีค่าเท่ากับ- 0.44 โดยการลากเส้นในแนวราบจากจุด 436.8 บนแกนตั้งให้ยาว 10 หน่วยเช่น 10 เซนติเมตร แล้วลากเส้นในแนวดิ่งจากปลายของเส้นราบแต่อยู่ต่ำกว่า 4.4 หน่วย หรือ 4.4 เซนติเมตร เมื่อลากเส้นต่อระหว่างปลายของเส้นนี้กับจุดบนแกนตั้งที่มีค่า 436.8 ก็จะได้เส้นตรงซึ่งเป็นกราฟของ อัตราการซึมผ่านผิวดินตามต้องการ

การสร้างเส้นกราฟอีกวิธีหนึ่งอาจจะทำได้โดยการคำนวณค่าของจุดสองจุดบนเส้นกราฟของสมการที่หาได้ เช่นเมื่อ t=1, I=436.8 และ t=400, I=31.3 พล็อตค่าของสองจุดนี้ลงในกระดาษกราฟแล้วลากเส้นก็จะได้กราฟที่ต้องการเช่นเดียวกัน

ก) การหาว่าจะต้องมีน้ำขังบนผิวดินนานเท่าใดพืชจึงจะได้รับน้ำ 100 มม. นั้นอาจทำได้ 2 วิธีคือ อ่านจากกราฟน้ำซึมสะสม โดยตรง หรือคำนวณจากสมาการที่หาได้

จากกราฟที่น้ำซึมสะสมมีค่าเท่ากับ 100 มม. จะได้ว่า t มีค่าเท่ากับ 37 นาที หรือต้องให้น้ำขังบนผิวดินนาน 37 นาที น้ำจึงจะซึมลงไปในดินลึก 100 มม. เวลาดังกล่าวนี้อาจจะคำนวณจากสมการที่หาได้ คือ

$$D = 13.0t^{0.56}$$

$$100 = 13.0t^{0.56}$$

$$t = \left[\frac{100}{13}\right]^{\frac{1}{0.56}}$$

$$= 38 \text{ นาที}$$

ข) ค่าอัตราการซึมผ่านผิวดิน หลังจากที่มีน้ำขังบนผิวดิน 15 นาที และ 2 ชั่วโมง เมื่ออ่านจากกราฟ คือ

$$I_{15} = 130 \text{ มม./ชม.}$$

$$I_{120} = 52 \text{ มม./ชม.}$$

เมื่อคำนวณจากสูตรที่หาได้ คือ

$$I = 436.8t^{-0.44}$$

$$I_{15} = 436.8(15)^{-0.44}$$

$$= 132.7 \text{ มม./ชม.}$$

$$I_{120} = 436.8(120)^{-0.44}$$

$$= 53 \text{ มม./ชม.}$$

การหาอัตราการซึมผ่านผิวดินและความลึกน้ำซึมสะสม โดยใช้ถังกลมหรือ Infiltrometer ดังที่ได้อธิบายมานี้เหมาะสำหรับใช้เป็นข้อมูลสำหรับออกแบบการให้น้ำท่วมผิวดิน เช่นแบบท่วมเป็นผืน (Border) หรือท่วมเป็นอ่าง (Basin)เท่านั้น สำหรับการให้น้ำท่วมผิวดินเพียงบางส่วน เช่นการให้น้ำทางร่องคู (Furrow) ซึ่งน้ำจะไหลซึมเข้าไปในดินทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง อัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินนอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินแล้วยังขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นขอบเปียก (Wetted perimeter) ของร่องด้วย การหาอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินจึงใช้วิธีวัดอัตราที่น้ำไหลเข้าและไหลออกจากช่วงความยาวของร่องค่าหนึ่ง และอัตราที่น้ำไหลไปถึงจุดต่าง ๆ ในร่อง (Rate of Advance) แล้วจึงนำมาคำนวณหาอัตราการดูดซับน้ำของร่อง (Intake Rate) ซึ่งมักจะมีหน่วยเป็นปริมาตรต่อหนึ่งหน่วยเวลาต่อหนึ่งหน่วยความยาวของร่อง เช่น ลิตรต่อวินาทีต่อความยาวของร่อง 25 เมตร เป็นต้น

สำหรับการชลประทานแบบฉีดฝอย อัตราการให้น้ำจะมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาที่ทำการให้น้ำ การออกแบบจึงไม่จำเป็นที่จะต้องทราบอัตราการซึมผ่านผิวดินที่ระยะเวลาต่าง ๆ ค่าที่ต้องการทราบก็คือ อัตราการซึมผ่านผิวดินที่จะเกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการให้น้ำ เช่นตามปกติให้น้ำแก่พืชครั้งละ 8 ชั่วโมง เราต้องการจะทราบว่าอัตราการซึมของดินที่ให้น้ำด้วยการชลประทานแบบฉีดฝอยแล้ว 8 ชั่วโมงเท่ากับเท่าไร ค่าที่หาได้นี้จะใช้เป็นอัตราการให้น้ำของระบบการชลประทานแบบฉีดฝอย

วิธีหาอัตราการให้น้ำสำหรับการชลประทานแบบนี้ทำโดยการติดตั้งหัวจ่ายน้ำ (Sprinkler) ขึ้นหัวหนึ่งแล้วให้น้ำโดยมีแรงดันที่หัวฉีดพอเหมาะที่จะทำให้ความหนาแน่นของน้ำที่จ่ายออกมา (Distribution pattern) เป็นรูปกรวย ซึ่งเป็นการจ่ายน้ำที่ดีที่สุดตามที่ผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ จากนั้นก็ตั้งกระป๋องเก็บน้ำ(Catch can)ไว้ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของกรวยเป็นระยะ ๆ ปล่อยให้หัวฉีดจ่ายน้ำเป็นเวลาเท่ากับที่จะให้แก่พืชจริง ๆ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาให้น้ำแล้วก็เลือกเอากระป๋องที่เก็บน้ำมากที่สุดที่ไม่มีน้ำขังอยู่ในบริเวณรอบ ๆ มาคำนวณหาอัตราให้น้ำ ค่าที่ได้นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการซึมผ่านผิวดินที่จะเกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการให้น้ำด้วยการชลประทานแบบฉีดฝอย วิธีหาอัตราการให้น้ำดังที่อธิบายมาแล้วนี้เหมาะสำหรับบริเวณที่มีลมสงบและพื้นที่เรียบ ในกรณีที่ตลอดทั้งพื้นที่ที่ทำการทดลองไม่มีน้ำขังเลย หรือมีน้ำขังนองไปหมดก็อาจจะต้องเปลี่ยนขนาดของหัวจ่ายน้ำเสียใหม่แล้วทำการทดลองซ้ำอีก ซึ่งจะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้องดีขึ้น

# การไหลซึมของน้ำในการชลประทานและการระบายน้ำ

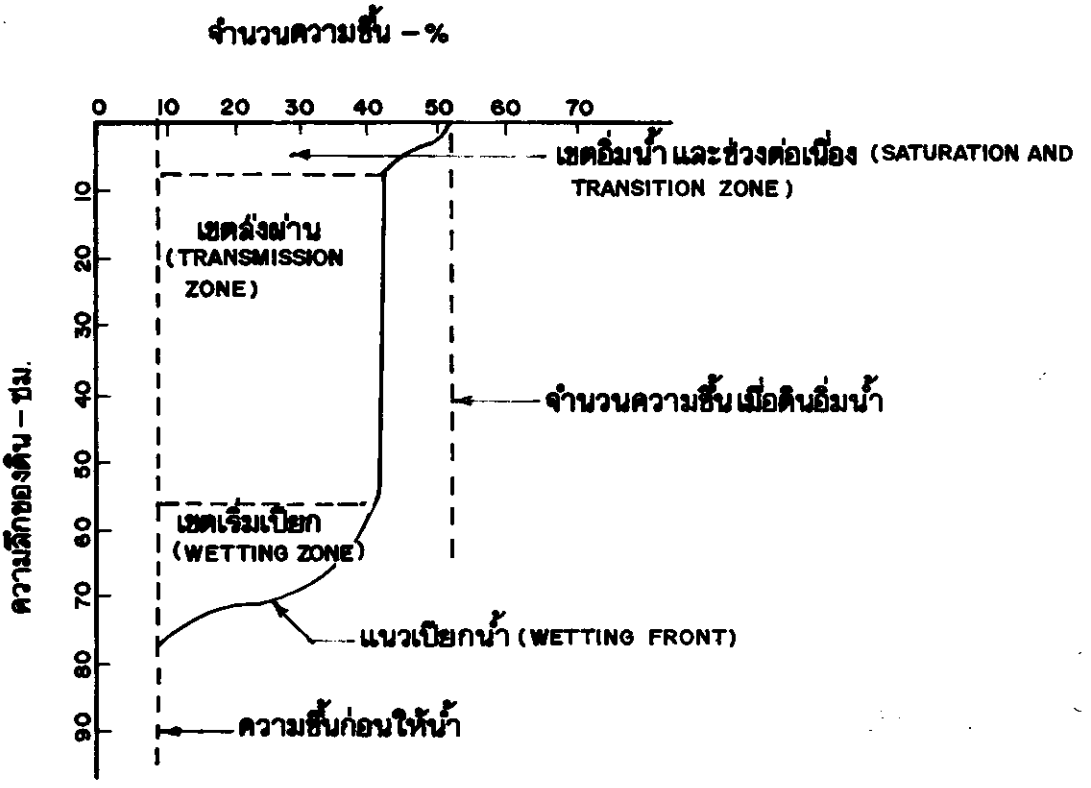
จากการทดลองให้น้ำไหลซึมลงไปในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอกันตลอดความลึกปรากฏว่า เราอาจแบ่งดินในขณะที่มีน้ำไหลซึมลงไปออกเป็นส่วน ๆ ตามลักษณะการไหลซึมและจำนวนความชื้นได้เป็น

ก) เขตอิ่มน้ำและช่วงต่อเนื่อง (Saturation and Transition Zone) คือส่วนที่เป็นชั้นดินบาง ๆ ตอนผิวบนของดินซึ่งสัมผัสกับน้ำ

ข) เขตส่งผ่าน (Transmission Zone) คือส่วนที่เป็นตัวนำน้ำจากบริเวณที่ให้น้ำไปสู่บริเวณที่แห้งกว่า

ค) เขตเริ่มเปียก (Wetting Zone) คือส่วนที่กำลังได้รับน้ำจากเขตส่งผ่าน (Transmission Zone) ความชื้นในดินส่วนนี้จะอยู่ระหว่างความชื้นของดินเดิมและความชื้นของดินในเขตส่งผ่าน และ

ง) แนวเปียกน้ำ (Wetting Front) คือแนวเขตที่ความชื้นในเขตเริ่มเปียกแผ่ไปถึง แนวเปียกน้ำ(Wetting Front) นี้จะมองเห็นได้ชัดถ้าดินเดิมนั้นแห้งมาก




**รูปที่ 3.7 เขตอิ่มน้ำและช่วงต่อเนื่อง เขตส่งผ่าน เขตเริ่มเปียก และแนวเปียกน้ำ ในขณะที่ให้น้ำจากผิวดิน**

ในการให้น้ำไหลซึมจากผิวดินเข้าไปในดิน จะพบว่าเราไม่สามารถทำให้ดินนั้นอิ่มน้ำตลอดความลึกของชั้นดินได้ ทั้งนี้เพราะยังมีฟองอากาศในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินซึ่งน้ำไม่สามารถเข้าไปแทนที่ได้ติดอยู่ ยกเว้นในชั้นบาง ๆ ตอนผิวดิน ซึ่งฟองอากาศสามารถหลุดออกไปสู่บรรยากาศได้ง่าย ดังนั้น จะมีดินอิ่มน้ำเป็นชั้นบาง ๆ ตอนผิวดิน และความชื้นจะลดลงมาอย่างรวดเร็วเท่ากับความชื้นในเขตส่งผ่าน(Transmission Zone) ชั้นดินบาง ๆ จากผิวดินมาถึงชั้นดินที่เป็นเขตส่งผ่านนี้เรียกว่า เขตอิ่มน้ำและช่วงต่อเนื่อง(Saturation and Transition Zone)

ในส่วนที่เรียกว่าเขตส่งผ่าน (Transmission Zone) นั้น จำนวนความชื้นของดินจะมีค่าเท่ากันตลอด ไม่ว่าน้ำจะมีทิศทางการไหลไปทางใด จากการทดลองพบว่าดินในส่วนนี้จะมีน้ำขังอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซนต์ ของปริมาตรช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน หรือมีความอิ่มตัว (Degree of saturation) เท่ากับ 80 เปอร์เซนต์ (ดินที่อิ่มน้ำมีความอิ่มตัว 100 เปอร์เซนต์) และเนื่องจากว่าดินมีความชื้นเท่ากันตลอด แรงดึงความชื้นที่จุดสองจุดในเขตส่งผ่าน จึงเท่ากันด้วย ดังนั้นแรงที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำในดินส่วนนี้จึงมีแต่แรงดึงดูดของโลกและความกดดันของน้ำที่ขังบนผิวดินเท่านั้น ถ้าหากความกดดันของน้ำมีค่าคงที่ อัตราที่น้ำไหลผ่านดินในเขตส่งผ่านจะมีค่าคงที่ด้วย

ความชื้นของดินในเขตเริ่มเปียก (Wetting Zone) ตอนบนจะมีค่าใกล้เคียงกับความชื้นของดินในเขตส่งผ่าน และจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อเข้าไปใกล้แนวเปียกน้ำ (Wetting Front) และเนื่องจากว่าความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ขึ้นอยู่กับจำนวนความชื้นในดิน ดังนั้นจะพบว่า แนวเปียกน้ำเคลื่อนที่ในดินชื้นได้เร็วกว่าในดินแห้ง

จากการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำในแนวเปียกน้ำ ปรากฏว่า ถ้าความชื้นของดินเดิมมีค่าคงที่แล้ว พลังงานที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในดินชนิดเดียวกันจะมีค่าคงที่ด้วย ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าจะต้องใช้แรงทำให้น้ำเคลื่อนที่ในดินแห้งมากกว่าในดินเปียก หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า เนื่องจากดินแห้งมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ พลังงานที่สูญเสียไปในการให้น้ำเคลื่อนที่ต่อหนึ่งหน่วยระยะทางจึงมีค่ามากและเป็นผลให้น้ำซึมลงไปในดินแห้งได้ตื้นกว่าในดินเปียก

## การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบให้น้ำท่วมผิวดิน

ในการชลประทานแบบให้น้ำท่วมผิวดิน ลักษณะการไหลของน้ำจากผิวดินจะคล้ายคลึงกันกับที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อก่อน ๆ แต่ยังอาจแบ่งออกเป็นกรณีที่เมื่อดินนั้นเป็นเนื้อเดียวกันตลอดความลึก และกรณีที่มีชั้นดินที่แน่นทึบกว่าหรือโปร่งกว่าแทรกอยู่

**ก) เมื่อดินเป็นเนื้อเดียวกันตลอด** อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินจะมีค่าสูงเมื่อเริ่มต้นให้น้ำ ทั้งนี้เพราะว่าที่ผิวดินซึ่งเปียกและมีน้ำขังอยู่จะมีความกดดันของน้ำให้ไหลเข้าไปในดิน แต่ที่ระดับใต้ผิวดินลงมาเล็กน้อยดินยังแห้งอยู่ และมีแรงดึงความชื้นอยู่ด้วย ดังนั้นน้ำจะซึมเข้าไปในดินอย่างรวดเร็วแต่เมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไปจำนวนความชื้นในดินชั้นบนจะมีค่าคงที่ การซึมของน้ำจากผิวดินจึงถูกควบคุมด้วยความสามารถให้น้ำซึม

ผ่านได้ของดินในชั้นบน นอกจากนั้นอัตราการซึมของน้ำอาจจะถูกทำให้ลดลงด้วยสาเหตุอื่น ๆ เช่น โครงสร้างของดินที่ผิวดินถูกทำให้เปลี่ยนไปเมื่อมีน้ำขังอยู่ หรือเนื่องจากมีตะกอนเล็ก ๆ ไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่มีขนาดใหญ่ไว้เป็นต้น

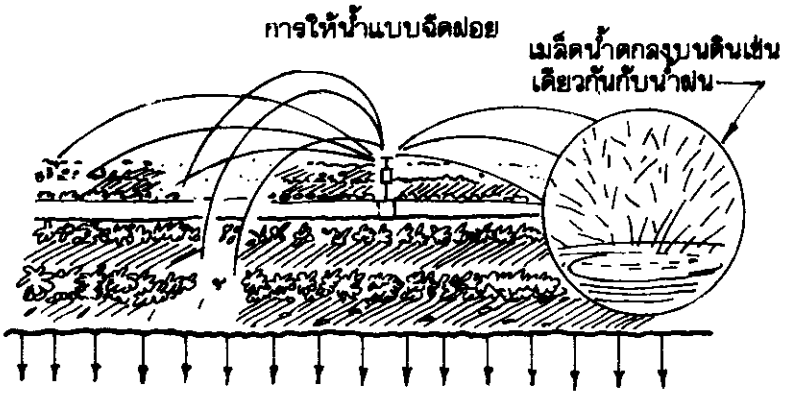
การที่อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินมีค่าลดลงเมื่อมีน้ำขังอยู่บนผิวดินนานขึ้นนี้นับว่าเป็นผลดีต่อการให้น้ำ ทั้งนี้เพราะเหตุว่าเวลาให้น้ำแก่พืชน้ำจะขังบนผิวดินทางต้นน้ำนานกว่าทางด้านท้ายน้ำเสมอ และเนื่องจากว่าความลึกของน้ำทั้งหมดที่ซึมลงไปในดินมิได้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาที่มีน้ำขังอยู่เหนือผิวดิน ดังนั้นความแตกต่างระหว่างระยะเวลาที่มีน้ำขังอยู่เหนือผิวดินที่จุดสองจุดในแปลงเดียวกัน จึงไม่ทำให้ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินแตกต่างกันมากนัก ซึ่งเป็นผลให้ดินได้รับน้ำสม่ำเสมอทั่วกัน ลักษณะการไหลซึมของน้ำในดินที่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดสำหรับการให้น้ำแบบต่าง ๆ จะดูได้จากรูปที่ 3.8

**ข) เมื่อดินเป็นชั้น ๆ**(Layered Soils) ถ้าหากมีชั้นดินที่เนื้อแน่นทึบแทรกอยู่ในดินที่โปร่งกว่า น้ำจะไหลผ่านดินชั้นบนอย่างรวดเร็วแต่ไม่สามารถซึมผ่านชั้นดินที่ทึบน้ำไปด้วยอัตราเดียวกัน ดังนั้นดินในบริเวณเหนือชั้นดินที่ทึบน้ำก็จะเริ่มอิ่มน้ำและเป็นผลให้เกิดมีน้ำขังขึ้น ในขณะเดียวกันดินที่อยู่ใต้ชั้นดินที่ทึบน้ำจะยังคงแห้งอยู่ ผลของการให้น้ำในดินที่มีลักษณะดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับว่าชั้นดินที่ทึบน้ำนี้อยู่ต่ำจากผิวดินมากน้อยเท่าใด ถ้าหากอยู่ต่ำจากผิวดิน ไม่มากนัก ดินชั้นบนอาจอิ่มน้ำและเกิดน้ำขัง (Water - logged condition) ขึ้นได้ การให้น้ำในดินที่มีลักษณะดังกล่าวจะต้องระมัดระวังโดยให้การสูญเสียน้ำเนื่องจากการซึมเลยเขตรากเกิดขึ้นน้อยที่สุด แต่ถ้าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน (Infiltration rate) มีค่าสูงมากจนยากแก่การป้องกันการสูญเสียดังกล่าว ก็อาจจะต้องให้น้ำโดยวิธีอื่น เช่น แบบฉีดฝอย เป็นต้น

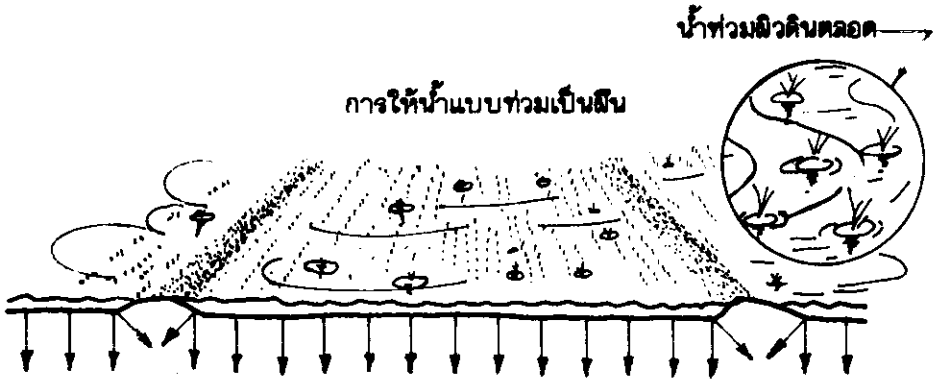
ในกรณีที่มีชั้นดินที่โปร่งแทรกตัวอยู่ระหว่างดินที่ทึบน้ำกว่า เช่น ดินที่เกิดจากการสะสมของตะกอนซึ่งถูกน้ำพัดพามามักจะมีชั้นที่เป็นกรวดหรือทรายแทรกตัวอยู่ เมื่อให้น้ำแก่ดินชนิดนี้ เนื่องจากว่าช่องว่างระหว่างเม็ดดินตรงผิวสัมผัสระหว่างชั้นดินทั้งสองไม่ต่อเนื่องกัน น้ำที่ไหลลงมาจะมาสะสมอยู่ตรงบริเวณเหนือผิวสัมผัสจนทำให้ดินในบริเวณนั้นอิ่มตัวและเกิดน้ำขังขึ้น เมื่อแรงกดดันของน้ำมากกว่าแรงดึงผิวระหว่างน้ำกับเม็ดดิน น้ำก็จะเริ่มไหลลงสู่ดินชั้นล่างซึ่งโปร่งกว่า

## การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบร่องคู

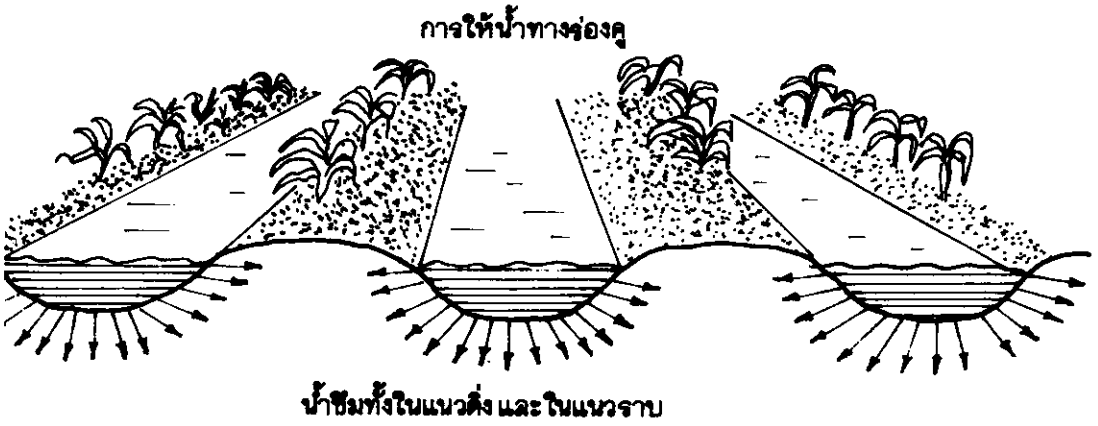
**ก)เมื่อดินเป็นเนื้อเดียวกันตลอด** เมื่อให้น้ำแก่ดินทางร่องคู ในตอนแรกน้ำจะไหลซึมออกไปทุกทิศทางโดยมีการเคลื่อนที่ในแนวราบมากพอ ๆ กับในแนวดิ่ง ถ้าดูรูปตัดของดินในแนวตั้งฉากกับร่องจะเห็นว่าส่วนของดินที่เปียกจะมีรูปลักษณะเป็นวงกลม ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่า เมื่อให้น้ำแก่ดินในขณะที่มันยังแห้งอยู่นั้นแรงดึงความชื้นจะมีค่ามาก อาจกล่าวได้ว่าแรงดึงดูดของโลกมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงดึงความชื้นของดิน ดังนั้นการซึมของน้ำในแนวราบจึงไม่ต่างกับการซึมลงในแนวดิ่งมาก แต่เมื่อการให้น้ำดำเนินต่อไป ดินจะเปียกมากขึ้น แรงดึงความชื้นของดินก็จะลดลง นอกจากนั้นการเคลื่อนที่ของแนวเปียกน้ำ(Wetting Front) ยังถูกควบคุมโดยความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดินในเขตส่งผ่าน(Transmission Zone) และเนื่องจากว่ามีแรงกด




น้ำไหลซึมลงในแนวดิ่งทิศทางเดียว

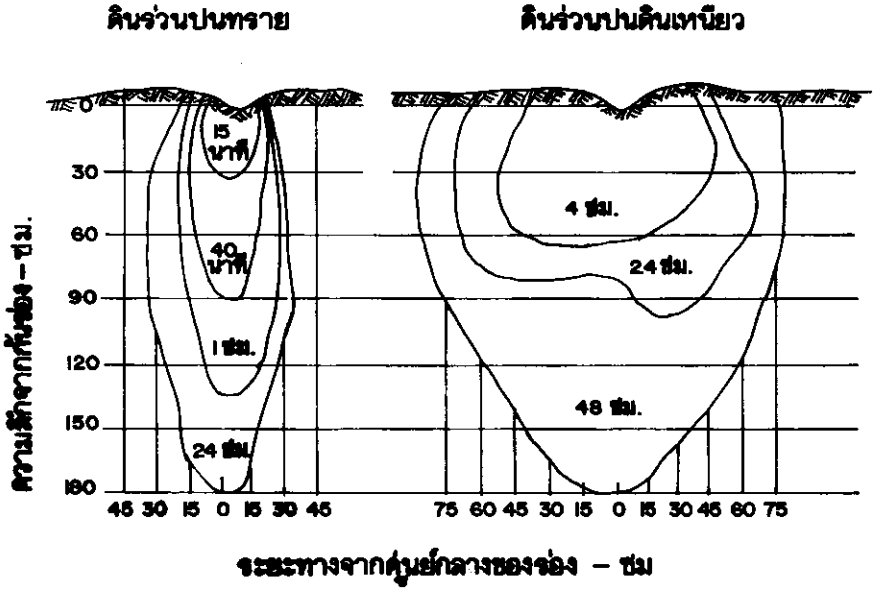



น้ำไหลซึมลงในแนวดิ่งทิศทางเดียว




น้ำซึมทั้งในแนวดิ่ง และในแนวราบ

**รูปที่ 3.8 เปรียบเทียบการไหลซึมของน้ำในการให้น้ำแบบต่างๆ เมื่อดินเป็นเนื้อเดียวกันตลอด**

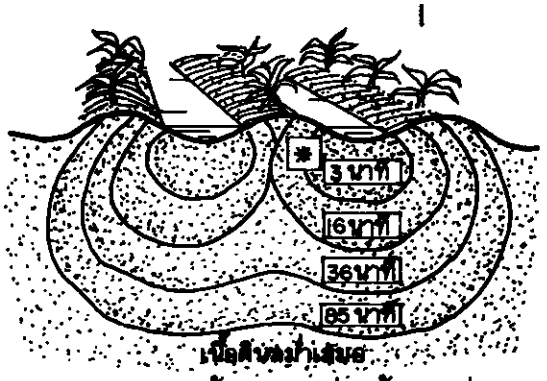



**รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบลักษณะการแผ่กระจายความชื้นของดินร่วนปนทราย ( SANDY LOAM ) และดินร่วนปนดินเหนียว (CLAY LOAM ) ที่ระยะเวลาต่างๆ หลังให้น้ำ**

ดันของน้ำและแรงดึงดูดของโลกกระทำในแนวดิ่งตลอดเวลา รูปการแผ่กระจายของความชื้น(Wetting Pattern) จะค่อย ๆ เปลี่ยนไป โดยจะมีการไหลซึมในแนวดิ่งมากขึ้น และจะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นรูปวงรีโดยมีด้านยาวอยู่ในแนวดิ่ง การเปลี่ยนแปลงจากวงกลมมาเป็นวงรีนี้ใช้เวลาน้อยมากถ้าเป็นดินทราย ลักษณะการแผ่กระจายของความชื้นในดินร่วนปนทรายเมื่อเทียบกับดินร่วนปนดินเหนียวซึ่งมีเนื้อละเอียดกว่าแสดงไว้ในรูปที่ 3.9

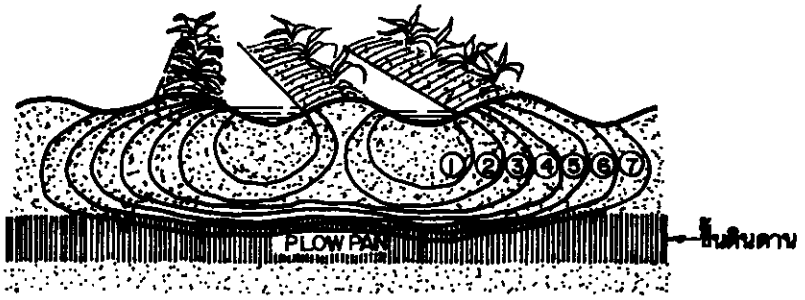
ข) เมื่อดินเป็นชั้น(Layered Soils)เมื่อมีชั้นดินที่ทึบน้ำอยู่ใต้ผิวดิน การไหลซึมของน้ำจากร่องดูเข้าไปในดินจะเป็นไปในทำนองเดียวกันกับในดินที่มีเนื้อเดียวกันตลอด จนกระทั่งแนวเปียกน้ำ (Wetting Front) มาถึงชั้นดินที่ทึบน้ำกว่า การเคลื่อนที่ของความชื้นในทางดิ่งก็ชะงัก น้ำก็จะมาสะสมตัวและทำให้ดินอิ่มน้ำขึ้นในบริเวณนั้น ขณะเดียวกันการไหลซึมทางด้านข้างก็จะเพิ่มมากขึ้น ถ้าหากความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดินชั้นล่างน้อยมากเมื่อเปรียบกับดินชั้นบน การไหลซึมทางด้านข้างก็จะยิ่งมาก แต่ถ้าหากความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดินทั้งสองชั้นต่างกันไม่มาก เมื่อดินตอนบนมีการอิ่มน้ำเพียงเล็กน้อยน้ำก็จะไหลซึมลงสู่ดินชั้นล่าง การไหลซึมทางด้านข้างก็จะน้อยลง ลักษณะของการแผ่กระจายความชื้น (Wetting Pattern) เมื่อดินเป็นเนื้อเดียวกันตลอดเมื่อเปรียบเทียบกับดินเป็นชั้นจะดูได้จากรูปที่ 3.10

1




การไหลซึมของน้ำในร่องดูที่มีเนื้อดินลม่ำเสมอ

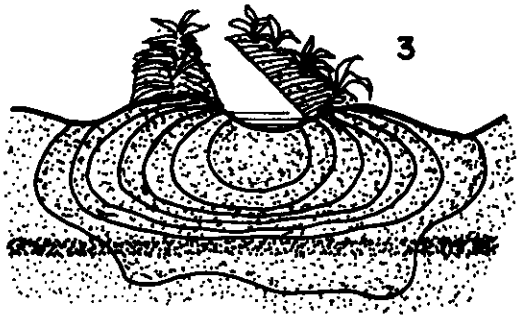
2




* ①13 นาที ②22 นาที ③40นาที ④ 64นาที ⑤ 74นาที ⑥125นาที ⑦ 196นาที

ผลของการมีชั้นดินดานใต้ระดับจานไถ ต่อการไหลซึมของน้ำในร่องดู

3



ผลของการมีชั้นทรายต่อการไหลซึมของน้ำในร่องดู

*เวลาที่แสดงเป็นเวลาที่นับจากเริ่มให้น้ำ

รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบการไหลซึมของน้ำในร่องดู (1) เมื่อเนื้อดินลม่ำเสมอ (2) เมื่อมีชั้นดินดาน (PLOW PAN) อยู่ และ (3) เมื่อมีชั้นดินทรายโปร่งอยู่ใกล้ผิวดิน

## การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบฉีดฝอย

ในการชลประทานแบบฉีดฝอย น้ำจะแผ่กระจายไปบนผิวดินอย่างสม่ำเสมอในลักษณะคล้ายกับฝนตก ดังนั้นการซึมของน้ำจึงมีแต่ในทางดิ่งเพียงทางเดียว ไม่มีการไหลซึมทางด้านข้าง หลักสำคัญในการออกแบบการให้น้ำแบบนี้ก็คือ อัตราการให้น้ำจะต้องไม่มากกว่าอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน(Infiltration rate)

การซึมของน้ำโดยการชลประทานแบบนี้คล้ายคลึงกับการซึมในการให้น้ำท่วมผิวดิน จะผิดกันก็เพียงแต่ว่าจำนวนความชื้นในดินน้อยกว่าแบบให้น้ำท่วมผิวดินมากเท่านั้น

## การไหลซึมของน้ำในการชลประทานแบบใต้ผิวดิน

การให้น้ำแก่พืชทางใต้ดินนั้น มักจะทำโดยการควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่รากของพืชจะแผ่กระจายไปถึง หรือโดยการให้น้ำทางท่อซึ่งฝังไว้ใต้ผิวดิน เช่นท่อระบายน้ำ หรือเจาะดินให้เป็นรูแบบเดียวกับท่อ เช่น ท่อระบายน้ำแบบรูตุ่น (Mole Drain) เป็นต้น

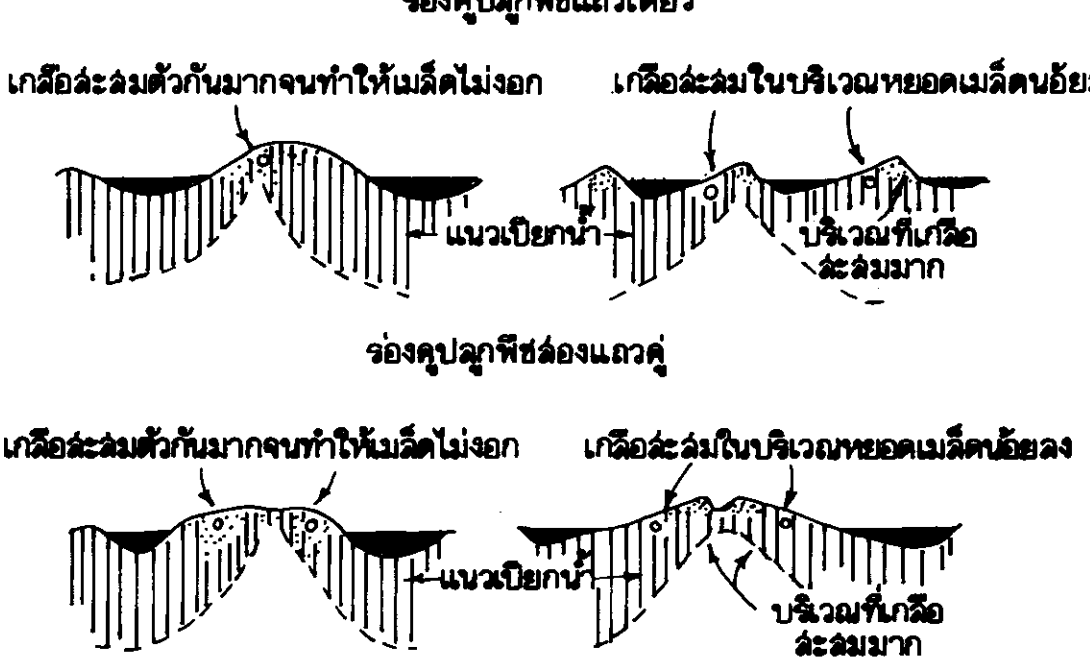
การเพิ่มหรือลดระดับน้ำใต้ดินนั้น อาจจะทำได้จากคูน้ำซึ่งมีพื้นคูอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินตามปกติ เมื่อต้องการยกระดับน้ำใต้ดินให้สูงขึ้นก็เติมน้ำลงไปในคูจนกระทั่งระดับน้ำในคูอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินเดิม เมื่อต้องการลดระดับน้ำใต้ดินก็ระบายน้ำในคูออกให้ระดับน้ำในคูต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ระยะระหว่างคูน้ำนี้จะมีค่าตั้งแต่ 80 ถึง 300 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าดินมีความสามารถให้น้ำไหลผ่านในทางราบได้ดีเพียงใด

เนื่องจากว่ารากพืชต้องการอากาศสำหรับหายใจด้วย ดังนั้นมันจะไม่งอกลงไปต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน น้ำที่พืชได้รับจึงได้จากน้ำที่ซึมขึ้นมาจากระดับน้ำใต้ดินด้วยแรงดูดซับ และเนื่องจากว่าอัตราการไหลซึมของน้ำใต้ดินขึ้นมาจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นในดินลดลง ดังนั้นชั้นดินที่เป็นตัวกลางนำน้ำมาให้กับพืชจึงอยู่ในระดับ 30 ถึง 60 เซนติเมตร เหนือระดับน้ำใต้ดินเท่านั้น

ในกรณีที่ให้น้ำทางท่อระบายน้ำแบบรูตุ่น(Mole drain) จะต้องไม่ยกระดับน้ำใต้ดินให้สูงเกินไป ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อต้องการจะลดระดับน้ำใต้ดิน มักจะพบว่าน้ำจะระบายออกได้ช้ามาก สำหรับกรณีที่ให้น้ำโดยผ่านทางท่อระบายน้ำ(Tile drain) มักจะพบว่าในกรณีที่ดินโปร่งมาก ๆ เช่นดินทรายการไหลซึมทางด้านข้างจะน้อยมากและทำให้พืชได้รับน้ำไม่ทั่วถึงกัน

## การเคลื่อนที่ของเกลือที่อยู่ในดิน

เมื่อดินที่ไม่มีเกลืออยู่ หรือมีอยู่เพียงเล็กน้อยได้รับการให้น้ำแบบท่วมผิวดินโดยน้ำนั้นมีเกลืออยู่มาก หลังจากการให้น้ำครั้งแรกแล้วเกลือที่ละลายอยู่ในน้ำก็จะแผ่กระจายไปทั่วความลึกของดินที่น้ำแผ่กระจายไปถึง แต่ถ้าดินนั้นมีเกลือมากอยู่แล้ว เมื่อให้น้ำน้ำก็จะพาเอาเกลือไปด้วยและความเข้มข้นของเกลือจะมีค่ามากที่สุดในบริเวณใกล้เคียงกับแนวเปียกน้ำ(Wetting Front) ถ้าให้น้ำที่มีเกลือละลายอยู่แก่ดินในปริมาณไม่เพียงพอต่อการชะล้างเอาเกลือให้เลยเขตราก(Root Zone )ออกไปแล้ว เกลือนั้นก็จะมาสะสมอยู่ในเขตรากตรงความลึกของแนวเปียกน้ำสุดท้ายที่ให้น้ำแต่ละครั้ง




**รูปที่ 3.11 การแก้ปัญหาการสะสมของเกลือบนหลังร่องคูโดยการดัดแปลงรูปทรงให้เกลือขึ้นไปสะสมในบริเวณที่มิได้หยอดเมล็ด**

ในการให้น้ำแบบร่องดู (Furrow) น้ำจะไหลซึมออกจากร่องทุกทิศทางและจะพาเอาเกลือออกมาในขณะเดียวกันด้วย ดังนั้นเกลือส่วนหนึ่งก็จะมาสะสมกันในบริเวณหลังร่อง หรือบริเวณที่ความชื้นจากร่องทั้งสองมาบรรจบกัน เนื่องจากการระเหยของน้ำจากผิวดินและจำนวนครั้งในการให้น้ำ เกลือที่มาสะสมกันในบริเวณดังกล่าวก็จะมีความเข้มข้นมากขึ้น ๆ ความเข้มข้นของเกลือนี้จะมีผลต่อการงอกของเมล็ดที่ปลูกบนหลังร่อง ปัญหานี้อาจจะแก้ไขโดยการหยอดเมล็ดในบริเวณข้าง ๆ หลังร่อง หรืออาจดัดแปลงรูปร่างของหลังร่องให้เกลือขึ้นไปสะสมในบริเวณยอด และปลูกพืชในบริเวณที่อยู่ต่ำลงมาก็ได้ ดังรูปที่ 3.11

การชะล้างดินเค็มโดยใช้น้ำที่ไม่มีเกลือละลายอยู่ หรือมีอยู่น้อยกว่าในดินนั้น น้ำจะละลายเกลือในดินให้จางลง และไหลพาไปกับน้ำไปสู่ท่อระบายน้ำหรือบริเวณที่อยู่ต่ำกว่าเขตรากพืช อย่างไรก็ตาม จะยังคงมีการผสมกันระหว่างน้ำกับเกลือที่อยู่ในดินอีก เนื่องจากว่าน้ำจะไหลในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินที่มีขนาดใหญ่ได้เร็วกว่า ดังนั้นเกลือในช่องว่างขนาดใหญ่นี้จะถูกชะล้างออกไปอย่างรวดเร็ว ขณะเดียวกันความเร็วของน้ำในช่องว่างขนาดเล็กจะน้อยการชะล้างเกลือก็จะช้ากว่ามาก ด้วยเหตุนี้ถ้าทำการชะล้างเกลือในดินโดยให้น้ำท่วมผิวดิน น้ำก็จะชะล้างเกลือในช่องว่างขนาดใหญ่ในระยะเวลาอันสั้น หลังจากนั้นน้ำที่ไหลผ่านช่องว่างที่จืดแล้วก็จะสูญเสีย

ไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นวิธีการชะล้างเกลือโดยให้น้ำขังบนผิวดินตลอดเวลาจึงไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงอยู่ก่อนแล้วและไม่มีระบบระบายน้ำ หรือในกรณีที่น้ำนั้นมีราคาแพงมาก

การชะล้างดินที่มีประสิทธิภาพนั้นจะต้องให้น้ำไหลผ่านดินและพาเอาเกลือไปด้วยตลอดเวลา ซึ่งทำได้โดยการให้น้ำไหลในดินโดยดินนั้นไม่อิ่มน้ำ(Unsaturated Flow) เช่นให้น้ำท่วมผิวดินเพียงเล็กน้อยและเป็นครั้งคราว กล่าวคือ เมื่อน้ำที่ท่วมผิวดินซึมลงไปในดินจนหมดแล้ว ก็ปล่อยให้ผิวดินแห้งชั่วระยะเวลาหนึ่งก่อนแล้วจึงให้น้ำอีก หรือจะให้น้ำแบบฉีดเป็นฝอยก็ได้ โดยวิธีนี้น้ำจะไม่ไหลเต็มช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ ปริมาณของเกลือที่น้ำพาไปต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำจะมีค่ามากกว่า

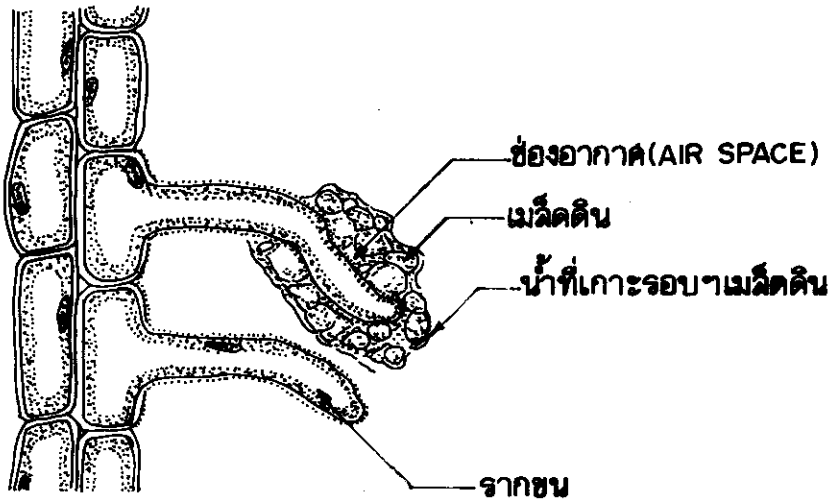
ในกรณีที่มีระบบระบายน้ำอยู่แล้ว การให้น้ำท่วมผิวดินถึงแม้ว่าจะไม่เพิ่มระดับน้ำใต้ดินแต่ก็จะต้องเสียน้ำมาก และเนื่องจากว่าน้ำจะไหลลงสู่ท่อระบายน้ำจากบริเวณเหนือท่อได้เร็วกว่าบริเวณที่อยู่ห่างออกไป การชะล้างดินโดยวิธีนี้อาจปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นโดยการสร้างคันคู่ขนานไปกับแนวท่อระบายน้ำ เพื่อให้น้ำขังอยู่ในบริเวณกึ่งกลางระหว่างท่อนานกว่าบริเวณเหนือท่อ ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดน้ำที่จะต้องใช้ทั้งหมดลงได้อีก

# บทที่ 4
## พืชและการใช้น้ำของพืช

การที่จะออกแบบระบบการชลประทานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ผู้ออกแบบจำเป็นจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับพืชพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับความต้องการน้ำของพืชที่ระยะเวลาต่าง ๆ ความลึกและการแผ่กระจายของราก ทั้งนี้เพราะพืชจะเจริญงอกงามได้เป็นอย่างดีก็ต่อเมื่อดินมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้อย่างเพียงพอ การที่จะหาว่าดินเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ได้มากน้อยเท่าใดก็จำเป็นที่จะต้องทราบว่ารากพืชมีการแผ่กระจายในดินอย่างไร ดูดน้ำจากดินในแต่ละชั้นไปใช้มากน้อยเท่าไร และพืชใช้น้ำด้วยอัตรามากน้อยเท่าใดเป็นต้น

## การดูดน้ำจากดินของพืช

พืชทั่ว ๆ ไปจะมีรากที่ทำหน้าที่ดูดน้ำจากดินเป็นจำนวนมากในบริเวณใกล้ ๆ กับปลายราก คือประมาณ 4 ถึง 5 เซนติเมตร นับจากปลายรากขึ้นมาจะมีรากเส้นเล็กละเอียดเกิดขึ้นทั่ว ๆ ไป รากเหล่านี้เรียกว่ารากขน (Root hair) ซึ่งทำหน้าที่ดูดน้ำ อาหาร และยึดลำต้นให้ติดแน่น รากขนเหล่านี้จะแทรกไปตามช่องว่างระหว่างเมล็ดดินและดูดน้ำที่เกาะอยู่รอบ ๆ เมล็ดดิน หรือในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินด้วยแรง Osmotic




**รูปที่ 4.1 เซลล์ที่ผิวของราก และ รากขน**

ลักษณะที่พืชได้รับน้ำจากดิน อาจจะแบ่งออกได้เป็นสองแบบด้วยกันคือ

(1) น้ำไหลจากดินในบริเวณที่มีความชื้นมากกว่าไปสู่บริเวณแห้งกว่ารอบ ๆ รากขนด้วยแรงดูดซับ (Capillary Force) และ

(2) รากเจริญเติบโตออกไปสู่บริเวณที่มีความชื้นมากกว่า

ในขณะที่รากพืชดูดน้ำจากดินไปใช้นั้น ดินในบริเวณรอบ ๆ รากพืชจะแห้งและมีแรงดึงความชื้นเพิ่มขึ้น น้ำจากบริเวณถัดไปก็จะไหลเข้ามาแทนที่ ปริมาณน้ำที่ไหลเข้ามาหารากพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่า ในบริเวณดังกล่าวนั้นมีความชื้นอยู่มากน้อยเพียงใด และไหลซึมเข้ามาด้วยอัตราเร็วเท่าไร การงอกของรากออกไปสู่ในบริเวณที่มีความชื้นมากกว่าอาจจะช่วยให้พืชมีน้ำใช้ได้มากในกรณีที่ดินอ่อนนุ่มอยู่ หรือมีความชื้นอยู่มาก แต่ในขณะที่พืชดูดน้ำจากดินมากขึ้นดินก็จะแห้งและแข็งมากขึ้นจนรากไม่สามารถงอกต่อไปได้ น้ำก็ต้องซึมไปหารากพืช และเนื่องจากว่าความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้เมื่อดินไม่อิ่มน้ำ (Capillary Conductivity) จะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อความชื้นในดินลดลง ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำที่ไหลซึมไปสู่รากพืชทั้งหมดยังน้อยกว่าปริมาณที่พืชคายออกทางใบ พืชก็จะแสดงอาการเหี่ยวเฉา บางครั้งอาจจะพบว่าดินยังมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้อยู่อีกเป็นปริมาณมาก แต่เนื่องจากรากของพืชไม่หนาแน่นและไม่แผ่กระจายไปทั่ว จึงได้น้ำไม่พอใช้และเกิดอาการเหี่ยวเฉาขึ้น

ช่วงระยะเวลาที่พืชกำลังเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ รากจะมีการเจริญเติบโตและงอกออกอย่างรวดเร็ว ดังนั้นพืชจะมีน้ำใช้พอกับความต้องการโดยไม่ต้องอาศัยแรงดูดซับ (Capillary Force) มากนัก และถ้าหากสภาพแวดล้อมของรากดี กล่าวคือดินในเขตรากค่อนข้างโปร่ง มีระดับน้ำใต้ดินต่ำ รากพืชก็จะแผ่กระจายออกไปได้กว้างและลึก ดังนั้นถึงแม้ว่าดินตอนใกล้กับผิวดินมีความชื้นลดลงจนต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) พืชก็อาจจะดูดน้ำจากดินในระดับต่ำกว่าไปใช้ได้พอ และไม่แสดงอาการเหี่ยวเฉาเลยก็ได้

## ลักษณะการแผ่กระจายของราก

การแผ่กระจายของรากพืชแต่ละชนิดนั้นไม่เหมือนกัน พืชบางชนิดมีรากแผ่กระจายออกเป็นบริเวณกว้างในระดับที่ไม่ลึกนัก พืชบางชนิดมีรากหยั่งลงไปลึกและมีการแผ่กระจายในแนวราบน้อย อย่างไรก็ตามสำหรับพืชชนิดเดียวกัน ลักษณะการแผ่กระจายของรากจะขึ้นอยู่กับ ชนิด และความลึกของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ฤดูการเพาะปลูก ตลอดจนปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชในแต่ละครั้ง

การงอกของรากลงสู่ระดับที่ลึกกว่าอาจจะถูกจำกัดโดยชั้นดินที่มีเนื้อแน่นทึบ เช่น ดินดาน ดินที่มีเนื้อแน่นนี้อาจจะแทรกอยู่ในเขตราก ซึ่งจะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกลึกลงไปกว่านี้ได้

โดยปกติแล้วรากพืชจะไม่สามารถงอกออกในดินที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ดังนั้นถ้าหากมีชั้นดินที่แห้งมากอยู่ใต้ดิน ก็จะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกผ่านไปได้เหมือนกัน

เนื่องจากว่ารากพืชต้องการอ๊อกซิเจนสำหรับหายใจด้วย ดังนั้นมันจะไม่ขยายตัวลงต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน เพราะว่าในระดับนี้จะมีอ๊อกซิเจนและแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่น้อยมาก ระดับน้ำใต้ดินจึงเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการแผ่กระจายของรากอีกอย่างหนึ่ง

ความลึกของรากอาจจะถูกจำกัดโดยปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชแต่ละครั้ง กล่าวคือถ้าให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ

ความลึกของดินที่เก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ก็จะตื้น ดังนั้นรากก็จะแผ่กระจายอยู่แต่ในบริเวณที่มันสามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ ซึ่งทำให้พืชต้องดูดเอาอาหารและแร่ธาตุจากดินชั้นบนและทำให้ดินจืดอย่างรวดเร็วจนต้องใช้ปุ๋ยมากขึ้น โดยปกติแล้วเราต้องการให้พืชมีรากลึกและแผ่กระจายไปทั่ว เพราะว่านอกจากจะทำให้ไม่ต้องให้น้ำแก่พืชบ่อยครั้งขึ้นแล้ว พืชยังสามารถดูดน้ำและอาหารได้มากกว่าอีกด้วย

ในกรณีที่ดินตลอดความลึกนั้นมีคุณสมบัติพอเหมาะกับความต้องการของรากพืช ความลึกของรากก็จะผันแปรไปตามอายุและระยะเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโต (Active growth) เช่น พืชที่มีอายุเก็บเกี่ยว 2 เดือน จะมีรากลึกประมาณ 60 ถึง 90 เซนติเมตร พืชที่มีอายุเก็บเกี่ยว 3 ถึง 4 เดือนจะมีรากลึกประมาณ 90 ถึง

ตารางที่ 4.1 ความลึกของรากเมื่อพืชโตเต็มที่ และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอดฤดูการปลูก

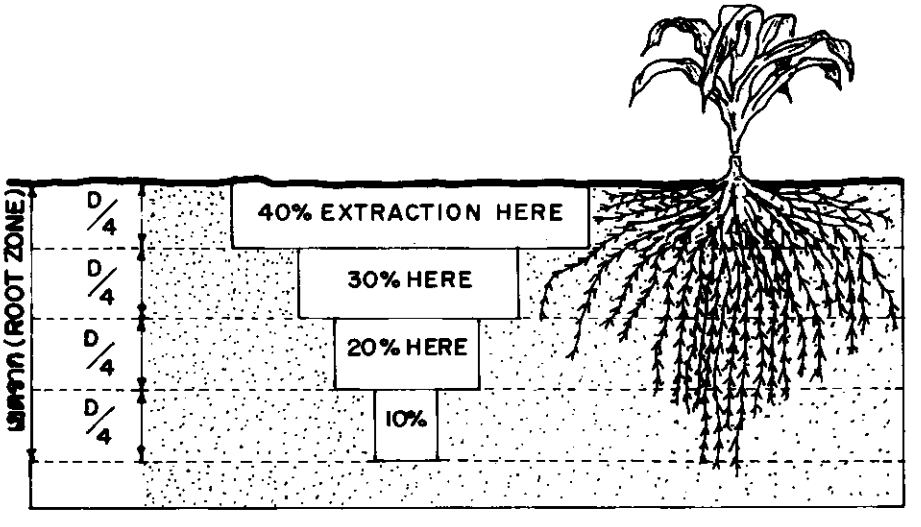
| พืช | ความลึกของราก - เมตร | ปริมาณน้ำใช้ - มม. |
|---|---|---|
| กะหล่ำปลี | 0.4 - 0.5 | 380 - 500 |
| กล้วย | 0.5 - 0.9 | 700 - 1,700 |
| ข้าว | – | 500 - 1,000 |
| ข้าวโพด | 1.0 - 1.7 | 500 - 800 |
| ข้าวฟ่าง | 1.0 - 2.0 | 450 - 650 |
| แครอท | 0.5 - 1.0 | 450 - 600 |
| แตงโม | 1.0 - 1.5 | 400 - 600 |
| ถั่ว (ฝักสด) | 0.5 - 0.7 | 300 - 500 |
| ถั่ว (เมล็ด) | 0.6 - 1.0 | 350 - 500 |
| ถั่วลิสง | 0.5 - 1.0 | 500 - 700 |
| ถั่วเหลือง | 0.6 - 1.3 | 450 - 700 |
| ทานตะวัน | 0.8 - 1.5 | 600 - 1,000 |
| ฝ้าย | 1.0 - 1.7 | 700 - 1,300 |
| พริก | 0.5 - 1.0 | 600 - 900 |
| มะเขือเทศ | 0.7 - 1.5 | 400 - 600 |
| มันฝรั่ง | 0.4 - 0.6 | 500 - 700 |
| ไม้ผลประเภทส้ม | 1.2 - 1.5 | 900 - 1,200 |
| ยาสูบ | 0.5 - 1.0 | 400 - 600 |
| สับปะรด | 0.3 - 0.6 | 700 - 1,000 |
| หัวหอม | 0.3 - 0.5 | 350 - 550 |
| อ้อย | 1.2 - 2.0 | 1,000 - 1,500 |
| องุ่น | 1.0 - 2.0 | 500 - 1,200 |

150 เซนติเมตร พืชที่มีอายุเก็บเกี่ยว 6 เดือนจะมีรากลึกประมาณ 1.80 ถึง 3.0 เมตร เป็นต้น ความลึกของรากนี้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30 ถึง 45 เซนติเมตร ต่อระยะเวลาที่พืชกำลังมีความเจริญเติบโต (Active growth) หนึ่งเดือน อย่างไรก็ตาม ความลึกของพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวมาก ๆ มักจะถูกจำกัดโดยความลึกและคุณสมบัติของชั้นดินมากกว่า กล่าวคือ ส่วนใหญ่แล้วจะมีความลึกไม่เกิน 2.0 เมตร ความลึกของรากพืชชนิดต่าง ๆ และปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูการเพาะปลูกจะดูได้จากตารางที่ 4.1

## การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ

เนื่องจากว่ารากพืชจะแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นในตอนบนของเขตรากและในบริเวณโคนต้น ดังนั้นพืชจะดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้อย่างรวดเร็ว นอกจากความชื้นที่พืชดูดไปใช้แล้ว ดินยังสูญเสียน้ำไปโดยการระเหยจากผิวดินอีก ขณะที่ความชื้นของดินในชั้นนี้ค่อย ๆ ลดลงแรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้น ในที่สุดพืชก็จะไม่สามารถดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้ได้อย่างเพียงพอ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงต้องมาจากดินในระดับต่ำลงมา

ในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอและมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของเขตราก พืชจะใช้น้ำจากตอนบนของเขตรากอย่างรวดเร็ว ส่วนในตอนล่างนั้นพืชจะดูดน้ำไปใช้ช้ากว่ามาก จากการทดลองพบว่าพืชเกือบทุกชนิดที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอ และมีความชื้นมากพอกับความต้องการของพืชตลอดความลึกจะมีลักษณะการดูดน้ำจากดินชั้นต่าง ๆ ไปใช้คล้ายคลึงกัน กล่าวคือถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็นสี่ส่วนเท่า ๆ กัน ประมาณ 40 เปอร์เซนต์ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากดินในชั้นแรกนับจากผิวดินลงมา 30 เปอร์เซนต์จากดินในชั้นที่สอง 20 เปอร์เซนต์จากดินในชั้นที่ 3 และ 10 เปอร์เซนต์จากดินในชั้นที่สี่ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2




**รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่างๆ**

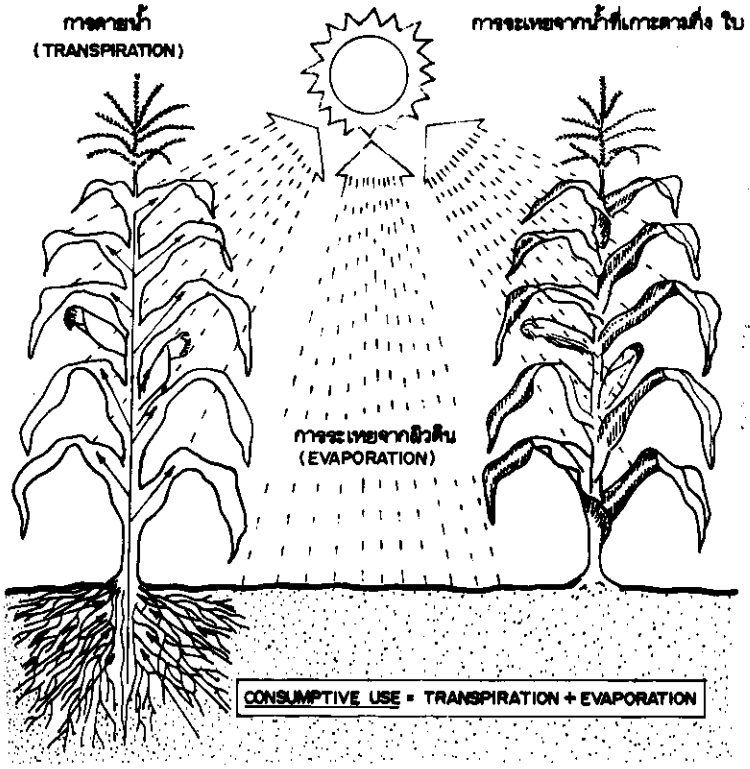
# การใช้น้ำของพืช
# (Consumptive Use of Water)

ปริมาณการใช้น้ำของพืชเป็นข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบระบบการชลประทานและโครงการชลประทานจำเป็นจะต้องทราบ เพราะปริมาณการใช้น้ำของพืชนี้จะเข้ามาเกี่ยวข้องกับปริมาณและความถี่ในการให้น้ำ การออกแบบขนาดของอาคารชลประทาน การจัดหาน้ำมาให้กับโครงการชลประทาน ตลอดจนการศึกษาว่าโครงการชลประทานนั้นจะให้ผลคุ้มค่าหรือไม่ด้วย

ปริมาณการใช้น้ำของพืช ที่ภาษาอังกฤษเรียกว่า Consumptive Use หรือ Evapotranspiration เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำ ปริมาณดังกล่าวนี้ประกอบขึ้นด้วยส่วนใหญ่ ๆ สองส่วน ดังแสดงในรูปที่ 4.3 คือ

1) ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปจากดิน นำไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อแล้วคายออกทางใบสู่บรรยากาศ ซึ่งเรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration)

2) ปริมาณน้ำที่ระเหยจากผิวดินบริเวณรอบ ๆ ต้นพืช จากผิวน้ำในขณะให้น้ำหรือขณะที่มีน้ำขังอยู่และจากน้ำที่เกาะอยู่ตามใบเนื่องจากฝนหรือการให้น้ำซึ่งเรียกว่า การระเหย (Evoporation)

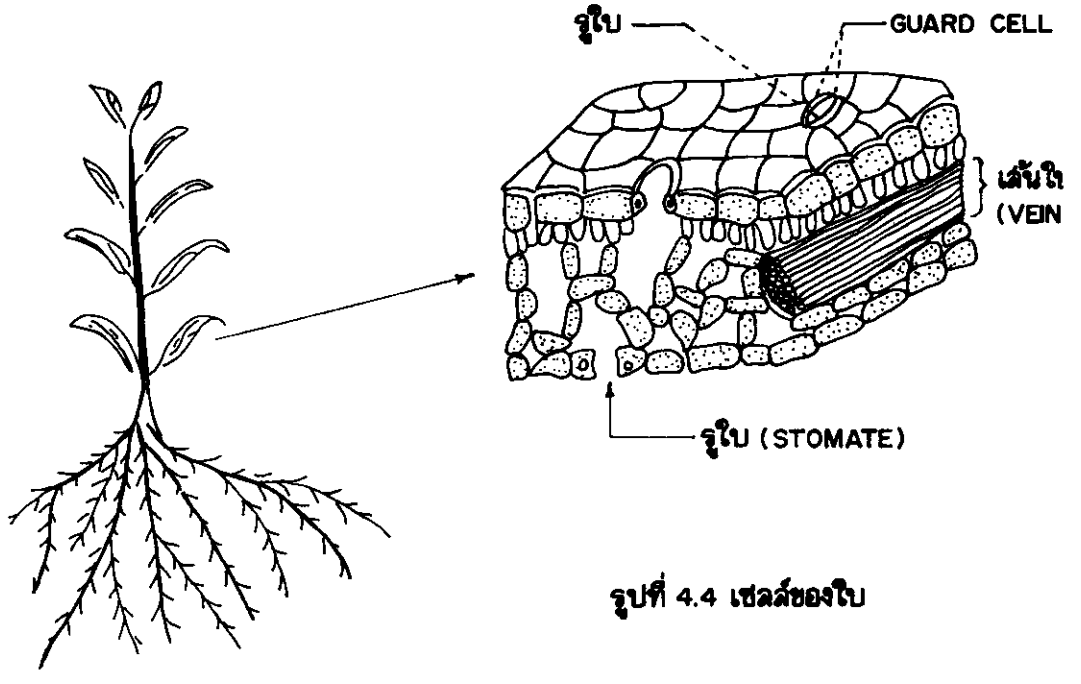



รูปที่ 4.3 ปริมาณการใช้น้ำของพืชเป็นปริมาณที่สูญเสีย จากพื้นที่เพาะปลูกสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำซึ่งประกอบด้วยการระเหย (EVAPORATION) และการคายน้ำ (TRANSPIRATION)

## การคายน้ำ (Transpiration)

การคายน้ำคือขบวนการที่น้ำซึ่งพืชดูดไปจากดินไหลผ่านลำต้นไปสู่ใบ และสูญเสียไปในบรรยากาศในรูปของไอน้ำทางรูใบ (Stomates)

ถ้าพิจารณาดูเซลล์ที่ใบของพืชดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4 จะเห็นว่า เซลล์บางเซลล์จะติดอยู่กับเส้นใบซึ่งเป็นท่อนำน้ำมาสู่ใบ เมื่อมีการสูญเสียน้ำจากใบ เซลล์ของใบก็จะเหี่ยวซึ่งเป็นผลให้เซลล์มีแรงดูดน้ำจากเส้นใบมากขึ้น น้ำก็ต้องไหลจากลำต้นไปสู่ใบเพิ่มขึ้น และรากพืชก็จะต้องดูดน้ำจากดินเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าดินมีความชื้นมากพออยู่ตลอดเวลา อัตราที่พืชดูดน้ำจากดินจะขึ้นอยู่กับอัตราการคายน้ำ ในทางตรงกันข้าม ถ้าความชื้นในดินลดลงจนไม่เพียงพอกับความต้องการของพืช อัตราการคายน้ำก็จะขึ้นอยู่กับอัตราที่พืชดูดได้จากดิน




**รูปที่ 4.4 เซลล์ของใบ**

โดยแท้จริงแล้วการคายน้ำเป็นการระเหย (Evaporation) ของน้ำในช่องอากาศระหว่างเซลล์ของใบและแพร่กระจาย (Diffuse) ออกจากรูใบสู่บรรยากาศ ในช่องอากาศในใบนั้นจะมีไอน้ำอยู่เกือบอิ่มตัว การคายน้ำของพืชจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของไอน้ำในใบกับบริเวณรอบ ๆ ใบ ดังนั้นถ้าอากาศยิ่งแห้งหรือยิ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำมากเท่าใดพืชก็ยิ่งมีการคายน้ำมากขึ้นเท่านั้น

เมื่อใบของพืชได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะทำให้ใบมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศที่อยู่รอบ ๆ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองแห่งนี้อาจจะมากถึง 3 ถึง 6 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นมันจะมีความชื้นที่จุดอิ่มตัวได้มากขึ้น ดังนั้น ใบพืชซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าจะมีความเข้มข้นของไอน้ำในช่องอากาศในใบมากกว่าบริเวณรอบ ๆ ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของไอน้ำจากรูใบสูงขึ้นและพืชจะมีการคาย

น้ำเพิ่มขึ้น

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

การคายน้ำของพืชจะทำให้ไอน้ำในอากาศรอบ ๆ ต้นพืชมีความเข้มข้นสูงขึ้น และเป็นผลให้อัตราการคายน้ำลดลง แต่ถ้าหากมีลมมาพัดพาไอน้ำที่สะสมกันอยู่รอบ ๆ ต้นพืชนั้นไปเสีย อัตราการคายน้ำก็จะเพิ่มขึ้นตามเดิม

พืชจะมีการคายน้ำได้ก็ต่อเมื่อมันมีน้ำใช้อยู่ตลอดเวลา ถ้าหากความชื้นในดินลดลงหรืออัตราการคายน้ำสูงกว่าอัตราที่พืชดูดได้จากดินพืชก็จะเหี่ยว รูใบจะปิด และการคายน้ำก็จะลดลงหรือหยุดคายน้ำ ลักษณะดังกล่าวนี้เป็นการป้องกันไม่ให้พืชต้องได้รับความเสียหายมาก หรือทำให้ความเสียหายนั้นลดความรุนแรงลง อย่างไรก็ตาม การหยุดคายน้ำนี้ทำให้เกิดผลเสียแก่พืชเหมือนกัน เพราะการที่พืชไม่มีการคายน้ำจะทำให้เซลล์เหี่ยว และลดการสังเคราะห์แสงลง เนื่องจากการถ่ายเทอากาศกับบรรยากาศลดลง ซึ่งจะเป็นผลให้การเจริญเติบโตของพืชต้องหยุดชะงักลงด้วย

ถึงแม้ว่าการคายน้ำของพืชที่มากเกินไปจนกระทั่งทำให้เกิดการเหี่ยวเฉาขึ้นนั้นเป็นอันตรายต่อพืชและทำให้ผลผลิตลดลง แต่เนื่องจากว่า อัตราการคายน้ำของพืชขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ เช่น รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ แสงแดด และองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น ความเร็วของลม และความชื้นของบรรยากาศ ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้ ในทางปฏิบัติแล้วความเสียหายดังกล่าวอาจป้องกันได้โดยพยายามจัดให้พืชนั้นมีน้ำใช้อย่างเพียงพอตลอดเวลา และทำให้ดินมีคุณสมบัติที่จะทำให้รากพืชสามารถแผ่กระจายออกไปได้อย่างกว้างขวางและลึก ซึ่งจะทำให้พืชสามารถดูดน้ำไปใช้ได้อย่างเพียงพออยู่เสมอ

## การระเหย (Evaporation)

การระเหยเป็นการแพร่กระจาย (Diffusion) ของน้ำในรูปของไอน้ำจากผิวน้ำสู่บรรยากาศ อัตราการระเหยนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวที่มีการระเหย ความแตกต่างระหว่างความดันไอน้ำซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ลม และความกดดันของบรรยากาศ ในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช การระเหยนี้จะรวมทั้งปริมาณที่ระเหยไปจากผิวดินหรือผิวน้ำโดยตรง และปริมาณที่ระเหยไปจากน้ำซึ่งเกาะอยู่ตามใบและลำต้นพืชด้วย

การระเหยของน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น วิธีการให้น้ำ ดิน พืชที่ปลูก และวิธีการเพาะปลูก เป็นต้น

การให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่ให้บ่อยครั้งจะทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยมากขึ้น ถ้าหากให้น้ำแก่พืชในปริมาณเท่ากัน แต่ให้น้อยครั้งลงจะช่วยลดการระเหยได้มากเพราะผิวดินมีการเปียกน้อยครั้ง และน้ำซึมลงไปเก็บไว้ในดินได้ลึกกว่า ซึ่งเป็นผลให้น้ำที่ให้ถูกพืชดูดไปใช้ได้มากกว่า การให้น้ำแก่พืชโดยวิธีให้น้ำท่วมผิวดิน (Flooding) จะมีน้ำเป็นปริมาณมากสูญเสียไปโดยการระเหยจากผิวดินและผิวน้ำโดยตรง นอก

จากนั้นผิวดินหรือผิวน้ำที่มีการระเหยยังกว้างขวางกว่าการให้น้ำทางผิวดินอย่างอื่น เช่น แบบร่องดู (Furrow) เป็นต้น การชลประทานแบบฉีดฝอยซึ่งมีระยะเวลาการให้น้ำยาวนานจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยมากกว่าแบบอื่น อย่างไรก็ตาม การระเหยจากผิวดิน ผิวน้ำ และจากที่เกาะอยู่ตามใบและต้นพืชนั้นมิใช่ว่าจะไม่เป็นประโยชน์แก่พืชเสียเลยทีเดียว เพราะว่าการระเหยของน้ำดังกล่าวนี้จะต้องใช้พลังงานความร้อนเหมือนกัน ซึ่งถ้าหากพลังงานเหล่านี้มิได้ถูกใช้ไปในการระเหยแล้ว มันก็จะถูกใช้ไปในการทำให้พืชต้องคายน้ำออกมาในปริมาณใกล้เคียงกับที่ระเหยจากผิวดิน นอกจากว่าต้นพืชนั้นยังเล็กอยู่และมีการคายน้ำไม่มากนัก ในกรณีนี้การระเหยจากผิวดินจะมากกว่าที่พืชคายออกทางใบ ในพื้นที่ที่ปลูกพืชต้นชิดกัน เช่น พวกข้าวต่าง ๆ และหญ้าเลี้ยงสัตว์ การระเหยจากผิวดินจะลดลง ทั้งนี้เพราะว่า นอกจากพืชจะใช้ความชื้นในดินไปในการคายน้ำเป็นจำนวนมากแล้ว ใบของพืชยังปกคลุมมิให้แดดส่องไปถึงผิวดิน และความหนาแน่นของต้นพืชจะช่วยป้องกันมิให้ลมพัดพาเอาอากาศรอบ ๆ ต้นพืชซึ่งมีไอน้ำมากไปจากพื้นที่เพาะปลูกอย่างรวดเร็วอีกด้วย

การระเหยของน้ำจากผิวดินจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินด้วย ดินที่มีการไหลซึมของความชื้น (Capillary Movement) สูงจะมีการระเหยจากผิวดินมาก ในทางตรงกันข้าม ดินที่มีเนื้อหยาบซึ่งมีการไหลซึมของความชื้นได้ช้ากว่าจะมีการระเหยจากผิวดินได้น้อย การระเหยจากผิวดินนั้นนอกจากจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินแล้ว ยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอย่างอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิ ความเร็วลมและความชื้นของอากาศ เป็นต้น

หลังจากให้น้ำแก่พืช การระเหยจากผิวดินจะมีค่าสูงตราบเท่าที่ดินในชั้นบนยังเปียกมากอยู่ อัตราการระเหยจากผิวดินที่เปียกจะมีค่าประมาณเท่ากับที่ระเหยจากผิวน้ำโดยตรง เมื่อความชื้นของดินชั้นบนลดลง อัตราการระเหยจากผิวดินจะลดลงอย่างรวดเร็ว ดินที่มีระดับน้ำใต้ดินสูง อัตราการระเหยของน้ำจากผิวดินจะมากเกือบเท่า ๆ กับที่ระเหยจากผิวน้ำ แต่ถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำ อัตราการระเหยจากผิวดินเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินจะลดลงมาก และจะเท่ากับอัตราการไหลซึมของความชื้นจากระดับน้ำใต้ดินขึ้นมาสู่ผิวดิน

การระเหยจากผิวดินระหว่างที่ไม่มีการให้น้ำจะขึ้นอยู่กับการไถพรวนดิน การคลุมดิน สภาพของดินฟ้าอากาศ ชนิดของพืช ระยะการเจริญเติบโตของพืช วิธีการให้น้ำ และความลึกของน้ำที่ให้แต่ละครั้ง ในขณะที่พืชเจริญเติบโตขึ้นเรื่อย ๆ และให้ร่มเงาแก่ดินได้มากขึ้น การระเหยจากผิวดินก็จะค่อย ๆ ลดลง

## องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช

จากที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อการคายน้ำและการระเหย อาจสรุปได้ว่าปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 4 อย่างด้วยกัน คือ

1. สภาพภูมิอากาศรอบ ๆ ต้นพืช ซึ่งได้แก่พลังงานความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์หรือรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และความเร็วลม เป็นต้น

2. พืช ซึ่งได้แก่ชนิดและอายุของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน สำหรับพืชชนิดเดียวกัน การใช้น้ำจะน้อยเมื่อเริ่มปลูกและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมากที่สุดเมื่อถึงวัยขยายพันธุ์ซึ่งพืชโตเต็มที่ จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง

3. ดิน ซึ่งได้แก่จำนวนความชื้นในดิน เนื้อดิน ความสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ ความเข้มข้นของ

เกลือในดินหรือสารที่เป็นพิษอย่างอื่นเป็นต้น

4. องค์ประกอบอื่น ๆ เช่น วิธีการให้น้ำแก่พืชและความลึกที่ให้แต่ละครั้ง ฤดูการเพาะปลูก การไถพรวนดิน การคลุมดิน เป็นต้น

# บทที่ 5
# การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

## การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการวัด

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

1) วัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช (Lysimeter)

2) ศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน

3) ศึกษาจากแปลงทดลอง

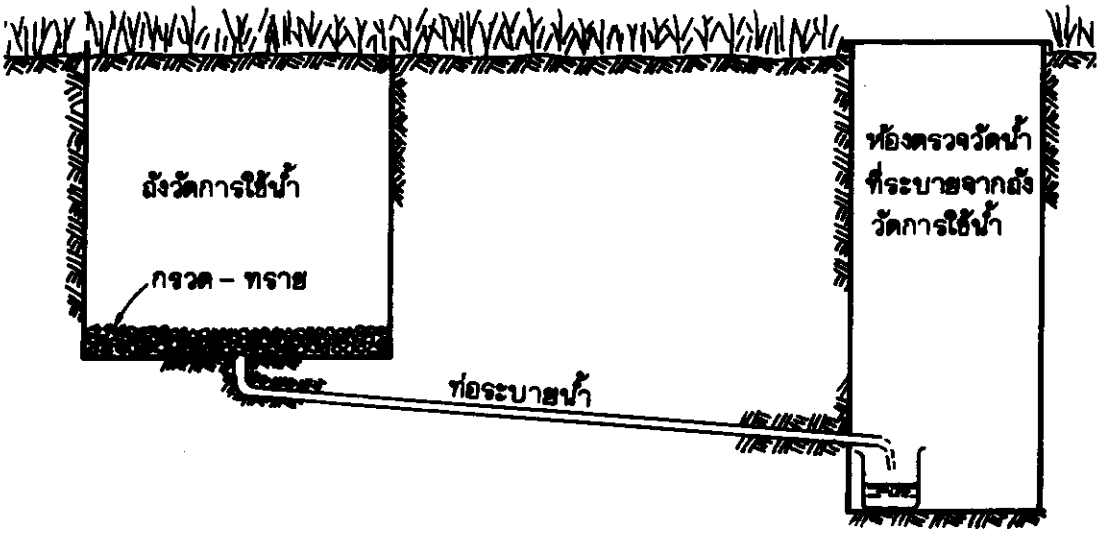
## การวัดจากถังวัดการใช้น้ำของพืช

ถังวัดการใช้น้ำของพืชนั้น ถ้าจะเปรียบเทียบกันแล้วก็คือกระถางต้นไม้ขนาดใหญ่ที่ปลูกด้วยพืชที่ต้องการวัดปริมาณการใช้น้ำ แล้วตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ปลูกพืชชนิดเดียวกัน โดยให้มีสภาพทั้งภายในและภายนอกกระถางคล้ายคลึงกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด กระถางดังกล่าวออกแบบให้สามารถวัดปริมาณน้ำที่สูญเสียไปเพื่อจะได้นำมาคำนวณเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืชในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ได้ ปริมาณการใช้น้ำของพืชนิยมบอกเป็นความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น มม./วัน เป็นต้น

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

**1. ประเภทวัดโดยไม่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก** ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบนี้วัดปริมาตรหรือความลึกของน้ำที่หายไปจากถังแล้วเทียบมาเป็นปริมาณน้ำที่พืชใช้ ถังที่จัดอยู่ในประเภทนี้ก็มี

ก. ถังวัดการใช้น้ำแบบระบายน้ำ(Percolation type - รูปที่ 5.1)ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำด้วยความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำที่เติมเข้าไปและระบายออกที่ก้นถัง รวมกับความแตกต่างของจำนวนความชื้นของดินในถังเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการวัด ความละเอียดถูกต้องของถังประเภทนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการคำนวณหาจำนวนความชื้นของดินในถัง ซึ่งอาจจะทำได้โดยการเก็บตัวอย่างดินหรือใช้เครื่องวัดแบบนิวตรอน (Neutron Moisture Meter) อย่างไรก็ตาม ถังประเภทนี้มักจะใช้วัดอัตราการใช้น้ำระยะยาว เช่น ต่อเดือนหรือตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งความแตกต่างของจำนวนความชื้นของดินภายในถังเมื่อเริ่มต้นและสิ้นสุดระยะเวลาที่ทำการวัดมีผลต่อความละเอียดถูกต้องของการวัดน้อยกว่า




**รูปที่ 5.1 ถังวัดการใช้น้ำแบบ ระบายน้ำ ( PERCOLATION TYPE )**

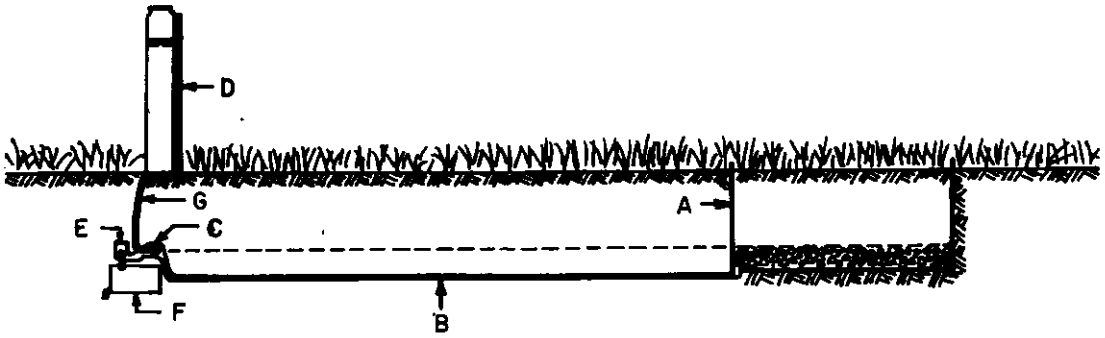
ข้อดีและข้อเสีย

1. ก่อสร้างได้ง่าย และมีราคาถูก
2. ไม่มีขีดจำกัดเรื่องขนาด ดังนั้นสามารถใช้ได้ทั้งพืชไร่และพืชสวน
3. เหมาะสำหรับวัดอัตราการใช้น้ำระยะยาวเท่านั้น ถ้าวัดอัตราการใช้น้ำระยะสั้นจะต้องมีอุปกรณ์สำหรับวัดจำนวนความชื้นของดินในถังด้วย อย่างไรก็ตาม ไม่ควรใช้ถังแบบนี้วัดอัตราการใช้น้ำระยะสั้นกว่าหนึ่งสัปดาห์

ข. ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ (Constant water table type - รูปที่ 5.2) ถังแบบนี้ให้น้ำแก่พืชที่ปลูกทางใต้ผิวดินโดยการสร้างน้ำใต้ดินที่มีระดับคงที่ขึ้นภายในถัง ระดับน้ำใต้ดินดังกล่าวนี้ควบคุมโดยวาวลูกลอย (Float valve) ซึ่งจะเปิดจ่ายน้ำจนถึงระดับที่กำหนดไว้เมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลงโดยการใช้ของพืช ที่ก้นถังจะบรรจุด้วยกรวดและทรายขึ้นมาจนถึงระดับน้ำใต้ดินเพื่อให้การไหลของน้ำใต้ดินไปสู่รากพืชเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ปริมาณน้ำที่พืชใช้คำนวณได้จากปริมาตรที่ลดลงในถังจ่ายน้ำ

ข้อดีและข้อเสีย

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



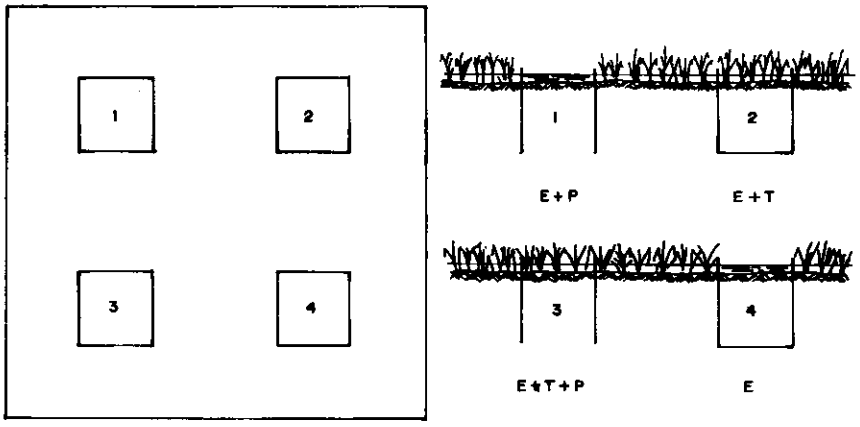

A. ถังวัดการใช้น้ำ
B. ท่อส่งน้ำใต้ดิน
C. ลูกลอยคุมระดับน้ำ(Float Valve)
D. ถังจ่ายน้ำและหลอดแก้วบอกระดับ
E. อุปกรณ์ทิ้งน้ำที่เกินระดับควบคุม
F. ถังเก็บน้ำทิ้ง
G. สายยางส่งน้ำจากถังจ่าย

**รูปที่ 5.2 ถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ (CONSTANT WATER—TABLE TYPE)**

ค. ถังวัดการใช้น้ำของข้าว (Rice Lysimeter รูปที่ 5.3) ถังแบบนี้ออกแบบไว้สำหรับวัดการใช้น้ำของข้าวโดยเฉพาะ คือนอกจากจะวัดการระเหย (E) และการคายน้ำ (T) แล้ว ยังสามารถวัดการรั่วซึมในแปลงนา (P) ซึ่งถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในปริมาณน้ำที่ต้องจัดหาให้ข้าวด้วย ปกติอุปกรณ์วัดการใช้น้ำแบบนี้ประกอบด้วยถังขนาดเดียวกัน 4 ถัง เป็นถังเปิดหัว - ท้ายทั้งสองด้าน 2 ถัง และปิดก้น 2 ถัง• ในแต่ละแบบจะมีอยู่ถังหนึ่งที่ไม่ปลูกข้าวหรือไม่มีการวัดการคายน้ำ ส่วนการสูญเสียน้ำในถังที่เปิดก้นจะมีส่วนหนึ่งที่เป็นการรั่วซึมในแปลงนาด้วย ระดับน้ำในแต่ละถังที่ลดลงวัดด้วยตะขอวัดระดับน้ำ(Hook gage) เมื่อนำค่าที่วัดได้ของสองถังที่มีความแตกต่างในการวัดเพียงอย่างเดียวมาหักลบกันก็จะได้องค์ประกอบของปริมาณน้ำที่ต้องการในนาข้าวได้

**ข้อดีและข้อเสีย**

1. สร้างได้ง่ายและมีราคาถูก
2. สามารถวัดส่วนประกอบของน้ำที่ต้องการในนาข้าวได้ทุกส่วน
3. ออกแบบไว้สำหรับข้าวและพืชที่ต้องใช้น้ำขังเท่านั้น
4. อาจมีความผิดพลาดในการวัดได้ถ้าหากดินที่ติดตั้งถังที่เปิดก้นสองแห่งไม่เหมือนกัน
5. ในขณะที่ต้นข้าวยังเล็กอยู่ คลื่นและลมอาจทำให้น้ำจากภายนอกกระฉอกเข้ามาในถังได้
6. ค่าการระเหยที่วัดได้ในถังที่ไม่มีการปลูกข้าวจะมีค่าสูงกว่าการระเหยจากถังที่มีการปลูกข้าว เนื่องจากได้รับแสงแดดและลมเต็มที่ เมื่อนำค่านี้ไปหักลบจากค่าที่วัดได้ในถังอื่นจะทำให้สัดส่วนของน้ำที่พืชใช้ เช่นการคายน้ำ หรือการรั่วซึมในแปลงนามีค่าน้อยกว่าที่เป็นจริง




รูปที่ 5.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดการใช้น้ำของพืช

**2. ประเภทวัดโดยเกี่ยวข้องกับน้ำหนัก** ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำของพืชโดยการสังเกตน้ำหนักหรือสิ่งที่เกี่ยวข้องกับน้ำหนัก เช่นความดัน หรือความเค้น (Stress) ที่เปลี่ยนไป ชื่อของแต่ละแบบมักเรียกตามอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบหรือวัดค่าดังกล่าว ซึ่งสามารถแบ่งแยกได้เป็น

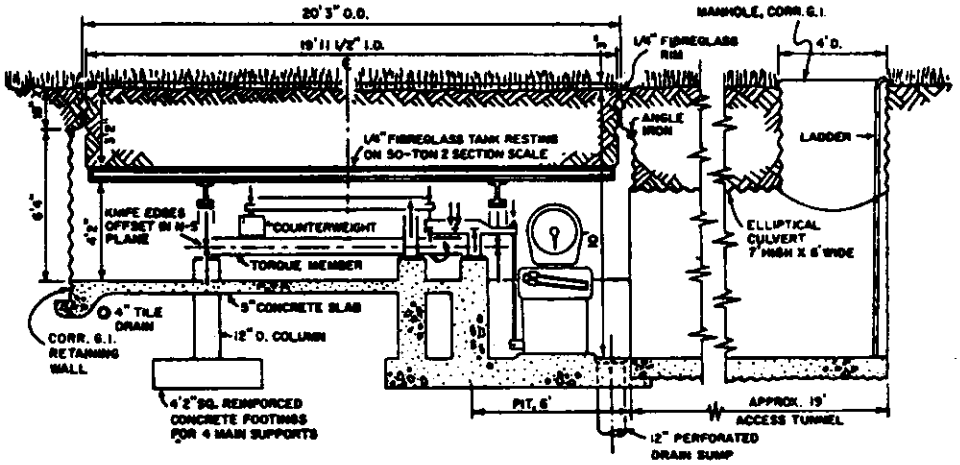
ก. ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง (Mechanically Weight Type) เป็นแบบที่วัดน้ำหนักของดินในถังด้วยตาชั่ง แบบที่สร้างขึ้นมาในระยะแรก ๆ เป็นกระถางขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา สามารถยกขึ้นมาชั่งโดยใช้ตาชั่งแขวนหรือตาชั่งแบบธรรมดาได้ ภายหลังได้มีการพัฒนาให้มีขนาดใหญ่และวัดได้ละเอียดถูกต้องดีขึ้น เช่นเครื่องที่สร้างที่ University of California, Davis, California ในปี 1958 (รูปที่ 5.4) ถังดังกล่าวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6.17 เมตร(20 ฟุต 3 นิ้ว) ลึก 0.96 เมตร(3 ฟุต 2 นิ้ว) หนักประมาณ 45 ตัน วัดได้ละเอียดถูกต้องภายในประมาณ 0.03 มิลลิเมตร ถังขนาดใหญ่เช่นนี้มีราคาแพงมาก จึงไม่ปรากฏว่ามีรายงานการสร้างถังขนาดใหญ่ ๆ เช่นนี้อีก

ข้อดีและข้อเสีย

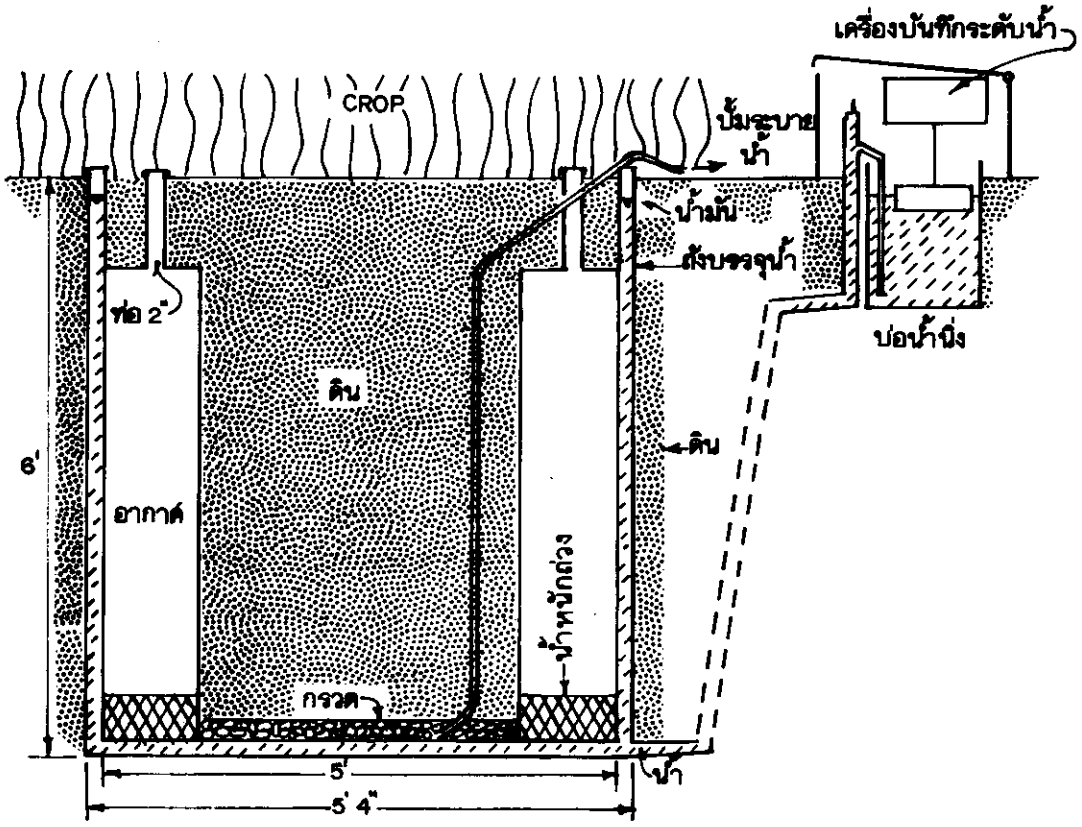
1. ให้ความละเอียดถูกต้องสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งแบบที่ได้ยกตัวอย่างมาให้ดูสามารถวัดอัตราการใช้น้ำของพืชทุก 4 นาทีและมีความละเอียดถูกต้องถึง 0.03 มิลลิเมตรเป็นต้น

2. มีราคาแพงมากเพราะต้องออกแบบเครื่องชั่งเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงไม่มีใช้แพร่หลายเหมือนแบบอื่น ๆ

เนื่องจากว่าเครื่องชั่งที่ต้องออกแบบใหม่เป็นพิเศษมีราคาแพงมาก จึงได้มีการดัดแปลงโดยใช้ตาชั่งแบบวางกับพื้นที่มีจำหน่ายในท้องตลาดแล้วมารับน้ำหนักทั้งหมดของกระถาง แต่ให้คานของตาชั่งถ่ายน้ำหนักเพียงบางส่วนไปยัง Strain gage load cell ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของกระถางไปเป็นการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้า การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถเทียบกลับเป็นความลึกของน้ำ โดยให้ความละเอียดถูกต้องสูงเช่นเดียวกัน




**รูปที่** 5.4 **ถังวัดการใช้น้ำแบบชั่งด้วยเครื่องชั่ง** ( MECHANICALLY WEIGHT ) **ชั่งติดตั้งที่** UNIVERSITY OF CALIFORNIA




**รูปที่** 5.5 **ถังวัดการใช้น้ำแบบทุ่นลอย** ( FLOAT ) **และ อุปกรณ์สำหรับวัดระดับน้ำ**

ข.ถังวัดการใช้น้ำแบบทุ่นลอย (Float lyaimeter) ถังวัดการใช้น้ำแบบนี้ทำงานโดยอาศัยหลักของอาคีเมดีสที่ว่า ปริมาตรของของเหลวที่ถูกแทนที่โดยทุ่นลอยจะผันแปรเป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักของทุ่นลอยนั้น ดังนั้นถ้าให้กระถางที่ปลูกพืชลอยอยู่ในภาชนะซึ่งบรรจุน้ำ น้ำหนักของกระถางซึ่งสูญเสียไปโดยการใช้น้ำของพืชย่อมสามารถวัดได้จากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในภาชนะนั้น จุดสำคัญของถังวัดการใช้น้ำแบบนี้ก็คือจะต้องทำให้กระถางปลูกพืชลอยน้ำได้ ซึ่งบางครั้งอาจจะต้องบรรจุวัสดุเบา เช่น โฟม หรือกล่องลมรอบ ๆ กระถางเพื่อช่วยให้มีน้ำหนักเบาขึ้น ตัวอย่างถังวัดการใช้น้ำแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 5.5

ข้อดีและข้อเสีย

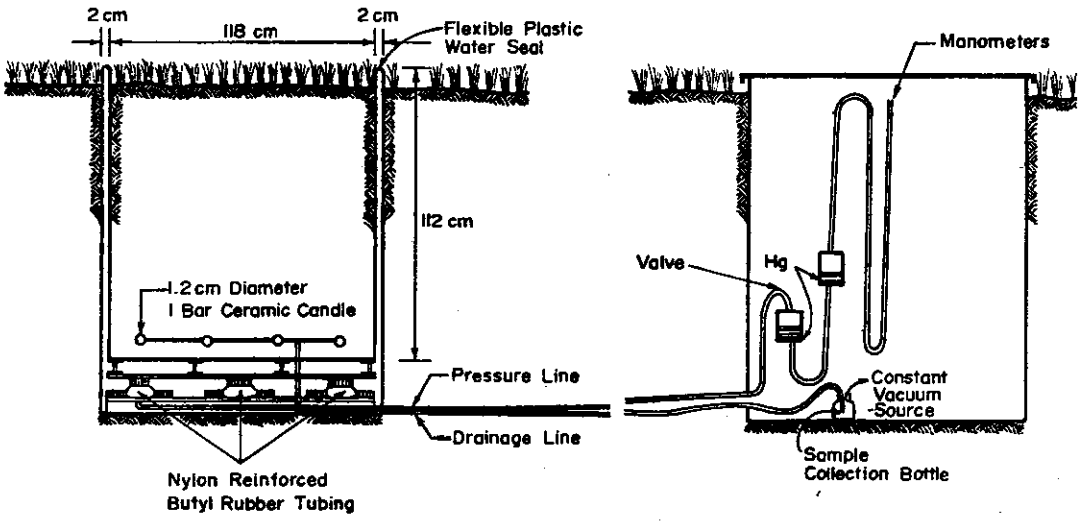
1. มีราคาถูกและเชื่อถือได้พอสมควร
2. การแผ่กระจายของรากพืชค่อนข้างจำกัด เนื่องจากต้องมีกล่องลมภายในกระถางเพื่อให้มีน้ำหนักเบาสามารถลอยน้ำได้
3. วัดอัตราการใช้น้ำระยะสั้นขนาดต่อวันได้ถูกต้อง
4. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในอ่างทำให้มีการวัดผิดพลาดได้เนื่องจากการขยายตัวของน้ำ
5. ความผิดพลาดในการวัดอาจจะเกิดได้จากการรั่วของถัง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

ค. ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค (Hydraulic Weighing Lysimeter รูปที่ 5.6)ถังแบบนี้วัดการใช้น้ำของพืช โดยการสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงความดันของน้ำในหมอนยางซึ่งรองรับน้ำหนักทั้งหมดของกระถางจากหมอนยางจะมีท่อขนาดเล็กต่อไปเข้าอุปกรณ์วัดความดัน เมื่อมีการสูญเสียน้ำโดยการใช้ของพืช ความดันของน้ำในหมอนยางก็จะลดลง ความแตกต่างของความดันน้ำนี้สามารถเทียบขนาดให้เป็นความลึกของน้ำที่พืชใช้ได้

ข้อดีและข้อเสีย

1. ราคาไม่แพงมากและให้ความละเอียดถูกต้องดี
2. การยืดตัวของหมอนยาง และการขยายตัวของน้ำในหมอนเนื่องจากอุณหภูมิอาจทำให้การวัดผิดพลาดได้
3. การรั่วของหมอนยางและตามข้อต่อต่าง ๆ ตรวจพบได้ยาก

การเลือกใช้ถังวัดการใช้น้ำของพืชแบบต่าง ๆ ตามที่ได้แนะนำมาข้างต้นนี้ ส่วนใหญ่จะถูกจำกัดโดยงบประมาณ ความละเอียดถูกต้องที่ต้องการวัด และชนิดของพืชที่ต้องการศึกษาการใช้น้ำ สำหรับถังวัดการใช้น้ำขนาดเดียวกัน แบบวัดโดยอาศัยน้ำหนักจะมีราคาแพงกว่าแบบไม่อาศัยน้ำหนัก แต่จะให้ความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ถ้าต้องการวัดอัตราการใช้น้ำสำหรับระยะเวลาไม่สั้นกว่า 24 ชั่วโมง แบบทุ่นลอยและแบบไฮดรอลิคจะให้ความละเอียดถูกต้องเชื่อถือได้ ถ้าระยะเวลาสั้นกว่านี้ควรจะใช้แบบชั่งด้วยตาชั่ง ส่วนพวกวัดโดยไม่อาศัยน้ำหนักนั้นราคาถูกกว่ามาก การเลือกใช้จึงมักถูกจำกัดโดยพืชหรือลักษณะของภูมิประเทศ เช่นถ้าพื้นที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงอยู่ก่อนแล้วก็ควรใช้แบบน้ำใต้ดินคงที่เป็นต้น แบบระบายน้ำส่วนมากใช้ศึกษาการใช้น้ำระยะยาวและใช้กับพืชยืนต้นซึ่งต้องการขนาดของกระถางใหญ่เป็นพิเศษ




**รูปที่ 5.6 ถังวัดการใช้น้ำแบบไฮดรอลิค (HYDRAULIC WEIGHING)**

ความละเอียดถูกต้องของการวัดนอกจากจะขึ้นอยู่กับแบบที่เลือกใช้แล้ว ยังขึ้นอยู่กับการติดตั้งและการบำรุงรักษาด้วย หลักสำคัญในการติดตั้งก็คือจะต้องพยายามให้สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกถังเหมือนกับสภาพที่เป็นจริงตามธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งอาจสรุปได้ว่าควรมีลักษณะดังต่อไปนี้คือ

1. ถังที่ใช้ปลูกพืชจะต้องมีขนาดใหญ่และลึกพอ เพื่อไม่ให้พืชที่ปลูกต้องเติบโตอยู่ในเนื้อที่ที่รากและลำต้นไม่อาจขยายตัวได้เต็มที่ สำหรับพืชไร่โดยทั่ว ๆ ไป ความกว้าง ยาว และลึกไม่ควรจะน้อยกว่าด้านละ 1 เมตร

2. พยายามให้คุณสมบัติของดินรวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นภายในและภายนอกถังต่างกันน้อยที่สุด

3. จัดให้มีพืชชนิดเดียวกันปลูกล้อมรอบถังวัดการใช้น้ำเป็นระยะทางยาวพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านเหนือลม

นอกจากนี้ควรจะได้มีการบำรุงรักษาเป็นประจำ เช่นการตรวจหารอยรั่ว การทำความสะอาดถังจ่ายน้ำและวาวล์ลูกลอยในถังวัดการใช้น้ำแบบน้ำใต้ดินคงที่ เป็นต้น

อุปกรณ์อื่นที่จำเป็นต้องใช้ร่วมกับถังวัดการใช้น้ำของพืชก็คือเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน ในวันที่ฝนตกปริมาณการใช้น้ำที่วัดได้อาจมีค่าติดลบเนื่องจากนำนวนน้ำฝนมีค่ามากกว่าที่พืชใช้ ดังนั้นจะต้องเอาจำนวนน้ำฝนรวมเข้ากับค่าที่วัดได้จึงจะเป็นจำนวนที่พืชใช้อย่างแท้จริง อย่างไรก็ตาม ความละเอียดถูกต้องของการวัดในวันที่มีฝนตกจะเชื่อถือได้น้อยกว่าค่าที่วัดได้ในวันที่ไม่มีฝนตก ทั้งนี้เพราะจำนวนฝนที่สถานีวัดน้ำฝนอาจต่างกับที่ตกจริงในถังวัดการใช้น้ำได้ นอกจากนั้นพื้นที่รับน้ำฝนของเครื่องวัดน้ำฝนกับถังวัดการใช้น้ำก็มีขนาดต่างกันมาก

## การศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน

การวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชอาจจะทำได้โดยการศึกษาจากจำนวนความชื้นในดิน วิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอตลอดความลึก และระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินมาก วิธีวัดก็ทำโดยการหาจำนวนความชื้นในดินก่อนและหลังให้น้ำแก่พืชทุกครั้ง และอาจจะต้องมีการวัดเพิ่มเติมในช่วงระยะเวลาที่มิได้มีการให้น้ำด้วย โดยปกติแล้วจะต้องมีการวัดจำนวนความชื้นของดินตัวอย่างเป็นจำนวนมากจึงจะได้ความละเอียดถูกต้องดี หลังจากนั้นก็นำมาคำนวณหาความลึกของน้ำที่พืชดูดจากดินไปใช้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ได้โดยใช้สูตร

$$ET = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\theta_1 - \theta_2)_i \Delta S_i + R_e - W_d}{\Delta t} \quad \text{.....(5.1)}$$

ในเมื่อ ET คืออัตราการใช้น้ำของพืชเฉลี่ยในช่วงเวลาจากการเก็บตัวอย่างดินครั้งแรกกับครั้งหลัง n เป็นจำนวนชั้นดินในเขตรากที่แบ่งไว้เพื่อเก็บตัวอย่างดิน $(\theta_1 - \theta_2)i$ เป็นผลต่างของจำนวนความชื้นของดินระหว่างการวัดครั้งแรกกับครั้งหลัง ที่ชั้นดิน i ค่าจำนวนความชื้นมีหน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยความลึกของชั้นดิน $\Delta Si$ เป็นความหนาของชั้นดินที่แบ่งไว้ $R_e$ เป็นจำนวนฝนที่ซึมเข้าไปในดิน $W_d$ เป็นจำนวนความชื้นที่ซึมเลยเขตรากออกไป $\Delta t$ เป็นช่วงเวลาระหว่างการเก็บตัวอย่างดินสองครั้ง

## การศึกษาจากแปลงทดลอง

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

แปลงที่ทำการทดลองมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดิน ประมาณ 23 เมตร (75 ฟุต) ซึ่งทำให้เชื่อได้ว่าพืชไม่สามารถดูดน้ำใต้ดินมาใช้ได้ ดังนั้นพืชจะใช้แต่น้ำฝนและน้ำชลประทานซึ่งสามารถวัดปริมาณได้ Dr. Widtsoe ทำการทดลองโดยให้น้ำแก่พืชในปริมาณต่าง ๆ กันแล้ววัดผลผลิตที่ได้ ปรากฏว่าพืชเกือบทุกชนิดที่ทำการทดลองให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นเมื่อให้น้ำมากขึ้น จนกระทั่งถึงระดับหนึ่งที่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำที่ให้แล้วจะทำให้ผลผลิตลดลง เขาจึงใช้ค่าปริมาณน้ำที่จุดซึ่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงผลผลิตจากเพิ่มขึ้นเป็นลดลงนั้นเป็นปริมาณการใช้น้ำของพืช การทดลองนี้ไม่มีน้ำไหลออกนอกแปลงทดลอง(Runoff) แต่เขาก็ไม่ได้วัดการไหลซึมของน้ำเลยเขตรากพืชไว้ ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืชที่หาได้จึงค่อนข้างสูง ค่าที่ได้นี้เป็นปริมาณที่พืชใช้ตลอดฤดูการเพาะปลูก การทดลองแบบนี้ต้องใช้เวลาและแรงงานมาก ปัจจุบันจึงไม่นิยมใช้กัน

## การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

ดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 4 แล้วว่า ปริมาณการใช้น้ำของพืชขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 4 อย่างด้วยกันคือ สภาพภูมิอากาศรอบ ๆ ต้นพืช ชนิดและอายุของพืชเอง จำนวนความชื้นและคุณสมบัติของดิน และองค์ประกอบอื่น ๆ การที่จะวัดการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดในทุกสภาพภูมิอากาศ ดิน ฯลฯ นั้นเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก

และจะต้องทำการวัดมากมายไม่มีที่สิ้นสุด นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามหาวิธีที่ง่ายกว่าการวัดโดยตรง ทางออกที่เลือกใช้ก็คือ

1. เลือกกำหนดพืชขึ้นมาชนิดหนึ่งที่เจริญงอกงามได้ตลอดปีและมีอัตราการใช้น้ำที่ไม่ขึ้นกับอายุ

2. กำหนดให้ดินมีความชื้นสูงตลอดเวลาเพื่อทำให้คุณสมบัติของดินอย่างอื่น เช่น เนื้อดิน ความเข้มข้นของเกลือในดินในเกณฑ์ปกติ ความสามารถเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ ฯลฯ หมดความสำคัญต่อการใช้น้ำไป

พืช ที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการในข้อแรกมากที่สุดคือหญ้า ต่อมาก็ได้มีการเลือกใช้พืชอื่นอีกเช่น อัลฟัลฟา สำหรับองค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช เช่น วิธีการให้น้ำและการไถพรวนดินก็มิใช่องค์ประกอบที่มีความสำคัญมากเหมือน 3 อย่างแรก ดังนั้น การใช้น้ำของพืชที่เลือกไว้เมื่อดินมีความชื้นสูงพอตลอดเวลาก็จะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียว

การใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่เลือกไว้เมื่อปลูกในดินที่มีความชื้นสูงพอตลอดเวลา เพื่อให้อัตราการใช้น้ำขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวนี้เรียกว่า **การใช้น้ำของพืชอ้างอิง** หรือ Potential Evapotranspiration และนิยมใช้ตัวย่อว่า $ET_p$

การที่การใช้น้ำของพืชอ้างอิงขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศรอบ ๆ ต้นพืชเพียงอย่างเดียวนี้ ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถคิดสูตรสำหรับคำนวณ $ET_p$ โดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศได้มากมาย และเมื่อต้องการทราบการใช้น้ำของพืชชนิดอื่นที่มิใช่พืชอ้างอิงก็คำนวณโดยใช้สูตร

$$ET = K_c ET_p \quad \text{.....(5.2)}$$

ในเมื่อ ET เป็นการใช้น้ำของพืชที่ต้องการทราบ $K_c$ เป็นสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชดังกล่าว และ $ET_p$ เป็นการใช้น้ำของพืชอ้างอิง หรือ Potential Evapotranspiration

ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช $K_c$ เป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียว ค่าดังกล่าวนี้ได้จากการทดลองวัดจริงในสนามโดยการปลูกหญ้าหรือพืชอ้างอิงอื่น และพืชที่ต้องการหาสัมประสิทธิ์การใช้น้ำในถังวัดการใช้น้ำของพืชซึ่งติดตั้งในบริเวณใกล้เคียงกัน จากนั้นค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชในช่วงการเจริญเติบโตช่วงใดช่วงหนึ่ง หรือตลอดฤดูการเพาะปลูกก็จะคำนวณได้โดย

$$K_c = \frac{ET}{ET_p} \quad \text{.....(5.3)}$$

ในเมื่อ ET และ $ET_p$ เป็นค่าการใช้น้ำที่ได้จากการวัดในช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากสภาพภูมิอากาศ คุณสมบัติของดิน และองค์ประกอบอื่น ๆ คล้ายคลึงกันดังนั้นค่า $K_c$ จึงขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียว เพราะฉะนั้นค่าที่วัดได้นี้สามารถนำไปใช้ได้โดยทั่ว ๆ ไปโดยไม่ขึ้นอยู่กับสถานที่เพาะปลูกหรือสภาพภูมิอากาศโดยรอบ

สำหรับข้อมูลภูมิอากาศซึ่งจะนำมาใช้คำนวณ $ET_p$ นั้น กรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งมีสถานีตรวจอากาศอยู่เกือบ

# CLIMATOLOGICAL DATA FOR THE PERIOD 1951 - 1975

Station NAKHON SAWAN
Index Station 48 400
Latitude 15° 48' N.
Longitude 100° 10' E.

| | | |
|---|---|---|
| Elevation of station above MSL. | 28.00 | meters |
| Height of barometer above MSL. | 29.50 | meters |
| Height of thermometer above ground | 1.50 | meters |
| Height of wind vane above ground | 15.00 | meters |
| Height of raingauge | 0.80 | meters |

| | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Year |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Pressure (+1000 or 900 mbs.)** | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 13.84 | 11.34 | 09.84 | 08.28 | 06.69 | 05.82 | 06.02 | 06.06 | 07.45 | 10.46 | 12.70 | 13.93 | 09.37 |
| Ext. Max. | 29.74 | 23.30 | 21.00 | 19.38 | 14.69 | 13.49 | 14.59 | 13.39 | 15.79 | 20.61 | 22.69 | 24.29 | 29.74 |
| Ext. Min. | 03.10 | 02.36 | 00.70 | 99.84 | 99.10 | 97.00 | 96.10 | 98.10 | 98.30 | 01.80 | 04.29 | 03.76 | 96.10 |
| Mean daily range | 5.30 | 5.62 | 5.86 | 5.85 | 5.16 | 4.33 | 3.85 | 4.12 | 4.51 | 4.74 | 4.67 | 4.93 | 4.91 |
| **Temperature (°C.)** | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 25.5 | 28.4 | 30.7 | 31.9 | 30.7 | 29.6 | 29.1 | 28.4 | 28.1 | 27.9 | 26.8 | 25.2 | 28.5 |
| Mean Max. | 31.9 | 34.6 | 36.6 | 37.7 | 36.0 | 34.4 | 33.7 | 33.0 | 32.2 | 31.8 | 31.4 | 30.9 | 33.7 |
| Mean Min. | 17.5 | 20.9 | 23.5 | 25.1 | 25.0 | 24.6 | 24.2 | 24.0 | 23.8 | 23.5 | 21.1 | 18.1 | 22.6 |
| Ext. Max. | 37.0 | 39.8 | 41.2 | 42.5 | 42.7 | 41.0 | 38.9 | 37.8 | 36.3 | 35.9 | 35.7 | 35.8 | 42.7 |
| Ext. Min. | 6.1 | 12.0 | 14.2 | 17.0 | 20.3 | 21.4 | 20.9 | 20.9 | 20.4 | 18.4 | 11.9 | 8.2 | 6.1 |
| **Relative Humidity (%)** | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 63.0 | 62.0 | 61.0 | 63.0 | 70.0 | 74.0 | 76.0 | 78.0 | 82.0 | 80.0 | 73.0 | 67.0 | 71.0 |
| Mean Max. | 88.3 | 87.6 | 87.7 | 87.2 | 89.4 | 90.8 | 91.8 | 93.0 | 95.4 | 94.8 | 93.0 | 90.7 | 90.8 |
| Mean Min. | 42.3 | 41.1 | 40.3 | 41.9 | 51.5 | 57.4 | 59.1 | 62.3 | 66.5 | 64.2 | 55.2 | 47.0 | 52.4 |
| Ext. Min. | 16.0 | 10.0 | 15.0 | 20.0 | 23.0 | 34.0 | 36.0 | 38.0 | 47.0 | 38.0 | 25.0 | 25.0 | 10.0 |
| **Dew Point (°C.)** | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 17.2 | 19.4 | 21.3 | 22.9 | 23.9 | 24.1 | 23.9 | 24.1 | 24.4 | 23.7 | 21.1 | 18.2 | 22.0 |
| **Evaporation (mm)** | | | | | | | | | | | | | |
| Mean – Piché | 98.8 | 112.4 | 143.2 | 152.5 | 103.1 | 84.3 | 79.2 | 66.7 | 49.9 | 59.7 | 72 8 | 91.7 | 1114.3 |
| – Pan | 137.2 | 156.6 | 206.0 | 237.3 | 199.8 | 172.5 | 165.3 | 149.5 | 125.0 | 131.0 | 122.5 | 128.5 | 1931.2 |
| **Cloudiness (0-8)** | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 4.1 | 5.8 | 6.6 | 6.8 | 7.0 | 6.7 | 5.6 | 4.4 | 3.6 | 5.0 |
| **Visibility (Km)** | | | | | | | | | | | | | |
| 0700 L.S.T. | 5.0 | 4.1 | 5.3 | 8.2 | 11.0 | 11.6 | 10.4 | 10.0 | 8.8 | 8.4 | 7.8 | 6.9 | 8.1 |
| Mean | 7.1 | 5.7 | 5.9 | 8.2 | 11.2 | 11.7 | 11.2 | 10.6 | 9.9 | 10.2 | 10.3 | 9.6 | 9.3 |
| **Wind (Knots)** | | | | | | | | | | | | | |
| Prevailing wind | E | S | S | S | S | S | S | S | S | S | E | N | – |
| Mean Wind Speed | 4.0 | 4.6 | 6.2 | 6.4 | 5.4 | 5.8 | 5.2 | 4.6 | 3.4 | 3.2 | 3.6 | 3.8 | – |
| Max. Wind Speed | 33 NE | 58 S | 62 N | 60 N | 70 S | 50 S | 52 S | 42 N | 65 N | 54 NE | 27 NW | 27 E | – |
| **Rainfall (mm.)** | | | | | | | | | | | | | |
| Mean | 13.7 | 26.9 | 43.4 | 65.1 | 137.3 | 125.1 | 140.7 | 181.0 | 250.8 | 152.8 | 30.5 | 6.4 | 1173.7 |
| Mean rainy days | 1.4 | 1.8 | 3.1 | 5.0 | 11.8 | 13.6 | 15.5 | 17.4 | 18.0 | 12.4 | 3.1 | 1.0 | 104.1 |
| Greatest in 24 hr. | 60.9 | 69.6 | 87.1 | 84.9 | 89.0 | 61.8 | 96.1 | 90.3 | 121.2 | 147.0 | 121.6 | 45.6 | 147.0 |
| Day/Year | 11/75 | 3/53 | 23/70 | 11/72 | 14/70 | 1/56 | 29/73 | 26/65 | 23/64 | 8/51 | 14/66 | 16/66 | 8/51 |
| **Number of days with** | | | | | | | | | | | | | |
| Haze | 24.7 | 25.8 | 27.7 | 19.6 | 3.8 | 0.6 | 0.8 | 1.6 | 1.8 | 5.6 | 9.6 | 16.1 | 137.7 |
| Fog | 10.4 | 7.0 | 3.1 | 1.3 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.6 | 1.3 | 5.1 | 6.8 | 36.8 |
| Hail | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Thunderstorm | 0.4 | 1.1 | 3.8 | 7.2 | 13.0 | 8.7 | 8.4 | 8.1 | 10.3 | 8.0 | 1.4 | 0.1 | 70.5 |
| Squall | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 |

Remark : Evaporation 1965 – 1975

**รูปที่ 5.7 ตัวอย่างสถิติภูมิอากาศของจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งตัดลอกจากหนังสือสถิติภูมิอากาศของประเทศไทย ในคาบ 25 ปี ( พ.ศ. 2494 – 2518 ) โดยกรมอุตุนิยมวิทยา**

ทุกจังหวัดได้พิมพ์รวบรวมไว้เป็นเล่มเช่น "สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 25 ปี(พ.ศ.2494 - 2518)" ดังนั้น เราสามารถใช้ข้อมูลจากแหล่งนี้มาคำนวณ $ET_p$ ของจังหวัดที่ต้องการทราบการใช้น้ำของพืช พร้อมกับใช้ค่า $K_c$ ซึ่งมีผู้วัดเอาไว้และมีอยู่ในตำราต่าง ๆ มาคำนวณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการได้ ตัวอย่างสถิติภูมิอากาศของจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งคัดลอกมาจากหนังสือที่กล่าวข้างต้นแสดงไว้ในรูปที่ 5.7

## วิธีคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง($ET_p$)

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง($ET_p$) โดยอาศัยข้อมูลภูมิอากาศอาจทำได้หลายวิธีด้วยกัน สูตรที่ใช้คำนวณนั้นมีตั้งแต่สูตรเอมไพริกอลอย่างง่าย ๆ ซึ่งต้องการข้อมูลเพียงอย่างเดียวหรือสองอย่าง จนกระทั่งถึงสูตรที่ต้องการข้อมูลหลายอย่างและมีการคำนวณยุ่งยากมาก อย่างไรก็ตาม ไม่จำเป็นว่าสูตรที่ยุ่งยากและต้องการข้อมูลหลายอย่างจะให้ค่าถูกต้องดีกว่าสูตรง่าย ๆ เสมอไป การที่จะเลือกใช้สูตรใดสูตรหนึ่งมาคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการนั้น จะต้องพิจารณาจากลักษณะของงาน ความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ ข้อมูลที่มีอยู่แล้ว และเครื่องมือเครื่องใช้ที่จะนำมาใช้วัดข้อมูล เป็นต้น วิธีการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่จะกล่าวถึงก็มี

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

## วิธีของ Thornthwaite

Thornthwaite ได้ศึกษาปริมาณการใช้น้ำของพืชในภาคกลางและภาคตะวันออกของสหรัฐอเมริกา และได้หาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนกับการใช้น้ำของพืชเมื่อดินมีความชื้นสูงพอกับความต้องการของพืชอยู่ตลอดเวลาไว้ ปริมาณการใช้น้ำของพืชเมื่อดินมีความชื้นอย่างเพียงพอซึ่งเรียกว่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง(Potential Evapotranspiration) ซึ่งต่อมาภายหลังได้ถูกเปลี่ยนคำจำกัดความให้เหมาะสมยิ่งขึ้นเป็นปริมาณน้ำที่สูญเสียไปโดยการระเหยและคายน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกที่มีพืชปกคลุมอยู่อย่างทั่วถึง ดินมีความชื้นอย่างเพียงพอกับความต้องการของพืชตลอดเวลา และพื้นที่เพาะปลูกนั้นกว้างใหญ่พอที่จะไม่ทำให้กระระเหยและการคายน้ำนั้นต้องกระทบกระเทือนจากแรงภายนอก เช่น การพัดผ่านของลมที่แห้งและร้อน หรือจากสาเหตุอื่นด้วย สูตรของ Thornthwaite คือ

$$ET_p = 1.60\ L_d \left(\frac{10T}{I}\right)^a \quad \text{.....(5.4)}$$

โดย $ET_p$ = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration) ที่จะเกิดขึ้นในระยะเวลา 30 วัน มีหน่วย เป็นเซนติเมตร

$L_d$ = ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่มีแสงแดดซึ่งบอกเป็นจำนวนเท่าของ 12

ชั่วโมง ในเดือนต่าง ๆ ซึ่งคิดว่ามี 30 วัน (ดูตาราง A - 2 ในภาคผนวก)

T = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนเป็นองศาเซลเซียส

I = ดัชนีความร้อนตลอดปี (Heat index) ซึ่งเท่ากับผลรวมของดัชนีความร้อน i ประจำเดือนตลอดปี ค่าดัชนีความร้อนประจำเดือน i สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียสจะดูได้จากตาราง A - 1 ในภาคผนวก หรือคำนวณโดยสมการ

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514} \qquad \text{.....(5.5)}$$

และ

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j \qquad \text{.....(5.6)}$$

$$a = 0.000,000,675\ I^3 - 0.000,077,1\ I^2 + 0.017,92\ I + 0.49239 \qquad \text{.....(5.7)}$$

ค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ที่หาได้นี้เป็นค่าสำหรับเดือนที่มี 30 วัน ในเดือนที่มีมากกว่าหรือน้อยกว่า 30 วันก็จะหาได้โดยการคูณจำนวนวันเข้ากับค่าที่หาได้แล้วหารด้วย 30 ก็จะได้การใช้น้ำของพืชอ้างอิง สำหรับเดือนนั้นตามต้องการ

## ตัวอย่างที่ 5.1

จงคำนวณหาการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration) ในเขตทุ่งราบภาคกลางตอนบน โดยใช้อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือนที่สถานีอุตุนิยมวิทยา จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง (Latitude) 16 องศาเหนือดังตาราง โดยใช้สูตรของ Thornthwaite

## วิธีทำ

จากรูปที่ 5.7 ซึ่งเป็นสถิติภูมิอากาศของจังหวัดนครสวรรค์ คัดค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (Mean) เป็นองศาเซลเซียสมาไว้ในช่องที่ (2) ของตาราง ค่าดัชนีความร้อนประจำเดือน i ในช่องที่ (3) ได้จากการนำเอาค่าอุณหภูมิในช่องที่ (2) ไปอ่านค่าจากตาราง A - 1 ในภาคผนวก เมื่อรวมค่าในตารางช่องที่ (3) ก็จะได้ค่าดัชนีความร้อนตลอดปี (I) คือ 167.86 จากนั้นก็คำนวณค่า a โดยสมการที่ (5.7) ได้เท่ากับ 4.521 นำค่านี้ไปคำนวณ $(10T/I)^a$ ในช่องที่ 4 ค่า $L_d$ ในช่องที่(5) ได้จากการใช้ค่าเส้นรุ้ง 16 องศาเหนือของจังหวัดนครสวรรค์ไปเปิดตาราง A - 2 ในภาคผนวก ค่า $ET_p$ เป็น ซม./30 วันในช่องที่ (6) ได้จากการเอา 1.60 คูณกับค่าในช่องที่ (4) และ (5) ช่องที่(7) และ (8) เป็นการทำให้ $ET_p$ มีหน่วยเป็น มม/วัน และ มม./เดือนตามลำดับ

| เดือน | T C | $i=(\frac{T}{5})^{1.514}$ | $(\frac{10T}{I})^{4.521}$ | $L_d$ | $ET_p$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ซม/30 วัน | มม./วัน | มม/เดือน |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| ม.ค. | 25.5 | 11.78 | 6.622 | 0.97 | 10.28 | 3.43 | 106 |
| ก.พ. | 28.4 | 13.87 | 10.776 | 0.91 | 15.69 | 5.23 | 146 |
| มี.ค. | 30.7 | 15.61 | 15.324 | 1.03 | 25.25 | 8.42 | 261 |
| เม.ย. | 31.9 | 16.54 | 18.224 | 1.04 | 30.32 | 10.11 | 303 |
| พ.ค. | 30.7 | 15.61 | 15.324 | 1.11 | 27.22 | 9.07 | 281 |
| มิ.ย. | 29.6 | 14.77 | 12.993 | 1.08 | 22.45 | 7.48 | 225 |
| ก.ค. | 29.1 | 14.39 | 12.030 | 1.12 | 21.56 | 7.19 | 223 |
| ส.ค. | 28.4 | 13.87 | 10.776 | 1.08 | 18.62 | 6.21 | 192 |
| ก.ย. | 28.1 | 13.65 | 10.271 | 1.02 | 16.76 | 5.59 | 168 |
| ต.ค. | 27.9 | 13.50 | 9.945 | 1.01 | 16.07 | 5.36 | 166 |
| พ.ย. | 26.8 | 12.70 | 8.291 | 0.95 | 12.60 | 4.20 | 126 |
| ธ.ค. | 25.2 | 11.57 | 6.277 | 0.97 | 9.74 | 3.25 | 101 |
| | $\Sigma i$ = | 167.86 | | | | | |

$$I = \Sigma i$$

$$= 167.86$$

$$a = 0.000,000,675I^3 - 0.000,077,1I^2 + 0.017,92I + 0.49239$$

$$= 0.675 \times 10^{-6} (167.86)^3 - 0.771 \times 10^{-4} (167.86)^2$$

$$+ 0.01792 \times 167.86 + 0.49239$$

$$= 4.521$$

ดังนั้น $$ET_p = 1.60 L_d (\frac{10T}{I})^{4.521}$$

ถึงแม้ว่าสูตรของ Thornthwaite เป็นสูตรที่นำมาใช้ได้ง่าย เพราะต้องการอุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือน ซึ่งหาได้ง่ายมาใช้เพียงค่าเดียว แต่ปรากฏว่าสูตรนี้ไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายโดยทั่วไปเพราะมีจุดอ่อนอยู่หลายประการด้วยกัน กล่าวคือ

1) อุณหภูมิของบรรยากาศมิใช่เป็นสิ่งที่จะใช้บอกถึงปริมาณพลังงานความร้อนที่ใช้สำหรับการระเหย

และการคายน้ำได้อย่างถูกต้อง เพราะว่าพลังงานที่นำมาใช้ในการระเหยและการคายน้ำที่แท้จริงนั้นคือ รังสีอาทิตย์ (Solar radiation) พลังงานจากดวงอาทิตย์นี้ไม่เป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิของบรรยากาศของผิวโลก เช่น อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนพฤศจิกายนและมีนาคมของประเทศเนเธอร์แลนด์เท่ากับ 5.4 และ 5.0 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกันมาก แต่รังสีอาทิตย์และการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ($ET_p$) ที่วัดได้นั้นต่างกันเกือบสี่เท่า เป็นต้น

2) อุณหภูมิของบรรยากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายหลังฤดูหนาว มักจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าที่โลกได้รับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น กล่าวคือโลกได้รับรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้นนานหลายอาทิตย์แล้วแต่อุณหภูมิของบรรยากาศเพิ่งค่อยสูงขึ้น ดังนั้น การใช้น้ำของพืชอ้างอิง ($ET_p$) ที่คำนวณโดยใช้สูตรนี้สำหรับระยะเวลาดังกล่าวจะต่ำกว่าค่าที่แท้จริงเสมอ

3) ตามสูตรของ Thornthwaite ถ้าหากอุณหภูมิของบรรยากาศเท่ากับหรือต่ำกว่าศูนย์องศาเซลเซียส จะไม่มีการระเหยและคายน้ำ ซึ่งไม่เป็นความจริงเพราะว่าค่าอุณหภูมิที่ใช้ในสูตร เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดเดือน ในเดือนนั้นอาจจะมีทั้งวันที่มีอุณหภูมิสูงกว่าและต่ำกว่าศูนย์องศาก็ได้

4) Thornthwaite ไม่ได้พิจารณาเอาความเร็วของลม ตลอดจนผลของการมีลมที่แห้งและร้อนพัดผ่านเข้ามาเกี่ยวข้องในสูตรด้วยเลย ลักษณะดังกล่าวนี้จะมีผลต่อการระเหยและการคายน้ำมาก

อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ซึ่งไม่มีข้อมูลอื่นนอกจากอุณหภูมิของบรรยากาศเพียงอย่างเดียวแล้ว สูตรของ Thornthwaite อาจนำมาใช้หาค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ($ET_p$) อย่างหยาบ ๆ ได้

## วิธีของ Blaney - Criddle

ในปี ค.ศ.1942 Blaney และ Morin ได้เสนอสูตรสำหรับใช้คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืช โดยใช้อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความยาวของชั่วโมงกลางวันเป็นข้อมูลที่ต้องการ แต่เนื่องจากว่าในสมัยนั้นมีการวัดความชื้นสัมพัทธ์กันน้อยมาก ในปี ค.ศ.1950 Blaney และ Criddle จึงได้ดัดแปลงสูตรดังกล่าวเสียใหม่ โดยตัดเอาความชื้นสัมพัทธ์ออกจากสูตรเดิม สูตรนี้ภายหลังรู้จักกันดีว่าเป็นสูตรของ Blaney และ Criddle คือ

$$U = K.F = K\Sigma\frac{t.p.}{100} \quad \text{.....(5.8)}$$

โดย
- $U$ = ปริมาณการใช้น้ำของพืชตลอดฤดูการเพาะปลูก เป็นนิ้ว
- $K$ = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coeffieient) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของพืช และความยาวของฤดูการเพาะปลูก (ดูตาราง A - 4ในภาคผนวก)
- $F$ = Consumptive Use Factor ซึ่งเท่ากับผลรวมของผลคูณระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยเป็นองศาฟาเรนไฮท์ กับเปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันตลอดฤดูการเพาะปลูกใน 1 ปี
- $t$ = อุณหภูมิเฉลี่ย เป็นองศาฟาเรนไฮท์ ในกรณีที่ข้อมูลภูมิอากาศเป็นองศา

เซลเซียส ( C) ก็อาจแปลงให้เป็นองศาฟาเรนไฮท์ ( F) ได้โดยสูตร

$$^{\circ}F = 1.8\ ^{\circ}C + 32 \quad \text{.....(5.9)}$$

p = เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันของฤดูการเพาะปลูกในระยะเวลา 1 ปี

ถ้าเป็นการหาปริมาณการใช้น้ำของพืชประจำเดือน เรามักจะใช้อักษรตัวเล็กแทน คือ

$$u = k.f = k.\frac{t.p}{100} \quad \text{.....(5.10)}$$

u = ปริมาณการใช้น้ำของพืชประจำเดือน เป็นนิ้ว

k = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายเดือน (Monthly crop coefficient)
= 1 ถ้าเป็นการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration)

t = อุณหภูมิเฉลี่ยประจำเดือน เป็นองศาฟาเรนไฮท์

p = เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันของเดือนนั้นในระยะเวลา 1 ปี (ดูตาราง A - 3 ในภาคผนวก)

## ตัวอย่างที่ 5.2

จงหาปริมาณการใช้น้ำตลอดฤดูการเพาะปลูกของข้าวโพด ซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยว 4 เดือนเริ่มปลูกตั้งแต่เดือนพฤษภาคม และเก็บเกี่ยวเดือนสิงหาคม พื้นที่เพาะปลูกอยู่ที่จังหวัดนครสวรรค์ซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง 16 องศาเหนือ อุณหภูมิเฉลี่ยในเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคมมีดังนี้ คือ 30.7, 29.6, 29.1 และ 28.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

## วิธีทำ

| เดือน | อุณหภูมิ $^{\circ}C$ | อุณหภูมิ(t) $^{\circ}F$ | p 1/ | $\frac{t.p}{100}$ |
|---|---|---|---|---|
| พฤษภาคม | 30.7 | 87.3 | 9.01 | 7.87 |
| มิถุนายน | 29.6 | 85.3 | 8.85 | 7.55 |
| กรกฎาคม | 29.1 | 84.4 | 9.08 | 7.66 |
| สิงหาคม | 28.4 | 83.1 | 8.85 | 7.35 |
| | | | $\Sigma \frac{t.p}{100} =$ | 30.43 |

1/ จากตาราง A - 3 ในภาคผนวก

จากตาราง A - 4 ในภาคผนวก ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ **K** ตลอดฤดูการเพาะปลูก (4 เดือน) ของข้าวโพด เท่ากับ 0.75

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

$= 0.75 \times 30.43 = 22.82$ นิ้ว

$= 22.82 \times 25.4 = 580$ มม.

ดังนั้นตลอดฤดูการเพาะปลูกข้าวโพดจะใช้น้ำ 22.82 นิ้ว หรือ 580 มม.

จากรายงานการใช้สูตรของ **Blaney-Criddle** ณ ที่ต่าง ๆ ปรากฏว่าสูตรนี้มีจุดอ่อนเช่นเดียวกันกับสูตรของ Thornthwaite แต่สูตรนี้มีผู้นิยมใช้กันกว้างขวางกว่า ทั้งนี้เพราะสูตรนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient, K) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิด อายุ ความสูง ตลอดจนความหนาแน่นในการปกคลุมผิวดิน ซึ่งถ้าหากมีการวัดปริมาณการใช้น้ำของพืชต่าง ๆ อย่างถูกต้องอยู่แล้ว ก็จะสามารถคำนวณค่า **K** ที่ถูกต้องเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในแถบนั้นได้ การหาปริมาณการใช้น้ำโดยสูตรนี้ในบริเวณใกล้เคียงหรือบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศคล้ายคลึงกันก็จะถูกต้องดีขึ้น

## วิธีของ Makkink

สูตรของ **Makkink** นั้นต่างกับสูตรอื่นที่ได้กล่าวมาแล้วตรงที่ว่าเขาได้นำเอารังสีอาทิตย์ (Solar radiation) เข้ามาใช้ สูตรนี้ได้คิดขึ้นจากการวัด การใช้น้ำของหญ้าในถังวัดการใช้น้ำที่ประเทศเนเธอร์แลนด์

$$ET_p = 0.61\ Q\ \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} - 0.12 \quad \text{.....(5.11)}$$

$ET_p$ = การใช้น้ำของพืชอ้างอิงซึ่งเป็นหญ้า เป็น มม./วัน

$Q$ = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้รับ (Incoming solar radiation) เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม./วัน สำหรับประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้ง 6° ถึง 26° เหนือถ้าหากไม่มีการวัดไว้ก็อาจจะคำนวณหาได้จากสูตร

$$Q = Q_A\ (0.26 + 0.50\ n/N) \quad \text{.....(5.12)}$$

$Q_A$ = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็นมม./วัน (ดูตาราง A - 5 ในภาคผนวก)

$n$ = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง

$N$ = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ช่วงเวลานั้น

สำหรับที่ซึ่งไม่มีการวัดระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริงไว้ ก็อาจจะหาจากขีดความครึ้มของเมฆ (Clondiness) ซึ่งเป็นข้อมูลที่กรมอุตุนิยมวิทยาวัดและรวบรวมไว้เช่นเดียวกัน ค่าขีดความครึ้มของเมฆมีช่วงการวัดตั้งแต่ 0 ถึง 8

สำหรับประเทศไทย ไพฑูรย์ พะลายะสุต ได้หาอัตราส่วน $n/N$ ไว้ในรูปของสมการ

$$n/N = 0.745+0.095C_C - 0.02C_C^2 \quad \text{.....(5.13)}$$

ในเมื่อ $C_C$ = ขีดความครึ้มของเมฆ ซึ่งได้จากสถิติของกรมอุตุนิยมวิทยา มีค่าจาก 0 ถึง 8

$\Delta$ = ความลาดเทของกราฟของความดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Vapor Pressure) กับอุณหภูมิ ที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย

$\gamma$ = Psychrometric constant

= 0.49 ถ้าอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส และความดันเป็น มม. ของปรอท

= 0.27 ถ้าอุณหภูมิเป็นองศาฟาเรนไฮท์ และความดันเป็น มม.ของปรอท

ค่าอัตราส่วน $\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}$ สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส จะดูได้จากตาราง A - 6 ในภาคผนวก

จากการทดลองใช้สูตรของ Makkink ในประเทศไทยปรากฏว่า สูตรนี้ให้ค่าที่คำนวณได้ต่ำกว่าที่เป็นจริง ที่เป็นดังนี้ก็เพราะว่าสูตรดังกล่าวนี้คิดขึ้นในประเทศเนเธอร์แลนด์ซึ่งชุ่มชื้นและเย็น Makkink จึงมิได้นำเอาผลของการมีลมที่แห้งและร้อนพัดผ่านซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในเขตอบอุ่น และเขตร้อนเข้ามาพิจารณาในสูตร ลมที่แห้งและร้อนนี้มีพลังงานความร้อนที่นำมาใช้ในการระเหยและคายน้ำได้ด้วย ดังนั้นจึงทำให้ค่าที่คำนวณได้โดยสูตรนี้ต่ำกว่าที่เป็นจริงดังกล่าวแล้ว

## ตัวอย่างที่ 5.3

จงหาการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ETp) ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง 16 องศาเหนือ โดยสูตร **Makkink**

| เดือน | อุณหภูมิ °C | ขีดความครื้มของเมฆ $C_c$ | $Q_A$ มม/วัน | Q มม/วัน | $\frac{\Delta}{\Delta+\gamma}$ | $ET_p$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | มม/วัน | มม/เดือน |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| ม.ค. | 25.5 | 3.2 | 12.0 | 8.19 | .739 | 3.57 | 111 |
| ก.พ. | 28.4 | 3.3 | 13.3 | 9.05 | .766 | 4.11 | 115 |
| มี.ค. | 30.7 | 3.4 | 14.7 | 9.97 | .786 | 4.66 | 144 |
| เม.ย. | 31.9 | 4.1 | 15.6 | 10.28 | .796 | 4.87 | 146 |
| พ.ค. | 30.7 | 5.8 | 16.0 | 9.15 | .786 | 4.27 | 132 |
| มิ.ย. | 29.6 | 6.6 | 15.9 | 8.12 | .777 | 3.73 | 112 |
| ก.ค. | 29.1 | 6.8 | 15.9 | 7.84 | .772 | 3.57 | 111 |
| ส.ค. | 28.4 | 7.0 | 15.7 | 7.46 | .766 | 3.37 | 104 |
| ก.ย. | 28.1 | 6.7 | 15.0 | 7.53 | .763 | 3.38 | 102 |
| ต.ค. | 27.9 | 5.6 | 13.9 | 8.13 | .761 | 3.65 | 113 |
| พ.ย. | 26.8 | 4.4 | 12.4 | 8.03 | .751 | 3.56 | 107 |
| ธ.ค. | 25.2 | 3.6 | 11.6 | 7.82 | .736 | 3.39 | 105 |

(2) และ (3) จากสถิติภูมิอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยา

(4) จากตาราง A - 5 ในภาคผนวก

(5) $Q = \frac{Q_A\ (0.26+0.50\ n/N)}{n/N = 0.745+ 0.095\ C_c - 0.02\ C_c^2}$

(6) จากตาราง A - 6 ในภาคผนวก

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

## วิธีของ Jensen - Haise

ในปี 1963 Jensen และ Haise ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการใช้น้ำของพืชกับรังสีอาทิตย์ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดประมาณ 3,000 ข้อมูล เมื่อเลือกพิจารณาจากการวัดที่ได้มาตรฐาน 1,000 ข้อมูล เขาพบว่ารังสีอาทิตย์เป็นพลังงานหลักที่ควบคุมการใช้น้ำของพืชและได้ความสัมพันธ์ออกมาว่า อัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำของพืชต่อรังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิของบรรยากาศ สำหรับกรณีที่เป็น $ET_p$ โดยใช้อัลฟัลฟาเป็นพืชอ้างอิง เขาได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการ

$$ET_p = C_T\ (T - T_x)_i \cdot Q \qquad \text{.....(5.14)}$$

โดย $ET_p$ = การใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่เป็นอัลฟัลฟา เป็นมม./วัน

$T$ = ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ เป็นองศาเซลเซียส

$Q$ = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ได้รับ (Solar Radiation) ซึ่งเทียบให้เป็นอัตราการระเหย เป็นมม./วัน

$C_T$ = สัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับความกดดันของบรรยากาศ

$$C_T = \frac{1}{C_1 + C_2 \cdot C_H} \qquad \text{.....(5.15)}$$

$$C_1 = 38 - 2.0 \times \text{Elev.}/305 \qquad \text{.....(5.16)}$$

Elev. = ความสูงเฉลี่ยของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลปานกลางเป็นเมตร

$C_2$ = 7.6 เมื่ออุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

$$C_H = \frac{50}{e_2 - e_1} \qquad \text{.....(5.17)}$$

$e_2$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยของอากาศในเดือนที่ร้อนที่สุดของปีเป็นมิลิบาร์ (ดูตาราง A - 8 ในภาคผนวก)

$e_1$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยของอากาศในเดือนเดียวกันเป็นมิลิบาร์ (ดูตาราง A - 8 ใน ภาคผนวก)

$T_x$ = ค่าคงที่สำหรับพื้นที่เพาะปลูกซึ่งคำนวณได้จาก

$$T_x = -2.50 - 0.14\ (e_2 - e_1) - \text{Elev.}/550 \qquad \text{.....(5.18)}$$

จากการทดลองใช้สูตรของ Jensen - Haise ในประเทศไทยปรากฏว่าสูตรนี้ก็มีปัญหาเช่นเดียวกัน กล่าวคือ เนื่องจากสูตรนี้คิดขึ้นในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งทางภาคตะวันตกของสหรัฐอเมริกา ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในประเทศไทยค่าที่คำนวณได้จึงสูงกว่าที่เป็นจริง นอกจากนั้น อัลฟัลฟา ยังใช้น้ำมากกว่าหญ้าด้วย ถ้าต้องการเทียบให้เป็นการใช้น้ำของหญ้า จะต้องคูณค่าที่คำนวณได้โดยวิธีของ Jensen Haise ด้วย 0.87

## ตัวอย่างที่ 5.4

จงหาการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ($ET_p$) ในเขตจังหวัดนครสวรรค์ซึ่งอยู่ที่เส้นรุ้ง 16 องศาเหนือ โดยใช้สูตรของ Jensen - Haise

จากสถิติอากาศประจำถิ่นของกรมอุตุนิยมวิทยา (รูปที่ 5.7)

1. ความสูงเฉลี่ยของพื้นที่เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง 28 เมตร
2. เดือนที่ร้อนที่สุดของปีคือ เดือนเมษายนซึ่งมีอุณหภูมิเฉลี่ย 31.9 °C
   ค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยประจำเดือน 37.7 °C
   ค่าอุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ยประจำเดือน 25.1 °C
3. ค่าอุณหภูมิและขีดความครื้มของเมฆเฉลี่ยประจำเดือนดังแสดงในตาราง (ข้อมูลเดียวกันกับตัวอย่างการคำนวณโดยวิธีของ Makkink)

## วิธีทำ

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

$$= 38 - 2.0 \times 28/305 = 37.82$$

$$C_2 = 7.6$$

$e_2$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ 37.7 °C

= 65.20 มิลิบาร์

$e_1$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่ 25.1 °C

= 31.86 มิลิบาร์

$$C_H = \frac{50}{e_2 - e_1} \qquad \frac{50}{65.20 - 31.86} = 1.500$$

$$C_T = \frac{1}{C_1 + C_2 C_H} \qquad \frac{1}{37.82 + 7.6 \times 1.500}$$

$$= 0.0203$$

$$T_x = -2.50 - 0.14\ (e_2 - e_1) - \text{Elev.}/550$$

$$= -2.50 - 0.14\ (65.20 - 31.86) - 28/550$$

$$= -7.218$$

แทนค่าในสูตรจะได้

$$ET_p = 0.0203\ (T + 7.218)\ Q$$

การคำนวณต่อจากนี้แสดงไว้ในตาราง

| เดือน | อุณหภูมิ ℃ | ขีดความครึ้มของเมฆ $C_c$ | $Q_A$ มม/วัน | Q มม/วัน | $ET_p$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | มม/วัน | มม/เดือน |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) |
| ม.ค. | 25.5 | 3.2 | 12.0 | 8.19 | 5.44 | 169 |
| ก.พ. | 28.4 | 3.3 | 13.3 | 9.05 | 6.54 | 183 |
| มี.ค. | 30.7 | 3.4 | 14.7 | 9.97 | 7.67 | 238 |
| เม.ย. | 31.9 | 4.1 | 15.6 | 10.28 | 8.16 | 245 |
| พ.ค. | 30.7 | 5.8 | 16.0 | 9.15 | 7.04 | 218 |
| มิ.ย. | 29.6 | 6.6 | 15.9 | 8.12 | 6.07 | 182 |
| ก.ค. | 29.1 | 6.8 | 15.9 | 7.84 | 5.51 | 171 |
| ส.ค. | 28.4 | 7.0 | 15.7 | 7.46 | 5.39 | 167 |
| ก.ย. | 28.1 | 6.7 | 15.0 | 7.53 | 5.40 | 162 |
| ต.ค. | 27.9 | 5.6 | 13.9 | 8.13 | 5.79 | 180 |
| พ.ย. | 26.8 | 4.4 | 12.4 | 8.03 | 5.54 | 166 |
| ธ.ค. | 25.2 | 3.6 | 11.6 | 7.82 | 5.15 | 159 |

(2) และ (3) ได้จากสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยโดยกรมอุตุนิยมวิทยา

(4) จากตาราง A – 5 ในภาคผนวก

(5) $Q = Q_A(0.26 + 0.50\ n/N)$

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

(6) $ET_p = 0.0203\ (T + 7.218)\ Q$

## วิธีของ Penman

ในปี 1948 Penman ได้เสนอสูตรซึ่งได้รวมเอาพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยทุกอย่างไว้ด้วยกัน พลังงานดังกล่าวนี้คือพลังงานที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนไหวของลมและความชื้นของอากาศ สูตรของเขาคือ

$$ET_p = \frac{\Delta Q_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma} \qquad \text{.....(5.19)}$$

$ET_p$ = การใช้น้ำของพืชอ้างอิงที่เป็นหญ้า เป็นมม./วัน

$\Delta$ = ความลาดเทของกราฟของความดันไอน้ำอิ่มตัว (Saturated vapor pressure) กับอุณหภูมิที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ย

$\gamma$ = Psychrometric constant

$Q_n$ = รังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ (Net solar radiation) เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำเป็น มม./วัน

ในกรณีที่ไม่มีการวัดรังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ไว้ ค่านี้อาจจะประมาณหาได้จากสูตร

$$Q_n = Q_A(1 - r)(0.26 + 0.50\ n/N) - \sigma T^4 (0.56 - 0.0797\ \sqrt{e_d})(0.10 + 0.90\ n/N) \qquad \text{.....(5.20)}$$

$Q_A$ = รังสีจากดวงอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่ เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำเป็นมม./วัน (ดูตาราง A – 5 ในภาคผนวก)

r = สัมประสิทธิ์ของการสะท้อน (Reflection Coefficient) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนออกไป ต่อรังสีอาทิตย์ที่ตกลงบนผิวของวัตถุนั้น Penman ใช้ค่า r = 0.05 สำหรับผิวน้ำ 0.10 สำหรับดินเปียกที่ไม่มีพืชปกคลุมอยู่เลย และ 0.20 สำหรับพืชที่เขียวและสด

n = ระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดจริง

N = ระยะเวลาที่มีแสงแดดนานที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ในช่วงเวลานั้น

อัตราส่วน n/N คำนวณได้โดยใช้ค่าขีดความครึ้มของเมฆจากหนังสือสถิติภูมิอากาศของประเทศไทย ของกรมอุตุนิยมวิทยา และสูตรของอาจารย์ไพฑูรย์ พะลายะสุต

$\sigma T^4$ = รังสีที่สะท้อนจากวัตถุที่มีผิวดำสนิท เทียบให้เป็นอัตราการระเหยของน้ำเป็นมม./วัน (ดูตาราง A – 7 ในภาคผนวก)

$e_a$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของบรรยากาศ มีหน่วยเป็นมิลิบาร์ (ดูตาราง A – 8 ในภาคผนวก)

$e_d$ = ความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเฉลี่ยของจุดน้ำค้าง (dew point) มีหน่วยเป็นมิลิบาร์ ถ้าไม่มีการวัดอุณหภูมิเฉลี่ยที่จุดน้ำค้างไว้ก็อาจคำนวณได้จากสูตร

$$e_d = (\text{ความชื้นสัมพัทธ์}) \times e_a \qquad \text{.....(5.21)}$$

$E_a$ = ปริมาณการระเหยของน้ำเนื่องจากการเคลื่อนไหวของลมและความชื้นของอากาศ เป็นมม.วัน

$$E_a = 0.262\ (e_a - e_d)(1 + 0.0062\ U_2) \qquad \text{.....(5.22)}$$

$U_2$ = ความเร็วเฉลี่ยของลมที่ระดับเหนือจากพื้นดิน 2 เมตร มีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อวัน

ถ้าหากไม่มีการวัดความเร็วของลมที่ระดับ 2 เมตรไว้ ก็อาจดัดแปลงค่าที่วัดได้ที่ระดับอื่นมาเป็นค่าที่ระดับ 2 เมตร ได้โดยใช้สูตร

$$U_2 = U_1 \frac{\log 2}{\log h} = U_1 \frac{0.3010}{\log h} \qquad \text{.....(5.23)}$$

$U_1$ = ความเร็วของลมเป็นกิโลเมตรต่อวันซึ่งวัดที่ระดับเหนือพื้นดิน h เมตร

สำหรับค่าความเร็วลมในหนังสือสถิติภูมิอากาศของประเทศไทยซึ่งจัดทำโดยกรมอุตุนิยมวิทยานั้นจะบอกเป็นน็อต (Knot) หนึ่งน็อตมีค่าเท่ากับ 44.478 กิโลเมตรต่อวัน สำหรับความสูงของเครื่องวัดความเร็วลมนั้นจะบอกไว้ที่บรรทัดที่ 4 ของหัวตารางด้านขวามือ

## ตัวอย่างที่ 5.5

จงคำนวณ $ET_p$ ของจังหวัดนครสวรรค์สำหรับเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม โดยใช้สถิติภูมิอากาศของจังหวัดนครสวรรค์ซึ่งรวบรวมไว้โดยกรมอุตุนิยมวิทยา

## วิธีทำ

เนื่องจากว่าสูตรของ Penman นั้นยาวมาก เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณ รายการคำนวณในแต่ละขั้นตอนพร้อมคำแนะนำได้แสดงไว้ในแบบฟอร์ม

แบบฟอร์มสำหรับคำนวณ Potential Evapotranspiration
โดยใช้สูตรของ Penman

| โครงการ..... จังหวัด นครสวรรค์ | เส้นรุ้ง 16น. | | ผู้คำนวณ | วิบูลย์ |
|---|---|---|---|---|
| ก. ข้อมูล สำหรับ เดือน..... | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. |
| (1) อุณหภูมิเฉลี่ย °C..... | 30.7 | 29.6 | 29.1 | 28.4 |
| (2) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) - (บอกเป็นทศนิยม)..... | .0.70 | 0.74 | 0.76 | 0.78 |
| (3) ขีดความครึ้มของเมฆ $C_c$ (0 - 8)..... | 5.8 | 6.6 | 6.8 | 7.0 |
| (4) ความเร็วลมที่ระดับ 2 เมตร กม./วัน..... | 61.5 | 66.0 | 59.2 | 52.4 |
| (5) รังสีอาทิตย์ $Q_A$ มม/วัน (ดูจากตาราง A - 5)..... | 16.0 | 15.9 | 15.9 | 15.7 |
| (6) สัมประสิทธิ์การสะท้อน r - (บอกเป็นทศนิยม)... | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| ข. คำนวณสมการ $Q_A$ (1 - r) (0.26+0.50n/N) | | | | |
| (7) $n/N = 0.745 + 0.095C_c - 0.02C_c^2$ ..... | 0.623 | 0.501 | 0.466 | 0.430 |
| (8) (1 - r)..... | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.80 |
| (9) (0.26+0.50n/N)..... | 0.571 | 0.515 | 0.493 | 0.475 |
| (10) รายการที่ (5)×(8)×(9)..... | 7.315 | 6.551 | 6.271 | 5.966 |
| ค.คำนวณสมการ $\sigma T^4(0.56 - 0.0797\sqrt{e_d})$ (0.10+0.90n/N) | | | | |
| (11) ความดันไอน้ำ มิลิบาร์ | | | | |
| a) ความดันไอน้ำอิ่มตัว $e_a$ (ดูจากตาราง A - 8) | 44.16 | 41.47 | 40.29 | 38.69 |
| b) ความดันไอน้ำจริง $e_d = (RH \times e_a)$ ..... | 30.9 | 30.7 | 30.6 | 30.2 |
| c) $\sqrt{e_d}$ ..... | 5.56 | 5.54 | 5.53 | 5.49 |
| (12) $\sigma T4$ (ดูจากตาราง A - 7)..... | 17.17 | 16.93 | 16.81 | 16.66 |
| (13) $(0.56 - 0.0797\sqrt{e_d})$..... | 0.117 | 0.118 | 0.119 | 0.122 |
| (14) (0.10+ 0.90 n/N)..... | 0.661 | 0.551 | 0.519 | 0.087 |
| (15) รายการที่ (12)×(13)×(14)..... | 1.327 | 1.100 | 1.039 | 0.990 |
| ง. คำนวณค่า $Q_n$ | | | | |
| (16) รายการที่(10) ลบด้วย (15)..... | 5.988 | 5.451 | 5.232 | 4.976 |
| จ. คำนวณสมการ $E_a=0.262(e_a - e_d)$ (1+0.0062$U_2$) | | | | |
| (17) $0.262(e_a - e_d)$..... | 3.474 | 2.822 | 2.539 | 2.224 |
| (18) $(1.0+0.0062U_2)$..... | 1.381 | 1.409 | 1.367 | 1.325 |
| (19) รายการที่ (17)× (18)..... | 4.799 | 3.977 | 3.471 | 2.946 |
| ฉ. คำนวณสมการ $ET_p = \frac{\Delta Q_n + \gamma E_a}{\Delta + \gamma}$ | | | | |
| (20) $\Delta / (\Delta + \gamma)$ (ดูจากตาราง A - 6)..... | 0.786 | 0.777 | 0.772 | 0.766 |
| (21) $\gamma / (\Delta + \gamma)$ (1.0 - รายการที่ 20) ..... | 0.214 | 0.223 | 0.228 | 0.234 |
| (22) รายการที่ (16)×(20)..... | 4.706 | 4.235 | 4.039 | 3.812 |
| (23) รายการที่ (19)×(21)..... | 1.027 | 0.887 | 0.791 | 0.689 |
| (24) $ET_p$= รายการที่ (22)+(23) มม/วัน..... | 5.73 | 5.12 | 4.83 | 4.50 |
| มม/เดือน..... | 178 | 154 | 150 | 140 |

จากการทดลองใช้สูตรของ Penman ในประเทศไทยและจากรายงานการใช้สูตรนี้ในที่ต่าง ๆ ทั่วโลก ปรากฏว่า สูตรของ Penman ให้ผลการคำนวณที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้ดีกว่าสูตรอื่น ๆ ทั้งนี้ยกเว้นสูตรที่คิดขึ้นสำหรับท้องถิ่นนั้น ๆ โดยเฉพาะ เหตุผลสำคัญที่สูตรของ Penman ให้ค่าละเอียดถูกต้องดีก็เพราะว่า Penman ได้รวบรวมองค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำมาอยู่ในสูตรทุกอย่าง กล่าวคือ มีรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และความเร็วลม นอกจากนั้น วิธีการสร้างสูตรก็ตั้งอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีที่ยอมรับกันมากกว่าสูตรอื่น ๆ ที่กล่าว

ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบสูตรทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วโดยใช้ข้อมูลที่เชื่อถือได้จากแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลก ข้อสรุปสำหรับช่วงระยะเวลาที่สั้นที่สุดสำหรับการคำนวณค่าเฉลี่ยการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ( $ET_p$) ที่จะให้ความถูกต้องเชื่อถือได้ คือ

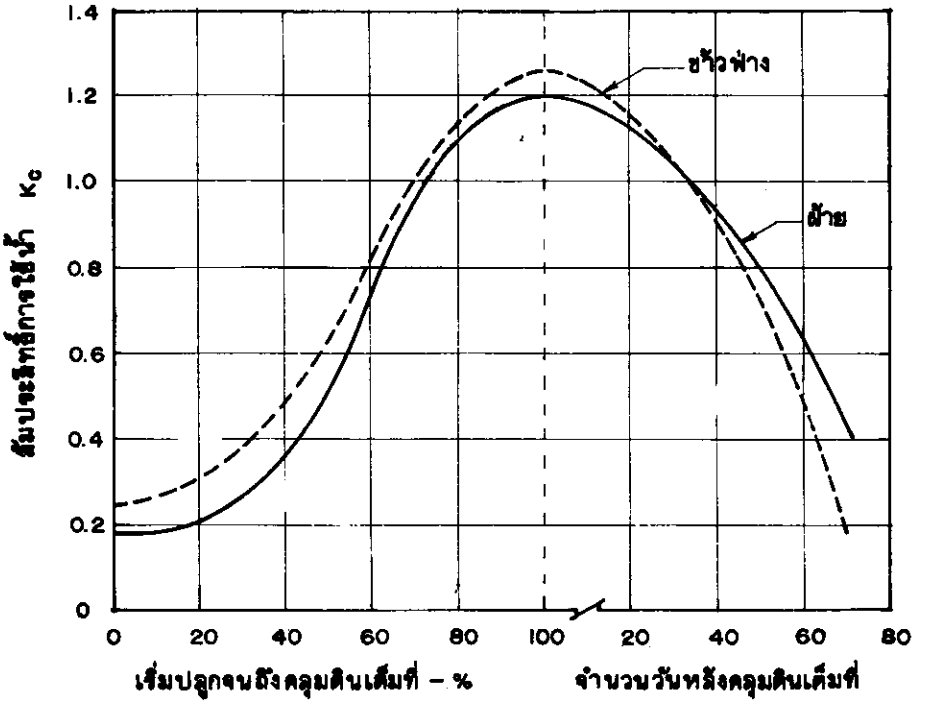
1. วิธีของ Thornthwaite - ไม่สั้นกว่า 1 เดือน
2. วิธีของ Blaney - Criddle -ตลอดฤดูการเพาะปลูก หรือไม่สั้นกว่า 1 เดือนถ้ามีการตรวจสอบปรับแก้ (Calibrate) เฉพาะพื้นที่
3. วิธีของ Makkink - ไม่สั้นกว่า 10 วัน
4. วิธีของ Jensen - Haise - ไม่สั้นกว่า 5 วัน
5. วิธีของ Penman - ไม่สั้นกว่า 1 วัน

(3, 4, 5) เมื่อใช้ค่ารังสีอาทิตย์ที่ได้จากการวัด

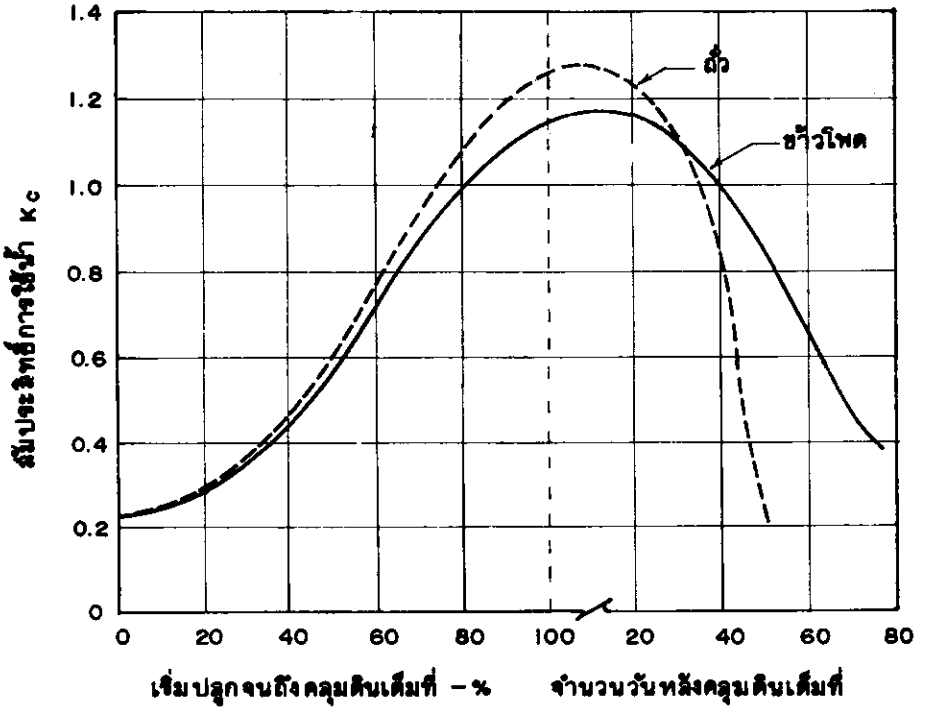
## การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจาก $ET_p$

ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วว่า เราอาจคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ได้โดยการคูณสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ปลูก ($K_c$) กับการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ($ET_p$) ของพื้นที่เพาะปลูกในช่วงนั้น สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชนั้นได้มีผู้ทดลองวัดไว้มากมายซึ่งสามารถนำมาใช้ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงสถานที่ที่ทำการทดลองวัด ทั้งนี้เพราะว่าค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืชเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม สำหรับพืชชนิดเดียวกันก็ยังอาจมีอายุการปลูกแตกต่างกันได้ เช่น ข้าวก็ยังมีข้าวเบา ข้าวกลาง และข้าวหนักซึ่งมีอายุการปลูกประมาณ 120, 150 และ 180 วัน เป็นต้น ดังนั้น ถ้าจะบอกค่า $K_c$ ตามอายุก็จะต้องมีของทุกพันธุ์พืช เช่น ค่า$K_c$ ของข้าวก็จะต้องมีสามขนาดอายุ เป็นต้น เพื่อให้สะดวกต่อการนำไปใช้งานสำหรับทุก ๆ พันธุ์พืช ค่า $K_c$ จึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกนับจากเริ่มปลูกจนถึงคลุมดินเต็มที่ (Effective Cover)ซึ่งมีอายุแตกต่างกันได้มาก แต่ก็ให้ถือว่าเวลาในช่วงนี้ทั้งหมดเป็น 100 เปอร์เซนต์ ช่วงหลังนับเป็นจำนวนวันหลังจากพืชคลุมดินเต็มที่จนถึงเก็บเกี่ยว ในช่วงหลังนี้พืชแต่ละพันธุ์จะมีอายุไม่แตกต่างกันมากนัก โดยวิธีนี้ปัญหาเรื่องอายุการปลูกไม่เท่ากันก็จะหมดไป กราฟแสดงค่า $K_c$ ของพืชชนิดเดียวกันก็จะมีเพียงเส้นเดียวดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.8 และ 5.9 ขอให้สังเกตว่าการแบ่งเสกลบนแกนราบถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงตามที่ได้อธิบายไว้ในข้างต้นแล้ว ค่าของ $K_c$ อาจแสดงไว้เป็นตัวเลขได้เช่นกันดังตารางที่ 5.1

ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงโตคลุมดินเต็มที่สำหรับพืชไร่บางชนิดของไทยซึ่งได้รับการรับรองพันธุ์จากกรมวิชาการเกษตรแล้วแสดงไว้ในตารางที่ 5.2




รูปที่ 5.8 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของข้าวฟ่าง และ ฝ้าย เมื่อเทียบกับ $ET_p$ ของหญ้า




รูปที่ 5.9 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของถั่ว และ ข้าวโพด เมื่อเทียบกับ $ET_p$ ของหญ้า

ตารางที่ 5.1 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชที่ระยะการเจริญเติบโตช่วงต่าง ๆ เมื่อเทียบกับ $ET_p$ ของหญ้า

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

| พืช | จำนวนวันนับจากคลุมดินเต็มที่ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| ธัญญพืช | 1.25 | 1.13 | 0.89 | 0.59 | 0.23 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| ถั่ว (ฝัก) | 1.22 | 1.15 | 1.02 | 0.88 | 0.71 | 0.54 | 0.37 | 0.23 | 0.12 | 0.12 |
| ถั่ว(เมล็ด) | 1.28 | 1.22 | 1.19 | 0.91 | 0.24 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| มันฝรั่ง | 1.08 | 1.02 | 0.90 | 0.72 | 0.46 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 | 0.12 |
| ข้าวโพด | 1.18 | 1.18 | 1.12 | 0.98 | 0.82 | 0.65 | 0.48 | 0.34 | 0.24 | 0.20 |
| ทุ่งหญ้า | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 |

ตารางที่ 5.2 ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงโคคลุมดินเต็มที่ (Effective Cover) และอายุเก็บเกี่ยวของพืชไร่ที่ได้การรับรองพันธุ์โดยกรมวิชาการเกษตร

| พืช | โตเต็มที่ วัน | เก็บเกี่ยว วัน | พืช | โตเต็มที่ วัน | เก็บเกี่ยว วัน |
|---|---|---|---|---|---|
| **ข้าวโพด** | | | **ถั่วลิสง** | | |
| สุวรรณ 1 | 55 | 105 | สุโขทัย 38 | 37 | 100 — 110 |
| ปากช่อง 1602 | 55 | 100 — 110 | ลำปาง | 37 | 100 — 110 |
| ฮาวายเอี้ยนชูการ์หวาน- | | | ไทนาน 9 | 41 | 110 — 120 |
| พิเศษ | 45 | 65 — 70 | | | |
| **ข้าวฟ่าง** | | | **ถั่วเหลือง** | | |
| เฮกการี่เบา | 55 | 85 — 100 | ส.จ. 1 | 35 | 91 |
| เฮกการี่หนัก | 65 | 100 — 120 | ส.จ. 2 | 40 | 95 |
| ไอเอส 8719 อี 173 | 70 | 120 | ส.จ. 4 | 37 | 90 |
| ทีเอสเอส 7 - 5 | 70 | 120 — 150 | ส.จ. 5 | 35 | 92 |
| **ถั่วเขียว** | | | **ฝ้าย** | | |
| อู่ทอง 1 | 35 | 65 — 70 | เดลต้าไพน์สมูทลีฟ | 45 | 105 — 155 |
| อู่ทอง 2 | 40 | 70 — 90 | รีบา บีทีเค 12 | 45 | 110 — 160 |
| | | | ศรีสำโรง 2 | 45 | 110 — 150 |
| | | | ดากฟ้า 1 | 45 | 105 — 155 |

## ตัวอย่างที่ 5.6

จงคำนวณหาความต้องการน้ำในเดือนต่าง ๆ ตลอดฤดูการปลูกของข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ 1 ซึ่งปลูกที่จังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้ค่า $ET_p$ ที่คำนวณได้โดยสูตรของ Penman จากตัวอย่างที่ 5.5 สมมุติว่าข้าวโพดมีระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงโตคลุมดินเต็มที่ (Effective Cover) 55 วัน เริ่มปลูกวันที่ 1พฤษภาคม เก็บเกี่ยววันที่ 15 สิงหาคม

## วิธีทำ

ข้าวโพดมีระยะเวลาตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงคลุมดินเต็มที่ 55วัน

### ช่วงจาก 1 – 31 พฤษภาคม ระยะเวลา 31 วัน

ระยะเวลานับจากเริ่มปลูกถึงกลางเดือน = 15.5 วัน

คิดเป็นเปอร์เซนต์ของ 55 วัน = $\frac{15.5 \times 100}{55}$ = 28.2 %

จากตารางที่ 5.1 ค่า $K_c$ = 0.34

$ET_p$ (จากตัวอย่างที่ 5.5) ของเดือนพ.ค. = 5.73 มม/วัน

ดังนั้น ความต้องการน้ำในเดือนนี้ = $31 \times 0.34 \times 5.73$

= **60.4 มม.**

### ช่วงจาก 1 ถึง 24 มิถุนายน (นับถึงวันคลุมดินเต็มที่ ) 24 วัน

ระยะเวลานับจากเริ่มปลูกถึงกึ่งกลางช่วง = $31+24/2$ = 43 วัน

คิดเป็นเปอร์เซนต์ของ 55 วัน = $\frac{43 \times 100}{55}$ = 78.2 %

จากตารางที่ 5.1 ค่า $K_c$ = 0.96

$ET_p$ (จากตัวอย่างที่ 5.5) เดือนมิ.ย. = 5.12 มม/วัน

ดังนั้น ความต้องการน้ำในช่วงนี้ = $24 \times 0.96 \times 5.12$

= **118 มม.**

### ช่วงจาก 25 – 30 มิถุนายน (จากคลุมดินเต็มที่ถึงสิ้นเดือน) ระยะเวลา 6 วัน

ระยะเวลาจากคลุมดินเต็มที่ถึงกึ่งกลางช่วง = 3 วัน

จากตารางที่ 5.1 ค่า $K_c$ = 1.16

$ET_p$ของเดือนมิถุนายน = 5.12 มม/วัน

ดังนั้น ความต้องการน้ำในช่วงนี้ = $3 \times 1.16 \times 5.12$

= **17.8 มม.**

รวมความต้องการน้ำในเดือนมิถุนายน = 118+17.8

= **135.8 มม.**

**ช่วงจาก 1 – 31 กรกฎาคม** ระยะเวลา 31 วัน

ระยะเวลาจากคลุมดินเต็มที่ถึงกึ่งกลางช่วง = 6+31/2 = 21.5 วัน

จากตารางที่ 5.1 ค่า $K_c$ = 1.17

$ET_p$ ของเดือนกรกฎาคม = 4.83 มม/วัน

ดังนั้น ความต้องการน้ำในเดือนนี้ = 31 × 1.17 × 4.83

= **175.2 มม.**

**ช่วงจาก 1 – 15 สิงหาคม** (นับถึงวันเก็บเกี่ยว) ระยะเวลา 15 วัน

ระยะเวลาจากคลุมดินเต็มที่ถึงกึ่งกลางช่วง = 6+31+15/2 = 44.5 วัน

จากตารางที่ 5.1 ค่า $K_c$ = 0.91

$ET_p$ ของเดือนสิงหาคม = 4.50 มม/วัน

ดังนั้น ความต้องการน้ำในช่วงนี้ = 15 × 0.91 × 4.50

= **61.4 มม.**

**ความต้องการน้ำตลอดฤดูการปลูกข้าวโพด** = 60.4+135.8+175.2+61.4

= **432.8 มม.**

## ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริง

ในการคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชโดยการเทียบจากการใช้น้ำของพืชที่อ้างอิง ($ET_p$) หรืออัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยนั้น เราถือว่าพืชมีน้ำใช้อย่างพอเพียงกับความต้องการตลอดเวลา แต่ตามความเป็นจริงแล้วในขณะที่ความชื้นของดินในเขตรากลดลง แรงดึงความชื้นของดินจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รากพืชก็จะต้องออกแรงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อให้ได้น้ำมาชดเชยกับที่ต้องคายออกทางใบ เมื่ออัตราที่รากพืชดูดได้น้อยกว่าที่ต้องการเนื่องจากไม่สามารถเพิ่มแรงดึงขึ้นได้อีก การระเหยและคายน้ำนั้นก็จะลดลงต่ำกว่าอัตราการใช้น้ำสูงสุดที่ควรจะเกิดขึ้น (Potential Rate)

จะเห็นได้ว่าในขบวนการลำเลียงน้ำจากดินมาสู่ใบพืชเพื่อการคายน้ำนั้น มีตัวการที่สำคัญสามอย่างเป็นตัวควบคุม คือ คุณสมบัติของดิน พืช และพลังงานที่ก่อให้เกิดการระเหยและคายน้ำที่ใบและลำต้น คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับขบวนการดังกล่าวก็คือ ลักษณะการอุ้มน้ำและความเข้มข้นของสารละลายที่มีอยู่ในดินซึ่งมีผลโดยตรงต่อความยากง่ายของรากพืชที่จะดูดน้ำจากดินไปใช้ เนื่องจากว่าความชื้นที่พืชได้รับส่วนใหญ่เกิดจากการเคลื่อนตัวของน้ำในดินไปหารากพืช ดังนั้น ระยะทางที่น้ำเคลื่อนตัวยิ่งน้อยเท่าใดพืชก็ยิ่งจะได้รับความชื้นเร็วขึ้นเท่านั้น ระยะทางดังกล่าวนี้เป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาแน่นของราก พืชที่มีรากหนาแน่นและลึกจึงมีการใช้น้ำที่อัตราสูงสุด (Potential rate) ได้นานกว่าพืชที่มีรากตื้นและไม่หนาแน่น สำหรับพลังงานที่มีผลต่อการระเหยและคายน้ำที่ใบและลำต้นนั้นจะเป็นตัวควบคุมปริมาณที่ใบต้องคายน้ำ ถ้าพลังงานดังกล่าวมีไม่มาก

พืชก็อาจจะคายน้ำที่อัตราสูงสุดจนความชื้นในดินลดลงใกล้จุดเหี่ยวเฉาถาวร ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากมีพลังงานสำหรับคายน้ำอยู่มาก พืชก็อาจจะดูดน้ำไปให้ไม่ทันถึงแม้ว่าจะมีรากหนาแน่นและดินมีคุณสมบัติดีก็ตาม ในกรณีดังกล่าวการคายน้ำก็อาจจะลดลงต่ำกว่าอัตราสูงสุดได้ทั้ง ๆ ที่ดินยังมีความชื้นอยู่มาก

การคำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของพืชให้ถูกต้องนั้น จำเป็นจะต้องเอาคุณสมบัติของดิน พืชและสภาพภูมิอากาศมาพิจารณาร่วมกับจำนวนความชื้นที่มีอยู่ในเขตราก แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริงอาจจะประมาณได้โดยใช้สูตร

$$ET_a = K_c.K_s.ET_p \qquad \text{.....(5.24)}$$

$ET_a$ = ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่แท้จริง

$ET_p$ = การใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration)

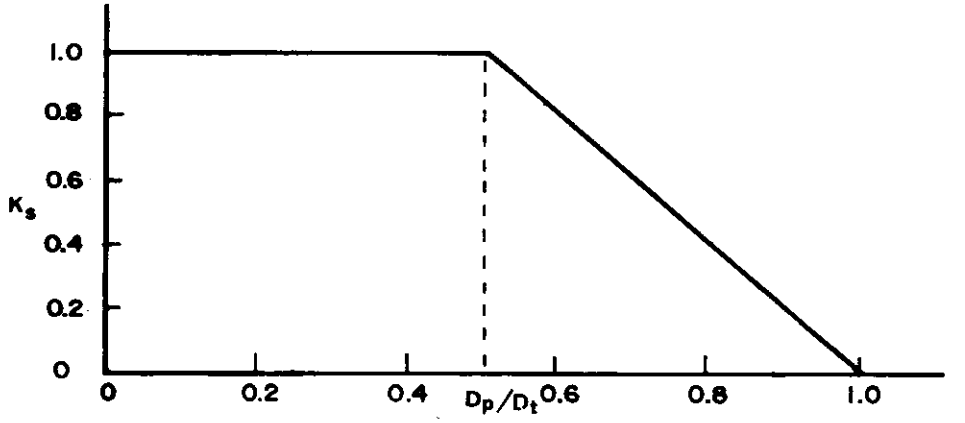
$K_c$ = สัมประสิทธิ์การใช้น้ำ (Crop coefficient) สำหรับพืชที่ต้องการทราบปริมาณการใช้น้ำ(เช่นในรูปที่ 5.8 และ 5.9 หรือตารางที่ 5.1)

$K_s$ = สัมประสิทธิ์ที่ปรับแก้ปริมาณการใช้น้ำเนื่องจากจำนวนความชื้นในเขตรากลดลง (Soil Moisture Stress Coefficient) มีค่าไม่เกิน 1.0

$$K_s = 2.0 \left[\frac{D_t - D_p}{D_t}\right] \; ; \leq 1.0 \qquad \text{.....(5.25)}$$

$D_t$ = จำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ทั้งหมดในเขตราก

$D_p$ = จำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ขาดหายไปจากเขตราก




**รูปที่ 5.10 สัมประสิทธิ์ปรับแก้ปริมาณการใช้น้ำเนื่องจากความชื้นในเขตรากลดลง (SOIL MOISTURE STRESS COEFFICIENT)**

# การเทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืชจากถาดวัดการระเหย

เครื่องมือที่ใช้วัดการระเหยอาจแบ่งออกได้สองแบบด้วยกันคือ แบบที่เป็นถาดบรรจุน้ำหรือที่เรียกว่าถาดวัดการระเหย(Evaporation pan) ซึ่งยอมให้น้ำระเหยจากผิวน้ำได้โดยตรง และแบบซึ่งให้น้ำระเหยจากผิววัตถุพรุนซึ่งเปียกน้ำ ถึงแม้ว่าการระเหยของน้ำจะไม่เหมือนกับการคายน้ำของพืช แต่ขบวนการของทั้งสองอย่างนี้คล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ เป็นการแพร่กระจายของไอน้ำสู่บรรยากาศ แต่การคายน้ำจะถูกควบคุมโดยการปิดเปิดของรูใบในขณะที่การระเหยจากผิวน้ำไม่มีอะไรควบคุมเลย

เนื่องจากว่าสภาพของภูมิอากาศทุกอย่าง เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วของลม ฯลฯ ที่มีผลต่อการคายน้ำก็มีผลต่อการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหยด้วยเช่นกัน ดังนั้น ถาดวัดการระเหยที่ได้รับการติดตั้งอย่างถูกต้องจึงมักใช้เทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในระยะเวลาสั้น ๆ ได้ละเอียดถูกต้องดีกว่าสูตรเอมไพริกอล ที่ใช้ข้อมูลภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวหรือสองสามอย่าง เช่นสูตรของ Thornthwaite หรือ Blaney - Criddle เป็นต้น นอกจากนั้นถาดวัดการระเหยยังใช้ง่ายและราคาถูกด้วย

## การติดตั้งถาดวัดการระเหย

อัตราการระเหยจากถาดวัดการระเหยนั้นขึ้นอยู่กับขนาด สี วัสดุที่ใช้ทำถาด ความลึกของน้ำในถาดและองค์ประกอบอื่น ๆ อีกหลายอย่าง อัตราการระเหยจากถาดที่มีขนาดใหญ่จะน้อยกว่าอัตราการระเหยจากถาดขนาดเล็กถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศต่ำ แต่ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้น ความแตกต่างระหว่างอัตราการระเหยจากถาดที่มีขนาดไม่เท่ากันจะลดลง ความแตกต่างดังกล่าวนี้ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากการพัดผ่านของมวลอากาศที่แห้งและร้อน ดังนั้น ในบริเวณรอบ ๆ ถาดวัดการระเหยจึงควรมีพืชปลูกอยู่ทางด้านเหนือลมเป็นระยะห่างพอสมควร เพื่อควบคุมให้บรรยากาศรอบ ๆ ถาดวัดการระเหยนั้นมีสภาพคล้ายคลึงกับพื้นที่เพาะปลูก กล่าวคือ ความชื้นสัมพัทธ์ค่อนข้างสูงอยู่เสมอ

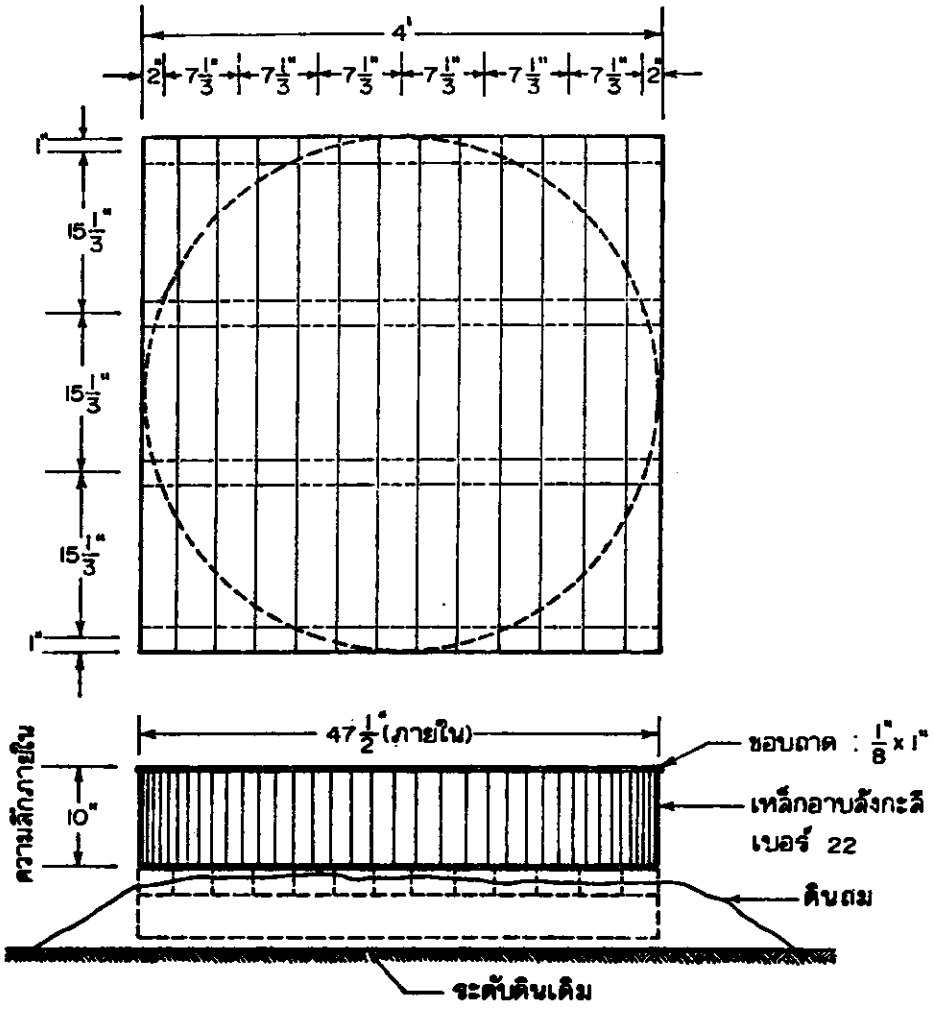
เนื่องจากว่า วัสดุที่มีสีดำจะดูดเอาพลังงานความร้อนไว้ได้มากกว่าวัสดุที่มีสีอ่อน ดังนั้นการระเหยจากถาดที่มีสีดำจะมากกว่าการระเหยจากถาดขนาดเดียวกันแต่มีสีขาว เช่น การระเหยจากถาดที่ทำด้วยทองแดงจะมากกว่าถาดที่ทำด้วยอลูมิเนียม เป็นต้น

ระดับน้ำในถาดก็มีผลต่อการระเหยเหมือนกัน ถาดที่มีระดับน้ำอยู่ต่ำกว่าขอบถาดมากจะมีการระเหยมากกว่าถาดขนาดเดียวกันแต่มีระดับน้ำสูงกว่า ทั้งนี้เพราะผิวน้ำของถาดที่มีระดับน้ำต่ำจะได้รับความกระทบกระเทือนจากความปั่นป่วนของลมที่พัดผ่านมากกว่า นอกจากนั้นขอบถาดยังมีอุณหภูมิสูงเนื่องจากมีผิวที่สัมผัสกับแสงแดดและบรรยากาศมากกว่าด้วย อุณหภูมิของน้ำในถาดที่มีน้ำตื้นจึงสูงกว่าในถาดที่มีน้ำลึก ซึ่งเป็นผลให้การระเหยในถาดที่มีน้ำตื้นสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในถาดนั้นจะมีผลต่ออัตราการระเหยของถาดที่วางอยู่บนดิน หรืออยู่เหนือผิวดินมากกว่าถาดที่ฝังไว้ในดิน

ถาดวัดการระเหยบางครั้งจะฝังไว้ในดินโดยให้ขอบของถาดสูงกว่าระดับผิวดิน 7.5 ถึง 10 เซนติเมตร ความสูงของถาดเหนือพื้นดินจะมีผลต่ออัตราการระเหยจากถาดเหมือนกัน ถาดที่วางไว้บนผิวดินหรือยกให้สูง

กว่าระดับผิวดินจะมีอัตราการระเหยสูงกว่าถาดที่ฝังไว้ในดิน ถ้าหากถาดวัดการระเหยติดตั้งอยู่ในแปลงเพาะปลูกซึ่งมีพืชปลูกอยู่เต็ม ถาดที่ยกให้อยู่ในระดับความสูงของพืชโดยเฉลี่ยจะให้ผลดีกว่าถาดที่ฝังไว้ในดิน

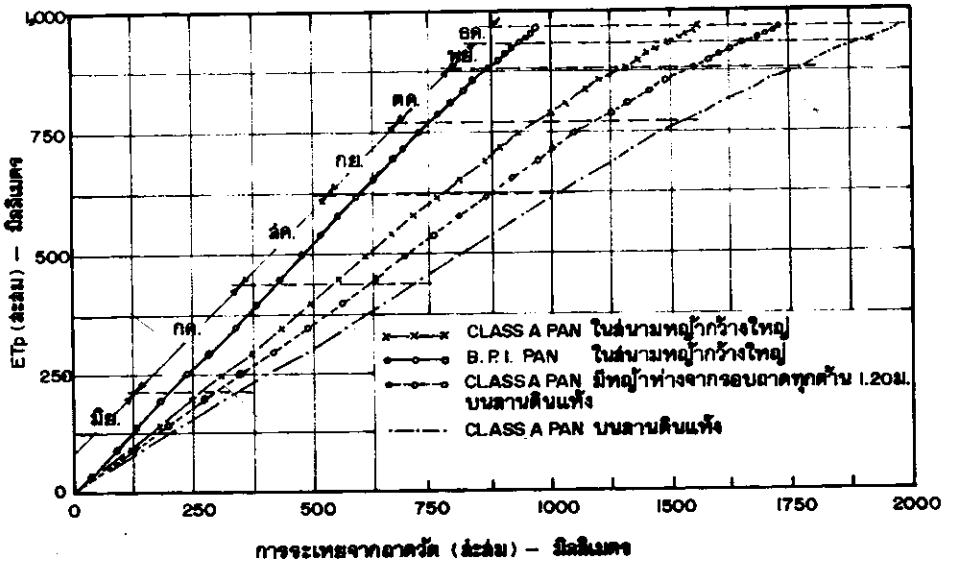
ถาดวัดการระเหยที่นิยมใช้กันทั่วไปและเป็นที่ยอมรับของ World Meteorological Organization ก็คือถาด U.S. Weather Bureau Class A หรือที่เรียกสั้น ๆ ว่า Class - A pan ถาดวัดการระเหยชนิดนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 120 เซนติเมตร (47.5 นิ้ว) ลึก 25 เซนติเมตร (10 นิ้ว) ทำด้วยเหล็กอาบสังกะสีหรือโลหะผสมที่ทนทานต่อการผุกร่อนถ้าหากน้ำในบริเวณนั้นมีความเป็นกรดหรือด่างสูง ถาดนี้จะวางอยู่บนแผงไม้บนเนินดิน โดยให้ก้นถาดอยู่เหนือจากระดับดินเดิมประมาณ 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.11




รูปที่ 5.11 การติดตั้ง U.S. WEATHER BUREAU CLASS A PAN.

พื้นที่บริเวณรอบ ๆ ถาดจะต้องราบเรียบและมีหญ้าขึ้นเต็ม ถ้าหากหญ้าขึ้นสูงก็จะต้องคอยตัดให้มันอยู่ต่ำกว่าระดับของถาดเสมอ หญ้าดังกล่าวนี้จะต้องได้รับการรดน้ำให้ชุ่มชื้นอยู่เป็นประจำ นอกจากนั้นจะต้องไม่มีอาคารหรือต้นไม้มาทำให้เกิดร่มเงา ทำให้เปลี่ยนทิศทางการพัดของลมไปยังถาด หรือทำให้เกิดการแผ่กระจายความร้อนไปยังถาดภายหลังจากที่อุณหภูมิของบรรยากาศเย็นลงแล้ว ถ้าหากจำเป็นจะต้องติดตั้งถาดวัดการระเหยในบริเวณใกล้เคียงกับอาคาร ถนน หรือต้นไม้สูง ควรจะตั้งอยู่ทางด้านเหนือลมที่พัดอยู่เป็นประจำ ระยะทางระหว่างถาดกับอาคารหรือต้นไม้ควรจะอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่าสี่เท่าของความสูงของอาคารหรือต้นไม้นั้น อาคารหรือต้นไม้จะต้องไม่ก่อให้เกิดร่มเงาแก่ถาดในเวลาใดเวลาหนึ่งยกเว้นตอนพระอาทิตย์ขึ้นหรือตก ระดับน้ำในถาดควรจะอยู่ต่ำกว่าขอบถาดประมาณ 5 เซนติเมตร (2 นิ้ว)และเติมให้อยู่ในระดับนี้เมื่อน้ำระเหยไปประมาณ 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว)

ในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์สูง ขนาดของพื้นที่ที่มีหญ้าขึ้นเต็มบริเวณรอบ ๆ ถาดอาจจะไม่มีผลต่ออัตราการระเหยจากถาดมากนัก แต่ในบริเวณที่มีอากาศแห้งแล้ง ถ้าพื้นที่ซึ่งมีหญ้าขึ้นอยู่มีขนาดเล็กหรือไม่มีพืชขึ้นอยู่เลยอัตราการระเหยจากถาดจะสูงมาก ดังนั้น ถ้าจะติดตั้งถาดวัดการระเหยในพื้นที่เพาะปลูก ถาดควรจะอยู่ทางใต้ลมและอยู่ห่างจากขอบของพื้นที่ที่มีพืชปลูกกับที่ไม่มีพืชขึ้นอยู่เป็นระยะทางไกลพอสมควร จากการทดลองในบริเวณที่มีอากาศแห้งแล้ง ถ้าจะให้การระเหยจากถาดวัดการระเหยไม่ได้รับความกระทบกระเทือนจากมวลอากาศที่แห้งแล้งและร้อนพัดผ่านแล้ว จะต้องติดตั้งถาดให้อยู่ห่างจากขอบของพื้นที่เพาะปลูกมาทางใต้ลมไม่น้อยกว่า 300 เมตร ผลกระทบจากสภาพแวดล้อมต่อการระเหยจากถาดชนิดต่าง ๆ อาจจะดูได้จากรูปที่ 5.12




**รูปที่ 5.12 เปรียบเทียบ การใช้น้ำสะสมของหญ้า RYEGRASS (ETp) กับการระเหยจากถาดวัดการระเหยที่ตั้งอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน**

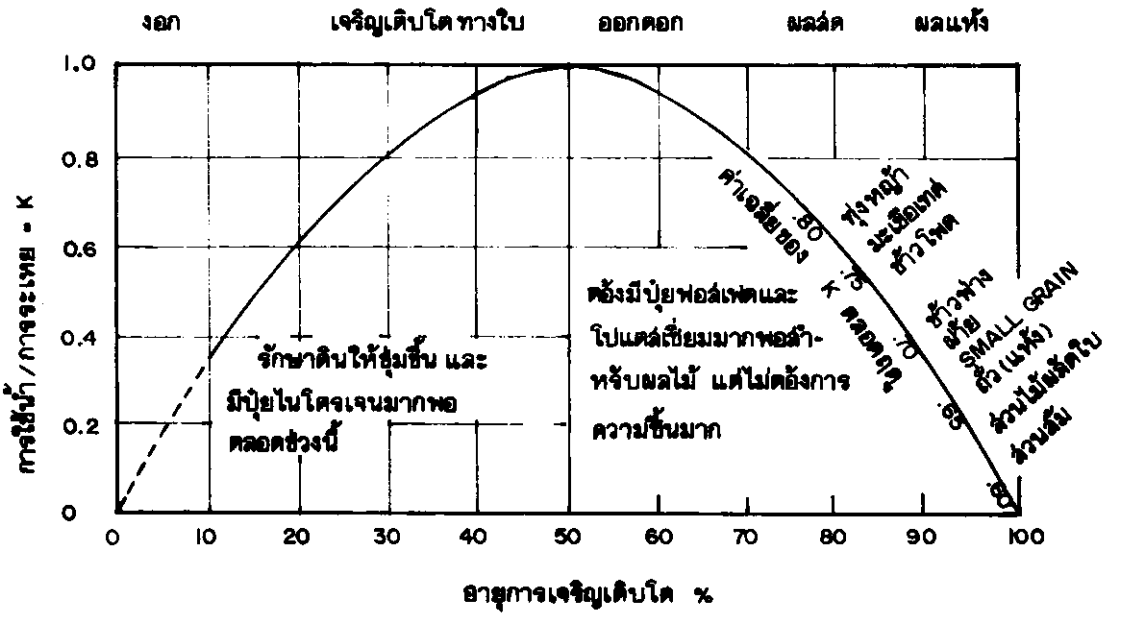
ถาดวัดการระเหยที่มีผู้นิยมใช้กันอีกแบบหนึ่งคือถาดของ Bureau of Plant Industry หรือที่เรียกกันว่า BPI - pan ถาดดังกล่าวนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ฟุต ลึก 2 ฟุต ฝังไว้ในดินโดยให้ขอบถาดอยู่เหนือผิวดิน 4 นิ้ว ระดับน้ำในถาดอยู่ต่ำกว่าขอบถาด 2 ถึง 4 นิ้ว

## การใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากถาดวัดการระเหย

การใช้น้ำของพืชเมื่อดินมีความชื้นมากพออยู่ตลอดเวลานั้น ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศรอบ ๆ ต้นพืช ชนิดของพืช และช่วงการเจริญเติบโต (Growth stages) โดยปกติแล้วพืชมีการใช้น้ำน้อยที่สุดเมื่อเริ่มเพาะปลูกและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งมากที่สุดเมื่อพืชเจริญเติบโตเต็มที่ และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อพืชออกผล ผลแก่และถึงเวลาเก็บเกี่ยว เราอาจจะแบ่งการเจริญเติบโตของพืชออกได้เป็น 3 ช่วงด้วยกันคือ **ช่วงผลิใบ** (Vegetative Stage) **ช่วงออกดอก** (Flowering Stage) และ **ช่วงออกผล** (Fruiting Stage) สำหรับช่วงการผลิใบยังแบ่งออกเป็นสองช่วงย่อยคือ เมื่อพืชยังอ่อนอยู่ และเมื่อพืชมีการแตกกิ่งก้านอย่างเต็มที่แล้ว ส่วนช่วงออกผลอาจแบ่งออกเป็น 2 ช่วงได้เช่นเดียวกันคือ ช่วงที่ผลหรือเมล็ดยังสดอยู่ (Wet Fruiting Stage) และช่วงที่เมล็ดหรือผลเริ่มแห้ง (Dry Fruiting Stage) ซึ่งพืชจะต้องการน้ำน้อยมาก พืชอาจจะถูกเก็บเกี่ยวที่ระยะการเจริญเติบโตช่วงใดช่วงหนึ่งก็ได้ พวกผักต่าง ๆ เช่น ผักกาดขาว ผักคะน้า กะหล่ำปลี หน่อไม้ฝรั่ง หญ้าเลี้ยงสัตว์ จะเก็บเกี่ยวในช่วงผลิใบ พวกดอกไม้ต่าง ๆ และพวกผักที่ใช้ดอกเป็นอาหาร เช่น กะหล่ำดอก จะเก็บเกี่ยวในช่วงออกดอก ส่วนพวกพืชที่ใช้ผลสดเป็นอาหาร เช่นมะเขือเทศ ข้าวโพดหวาน กล้วย ส้ม แตงโมฯลฯ จะเก็บเกี่ยวในช่วงผลสด (Wet Fruiting Stage) สำหรับพืชที่ต้องรอให้แห้งเสียก่อนจึงเก็บเกี่ยวก็มี ข้าว ฝ้าย ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ถั่วที่ใช้เมล็ดเป็นอาหาร เช่นถั่วเขียว ถั่วเหลือง หัวหอม มันเทศ ฯลฯ เก็บเกี่ยวในช่วงผลแห้ง (Dry Fruiting Stage)

การใช้น้ำในขณะที่พืชยังเล็กอยู่นั้นค่อนข้างน้อย อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำที่พืชใช้(Evapotranspiration) กับปริมาณที่ระเหยจากถาดวัดการระเหยจะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.5 ปริมาณน้ำที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่เนื่องมาจากการระเหยจากผิวดิน เมื่อพืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ กล่าวคือในระยะหลังของช่วงผลิใบและในช่วงออกดอกพืชจะมีการใช้น้ำเพิ่มขึ้น อัตราส่วนดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 0.75 ถึง 1.0 หรือบางครั้งอาจมากกว่า 1.0 ได้เล็กน้อย ทั้งนี้ยกเว้นพืชบางชนิด เช่นสับปะรด ซึ่งจะมีอัตราส่วนประมาณ 0.35 ทั้งนี้เพราะรูใบของสับปะรดจะปิดในตอนกลางวัน ในช่วงออกผลการใช้น้ำของพืชจะลดลงเพราะพืชจะมีการเจริญเติบโตน้อยลง แต่จะลดไม่มากนักในระยะที่ผลยังสดอยู่ กล่าวคือจะลดจากระยะที่พืชมีการเจริญเติบโตเต็มที่ประมาณ 10 ถึง 20 เปอร์เซนต์ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช แต่การใช้น้ำจะลดลงมากในระยะที่ผลสุกหรือแห้ง ลักษณะทั่ว ๆ ไปของอัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากถาดวัดจะดูได้จากรูปที่ 5.13

การที่จะหาปริมาณการใช้น้ำของพืชในระยะเวลาใดเวลาหนึ่งโดยอาศัยข้อมูลจากถาดวัดการระเหยนั้น จำเป็นจะต้องทราบอัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำของพืชกับการระเหยจากถาดวัดการระเหย อัตราส่วนดังกล่าวนี้บางครั้งเรียกว่า **สัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย (Pan Coefficient)** ค่าดังกล่าวสำหรับพืชบางชนิดอาจดูได้จากตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวนี้นอกจากจะขึ้นอยู่กับอายุของพืชที่ปลูกแล้วยังขึ้นอยู่กับชนิดของพืชและฤดู




**รูปที่ 5.13 อัตราส่วนระหว่างการใช้น้ำกับการระเหยตลอดอายุของพืช**

ตารางที่ 5.3 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคูณการระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ Class - A pan เพื่อให้ได้ปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ระยะการเจริญเติบโตต่าง ๆ

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

การเพาะปลูกด้วย พืชบางชนิดจะมีการใช้น้ำมากเพียงไม่กี่วัน พืชบางชนิดอาจมีระยะเวลาที่ใช้น้ำหนักนานเป็นเดือน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าได้มีผู้ศึกษาการใช้น้ำของพืชโดยการเทียบกับการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ($ET_p$) อยู่มาก ดังนั้นถ้าหากไม่สามารถหาสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหย (Pan Coefficient) ได้โดยตรงแล้ว ก็อาจจะแปลงการระเหยจากถาดวัดการระเหยให้เป็น $ET_p$ เสียก่อน โดยการคูณการระเหยจากถาดวัดการระเหยด้วยค่าสัมประสิทธิ์ค่าหนึ่ง สำหรับถาดวัดการระเหยแบบ Class - A สัมประสิทธิ์ดังกล่าวจะดูได้จากตารางที่ 5.4 จากนั้นหาปริมาณการใช้น้ำของพืชที่ต้องการโดยการคูณค่าที่ได้ด้วยสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient) ดังเช่นจากตารางที่ 5.1 สำหรับพืชที่ต้องการในภายหลัง

## ตัวอย่างที่ 5.7

จงแปลงค่าการระเหยจากถาดวัดแบบ Class - A ในเดือนเมษายนและกันยายนของจังหวัดนครสวรรค์ให้เป็น $ET_p$, สมมุติว่ารอบ ๆ ถาดมีหญ้าปลูกอยู่เป็นระยะทาง 10 เมตร

## วิธีทำ

จากสถิติภูมิอากาศของจังหวัดนครสวรรค์ในรูปที่ 5.7

### ก. เดือนเมษายน

| | |
|---|---|
| การระเหยจากถาดวัด | 237.3 มม. |
| ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย | 63 % |
| ความเร็วลมเฉลี่ย | 6.4 น็อต |
| | = 6.4 × 44.478 |
| | = 284.7 กม./วัน |

จากตารางที่ 5.4 เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ 63 เปอร์เซนต์ ความเร็วลมเฉลี่ย 284.7 กม./วัน และมีหญ้าปลูกรอบถาด 10 เมตร ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยจะมีค่าเท่ากับ 0.70

ดังนั้น $ET_p$ = 0.70 × 237.3 = 166 มม.

### ข.เดือนกันยายน

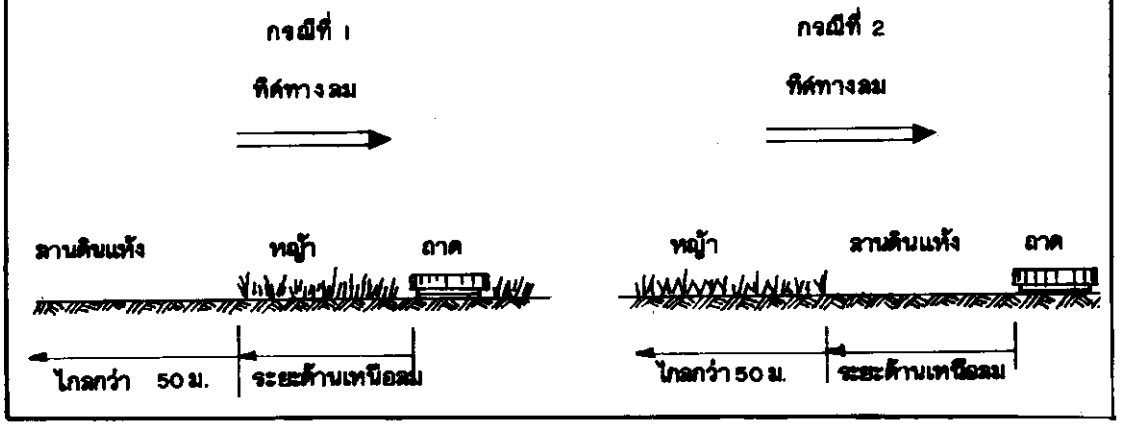
| | |
|---|---|
| การระเหยจากถาดวัด | 125.0 มม. |
| ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย | 82 % |
| ความเร็วลมเฉลี่ย | 3.4 น็อต |
| | = 3.4 × 44.478 |
| | = 151.2 กม./วัน |

จากตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดการระเหยสำหรับสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศข้างต้นจะมีค่าเท่ากับ 0.85

ดังนั้น $ET_p$ = 0.85 × 125.0 = 106 มม.

ตารางที่ 5.4 ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับคูณการระเหยจากถาดแบบ Class - A เพื่อให้เป็นการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration)

| ความเร็วลมเฉลี่ย กม/วัน | กรณีที่ 1 ถาดล้อมรอบด้วยพืช | | | | กรณีที่ 2 ถาดล้อมรอบด้วยที่ดินว่างเปล่า | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ระยะด้านเหนือลมที่ปลูกพืช เมตร | ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย - % | | | ระยะด้านเหนือลมที่ไม่ได้ปลูก เมตร | ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย - % | | |
| | | 20 - 40 | 40 - 70 | 70 | | 20 - 40 | 40 - 70 | 70 |
| ลมอ่อน <170 กม/วัน | 0 | .55 | .65 | .75 | 0 | .70 | .80 | .85 |
| | 0 | .65 | .75 | .85 | 10 | .60 | .70 | .80 |
| | 100 | .70 | .80 | .85 | 100 | .55 | .65 | .75 |
| | 1000 | .75 | .85 | .85 | 1000 | .50 | .60 | .70 |
| ลมอ่อนปานกลาง 170 – 425 กม/วัน | 0 | .50 | .60 | .65 | 0 | .65 | .75 | .80 |
| | 10 | .60 | .70 | .75 | 10 | .55 | .65 | .70 |
| | 100 | .65 | .75 | .80 | 100 | .50 | .60 | .65 |
| | 1000 | .70 | .80 | .80 | 1000 | .45 | .55 | .60 |
| ลมแรง 425 – 700 กม/วัน | 0 | .45 | .50 | .60 | 0 | .60 | .65 | .70 |
| | 10 | .55 | .60 | .65 | 10 | .50 | .55 | .65 |
| | 100 | .60 | .65 | .70 | 100 | .45 | .50 | .60 |
| | 1000 | .65 | .70 | .75 | 1000 | .40 | .45 | .55 |
| ลมแรงมาก >700 กม./วัน | 0 | .40 | .45 | .50 | 0 | .50 | .60 | .65 |
| | 10 | .45 | .55 | .60 | 10 | .45 | .50 | .55 |
| | 100 | .50 | .60 | .65 | 100 | .40 | .45 | .50 |
| | 1000 | .55 | .60 | .65 | 1000 | .35 | .40 | .45 |



## การเทียบหาปริมาณการใช้น้ำของพืช

ดังได้กล่าวแล้วว่า สภาพของภูมิอากาศทุกอย่าง เช่น รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมฯลฯ ซึ่งมีผลต่อการใช้น้ำของพืชก็มีผลต่อการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหยด้วยเช่นกัน ดังนั้นปริมาณการใช้น้ำของพืชอาจเทียบหาจากการระเหยจากถาดวัดได้โดย

$$ET = K_p.E_p \qquad \text{.....(5.26)}$$

ในเมื่อ ET เป็นปริมาณการใช้น้ำของพืช $K_p$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ถาดวัดการระเหยและ $E_p$ เป็นการระเหยจากถาดวัดการระเหย

สำหรับถาดวัดการระเหยแบบ Class - A ค่าสัมประสิทธิ์ของถาดวัดอาจดูได้จากตารางที่ 5.3 ส่วนปริมาณการระเหยจากถาดนั้นอาจดูได้จากสถิติภูมิอากาศของประเทศไทย ของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้รวบรวมสถิติการระเหยจากถาดวัดแบบ Class - A ไว้ด้วยเช่นกัน

เนื่องจากว่าอายุการเพาะปลูกของพืชนั้น สั้น - ยาวไม่เท่ากัน เพื่อความสะดวกในการใช้งาน ตารางที่ 5.3 จึงกำหนดให้ช่วงอายุการเพาะปลูกจากเริ่มปลูกถึงเก็บเกี่ยวเป็น 100 เปอร์เซนต์ การจะหาค่าสัมประสิทธิ์ของถาดในช่วงอายุการปลูกช่วงใดช่วงหนึ่งก็ให้คำนวณหาเปอร์เซ่นต์ของอายุพืชก่อน โดยการนับจำนวนวันจากเริ่มปลูกจนถึงกึ่งกลางช่วงที่ต้องการ หารด้วยอายุการปลูกทั้งหมดแล้วคูณด้วย 100 จากนั้นจึงเอาเปอร์เซนต์อายุที่ได้นี้ไปหาค่า $K_p$ จากตารางที่ 5.3

## ตัวอย่างที่ 5.8

จงหาปริมาณการใช้น้ำของข้าวในเดือนต่าง ๆ ซึ่งปลูกที่จังหวัดนครสวรรค์ โดยการคำนวณเทียบกับการระเหยจากถาดวัดการระเหย สมมุติว่าข้าวมีอายุการปลูก 5 เดือน เริ่มปลูกวันที่ 1 มิถุนายน เก็บเกี่ยว 31 ตุลาคม

## วิธีทำ

จากสถิติภูมิอากาศของจังหวัดนครสวรรค์ การระเหยจากถาดวัดการระเหยแบบ Class - A ในเดือนที่ปลูกข้าวมีดังนี้คือ มิถุนายน 172.5 มม. กรกฎาคม 165.3 มม. สิงหาคม 149.5 มม. กันยายน 125.0 มม. ตุลาคม 131.0 มม.

| ช่วงการปลูก เดือน | % อายุนับถึงกึ่งกลางช่วง | $K_p$. | $E_p$ ของช่วงการปลูก - มม. | $K_p.E_p$ มม. |
|---|---|---|---|---|
| มิ.ย. | 10 | 0.95 | 172.5 | 164 |
| ก.ค. | 30 | 1.15 | 165.3 | 190 |
| ส.ค. | 50 | 1.30 | 149.5 | 194 |
| ก.ย. | 70 | 1.20 | 125.0 | 150 |
| ต.ค. | 90 | 0.90 | 131.0 | 118 |
| | | | รวม | 816 |

ดังนั้นตลอดฤดูข้าวใช้น้ำเท่ากับ 816 มิลลิเมตร

ขอให้สังเกตว่าข้าวอายุ 5 เดือนนับเป็น 100 เปอร์เซนต์ หรือเฉลี่ยประมาณเดือนละ 20 เปอร์เซนต์ ดังนั้น เปอร์เซนต์อายุนับถึงกลางเดือนมิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม ฯลฯ จึงมีค่าเท่ากับ 10, 30, 50.....ตามลำดับ จากนั้นจึงเอาค่าเปอร์เซนต์อายุที่ได้นี้ไปหาค่า $K_p$ จากตารางที่ 5.3

# บทที่ 6
# วิธีการให้น้ำแก่พืช

การชลประทาน หรือการให้น้ำแก่พืชนั้นอาจทำได้หลายวิธี การที่จะเลือกใช้วิธีหนึ่งวิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ คุณสมบัติของดิน ลักษณะของพื้นที่ที่ได้เตรียมไว้ พืชที่ปลูก วิธีการเพาะปลูก เงินค่าลงทุน ตลอดจนน้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช วิธีการให้น้ำนั้นมักจะเรียกตามลักษณะอาการที่ให้น้ำแก่พืชซึ่งอาจแบ่งออกเป็น 4 แบบใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ

1) การให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation)

2) การให้น้ำทางผิวดิน (Surface Irrigation)

3) การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (Subsurface Irrigation)

4) การให้น้ำแบบหยด (Drip or Trickle Irrigation)

แต่ละแบบที่กล่าวต่างก็มีทั้งข้อดีและข้อเสียต่าง ๆ กัน อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่เพาะปลูกแปลงหนึ่ง ๆ อาจจะเลือกให้น้ำได้หลายแบบ แต่โดยปกติแล้วกสิกรมักจะเลือกใช้แบบที่ตนเคยใช้มาหรือมีใช้อยู่ในแถบนั้น ทั้ง ๆ ที่บางครั้งวิธีที่ใช้อยู่นั้นไม่เหมาะสมกับสภาพของพื้นที่และพืชที่ปลูก หรือมีประสิทธิภาพต่ำมากก็ตาม การที่จะเลือกใช้หรือแนะนำให้กสิกรเลือกใช้วิธีใดนั้นควรจะต้องคำนึงถึงค่าลงทุน ค่าแรง และความรู้ความชำนาญของผู้ใช้ด้วย

## การให้น้ำแบบฉีดฝอย
## (Sprinkler Irrigation)

สำหรับการให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้จะทำโดยฉีดน้ำจากหัวฉีดขึ้นไปบนอากาศแล้วให้เมล็ดน้ำตกลงมาบนพื้นที่เพาะปลูก โดยมีรูปทรงการแผ่กระจายของเมล็ดน้ำสม่ำเสมอ และอัตราที่น้ำตกลงบนพื้นที่น้อยกว่าอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน เนื่องจากการให้น้ำโดยวิธีนี้มีลักษณะอาการเช่นเดียวกับฝน ดังนั้น บางครั้งจึงเรียกการให้น้ำแบบนี้ว่าการให้น้ำแบบฝนโปรย

## การเลือกใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอย

โดยแท้จริงแล้วการให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้สามารถจะใช้ได้กับพืชและดินทุกชนิด แต่เนื่องจากว่าค่าลงทุนสูงมาก จึงมักเลือกใช้วิธีนี้เมื่อวิธีอื่น ๆ ไม่สามารถจะใช้ได้ หรือใช้ได้แต่ให้ประสิทธิภาพต่ำมาก สรุปได้ว่าการชลประทานแบบฉีดฝอยจะเหมาะสมกว่าแบบอื่น เมื่อสภาพของพื้นที่ ดิน และองค์ประกอบอื่น ๆ มีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1) ดินมีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินสูงมาก กล่าวคือสูงกว่า 75 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะทำให้การให้น้ำแบบอื่นมีประสิทธิภาพต่ำ

2) ความลึกของชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตื้นมาก และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ไม่เหมาะที่จะทำการปรับพื้นที่เพื่อให้น้ำทางผิวดิน

3) พื้นที่มีความลาดเทชันมาก และดินถูกกัดพาได้ง่าย

4) อัตราการส่งน้ำจากโครงการชลประทานมายังพื้นที่เพาะปลูก หรือน้ำจากแหล่งอื่นที่หาได้น้อยเกินไปที่จะให้น้ำทางผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) พื้นที่เป็นคลื่น ซึ่งถ้าจะทำการปรับพื้นที่เพื่อการให้น้ำทางผิวดินแล้วต้องลงทุนสูงมาก

6) ผู้ให้น้ำไม่มีความรู้ความชำนาญทางด้านการให้น้ำทางผิวดิน

7) ต้องการใช้พื้นที่ให้เกิดผลผลิตโดยเร็ว การให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้สามารถออกแบบและติดตั้งได้รวดเร็วมาก

การให้น้ำแบบฉีดฝอยนอกจากจะเหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ คุณสมบัติของดินฯลฯ ดังกล่าวแล้ว ยังมีข้อดีอีกหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการชลประทานแบบผิวดิน คือ

1) การวัดน้ำทำได้ง่ายและสะดวกกว่า

2) สามารถที่จะออกแบบระบบให้น้ำให้มีความกระทบกระเทือนต่อการปฏิบัติงานในพื้นที่เพาะปลูกได้น้อยกว่า เช่นไม่มีคู คลองส่งน้ำมากีดขวางการปฏิบัติงานของเครื่องจักรกลเกษตร นอกจากนั้นยังไม่ต้องเสียพื้นที่สำหรับคูหรือคลองส่งน้ำอีกด้วย

3) มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

4) ในกรณีที่ต้องสูบน้ำขึ้นมาจากคลองส่งน้ำหรือบ่อน้ำบาดาลอยู่แล้ว การใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอยจะไม่ต้องลงทุนเพื่อเพิ่มความดันของน้ำที่หัวฉีดอีกมาก

5) ถ้าหากมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำแห่งเดียวกันเพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่นด้วย เช่นใช้เลี้ยงสัตว์หรือใช้ในบ้าน ก็อาจจะใช้ท่อส่งน้ำร่วมกันได้

6) ถ้าหากสามารถส่งน้ำซึ่งมีแรงดันสูงพอไปยังพื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกได้ด้วยแล้ว การให้น้ำวิธีนี้ก็จะยิ่งน่าใช้มากขึ้น เพราะจะสามารถลดค่าเชื้อเพลิงลงได้มาก

7) การให้น้ำแบบฉีดฝอยสามารถให้น้ำครั้งละน้อย ๆ และบ่อยครั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เหมาะสมกับพืชที่มีรากตื้น เช่น พืชที่เริ่มงอก หรือพวกผักต่าง ๆ ซึ่งมีรากตื้นและต้องการให้ดินมีความชุ่มชื้นสูงอยู่เสมอ

8) ระบบให้น้ำแบบนี้อาจจะใช้ให้ปุ๋ยและสารเคมีแก่พืชในขณะเดียวกันกับให้น้ำได้ด้วย

9) ในภูมิประเทศที่มีอากาศหนาวจัด ระบบให้น้ำแบบฉีดฝอยอาจจะใช้ป้องกันความเสียหายจากการแข็งตัวของพืชเมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ด้วย

สำหรับข้อเสียของการให้น้ำแบบฉีดฝอยก็มี

1) ค่าลงทุนครั้งแรกสูงมาก นอกจากนั้นยังจะต้องเสียค่าเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการให้น้ำทุกครั้ง และยังมีอุปกรณ์ซึ่งต้องบำรุงรักษาอยู่เป็นประจำอีกด้วย

2) การเคลื่อนย้ายท่อและอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้ในพื้นที่อื่นหลังจากที่ให้น้ำแก่พืชเสร็จแล้วอาจจะทำได้ไม่สะดวก เพราะดินจะเปียกและเป็นโคลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นพวกดินเหนียว

3) การให้น้ำแก่พืชโดยให้เมล็ดน้ำตกลงบนผิวดินอย่างทั่วถึงกันนั้น อาจทำให้เมล็ดของวัชชพืชต่าง ๆ งอกงาม และจะต้องมีการกำจัดวัชชพืชมากขึ้น

4) เมล็ดน้ำที่ตกลงมาบนต้นและใบพืชจะชะล้างยาฆ่าเชื้อราและยาฆ่าแมลงที่ฉีดไว้ออกไปด้วย ดังนั้นการฉีดยาเหล่านี้จะต้องทำภายหลังจากการให้น้ำแล้ว

5) เนื่องจากว่าน้ำจะเปียกผิวดิน ตลอดจนกิ่ง ใบ และลำต้นของพืชจนทั่ว ดังนั้นการให้น้ำแบบนี้จะมีการสูญเสียน้ำไปโดยการระเหยมากกว่าแบบอื่น ๆ

6) การแผ่กระจายของเมล็ดน้ำที่ตกลงบนผิวดินจะไม่สม่ำเสมอถ้าหากมีลมพัดแรง ทำให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำลดลง อาจจะต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษถ้าจะเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบนี้ในเขตที่มีลมพัดแรงเป็นประจำ

7) ในกรณีที่มีความจำเป็นจะต้องให้น้ำแก่พื้นที่ทั้งหมดในระยะเวลาอันสั้น เช่น ขณะที่ต้นพืชยังเล็กอยู่และอากาศร้อนจัดซึ่งจะต้องให้น้ำบ่อยครั้ง สภาพดังกล่าวนี้อาจจะเคลื่อนย้ายอุปกรณ์และให้น้ำไม่ทันกับความต้องการ แต่ถ้าหากมีน้ำมากพออยู่แล้ว การให้น้ำทางผิวดินจะสามารถให้น้ำในระยะเวลาอันสั้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่า

## อุปกรณ์ให้น้ำแบบฉีดฝอย

ระบบให้น้ำแบบฉีดฝอยประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญสี่อย่างด้วยกันคือ เครื่องสูบน้ำ ท่อประธาน (Mainline Pipe)ท่อแยก (Lateral Pipe) และหัวจ่ายน้ำ (Sprinkler) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.1

**1) เครื่องสูบน้ำ (Pumping Unit)** ทำหน้าที่สูบน้ำจากแหล่งน้ำและเพิ่มความดันให้กับหัวจ่ายน้ำ(Sprinkler) เครื่องสูบน้ำอาจจะขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ก็ได้

**2) ท่อประธาน (Mainline Pipe Unit)**ทำหน้าที่ส่งน้ำจากเครื่องสูบน้ำไปสู่ท่อแยก(Laterals) ท่อประธานนี้อาจจะเป็นท่ออ่อน (Flexible) ท่อโลหะที่ถอดออกได้เป็นท่อน ๆ หรือเป็นท่อที่ต่อติดอยู่กับที่ก็ได้

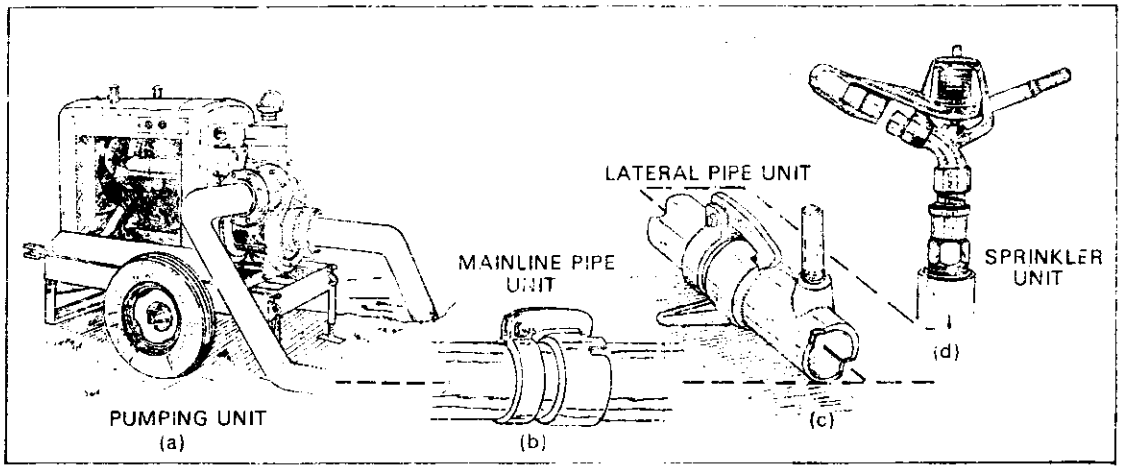
**3) ท่อแยก (Lateral Pipe Unit)** ทำหน้าที่ส่งน้ำจากท่อประธานให้กับหัวจ่ายน้ำ(Sprinkler) ท่อแยกนี้มีสามแบบเช่นเดียวกันกับท่อประธาน แต่มีขนาดเล็กกว่าและมีอุปกรณ์สำหรับติดตั้งท่อตั้ง(Riser) เพื่อให้หัวฉีดจ่ายน้ำอยู่สูงกว่าระดับยอดของพืช

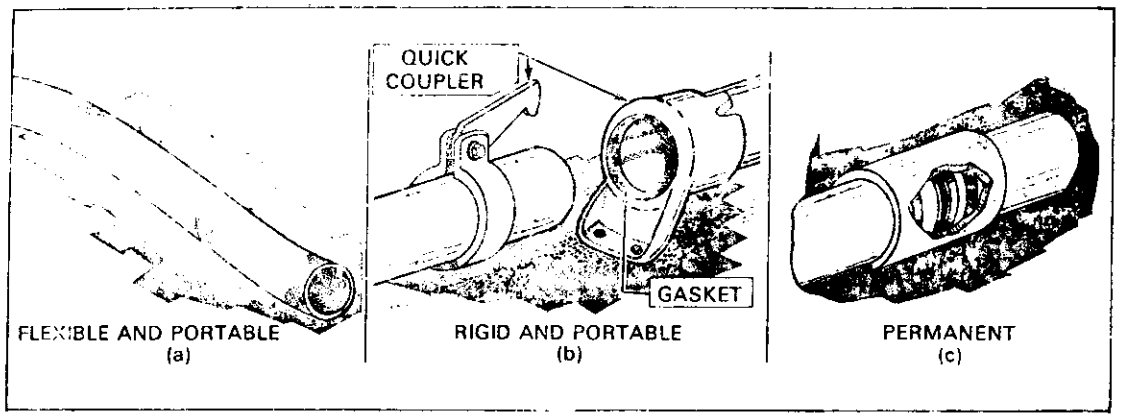
**4) หัวจ่ายน้ำ (Sprinkler Unit)** ทำหน้าที่จ่ายน้ำซึ่งมีสองแบบด้วยกันคือ แบบจ่ายน้ำโดยการหมุนหัวฉีดเป็นวงกลมในแนวราบ (Rotary Sprinkler) และแบบเป็นท่อซึ่งเจาะรูเล็ก ๆ ให้น้ำฉีดออกมาตลอดความยาวของท่อนั้น (Perforated Pipe) แต่แบบหลังนี้ไม่ค่อยได้รับความนิยมนัก เมื่อพูดถึงหัวจ่ายน้ำโดยทั่ว ๆ ไปจึงหมายถึงแบบแรกมากกว่า

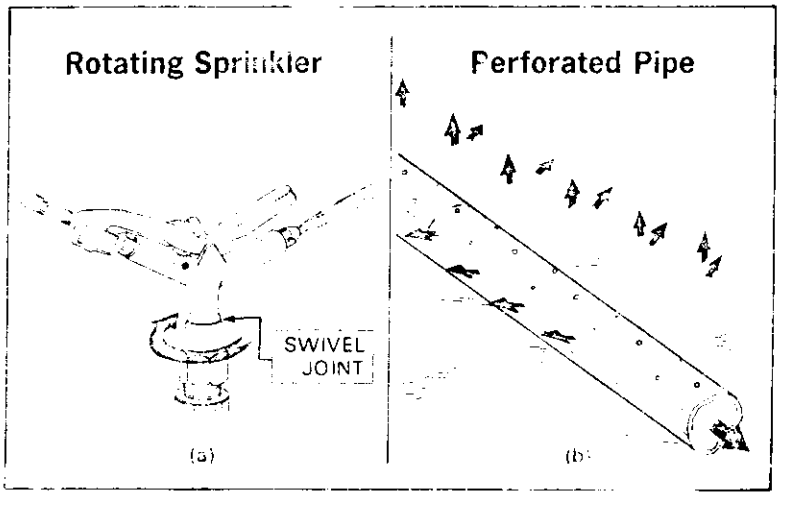
## ระบบให้น้ำแบบฉีดฝอย

ระบบให้น้ำแบบฉีดฝอยแบ่งออกได้เป็น 3 แบบด้วยกัน คือ

**1) แบบติดอยู่กับที่(Permanent Systems)** เป็นแบบที่อุปกรณ์ทุกอย่างติดอยู่กับที่เคลื่อนย้ายไม่ได้ โดยปกติแล้วท่อต่าง ๆ มักจะฝังอยู่ใต้ดิน หรือมิฉะนั้นก็จะยกสูงเหนือผิวดินเลย ระบบแบบนี้มักจะ




**รูปที่ 6.1 อุปกรณ์ของระบบให้น้ำแบบฉีดฝอย**

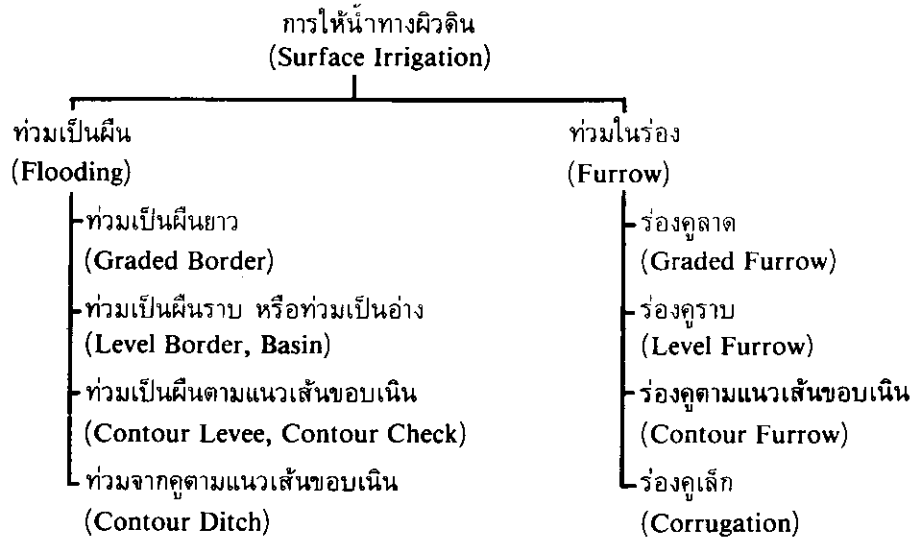
ใช้ในเรือนเพาะชำหรือใช้กับพืชที่ต้องให้น้ำบ่อย ๆ และให้ผลตอบแทนสูง เพราะค่าลงทุนจะสูงกว่าแบบอื่น ๆ แต่จะประหยัดค่าแรงในการให้น้ำได้มาก

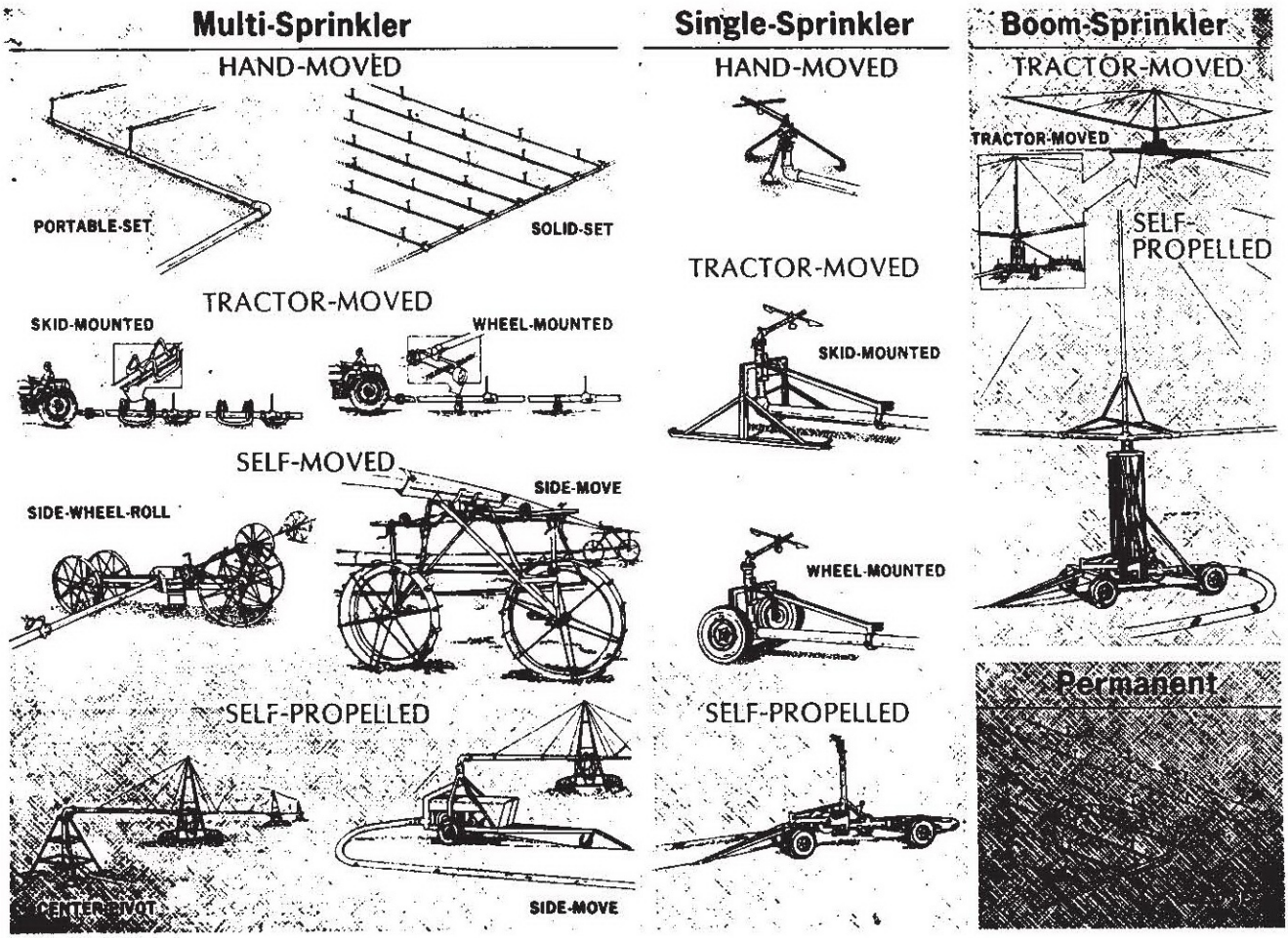
**2) แบบเคลื่อนย้ายได้เพียงบางส่วน (Semi - portable Systems)** แบบนี้อุปกรณ์บางอย่างจะติดอยู่กับที่บางอย่างสามารถเคลื่อนย้ายได้ โดยมากเครื่องสูบน้ำ ท่อประธาน (Main Line) และรองประธาน(Sub - main line)จะติดอยู่กับที่ ส่วนท่อแยก(Lateral) ซึ่งมีท่อตั้งและหัวจ่ายน้ำติดอยู่สามารถถอดออกเป็นท่อน ๆ ด้วยมือแล้วนำไปติดตั้งใหม่ที่อื่นได้ (Hand - moved) ท่อแยกบางชนิดได้รับการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อให้สามารถใช้รถแทรกเตอร์ลากไปติดตั้งที่ใหม่ (Tractor - moved) หรือเคลื่อนที่ทางด้านข้างด้วยตัวของมันเองโดยอาศัยแรงดันของน้ำหรือมอเตอร์ (Self - moved) หรือหมุนเป็นวงกลมรอบปลายข้างหนึ่งของท่อแยก (Self - propelled) ตัวอย่างของระบบให้น้ำเหล่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 6.2

**3) แบบเคลื่อนย้ายได้ทั้งหมด (Portable Systems)** อุปกรณ์ของระบบให้น้ำแบบนี้ทุกอย่างตั้งแต่เครื่องสูบน้ำถึงท่อแยกเคลื่อนย้ายได้ทั้งหมด

## การให้น้ำทางผิวดิน
## (Surface Irrigation)

การให้น้ำทางผิวดินกระทำได้โดยให้น้ำนั้นขังหรือไหลไปบนผิวดินและซึมลงไปในดินตรงจุดที่น้ำนั้นขังหรือไหลผ่าน ดังนั้นอาจจะถือว่าผิวดินเป็นทางน้ำ ทางน้ำดังกล่าวนี้มีขนาด รูปร่าง และคุณสมบัติทางชลศาสตร์แตกต่างกันออกไป กล่าวคือ จะมีขนาดตั้งแต่เป็นร่องน้ำเล็ก ๆ เช่นในการให้น้ำทางร่องคูเล็ก(Corrugation) หรือที่มีร่องน้ำขนาดใหญ่ขึ้นในการให้น้ำทางร่องคูแบบต่าง ๆ (Furrows) จนกระทั่งถึงร่องน้ำที่มีขนาดใหญ่ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดปกคลุมด้วยน้ำในแบบให้น้ำท่วมผิวดิน (Flooding) เมื่อพิจารณาจากลักษณะของทางน้ำเราอาจแบ่งการให้น้ำทางผิวดินออกเป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ ด้วยกัน คือ แบบให้น้ำท่วมผิวดินเป็นผืนใหญ่(Flooding) และแบบให้น้ำท่วมเฉพาะในร่อง(Furrow) จากทั้งสองแบบนี้ยังสามารถแบ่งแยกออกไปได้อีกดังรูป






**รูปที่ 6.2 ตัวอย่างของระบบให้น้ำแบบฉีดฝอยประเภทต่างๆ**

## ข้อดีและข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดิน

การให้น้ำทางผิวดินนี้รู้จักใช้กันมานานหลายศตวรรษแล้ว ปัจจุบันก็ยังเป็นที่นิยมใช้กันอยู่ทั่วไปเพราะการให้น้ำแบบนี้มีข้อดีหลายอย่าง ซึ่งพอสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

1) สามารถใช้ได้กับดินและพืชเกือบทุกชนิด นอกจากนั้นวิธีการให้น้ำยังสามารถดัดแปลงให้เหมาะสมกับขนาดและวิธีการส่งน้ำทุกประเภท

2) มีความคล่องตัวสูง กล่าวคือ สามารถให้น้ำแก่พืชได้ในระยะเวลาอันสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่มิได้ให้น้ำ เช่น อาจจะให้น้ำแก่พืช 10 วันต่อครั้งโดยใช้เวลาให้น้ำเพียงวันเดียวหรือสองวัน ความคล่องตัวนี้จะมีความสำคัญมากในกรณีที่มีอากาศร้อนจัด และพืชต้องการน้ำมากเป็นพิเศษหลายวันติดต่อกัน

3) ค่าลงทุนถูกเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำแบบอื่น ๆ เนื่องจากว่าการให้น้ำแบบนี้ให้น้ำไหลไปบนผิวดินโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก ดังนั้นในกรณีที่ต้องใช้เครื่องสูบน้ำจึงไม่ต้องการแรงม้าสูง นอกจากนั้นยังไม่ค่อยมีอาคารชลประทาน หรือเครื่องมือที่ต้องการการบำรุงรักษาอยู่เสมอด้วย

4) ไว้วางใจได้ กล่าวคือ ถ้ามีน้ำอยู่แล้วจะให้น้ำแก่พืชเมื่อไรก็ได้โดยไม่ต้องพึ่งพาอาศัยเครื่องมืออื่น ดังนั้น ความเสียหายของพืชเนื่องจากจัดหาน้ำให้ไม่ทันเวลาจึงเกิดขึ้นได้ยาก

5) เมื่อมีการออกแบบและให้น้ำที่เหมาะสม การให้น้ำแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงเท่า ๆ กับหรือมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น

สำหรับข้อเสียของการให้น้ำทางผิวดินก็มี

1) ต้องการการปรับพื้นที่ให้เรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอ ซึ่งทำให้ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่ไม่เรียบอยู่ก่อนแล้วเนื่องจากค่าปรับพื้นที่จะสูงมาก หรือเนื่องจากชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตื้นเกินไปจนไม่เหมาะที่จะทำการปรับพื้นที่

2) อาจเกิดการกัดเซาะ (Erosion) ขึ้นได้ในกรณีที่ความลาดเทของพื้นที่ชันมาก

3) คันดินและคูส่งน้ำอาจเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร

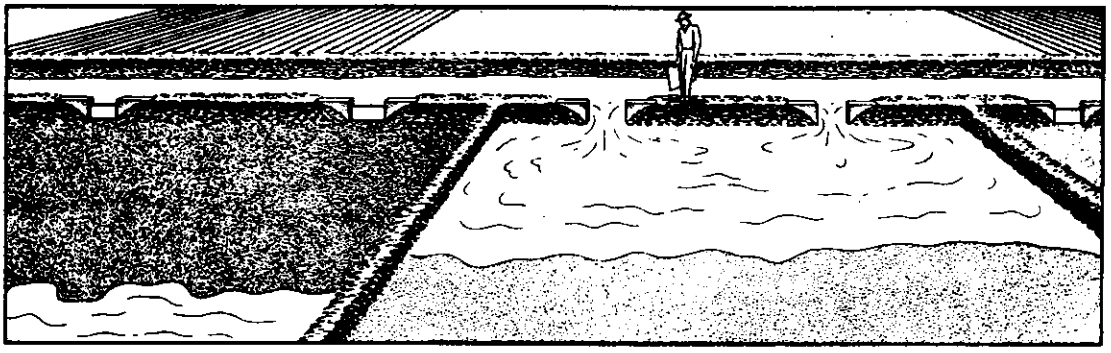
4) อาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้นได้ง่าย ถ้าหากใช้น้ำอย่างไม่มีประสิทธิภาพหรือเลือกวิธีการให้น้ำไม่ถูกต้อง

5) ต้องการผู้ที่มีความรู้ในวิธีการให้น้ำดีพอสมควรจึงจะสามารถให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพได้

6) ส่วนมากต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก

## วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว(Graded Border Method)

การให้น้ำโดยวิธีนี้ทำโดยเปิดให้น้ำเข้าไปท่วมผิวดินในแปลง โดยมีคันดินขนาดเล็กสองคันซึ่งมีแนวตรงและขนานกันคอยควบคุมให้น้ำท่วมอยู่ในพื้นที่ที่ต้องการให้น้ำ พื้นที่ระหว่างคันดินจะมีความลาดเทไปในแนวเดียวกับคันดิน และไม่มีหรือมีความลาดเทในแนวตั้งฉากกับคันดินน้อยมาก การให้น้ำซึ่งทำโดยการเปิดให้น้ำไหลเข้าทางหัวแปลงจะต้องมีอัตราสูงมากพอที่จะให้น้ำแผ่กระจายออกไปเต็มความกว้าง แต่จะต้องไม่ล้นข้ามคันดิน



**รูปที่ 6.3 การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว ( GRADED BORDER )**

ในกรณีที่ความลาดเทของแปลงค่อนข้างชันก็อาจจะต้องปรับพื้นที่บริเวณหัวแปลงให้ราบกว่าในแปลงเล็กน้อย เพื่อให้น้ำแผ่กระจายออกเต็มความกว้างได้เร็วขึ้น อัตราการให้น้ำที่พอเหมาะอาจจะประมาณได้โดยการหาปริมาตรของน้ำที่จะต้องให้กับแปลง ด้วยระยะเวลาที่ดินจะดูดซึมน้ำเข้าไปเท่ากับความลึกของน้ำที่ต้องการจะให้ เช่น สมมุติว่าแปลงหนึ่งมีพื้นที่ 1 ไร่ หรือ 1600 ตารางเมตร ต้องการให้น้ำลึก 80 มิลลิเมตร ดังนั้น ปริมาตรของน้ำที่จะต้องส่งเข้าแปลงจะเท่ากับ $1600 \times 0.08$ หรือ 128 ลูกบาศก์เมตร สมมุติว่าถ้าจะให้น้ำซึมลงไปในดินลึก 80 มิลลิเมตรจะต้องใช้เวลานาน 4 ชั่วโมง ดังนั้นควรจะส่งน้ำเข้าแปลงด้วยอัตรา 128/4 = 32 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 9 ลิตรต่อวินาที เป็นต้น รูปร่างลักษณะของแปลงซึ่งให้น้ำโดยวิธีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 6.3

**การเลือกใช้** การให้น้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกต้นชิดกัน หรือพืชที่ปลูกโดยการหว่านเมล็ด ยกเว้นพืชที่จะต้องมีน้ำขังอยู่ในแปลงเช่นข้าว พืชจำพวกหญ้าเลี้ยงสัตว์ ถั่ว มักจะให้น้ำโดยวิธีนี้ อย่างไรก็ตาม พืชยืนต้นเช่นสวนผลไม้ต่าง ๆ ไร่องุ่น ก็อาจให้น้ำโดยวิธีนี้ได้เหมือนกัน

การให้น้ำท่วมเป็นผืนยาวนี้สามารถใช้ได้ดีกับดินเกือบทุกชนิด แต่จะใช้ได้ดีที่สุดกับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินค่อนข้างต่ำจนถึงค่อนข้างสูง ที่ไม่เหมาะกับดินทรายหรือดินที่มีอัตราการซึมสูงก็เพราะว่าจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากซึมเลยเขตรากพืชมาก หรือมิฉะนั้นก็จะต้องใช้แปลงที่สั้นมาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากดินมีอัตราการซึมต่ำมากก็จะต้องให้น้ำนาน และจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลเลยท้ายแปลงออกไปมากเช่นเดียวกัน แต่ถ้าจะใช้อัตราการให้น้ำน้อย น้ำก็จะไม่แผ่ออกไปเต็มความกว้างของแปลง

ความลาดเทในแนวยาวของแปลงไม่ควรจะชันกว่า 0.5 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าหากว่าไม่มีการกัดเซาะในแปลงเนื่องจากฝนแล้วก็อาจจะยอมให้มีความลาดเทได้ถึง 2 เปอร์เซนต์ ถ้าหากอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินไม่ต่ำจนเกินไปนักและรากของพืชที่ปลูกไม่ยึดกันแน่น เช่นรากของหญ้า แต่ถ้ารากเกาะกันดีก็อาจให้มีความลาดเทได้มากถึง 4 เปอร์เซนต์ ในพื้นที่ที่มีฝนตกหนักเป็นประจำไม่ควรให้มีความลาดเทเกิน 2 เปอร์เซนต์สำหรับพืชที่มีรากเกาะกันแน่น และไม่เกิน 0.5 เปอร์เซนต์ สำหรับพืชอื่น ๆ

## ข้อดี

1) การให้น้ำวิธีนี้จะให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง ถ้าหากได้รับการออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง

2) ต้องการแรงงานในการให้น้ำไม่มากนัก

3) ความกว้างของแปลงอาจจะออกแบบให้มีขนาดพอเหมาะกับเครื่องจักรกลเกษตรได้

4) ถ้าหากจำเป็นจะต้องมีการระบายน้ำออกจากแปลงก็จะสามารถระบายออกได้รวดเร็ว

## ข้อเสีย

1) พื้นที่จะต้องเรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอ หรือมิฉะนั้นชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชมีความลึกพอที่จะทำการปรับพื้นที่ได้

2) ค่าปรับพื้นที่สำหรับพื้นที่บางแห่งอาจจะสูงมากจนไม่สามารถที่จะให้น้ำวิธีนี้ได้

3) อัตราการส่งน้ำที่ได้รับจากโครงการชลประทานจะต้องมากพอ

4) พืชต้นเล็ก ๆ อาจจะได้รับความเสียหายในขณะที่ให้น้ำ

5) ดินบางชนิดอาจเกิดการแตกระแหงหลังจากมีน้ำท่วมผิวดินแล้ว

6) ไม่สามารถให้น้ำครั้งละน้อย ๆ (น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

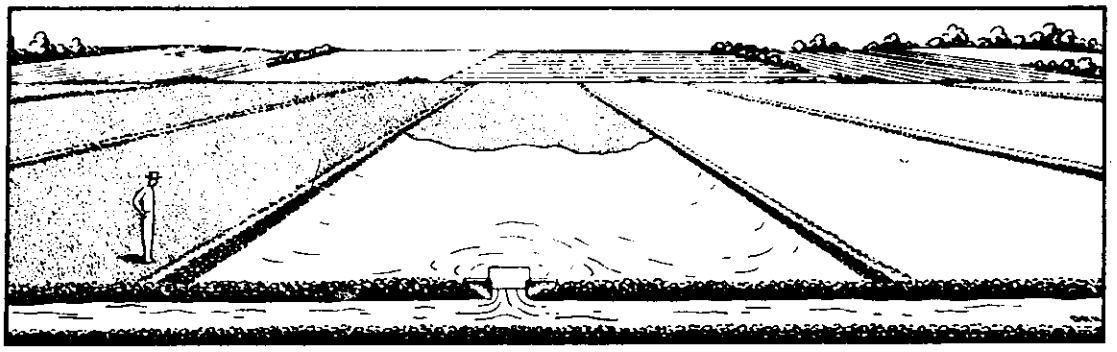
## วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนราบ(Level Border Method)

การให้น้ำวิธีนี้จะให้น้ำท่วมแปลงเพาะปลูกซึ่งราบหรือค่อนข้างราบและมีคันดินล้อมรอบอยู่ อัตราการให้น้ำจะต้องสูงเพื่อให้น้ำแผ่ออกไปท่วมทั่วทั้งแปลงในระยะเวลาอันสั้น วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนราบ (Level Border) นี้บางครั้งเรียกว่าท่วมเป็นอ่าง (Basin) แต่ความจริงแล้วมันไม่เหมือนกันทีเดียวนัก กล่าวคือ สำหรับแบบท่วมเป็นอ่าง ความกว้างกับความยาวของแปลงมักจะมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ถ้าเป็นแบบท่วมเป็นผืนราบ (Level Border) ด้านยาวจะยาวกว่าด้านกว้างมาก

อัตราการให้น้ำสำหรับวิธีนี้ไม่ควรจะน้อยกว่าสองเท่าของค่าเฉลี่ยของอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน ถ้าหากพื้นที่ภายในแปลงราบ การเปิดน้ำเข้าแปลงจะทำทางด้านใดด้านหนึ่งหรือจะเปิดให้เข้าพร้อมกันทีละหลายด้านก็ได้ แต่ถ้าหากพื้นที่มีความลาดเทอยู่บ้างการเปิดน้ำเข้าก็ควรจะทำจากด้านที่มีระดับสูงกว่า รูปร่างลักษณะของแปลงซึ่งให้น้ำโดยวิธีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 6.4

**การเลือกใช้** การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีอัตราการซึมขนาดปานกลางจนถึงขนาดต่ำ กล่าวคือ ดินที่มีอัตราการซึมผ่านผิวดินเฉลี่ยต่ำกว่าประมาณ 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง นอกจากนั้นควรจะเป็นดินที่มีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้สูง ถึงแม้ว่าจะสามารถออกแบบการให้น้ำวิธีนี้สำหรับดินที่มีอัตราการซึมสูง และมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ไม่มากนักให้มีประสิทธิภาพสูงได้ก็ตาม แต่จะได้ขนาดแปลงเล็กมากซึ่งทำให้ไม่สะดวกในการใช้เครื่องจักรกลเกษตร นอกจากนั้นยังจะต้องมีปัญหาเรื่องคูส่งน้ำซึ่งจะต้องมีจำนวนเพิ่มขึ้นอีกด้วย

พื้นที่ที่เรียบ ราบ หรือมีความลาดเทเพียงเล็กน้อยจะเหมาะกับการให้น้ำแบบนี้มากที่สุด นอกจากนั้นการวางผังแปลงเพาะปลูกและแนวคูส่งน้ำก็จะทำได้สะดวกมาก การให้น้ำวิธีนี้สามารถใช้ได้กับพืชเกือบทุก



**รูปที่ 6.4 การให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนราบ (LEVEL BORDER)**

ชนิด เช่น ถ้าเป็นพืชที่ไม่ชอบให้น้ำท่วม ก็อาจจะยกคันเล็ก ๆ ขึ้นแล้วให้น้ำไหลในร่องโดยให้น้ำครั้งละน้อย ๆ พืชที่สามารถให้น้ำท่วมได้แต่ต้นยังเล็กอยู่ ก็อาจจะทำรางเล็ก ๆ เป็นร่องนำน้ำให้ไหลไปที่จุดต่าง ๆ ภายในแปลงโดยไม่เกิดอันตรายต่อพืชที่ปลูกอยู่ได้ การดัดแปลงดังกล่าวนี้จะไม่ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบหรือทำให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำต้องเสียไปแต่อย่างใด

## ข้อดี

1) สามารถปลูกพืชได้หลายชนิดโดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ วางผัง หรือวิธีการให้น้ำต่างไปจากเดิมมากนัก

2) แปลงดังกล่าวสามารถใช้ชะล้างเกลือในดินโดยไม่ต้องมีการก่อสร้างเพิ่มเติม หรือเปลี่ยนแปลงวิธีการให้น้ำแต่อย่างใด

3) ไม่มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลออกจากพื้นที่เพาะปลูกทางด้านท้ายแปลง (Runoff) ดังนั้นจึงไม่ต้องมีระบบระบายน้ำทางด้านท้ายแปลงอีก

4) สามารถใช้ฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญก็สามารถให้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพได้

6) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

## ข้อเสีย

1) ต้องการอัตราการให้น้ำสูงมาก สูงกว่าแบบให้น้ำท่วมเป็นผืนยาว

2) จะต้องปรับพื้นที่ให้ราบและสม่ำเสมอกันตลอดทั้งแปลง

3) คันดินที่ล้อมรอบต้องสูงพอที่จะไม่ให้น้ำล้นออกจากแปลง ซึ่งทำให้เป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร

4) บนพื้นที่ที่มีความลาดเทมากจะต้องทำแปลงเป็นขั้นบันได และอาจจำเป็นต้องมีอาคารชลประทานอื่นอีก เช่น อาคารน้ำตก (Drop Structures) คลองดาด หรือท่อส่งน้ำ เป็นต้น

5) ในเขตที่มีฝนตกชุกจะต้องมีการจัดระบบระบายน้ำฝนออกจากแปลงให้ทันเวลาด้วย

6) ในพื้นที่ที่มีลมพัดเร็วกว่า 25 ถึง 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จะให้น้ำยากขึ้นถ้าหากแปลงมีขนาดใหญ่และลมพัดในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของน้ำ

7) จะต้องคอยควบคุมระดับดินในแปลงให้อยู่ในแนวราบอยู่เสมอ

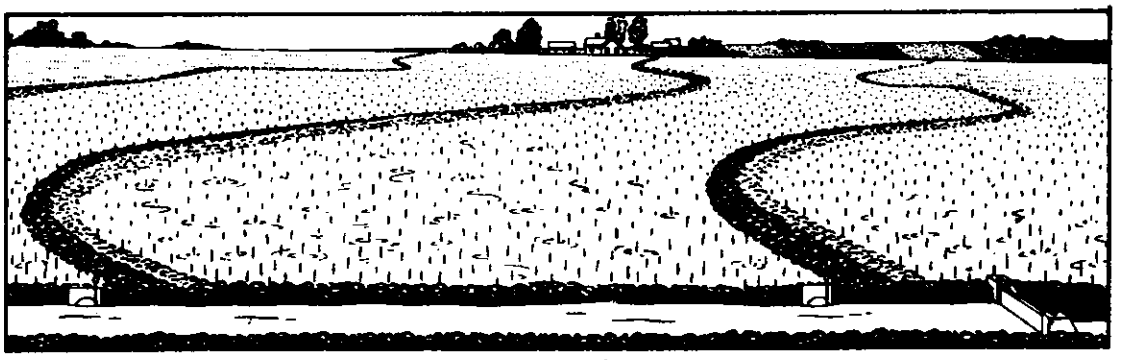
## วิธีให้น้ำท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Levee Method)

การให้น้ำวิธีนี้ดัดแปลงมาจากแบบท่วมเป็นผืนราบ (Level Border) โดยการเปลี่ยนแนวคันดินให้มาอยู่ในแนวเส้นขอบเนิน(Contour Lines) การให้น้ำแก่แปลงจะต้องให้ด้วยอัตราที่มากกว่าอัตราการซึมผ่านผิวดิน โดยให้น้ำนั้นแผ่กระจายออกไปปกคลุมพื้นที่ในแปลงทั้งหมดในระยะเวลาอันสั้น และปล่อยให้น้ำซึมลงไปในดินจนกระทั่งได้ความลึกตามที่ต้องการ ถ้าหากเป็นพืชที่ไม่ใช่ข้าวก็จะระบายน้ำออกหลังจากที่ให้น้ำตามที่ต้องการแล้ว

ขนาดของแปลงที่ใช้จะขึ้นอยู่กับอัตราการส่งน้ำที่ได้รับจากโครงการชลประทานหรือจากขนาดของเครื่องสูบน้ำ อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ อัตราการให้น้ำเพื่อให้ท่วมทั่วทั้งแปลงอย่างรวดเร็วนั้นโดยทั่ว ๆ ไปจะใช้ประมาณ 6 ลิตรต่อวินาที ต่อพื้นที่ 1 ไร่ การให้น้ำจะเริ่มต้นจากแปลงที่อยู่สูงกว่าเสียก่อน โดยขังน้ำให้มีความลึกเหนือผิวดินตามที่ต้องการ ส่วนที่มากเกินพอก็จะไหลล้นข้ามฝายเล็ก ๆ ซึ่งจัดไว้ไปเข้าแปลงที่อยู่ต่ำกว่าถัดลงมา ถ้าหากไม่มีฝายควบคุมความลึกของน้ำในแปลง เมื่อให้น้ำในแปลงแรกตามขนาดที่ต้องการแล้ว ก็ระบายน้ำที่เหลือลงสู่แปลงถัดมา

รูปร่างลักษณะของแปลงซึ่งให้น้ำโดยวิธีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 6.5

**การเลือกใช้** การที่จะเลือกใช้การให้น้ำวิธีนี้ให้ได้ผลดีนั้น พื้นที่ควรจะเป็นดินที่มีเนื้อดินขนาดปานกลางถึงดินที่มีเนื้อละเอียด และมีอัตราการซึมผ่านผิวดินเฉลี่ยไม่เกิน 12 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง สำหรับข้าวซึ่งจะต้องมีน้ำขังอยู่ตลอดเวลาดินควรจะมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ไม่เกิน 4 มิลลิเมตรต่อวัน หรือมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ใต้ระดับเขตราก พื้นที่ควรจะเรียบสม่ำเสมอและมีความลาดเทไม่เกิน 1 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าหากมีความลาดเทไม่เกิน 0.5เปอร์เซนต์จะได้ขนาดแปลงที่ดีกว่า



**รูปที่6.5 การให้น้ำท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนิน** ( CONTOUR LEVEE)

การให้น้ำท่วมเป็นผืนตามแนวเส้นขอบเนินเหมาะสำหรับข้าว และพืชอื่น ๆ เช่น ฝ้าย ข้าวโพด ถั่ว ธัญญพืชและหญ้าเลี้ยงสัตว์ พืชที่จะให้น้ำควรจะทนทานต่อการมีน้ำท่วมรากเป็เวลา 12 ชั่วโมง หรือกว่านี้เล็กน้อยได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

## ข้อดี

1) สามารถให้น้ำได้อย่างสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงถ้าหากได้รับการออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง

2) ถึงแม้ว่าจะต้องมีการระบายน้ำส่วนที่เกินออกจากแปลง แต่ก็สามารถนำมาใช้ในแปลงถัดมาที่อยู่ต่ำกว่าได้ ดังนั้นน้ำที่สูญเสียไปอย่างแท้จริงจึงมาจากแปลงที่อยู่ต่ำที่สุดซึ่งจะมีปริมาณไม่มากนัก

3) สามารถจะใช้น้ำฝนที่ตกลงมาบนพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะช่วยลดความต้องการน้ำชลประทานลงได้มาก

4) สามารถติดตั้งระบบระบายน้ำผิวดินโดยไม่ต้องลงทุนเพิ่มขึ้นอีกมาก เพราะอาจจะใช้คูส่งน้ำเป็นคูระบายน้ำได้ด้วย

5) ต้องการแรงงานในการให้น้ำไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำทางผิวดินวิธีอื่น ๆ

6) การให้น้ำและควบคุมน้ำทำได้ไม่ยาก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญในการให้น้ำดี

7) ถ้าหากว่ามีการปรับพื้นที่ไม่มากนัก ค่าลงทุนครั้งแรกจะต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับแบบอื่น ๆ

8) มีอาคารชลประทานน้อยพอ ๆ กับวิธีอื่น ๆ

## ข้อเสีย

1) วิธีนี้ไม่เหมาะสำหรับดินที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ (Permeability) ขนาดปานกลางถึงดินที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูง

2) ไม่สามารถให้น้ำครั้งละน้อย ๆ (น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3) ต้องการอัตราการให้น้ำสูง

4) น้ำชลประทานจะต้องมีคุณภาพดี ทั้งนี้เพราะดินที่มีเนื้อละเอียดนั้นจะก่อให้เกิดการสะสมของเกลือบนผิวดินได้ง่าย แต่จะชะล้างออกจากดินได้ยาก

5) ต้องการการปรับพื้นที่บ้างเพื่อให้สามารถให้น้ำได้อย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้สามารถระบายน้ำได้ และเพื่อให้ใช้เครื่องจักรกลเกษตรได้สะดวกขึ้น

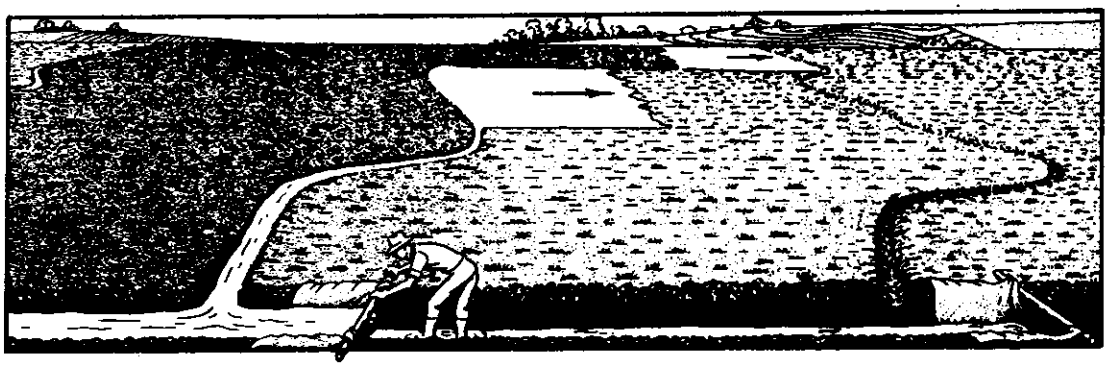
6) ไม่เหมาะสำหรับพืชที่จะเสียหายเมื่อมีน้ำท่วมราก

7) ต้นพืชและดันดินอาจจะได้รับความเสียหายจากคลื่น ถ้าหากมีการให้น้ำในขณะที่ต้นพืชยังเล็กอยู่หรือมีลมแรง

8) การระบายน้ำที่เหลือจากแปลงหนึ่งไปเข้าอีกแปลงหนึ่งอาจก่อให้เกิดการแพร่ขยายโรคพืช และวัชชพืชบางชนิดได้ง่าย

## วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Ditch Method)

วิธีให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน เป็นการให้น้ำท่วมผิวดินแบบที่มีการควบคุมแบบหนึ่ง โดยการให้น้ำไหลล้นจากร่องน้ำเล็ก ๆ ซึ่งอยู่ในแนวขนานกับเส้นขอบเนิน การส่งน้ำเข้าไปในคูให้น้ำทำโดยปิดกั้นคูส่งน้ำด้วยฝายชั่วคราวหรืออาคารทดน้ำในไร่นาอย่างอื่น เมื่อระดับน้ำในคูส่งน้ำสูงขึ้นมันก็จะไหลเข้าไปในคูให้น้ำซึ่งมีช่องเปิดหรือท่อไซฟอนอยู่บนคันดิน หรือคันดินที่ได้ปรับไว้ให้น้ำล้นออกมาได้อย่างสม่ำเสมอเป็นแผ่นและไหลไปตามความลาดเทของพื้นที่ไปสู่คูให้น้ำถัดไปที่อยู่ต่ำกว่า น้ำที่ไหลลงมาสู่คูให้น้ำหลังนี้ก็จะใช้ให้น้ำแก่พื้นที่ที่อยู่ถัดมา การให้น้ำแก่พื้นที่ระหว่างร่องน้ำอาจจะแบ่งออกเป็นส่วน ๆ จนกว่าจะหมด แล้วจึงย้ายไปให้น้ำแก่พื้นที่ระหว่างร่องน้ำที่อยู่ในระดับต่ำกว่าถัดมา ความกว้างของพื้นที่ที่แบ่งออกเป็นส่วน ๆ นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของคูให้น้ำและอัตราการให้น้ำที่ใช้ ส่วนระยะระหว่างคูให้น้ำตามแนวเส้นขอบเนินนั้นจะขึ้นอยู่กับความลาดเทของพื้นที่ อัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดิน และความลึกของน้ำที่ต้องการจะให้แต่ละครั้ง รูปร่างลักษณะของแปลงซึ่งให้น้ำโดยวิธีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 6.6



**รูปที่ 6.6 การให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนิน (CONTOUR DITCH)**

**การเลือกใช้** การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกต้นชิดกันทุกชนิด พืชที่ปลูกแล้วไม่ต้องมีการพรวนดินหรือยกร่องอีก ยกเว้นข้าวซึ่งจะต้องให้มีน้ำขังอยู่เกือบตลอดเวลา หญ้าเลี้ยงสัตว์ ถั่ว และพืชหว่านเมล็ดอาจเลือกให้น้ำโดยวิธีนี้ การให้น้ำวิธีนี้สามารถใช้ได้กับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินค่อนข้างสูงสำหรับดินที่มีอัตราการซึมต่ำ ระยะทางระหว่างร่องน้ำอาจจะยาวได้มาก และการให้น้ำครั้งละน้อย ๆ อาจจะได้ประสิทธิภาพสูง ในทางตรงกันข้ามถ้าดินมีอัตราการซึมสูง ระยะระหว่างร่องน้ำก็จะต้องสั้นเข้า

การให้น้ำท่วมจากคูตามแนวเส้นขอบเนินนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทระหว่าง 0.5 ถึง 1.5 เปอร์เซนต์ ถ้าไม่อยู่ในบริเวณที่มีฝนตกหนักและดินแน่นพอสมควรก็อาจจะเพิ่มความลาดเทให้ได้ถึง 4 เปอร์เซนต์ ความลาดเทสูงสุดที่จะใช้ได้สำหรับดินค่อนข้างหยาบและดินหยาบ คือ 4 เปอร์เซนต์ ถ้าหากพื้นที่มีความลาดเท 2 ถึง 4 เปอร์เซนต์และมีการกัดเซาะเนื่องจากฝนรุนแรงด้วยแล้วควรจะเลือกใช้การให้น้ำแบบนี้เฉพาะพืชที่มีรากเกาะกันแน่นเท่านั้น

## ข้อดี

1) ค่าลงทุนต่ำ

2) ต้องการการปรับพื้นที่บ้างเล็กน้อยในกรณีที่ผิวดินไม่เรียบ

3) สำหรับพืชที่ปลูกตลอดปี คูให้น้ำเหล่านี้อาจจะกลบเสียก่อนทำการเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวก็จะสะดวกขึ้น

## ข้อเสีย

1) โดยทั่ว ๆ ไปแล้วประสิทธิภาพในการให้น้ำค่อนข้างต่ำ แต่ถ้าให้น้ำอย่างระมัดระวังอาจจะให้ประสิทธิภาพสูง 50 ถึง 65 เปอร์เซนต์

2) ถ้าหากอัตราการส่งน้ำที่ได้รับจากคูส่งน้ำน้อย การให้น้ำจะทำได้ยากขึ้น

3) ระยะระหว่างคูให้น้ำอาจจะแตกต่างกันได้มากในกรณีที่ความลาดเทของพื้นที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจะต้องแบ่งความกว้างของพื้นที่ที่จะให้น้ำในแต่ละครั้งตลอดความยาวของคูให้น้ำออกเป็นส่วน ๆ ที่ไม่เท่ากัน จึงจะสามารถให้น้ำอย่างสม่ำเสมอได้ ซึ่งทำให้การให้น้ำยุ่งยากมากขึ้น

4) ในกรณีที่คูเข้ามาชิดกันและแนวไม่ขนานกัน การใช้เครื่องเก็บเกี่ยวจะยากขึ้น

5) พืชต้นเล็ก ๆ อาจจะได้รับความเสียหายถ้าดินนั้นแตกระแหงหลังจากให้น้ำ

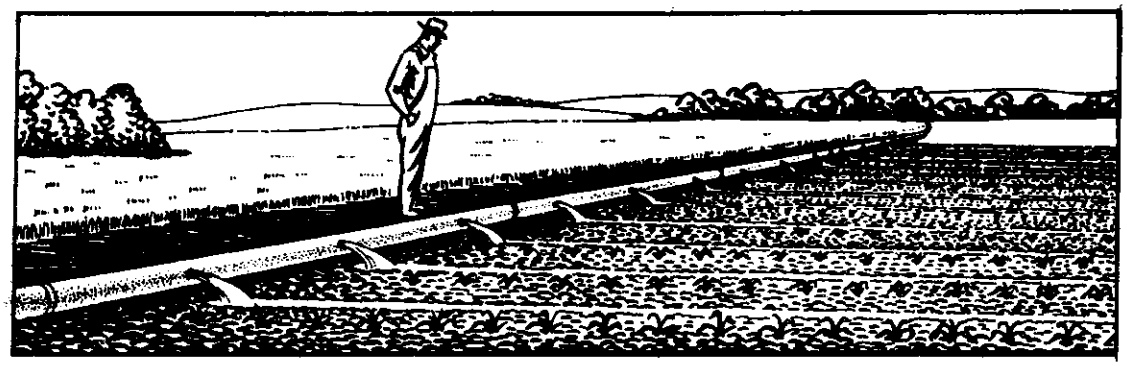
# วิธีให้น้ำแบบร่องคูลาด (Graded Furrow Method)

การให้น้ำแบบร่องคูลาดนี้ จะให้น้ำแก่พืชทางร่องน้ำเล็ก ๆ ซึ่งมีความลาดเทสม่ำเสมอและมีแนวตรง โดยปลูกพืชเป็นแถวบนคันดินซึ่งมีร่องขนาบอยู่ทั้งสองข้าง ขนาดและรูปร่างของร่องคูขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดิน พืชที่ปลูก เครื่องมือที่ใช้ในการยกร่อง และระยะระหว่างพืชที่ปลูก

น้ำที่ให้แก่พืชจะซึมเข้าไปในดินทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง ระยะเวลาที่ให้มีน้ำขังอยู่ในร่องคูขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำที่จะให้แก่พืชและอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในร่อง โดยปกติแล้วเมื่อเริ่มให้น้ำจะต้องให้ด้วยอัตราที่สูงกว่าอัตราที่น้ำซึมเข้าไปในร่องเพื่อให้น้ำไหลไปถึงปลายร่องอย่างรวดเร็ว เมื่อน้ำไหลไปถึงปลายร่องแล้วก็ลดอัตราการให้น้ำลงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการสูญเสียน้ำโดยไหลเลยพื้นที่เพาะปลูกออกไป (Runoff) หรือมิฉะนั้นก็จะต้องมีการรวบรวมน้ำเหล่านี้มาใช้อีก แต่ถ้าหากดินมีอัตราการซึมต่ำมากก็อาจจะใช้อัตราการให้น้ำในตอนแรกไม่มากนัก และอาจจะไม่จำเป็นต้องมีการลดอัตราการให้น้ำเลยจนกว่าจะให้น้ำเสร็จ

รูปร่างลักษณะของร่องคูลาดแสดงไว้ในรูปที่ 6.7

**การเลือกใช้** การให้น้ำวิธีนี้สามารถใช้กับพืชที่ปลูกเป็นแถวได้ทุกชนิดรวมทั้งพืชสวนด้วย และใช้ได้กับดินเกือบทุกชนิดยกเว้นดินทรายที่มีอัตราการซึมสูงมาก เพราะว่าจะมีการไหลซึมทางด้านข้างน้อยและจะสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลซึมเลยเขตรากพืชมาก พื้นที่ที่จะเลือกใช้การให้น้ำวิธีนี้ควรมีความลาดเทไม่เกิน 2 เปอร์เซนต์ และถ้าหากพื้นที่นั้นไม่มีการกัดเซาะเนื่องจากฝน ก็อาจจะใช้ความลาดเทมากได้ถึง 3 เปอร์เซนต์ ส่วนในพื้นที่ที่มีฝนตกชุก ความลาดเทของร่องคูไม่ควรเกิน 0.5 เปอร์เซนต์



**รูปที่ 6.7 การให้น้ำทางร่องดูลาด ( GRADED FURROW )**

ในพื้นที่ที่มีความลาดเทสม่ำเสมอ ความลาดเทของร่องดูไม่จำเป็นจะต้องมีค่าเดียวกันกับความลาดเทหลักของพื้นที่ก็ได้ กล่าวคือ ให้ทิศทางของร่องดูทำมุมกับแนวที่ตั้งฉากกับเส้นขอบเนินทั้งนี้เพื่อที่จะได้ลดความลาดเทของร่องลงได้อีก

## ข้อดี

1) สามารถใช้ได้กับวิธีการส่งน้ำทุกแบบ โดยการจัดจำนวนร่องดูที่จะให้น้ำแต่ละครั้งให้พอเหมาะกับอัตราส่งน้ำที่ได้รับ ดังนั้น ไม่ว่าจะเป็นการส่งน้ำแบบตลอดเวลาหรือแบบหมุนเวียนก็ใช้วิธีนี้ได้ทั้งนั้น

2) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง ถ้าหากมีการออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง

3) ในกรณีที่ต้องมีการระบายน้ำฝนออกจากพื้นที่เพาะปลูก ก็สามารถจะระบายได้อย่างรวดเร็ว

## ข้อเสีย

1) ต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก

2) จะต้องมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการให้น้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ ขณะที่ให้น้ำ จึงจะทำให้พืชได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอตลอดความยาวของร่อง และมีการสูญเสียน้ำน้อย

3) พื้นที่จะต้องมีความลาดเทสม่ำเสมอ

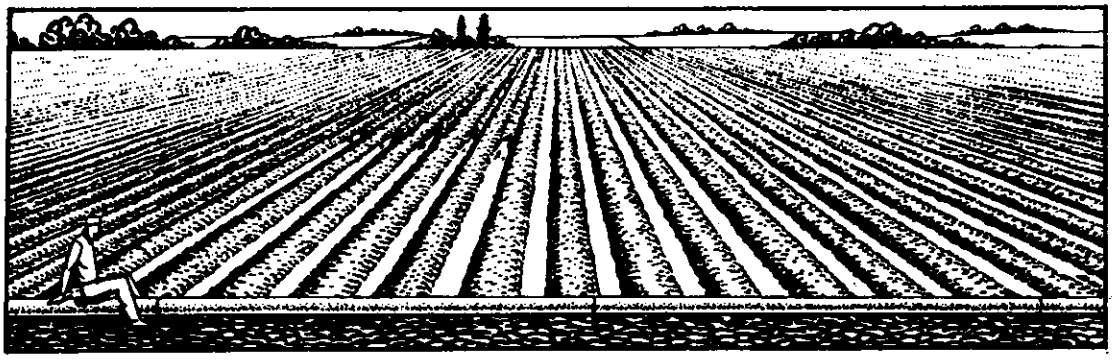
4) ต้องมีการรวบรวมน้ำที่ไหลเลยท้ายร่องออกไป โดยนำมาใช้อีกหรือระบายออกไปให้พ้นจากบริเวณนั้น มิฉะนั้นจะทำให้เกิดน้ำขังขึ้นได้

5) วิธีนี้ไม่เหมาะกับการให้น้ำครั้งละน้อย ๆ เพื่อให้เมล็ดงอก หรือพืชรากตื้นที่ปลูกบนดินมีอัตราการซึมสูง เพราะน้ำจะซึมขึ้นไปถึงจุดที่เมล็ดพืชอยู่ หรือซึมทางด้านข้างไปสู่รากพืชได้ช้ามาก

## วิธีให้น้ำแบบร่องคูราบ (Level Furrow Method)

การให้น้ำแก่พืชโดยวิธีนี้ก็คล้ายคลึงกันกับวิธีให้น้ำแบบร่องคูลาด กล่าวคือ เป็นการให้น้ำในร่องแล้วให้น้ำไหลซึมเข้าไปในดินทั้งทางราบและทางดิ่งไปสู่รากพืช แต่วิธีนี้ร่องที่ให้น้ำไหลนั้นไม่มีความลาดเท คืออยู่ในแนวราบ ดังนั้นการให้น้ำจึงต้องให้ด้วยอัตราสูงน้ำจึงจะไหลไปตลอดความยาวของร่องคูในระยะเวลาอันสั้น โดยปกติแล้วจะให้ด้วยอัตราที่มากที่สุดเท่าที่ร่องคูนั้นจะสามารถรับได้จนกระทั่งได้ความลึกตามที่ต้องการจะให้ น้ำที่ให้นี้จะขังอยู่ในร่องและค่อย ๆ ไหลซึมลงไปในดินจนหมด

รูปร่างลักษณะของร่องคูราบแสดงไว้ในรูปที่ 6.8



**รูปที่ 6.8 การให้น้ำทางร่องคูราบ ( LEVEL FURROW )**

**การเลือกใช้** การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีอัตราการซึมเฉลี่ยน้อยกว่า 50 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง และมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ขนาดปานกลางจนถึงเก็บน้ำไว้ได้ดี พื้นที่ควรจะเรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอ พืชที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้ควรจะเป็นพืชที่ปลูกเป็นแถว สำหรับพืชหว่านเมล็ดก็อาจจะให้น้ำโดยวิธีนี้ได้ ถ้าหากมีการยกร่องและให้น้ำเสียก่อน

### ข้อดี

1) สามารถใช้ได้กับวิธีการส่งน้ำทุกแบบ โดยการจัดจำนวนร่องคูที่จะให้น้ำแต่ละครั้งให้พอเหมาะกับอัตราการส่งน้ำที่ได้รับ

2) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง ถ้าหากมีการออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง

3) ไม่มีการสูญเสียน้ำโดยการไหลออกนอกแปลงที่ให้น้ำ

4) ถ้าหากไม่มีลมแรงพอที่จะมีผลต่อการไหลของน้ำในร่อง คูส่งน้ำและอาคารส่งน้ำอื่น ๆ อาจจะลดลงได้โดยจัดให้อยู่ในระยะทุก ๆ สองเท่าของความยาวของร่องคูที่ได้ออกแบบไว้ เพราะว่าร่องคูไม่มีความลาดเท ดังนั้นคูส่งน้ำสายหนึ่งจึงให้น้ำแก่ร่องคูได้ทั้งสองด้าน ซึ่งจะทำให้ลดค่าลงทุนและค่าบำรุงรักษาระบบส่งน้ำลงได้มาก มีการสูญเสียพื้นที่น้อย และเครื่องจักรกลเกษตรทำงานได้สะดวกขึ้น

5) สามารถใช้ฝนที่ตกลงบนพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6) ไม่จำเป็นต้องมีการจัดระบบระบายน้ำทางด้านท้ายร่องคูอีก เพราะน้ำจะเฉลี่ยซึมลงไปในดินจนหมด ไม่มีการขังอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งโดยเฉพาะ

7) การชะล้างเกลือออกจากดินจะทำได้ง่าย

## ข้อเสีย

1) ถ้าหากลมในบริเวณนั้นมีความเร็วเกินกว่า 25 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของน้ำ จะทำให้น้ำไหลไปตลอดความยาวของร่องคูได้ยาก ถ้ามีปัญหาดังกล่าวนี้ควรจะให้ทิศทางของร่องคูนั้นตั้งฉากกับทิศทางของลมที่พัดเป็นประจำ และถ้าหากจำเป็นจะต้องให้ร่องคูขนานกับทิศทางการพัดของลม การให้น้ำควรจะทำจากทางด้านเหนือลม

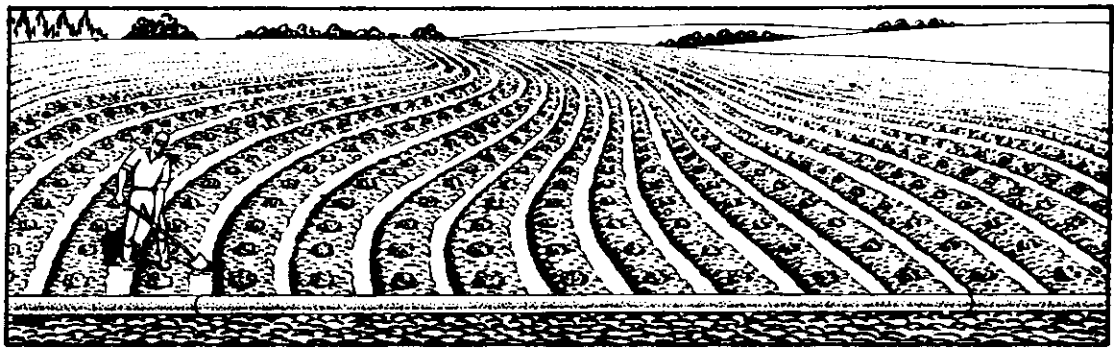
2) ขนาดของร่องคูจะต้องใหญ่พอ ขนาดดังกล่าวนี้ควรจะมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของน้ำที่จะให้แก่พืชในร่องนั้น

3) ถ้าจะให้การให้น้ำโดยวิธีนี้มีประสิทธิภาพดี จะต้องคอยควบคุมระดับดินและรูปทรงของร่องคูให้คงสภาพตามที่ออกแบบไว้อยู่เสมอ

## วิธีให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (Contour Furrow Method)

การให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินนั้นคล้ายคลึงกับการให้น้ำทางร่องคูลาด(Graded Furrow) กล่าวคือเป็นการให้น้ำทางร่องที่มีความลาดเท แต่ร่องตามแนวเส้นขอบเนินนี้จะราบกว่าและทิศทางของร่องจะเกือบขนานไปกับเส้นขอบเนิน ความลาดเทของร่องคูนั้นจะไม่มากนัก คือมีเพียงเพื่อให้น้ำไหลไปยังปลายของร่องได้เท่านั้น คูส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับร่องเพื่อจ่ายน้ำให้แต่ละร่อง รูปร่างลักษณะของร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินแสดงไว้ในรูปที่ 6.9

**การเลือกใช้** การให้น้ำวิธีนี้สามารถใช้ได้กับพื้นที่ที่มีความลาดเททั่ว ๆ ไป ยกเว้นพื้นที่ที่เป็นดินทรายหรือดินที่มีการแตกระแหงเมื่อแห้ง เพราะว่าหลังร่องซึ่งใช้ปลูกพืชถ้าเป็นดินทรายอาจพังและมีน้ำล้นข้ามได้ง่าย ซึ่งถ้าเกิดขึ้นแล้วจะก่อให้เกิดการพังต่อเนื่องกันไปตามความลาดเท และก่อให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงขึ้นได้ ดินที่แตกระแหงก็จะทำให้เกิดช่องซึ่งทำให้น้ำในร่องที่สูงกว่าไหลลงมารวมกับร่องที่อยู่ต่ำกว่า และอาจก่อ



**รูปที่ 6.9 การให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนิน (CONTOUR FURROW)**

ให้เกิดความเสียหายเช่นเดียวกับดินทรายได้ การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทสม่ำเสมอทั้งสองด้านของพื้นที่ เพราะว่าจะสามารถให้ร่องยาวได้มากและลดจำนวนร่องสั้น ๆ ลง

การให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินนี้สามารถใช้กับพืชที่ปลูกเป็นแถวได้เกือบทุกชนิด ในเขตที่ไม่มีฝนตกหนักและเนื้อดินขนาดปานกลางจนถึงดินเนื้อละเอียด อาจเลือกให้น้ำโดยวิธีนี้ได้ถ้าหากความลาดเทไม่เกิน 6 เปอร์เซนต์และร่องคูเป็นร่องคูลึก แต่ถ้าเป็นดินเนื้อหยาบความลาดเทของพื้นที่ไม่ควรเกิน 4 เปอร์เซนต์ เพราะอาจเกิดอันตรายจากการพังของร่องได้ สำหรับร่องคูตื้นความลาดเทของพื้นที่ไม่ควรเกิน 3 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าเป็นพืชยืนต้นความลาดเทของพื้นที่ที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้จะชันขึ้นได้อีก เพราะว่าร่องจะแข็งแรงกว่าเนื่องจากไม่มีการไถหรือพรวนดินมากเหมือนพืชไร่

## ข้อดี

1) ในกรณีที่พื้นที่มีความลาดเทชันมาก การให้น้ำทางร่องคูตามแนวเส้นขอบเนินจะเกิดการกัดเซาะน้อยกว่าการให้น้ำทางร่องคูลาด

2) มีความสม่ำเสมอในการให้น้ำดี เพราะว่าสามารถใช้อัตราให้น้ำขนาดใหญ่กับร่องซึ่งเกือบจะอยู่ในแนวราบ ทำให้น้ำไหลไปถึงปลายร่องในเวลาอันรวดเร็ว นอกจากนั้นยังลดเวลาในการให้น้ำลงได้ด้วย

3) มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง ถ้าหากได้รับการวางผังและให้น้ำอย่างถูกต้อง

## ข้อเสีย

1) จะต้องคอยตรวจตราอยู่เสมอว่าจะไม่มีน้ำล้นข้าม หรือไหลข้ามมาจากร่องที่อยู่สูงกว่าไปสู่ร่องที่ต่ำกว่าในขณะที่ให้น้ำ

2) ในพื้นที่ที่มีฝนตกชุก น้ำฝนอาจก่อให้เกิดการไหลล้นข้ามร่องและเกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงได้

3) ความยาวของร่องจะต้องไม่มากนักเพื่อที่จะได้ระบายน้ำที่เหลือออกไปโดยไม่เกิดอันตราย

4) ต้องการร่องระบายน้ำที่มีการป้องกันอย่างดี เพื่อที่จะระบายน้ำที่เหลือออกไปได้โดยไม่เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงขึ้น

5) สำหรับพืชบางชนิด การซ่อมแซมร่องจะต้องทำด้วยมือ เพราะว่าเมื่อพืชโตแล้วจะไม่สามารถใช้เครื่องจักรกลได้อีก

6) จะต้องมีการป้องกันการกัดเซาะในคูส่งน้ำด้วย เพราะคูส่งน้ำก็มีความลาดเทมาก

7) ต้องใช้เวลาในการวางแนวร่องคูมาก นอกจากนั้น การปลูกและการพรวนดินจะต้องทำด้วยความระมัดระวัง

8) เครื่องมือที่ใช้ในการปลูก พรวนดิน และเก็บเกี่ยวจะต้องเลี้ยวบนพื้นที่เพาะปลูกตรงร่องที่ไปสิ้นสุดอยู่ตรงกลางของพื้นที่

## วิธีให้น้ำทางร่องคูเล็ก (Corrugation Method)

การให้น้ำทางร่องคูเล็กเป็นการให้น้ำแก่พืชโดยให้น้ำท่วมผิวดินเพียงบางส่วน โดยการให้น้ำไหลไปในร่องน้ำเล็ก ๆ และตื้น ซึ่งอยู่ห่างจากกันเป็นระยะทางเท่า ๆ กัน การให้น้ำวิธีนี้ต่างกับร่องคูแบบอื่น ๆ ตรงที่ว่าขนาดของร่องน้ำนั้นเล็กและตื้น ระยะระหว่างร่องน้ำต้องไม่มากเกินกว่าที่น้ำจากร่องน้ำทั้งสองจะไหลซึมมาพบกันได้เมื่อการให้น้ำได้สิ้นสุดลงแล้ว

ระยะเวลาที่จะต้องให้น้ำในร่องคูเล็กนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ต้องการจะให้แก่พืช และอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน เมื่อเริ่มต้นให้น้ำ อัตราที่ให้จะต้องสูงกว่าอัตราที่น้ำซึมเข้าไปในดินเพื่อให้น้ำนั้นไหลไปถึงปลายร่องได้อย่างรวดเร็ว แต่เมื่อน้ำไหลไปถึงปลายร่องแล้วจะต้องลดอัตราการให้น้ำลงเพื่อมิให้น้ำไหลออกท้ายร่องไปมาก หรือมิฉะนั้นก็จะต้องรวบรวมน้ำเหล่านี้มาใช้อีก

รูปร่างลักษณะของร่องคูเล็กแสดงไว้ในรูปที่ 6.10

**รูปที่ 6.10 การให้น้ำทางร่องคูเล็ก ( CORRUGATION )**

**การเลือกใช้** การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทสม่ำเสมอระหว่าง 1 ถึง 8 เปอร์เซนต์และมีฝนตกไม่มากนัก สำหรับพื้นที่ที่มีความลาดเทไม่สม่ำเสมอก็อาจจะใช้ได้เหมือนกัน แต่ควรจะให้ร่องคูเล็กนี้มีความลาดเทเท่ากันตลอดและจะต้องไม่มีการไหลล้นข้ามร่องไม่ว่าจะเป็นน้ำฝนหรือน้ำชลประทาน การใช้วิธีให้น้ำแบบนี้ในเขตที่มีฝนตกชุกมักจะก่อให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงได้เสมอ

การให้น้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพืชที่ปลูกต้นชิดกัน พืชหว่านเมล็ดหรือพืชที่ปลูกแล้วไม่ต้องมีการไถพรวนดินอีก เช่นหญ้าเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น พืชสวนที่มีหญ้าหรือพืชอื่น ๆ เป็นพืชคลุมดินก็อาจจะให้น้ำโดยวิธีนี้ได้เหมือนกัน

ดินที่เหมาะกับการให้น้ำทางร่องคูเล็กก็คือดินที่มีเนื้อดินละเอียดจนถึงดินค่อนข้างหยาบ แต่ไม่เหมาะกับดินที่มีอัตราการซึมสูง วิธีนี้จะใช้ได้ดีกับดินที่มีการแตกระแหงหลังจากที่ดินเปียกชุ่มแล้วแห้ง เพราะว่าจะมีผิวดินที่สัมผัสกับน้ำไม่มากนัก ทำให้ลดการแตกระแหงลงได้ การให้น้ำแบบนี้อาจจะใช้ในแปลงที่ให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border) ในขณะที่ต้นพืชยังเล็กอยู่ เพื่อป้องกันมิให้ต้นพืชได้รับอันตรายจากการพัดพาของน้ำ หรือจมน้ำ เมื่อต้นพืชโตและแข็งแรงดีแล้วจึงให้น้ำแบบท่วมเป็นผืนยาว

## ข้อดี

1) สามารถใช้ได้กับอัตราการส่งน้ำทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ เพราะว่าสามารถจัดจำนวนร่องที่จะให้น้ำครั้งหนึ่ง ๆ ให้พอเหมาะกับอัตราการส่งน้ำที่ได้รับได้

2) ไม่ต้องการการปรับพื้นที่มากนัก ดังนั้นเมื่อได้มีการเปิดพื้นที่แล้วก็จะสามารถเพาะปลูกและให้น้ำได้อย่างรวดเร็ว

3) ถ้าใช้กับพื้นที่ที่ได้รับการปรับให้เรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอแล้ว ก็จะให้ประสิทธิภาพสูงถ้าออกแบบและให้น้ำอย่างถูกต้อง

## ข้อเสีย

1) ต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก เพราะว่าจะต้องมีการลดอัตราการให้น้ำที่ระยะเวลาต่าง ๆ เพื่อให้การให้น้ำนั้นสม่ำเสมอและมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากไหลเลยท้ายร่องออกไปน้อยที่สุด

2) เนื่องจากร่องคูมีขนาดเล็กและตื้น ดังนั้นจะต้องมีการตบแต่งทุกปี บางครั้งอาจจะต้องทำหลายครั้งตลอดปีซึ่งทำให้ต้องสิ้นเปลืองมากขึ้น

3) วิธีนี้ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่ค่อนข้างราบ โดยปกติแล้วจะไม่ใช้กับพื้นที่ที่มีความลาดเทน้อยกว่า 1 เปอร์เซนต์

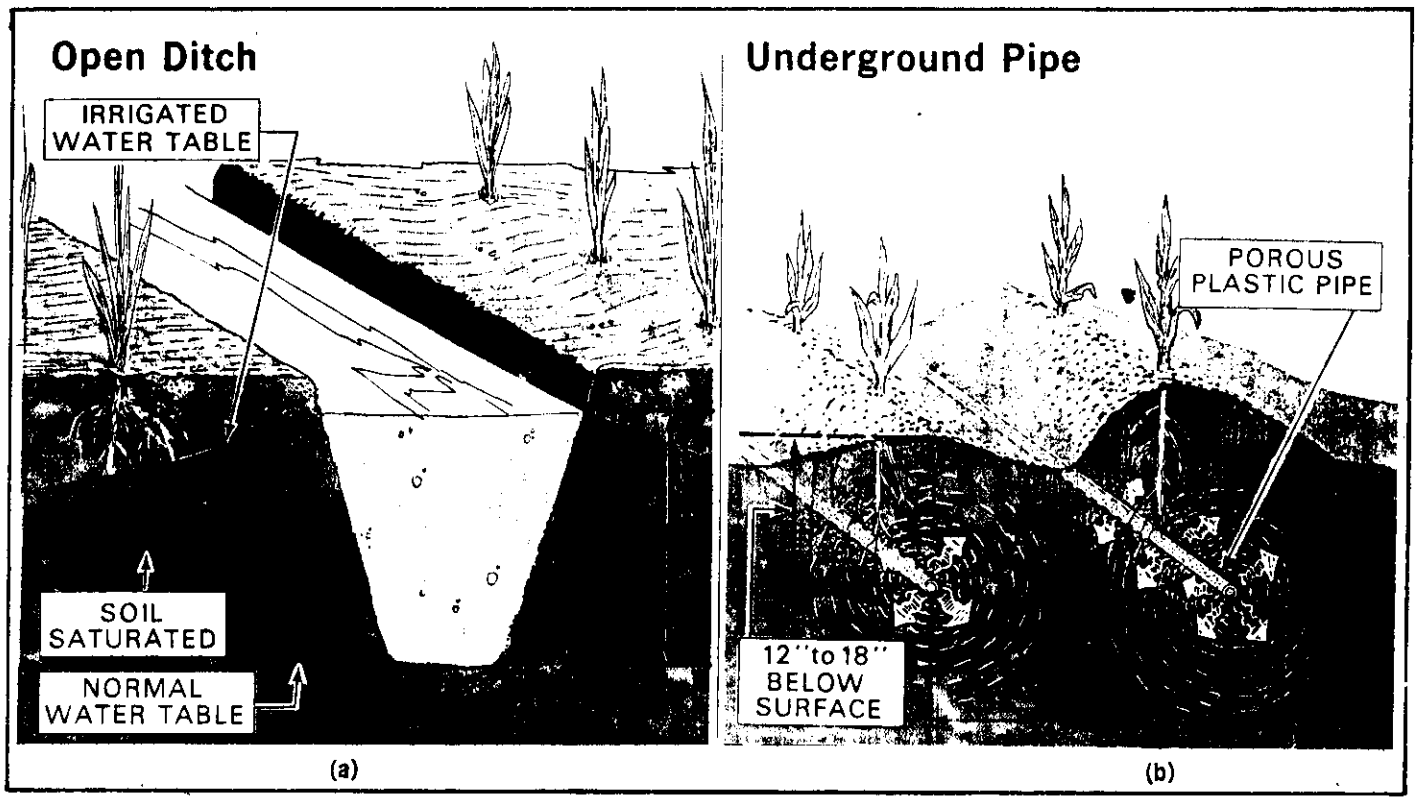
4) ไม่เหมาะกับพื้นที่ที่มีความลาดเทมากและอยู่ในเขตที่มีฝนตกชุก เพราะอาจทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงขึ้นได้

# การให้น้ำทางใต้ผิวดิน
# (Subsurface Irrigation)

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

การยกระดับน้ำใต้ดินโดยการให้น้ำในคูนั้นเป็นที่นิยมกันมากกว่าการให้น้ำในท่อ คูดังกล่าวนี้จะขุดขึ้นตามแนวเส้นขอบเนินเป็นระยะ ๆ ช่วงห่างระหว่างคูเหล่านี้จะต้องไม่ไกลกันจนเกินไปนักเพื่อที่ว่าน้ำจะสามารถไหลซึมเข้าไปในดินและระบายออกได้อย่างรวดเร็วเมื่อสิ้นสุดการให้น้ำ คูควบคุมระดับน้ำใต้ดินนี้เชื่อมต่อกับคูส่งน้ำซึ่งมีอาคารชลประทานคอยควบคุมน้ำในคูทั้งสองให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้

สำหรับการเพิ่มระดับน้ำใต้ดินโดยใช้ท่อซึ่งฝังไว้ใต้ดินนั้นค่าลงทุนจะสูงมาก ท่อใต้ดินซึ่งส่วนมากเป็นท่อดินเผาจะฝังลึกประมาณ 0.60 ถึง 1.0 เมตรจากผิวดิน มีความลาดเทเล็กน้อยเป็นแนวขนานกันและขนานกับความลาดเทของพื้นที่ ระยะระหว่างท่อจะต้องอยู่ใกล้กันพอที่จะควบคุมระดับน้ำใต้ดินได้ง่าย ปลายบนของท่อต่อเข้ากับคูที่ทำหน้าที่ส่งน้ำให้กับพื้นที่ ส่วนปลายล่างก็ต่อเข้ากับท่อซึ่งทำหน้าที่ระบายน้ำที่มากเกินพอออกไปในคูส่งน้ำจะต้องมีอาคารควบคุมระดับน้ำเช่นเดียวกันกับแบบแรก




**รูปที่ 6.11 การให้น้ำทางใต้ผิวดิน (SUBSURFACE IRRIGATION)**

ท่อรูตุ่น(Mole drains) หรือท่อที่เกิดจากการใช้แทรกเตอร์ลากท่อนเหล็กที่มีรูปคล้ายลูกปืนไปในดินนั้น สามารถใช้ให้น้ำทางใต้ดินได้เช่นเดียวกันกับท่อ แต่พบว่าไม่ค่อยได้ผลนัก เพราะปรากฏว่าเมื่อต้องการระบายน้ำออกจากดินหลังจากที่ให้น้ำตามที่ต้องการแล้วมักจะระบายออกได้ยาก

รูปร่างลักษณะของระบบให้น้ำทางใต้ผิวดินแสดงไว้ในรูปที่ 6.11

**การเลือกใช้** การให้น้ำวิธีนี้เหมาะสำหรับดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอ และมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้มากพอที่จะให้น้ำไหลทั้งในแนวราบและในแนวดิ่งได้รวดเร็ว และจะต้องมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เขตราก ซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมระดับน้ำใต้ดินได้โดยมีการสูญเสียน้ำไม่มากนัก พื้นที่ควรจะเรียบและเกือบอยู่ในแนวราบ พืชที่ให้น้ำโดยวิธีนี้ได้ก็มีพวกผัก พืชไร่ หญ้าเลี้ยงสัตว์ และไม้ดอกต่าง ๆ แต่ไม่เหมาะกับพืชสวนหรือพืชยืนต้นอื่น ๆ

## ข้อดี

1) การให้น้ำแบบนี้สามารถใช้ได้กับดินที่มีอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินสูง แต่มีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้น้อย ซึ่งไม่เหมาะกับการให้น้ำทางผิวดิน

2) สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชที่อายุต่าง ๆ ได้

3) มีการสูญเสียน้ำเนื่องจากการระเหยน้อยมาก

4) การแพร่กระจายของเมล็ดวัชพืชเนื่องจากถูกน้ำพัดพาไปน้อย

5) ระบบให้น้ำทางใต้ดินอาจใช้เป็นระบบระบายน้ำได้ด้วย

6) ต้องการแรงงานในการให้น้ำน้อย

7) ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

## ข้อเสีย

1) เนื่องจากวิธีนี้ต้องการให้มีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ใต้เขตราก และดินจะต้องมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ดีพอสมควร ดังนั้นจึงใช้ได้กับพื้นที่เพียงบางแห่งเท่านั้น

2) โดยปกติแล้วพื้นที่ที่อยู่ข้างเคียงจะต้องให้น้ำวิธีนี้เหมือนกัน มิฉะนั้นอาจจะก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้นได้

3) น้ำชลประทานจะต้องมีคุณภาพดี มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาเรื่องการสะสมของเกลือบนผิวดินและในเขตรากขึ้นได้

4) ในกรณีที่น้ำชลประทานมีเกลืออยู่บ้าง ก็จะต้องมีการชะล้างเกลือออกจากดินเป็นประจำ

5) การงอกของเมล็ดอาจจะไม่สม่ำเสมอถ้าหากไม่สามารถควบคุมน้ำใต้ดินให้ไหลซึมขึ้นมาอย่างสม่ำเสมอได้

6) สามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด พวกพืชที่มีรากลึกเช่นพืชสวนและพืชยืนต้นไม่เหมาะที่จะให้น้ำโดยวิธีนี้

7) ปุ๋ยที่ให้แก่พืชแผ่กระจายไปทั่วเขตรากได้ช้ากว่าแบบให้น้ำทางผิวดินหรือแบบฉีดฝอย

# การให้น้ำแบบหยด
# (Drip or Trickle Irrigation)

การให้น้ำแบบหยดเป็นการให้น้ำแก่พืชที่จุดใดจุดหนึ่งหรือหลาย ๆ จุดบนผิวดินหรือในเขตรากพืช โดยอัตราที่ให้นั้นไม่มากพอที่จะทำให้ดินในเขตรากนั้นเปียกชุ่มเป็นบริเวณกว้าง แต่จะทำให้ดินมีแรงดึงความชื้นต่ำอยู่ตลอดเวลา โดยปกติแล้วผิวดินจะเปียกแต่ตรงจุดที่ให้น้ำเท่านั้น น้ำที่ให้แก่พืชอาจจะอยู่ในรูปของเมล็ดน้ำเล็ก ๆ ซึ่งฉีดจากหัวฉีดขนาดเล็กที่ต้องการแรงดันไม่มากนัก หรือเป็นหยดน้ำหรือสายน้ำเล็ก ๆ ที่ไหลจากท่อปลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 1 ถึง 2 มิลลิเมตร หัวฉีดหรือท่อปลาสติกนี้จะวางไว้ในบริเวณโคนต้นพืช โดยมีท่อปลาสติกหรือสายยางขนาดใหญ่ซึ่งนำน้ำมาจากท่อประธานเป็นท่อจ่ายน้ำให้อีกทีหนึ่ง จำนวนหัวฉีดหรือท่อปลาสติกจะขึ้นอยู่กับอายุและความต้องการน้ำของพืช เนื่องจากว่าท่อหรือหัวฉีดซึ่งทำหน้าที่จ่ายน้ำมีขนาดเล็กมาก น้ำที่ใช้จึงต้องปราศจากตะกอนขนาดที่จะมาอุดตันหัวฉีดหรือท่อปลาสติกได้ บางครั้งอาจจะต้องให้น้ำผ่านเครื่องกรองเสียก่อน

ดินที่เหมาะกับการให้น้ำแบบนี้ควรจะเป็นดินที่มีเนื้อละเอียดจนถึงดินค่อนข้างหยาบ ควรเป็นดินที่มีการไหลซึมทางด้านข้างดี เนื่องจากว่าการให้น้ำเป็นพื้นที่แคบ ๆ ดินที่โปร่งมากจะทำให้น้ำไหลซึมลึกลงไปในดินมากกว่าที่จะไหลซึมไปหารากพืชทางด้านข้าง ทำให้ความชื้นในดินแผ่กระจายไปไม่ทั่วเขตราก

รูปร่างลักษณะของระบบให้น้ำแบบหยด และลักษณะของหัวจ่ายน้ำบางชนิดแสดงไว้ในรูปที่ 6.12

**การเลือกใช้** การให้น้ำแบบนี้เหมาะอย่างยิ่งสำหรับพื้นที่ที่น้ำสำหรับให้แก่พืชมีจำนวนจำกัดหรือมีราคาแพง สามารถใช้ได้ดีกับดินเกือบทุกชนิดแต่จะดีมากถ้าดินนั้นมีการไหลซึมทางด้านข้างดีพอสมควร เพราะจะได้รัศมีทางราบของปริมาตรดินที่เปียกชื้นกว้างกว่า ซึ่งเป็นผลให้สามารถลดจำนวนหัวจ่ายน้ำ(Emitter) ลงได้ เนื่องจากว่าการให้น้ำแบบนี้มีระยะเวลาในการให้น้ำยาวนานแต่ไม่ทำให้ดินเปียกชุ่มเป็นบริเวณกว้าง จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับพืชที่มีรากตื้นและต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา เช่น พวกพืชผักต่าง ๆ อย่างไรก็ตาม การให้น้ำแบบนี้ใช้ได้ดีกับพืชยืนต้นเหมือนกัน แต่เนื่องจากว่าค่าลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูง ส่วนใหญ่จึงมักเลือกใช้กับพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงเช่น พวกไม้ผลต่าง ๆ เป็นต้น

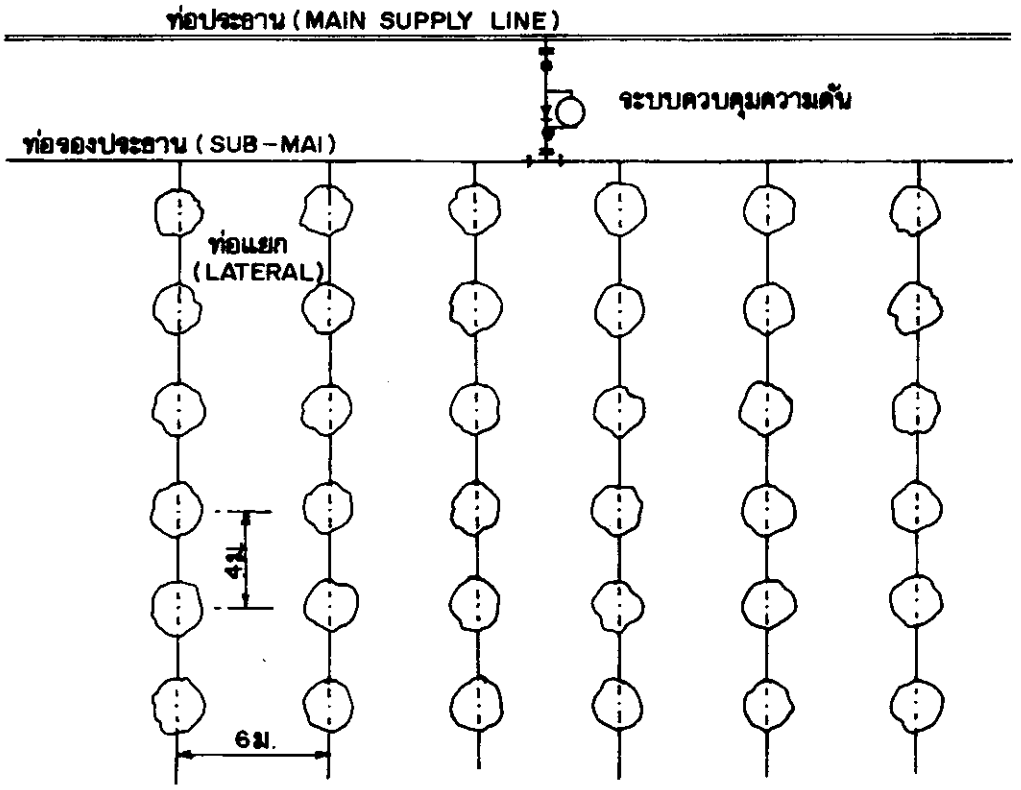
## ข้อดี

1. ประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงมาก เพราะว่าสามารถควบคุมน้ำได้ทุกขั้นตอน และมีการสูญเสียโดยการระเหยน้อย ดังนั้น ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำที่ใช้จึงมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น ๆ

2. ค่าใช้จ่ายในการให้น้ำน้อยเพราะไม่ต้องการแรงงานในการให้น้ำมาก และไม่ต้องการแรงดันที่หัวจ่ายน้ำ(Emitter) มากเหมือนแบบฉีดฝอย

3. สามารถใช้ระบบให้น้ำแบบนี้ให้ปุ๋ยและสารเคมีอื่น ๆ แก่พืชพร้อม ๆ กับการให้น้ำได้ด้วย โดยการผสมปุ๋ยหรือสารเคมีเข้ากับน้ำทางท่อดูดของเครื่องสูบน้ำ หรืออัดเข้าทางต้นท่อของระบบ

4. ไม่มีปัญหาโรคพืชหรือแมลงที่เกี่ยวเนื่องจากการเปียกชื้นของใบเหมือนในการให้น้ำแบบฉีดฝอย




ตัวอย่างระบบให้น้ำแบบหยดในสวนผลไม้

รูปที่ 6.12 การให้น้ำแบบหยด ( DRIP IRRIGATION )

5. ลดปัญหาเรื่องการแพร่กระจายของวัชชพืชลงเนื่องจากว่าน้ำที่ให้แก่พืชจะเปียกผิวดินเป็นบริเวณแคบ ๆ เท่านั้น

6. ไม่มีปัญหาเรื่องลมแรงเหมือนในการให้น้ำแบบฉีดฝอย

7. เนื่องจากว่าอัตราการให้น้ำไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ดินและพืช ดังนั้นอาจทำการให้น้ำได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องคอยดูแล ระยะเวลาให้น้ำที่ยาวนานเช่นนี้จะมีผลให้ไม่ต้องใช้ระบบส่งน้ำขนาดใหญ่ หรือต้องการเครื่องสูบน้ำแรงม้าสูง

8. เนื่องจากการให้ปุ๋ยและสารเคมีโดยการผสมไปกับน้ำจะมีประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกันกับการให้น้ำ ดังนั้น ค่าใช้จ่ายสำหรับปุ๋ยและสารเคมีก็จะลดลงด้วย

9. ยกเว้นหัวจ่ายน้ำซึ่งมักจะมีปัญหาเรื่องอุดตันแล้ว ระบบชลประทานแบบนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนานพอสมควร

10. สามารถติดตั้งให้ทำการให้น้ำแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก เช่น ให้น้ำตามกำหนดเวลาที่ตั้งไว้ หรือให้น้ำเมื่อความชื้นของดินในเขตรากลดลงถึงระดับหนึ่งเป็นต้น

11. ไม่มีปัญหาเรื่องอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน เพราะอัตราการให้น้ำจะไม่มากพอที่จะทำให้ดินเปียกชุ่มเป็นบริเวณกว้างอยู่แล้ว

12. เนื่องจากปริมาณน้ำที่ให้และที่สูญเสียไปโดยการระเหยน้อย ดังนั้น การสะสมของเกลือที่ติดมากับน้ำในเขตรากจึงไม่มากเหมือนแบบอื่น ๆ ที่ใช้น้ำจากแหล่งเดียวกัน

## ข้อเสีย

1. มีปัญหาเรื่องการอุดตันที่หัวจ่ายน้ำมาก สำหรับการอุดตันที่เนื่องมาจากตะกอนทรายในน้ำชลประทานนั้นอาจแก้ไขได้โดยการกรองน้ำเสียก่อน สาเหตุอื่นอาจเนื่องมากจากการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำ หรือเนื่องมาจากการสะสมตัวของสารเคมีในน้ำ การอุดตันดังกล่าวนี้ถ้ามีระยะเวลายาวนานก่อนตรวจพบ พืชอาจได้รับความเสียหายได้

2. เนื่องจากว่าบริเวณที่เปียกชื้นไม่กว้างขวางนัก ความเข้มข้นของเกลือซึ่งมักจะเกิดขึ้นในบริเวณรอบ ๆ นอกของส่วนที่เปียกชื้นจึงมักจะสูงและอาจเป็นอันตรายต่อพืชได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีฝนไม่มากพอที่จะชะล้างเกลือออกไปให้เลยเขตราก กรณีดังกล่าวนี้อาจป้องกันได้โดยการให้น้ำในระหว่างฤดูฝนด้วยเพื่อป้องกันมิให้สารละลายของเกลือไหลย้อนมาหารากพืช หรืออาจจะต้องมีการชะล้างเกลือออกจากดินเป็นครั้งคราวด้วย

3. เนื่องจากว่าการให้น้ำแบบนี้ดินจะเปียกชื้นแต่เพียงบางส่วนของเขตรากเท่านั้น การแผ่ขยายของรากส่วนใหญ่จึงถูกจำกัดอยู่แต่ในบริเวณนี้ ดังนั้น ถ้าหากหัวจ่ายน้ำเกิดการอุดตัน โอกาสที่พืชจะได้รับความเสียหายรุนแรงจึงมีมากกว่าการให้น้ำแบบอื่น

4. ค่าลงทุนครั้งแรกค่อนข้างสูงเพราะต้องมีอุปกรณ์หลายอย่าง โดยทั่ว ๆ ไปราคาจะพอ ๆ กับระบบชลประทานแบบฉีดฝอย แต่จะแพงกว่าแบบผิวดิน ยกเว้นในกรณีที่การให้น้ำทางผิวดินนั้นต้องการการปรับพื้นที่มาก

# บทที่ 7
## การกำหนดการให้น้ำแก่พืช

ในการชลประทาน หรือการให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโตและให้ผลตอบแทนสูงนั้น เรามักจะพบกับปัญหาซึ่งเป็นหัวใจของการชลประทานอยู่เสมอคือ เมื่อไรจึงควรจะให้น้ำแก่พืช และให้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใด ถ้าหากทราบคำตอบทั้งสองข้อนี้ก็ย่อมเป็นที่แน่ใจได้ว่า การชลประทานนั้นจะสัมฤทธิ์ผลโดยการเพิ่มผลผลิตขึ้นได้อย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะให้คำตอบนี้ได้นั้นเราจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับพืช ดิน และน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของการชลประทานเสียก่อน สิ่งที่เราต้องการทราบก็มี

1) ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุของมัน

2) ความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก

3) ปริมาณน้ำที่จะหามาทำการชลประทานได้ และกำหนดเวลาที่จะได้รับน้ำนั้น

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่าง ๆ ตลอดอายุของมัน และความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก เป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นซึ่งจะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำ และปริมาณที่จะต้องให้ในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งเราไม่สามารถจะให้แก่พืชได้เต็มจำนวนตามที่มันต้องการเสมอไปเนื่องจากว่าน้ำที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด หรือในขณะที่พืชกำลังต้องการน้ำนั้นยังไม่ถึงกำหนดส่งน้ำจากโครงการชลประทาน ดังนั้น จึงต้องทราบด้วยว่าจะมีน้ำที่สามารถให้แก่พืชได้อย่างแน่นอนเท่าไรและมีหมายกำหนดการส่งน้ำอย่างไร เพื่อที่ว่าจะได้จัดเวลาที่ยอมให้พืชขาดน้ำอยู่ในช่วงที่จะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด หรือถ้ามีน้ำมากพอแต่การส่งน้ำนั้นไม่ตรงกับที่พืชต้องการ ก็จะได้จัดเตรียมเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงที่มิได้มีการส่งน้ำด้วย

## พืชกับการกำหนดการให้น้ำ

พืชที่กำลังเจริญเติบโตย่อมมีการใช้น้ำอยู่ตลอดเวลา อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและสภาพของภูมิอากาศอื่น ๆ การให้น้ำแก่พืชในแต่ละครั้งปริมาณที่ให้ควรจะมากพอกับความต้องการของพืชไปจนกว่าจะถึงกำหนดการให้น้ำคราวหน้า ซึ่งอาจจะมีระยะเวลาตั้งแต่สองสามวันจนถึงสองสามอาทิตย์ ความถี่ในการให้น้ำเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณากันอย่างรอบคอบเพราะว่าพืชบางชนิดเช่น พวกผักต่าง ๆ ต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา ถ้าดินแห้งผลผลิตจะต่ำหรือมีคุณภาพเลวลง แต่พืชบางชนิด เช่น ส้มและไม้ผลอื่น ๆ อีกหลายอย่าง ต้องให้มีการขาดน้ำบ้างเล็กน้อยเสียก่อนจึงจะออกดอกออกผล ดังนั้น การกำหนดความถี่ในการให้น้ำจึงจำเป็นต้องทราบอุปนิสัยของพืชที่ปลูกด้วย โดยทั่ว ๆ ไปแล้วการกำหนดเวลาที่ควรจะให้น้ำแก่พืชอาจทำได้สองแบบคือ โดยการสังเกตลักษณะอาการของพืชและโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในดิน

การกำหนดการให้น้ำโดยสังเกตจากลักษณะอาการของพืชนั้นสามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด เช่น พืชที่มีรากเป็นหัวจะแสดงอาการเหี่ยวเฉาเมื่อเริ่มขาดน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนบ่ายที่มีอากาศร้อนจัด ถั่วฝ้าย เมื่อเริ่มมีการขาดน้ำใบอ่อนของมันจะมีสีเขียวเข้มขึ้นกว่าปกติ สำหรับไม้ผลไม่ควรจะกำหนดการให้น้ำโดย

วิธีนี้ เพราะกว่าจะสังเกตพบพืชอาจจะขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลาหลายวันแล้ว ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและปริมาณลดลง

พืชทุกชนิดเมื่อมีการขาดน้ำจะลดอัตราการเจริญเติบโตลง ดังนั้น ถ้าไม่จำเป็นแล้วควรให้พืชมีน้ำใช้อย่างเพียงพออยู่เสมอ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วเราจะกำหนดเวลาที่ต้องให้น้ำแก่พืชโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้(Available Moisture) ที่ยังมีเหลืออยู่ในดิน เพราะจำนวนความชื้นดังกล่าวนี้เท่านั้นที่จะบอกว่าพืชกำลังขาดน้ำอยู่หรือเปล่า

การที่จะให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง จะต้องคอยควบคุมจำนวนความชื้นในดินให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะอยู่เสมอ พืชส่วนใหญ่สามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้เป็นอย่างดีถ้าดินมีความชื้นสูง เมื่อความชื้นในดินลดลงแรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้น ถ้าหากไม่มีน้ำมาเพิ่มความชื้นให้แก่ดินในที่สุดพืชจะไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอกับความต้องการได้ อัตราการเจริญเติบโตก็จะลดลงหรือหยุดเจริญเติบโต แต่ถ้าหากมีการให้น้ำแก่พืชในตอนนี้ พืชบางชนิดจะสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ตามปกติโดยมีการเสียหายเพียงเล็กน้อยหรือไม่เสียหายเลย พืชบางชนิดอาจจะเสียหายมากถ้าหากความชื้นในดินอยู่ใกล้ขีดเฉา (Wilting Point) ติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน ถึงแม้ว่ามันอาจจะเจริญเติบโตต่อไปได้ แต่จะพบว่าผลผลิตที่ได้ลดลงไป

เนื่องจากว่าระดับความเสียหายที่เกิดจากการขาดน้ำนั้นขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช ดังนั้นในเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องยอมให้พืชขาดน้ำ ก็ควรจะเลือกให้อยู่ในระยะที่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด เช่นการทดลองให้น้ำข้าวโพดพบว่า ถ้าให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงขีดเฉาเป็นเวลา 1 ถึง 2 วันในช่วงที่ข้าวโพดกำลังออกช่อดอก(Tasseling)จะทำให้ผลผลิตลดลงได้มากถึง 22 เปอร์เซนต์ และถ้าให้ขาดน้ำในช่วงนี้ติดต่อกันเป็นเวลา 6 ถึง 8 วันผลผลิตอาจจะลดลงถึง 50 เปอร์เซนต์ ดังนั้นถ้าต้องการปลูกข้าวโพดให้ได้ผลผลิตสูงแล้วก็จะต้องป้องกันมิให้ความชื้นในดินลดลงใกล้ขีดเฉาเลยตลอดอายุของมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่กำลังออกช่อดอก

สำหรับพืชบางชนิด เช่น ฝ้าย ซึ่งมีการใช้น้ำในดินอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าพืชชนิดอื่น อาจไม่จำเป็นต้องให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าหากมันขาดน้ำผลผลิตก็จะลดลงเช่นเดียวกัน โดยปกติแล้วควรจะให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาหลังจากที่มันเริ่มออกดอกแล้ว สำหรับยาสูบ ในระยะแรกไม่ควรให้น้ำมากนัก แต่ควรจะให้ดินมีความชื้นสูงอยู่เสมอในช่วงหลังของการเพาะปลูก

พืชเกือบทุกชนิดจะให้ผลผลิตน้อยลงหรือมีคุณภาพเลวลงถ้ามีการขาดน้ำที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ระยะเวลาที่เมื่อมีการขาดน้ำแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากที่สุดเรียกว่า ช่วงวิกฤติ (Critical Period) ดังนั้น ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวนี้จะต้องคอยรักษาให้ดินมีความชื้นสูงอยู่เสมอ ช่วงวิกฤติในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่าง ๆ ที่ปลูกกันทั่ว ๆ ไปแสดงไว้ในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ช่วงวิกฤติ(Critical Period) ในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่าง ๆ

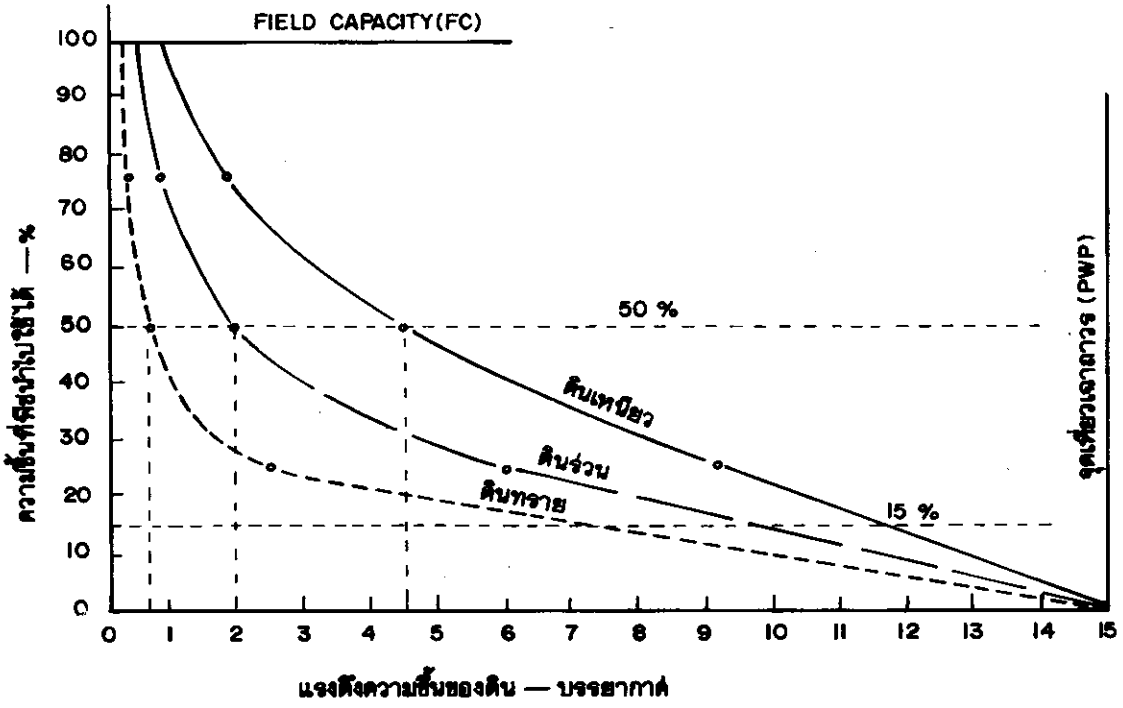
| พืช | ช่วงวิกฤติ |
|---|---|
| กะหล่ำปลี | ใบเริ่มห่อเป็นหัวและหัวกำลังโต |
| กะหล่ำดอก | ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูการปลูก |
| ข้าว | จากตั้งท้องถึงออกรวง(Booting to Heading) |
| ข้าวโพด | ช่วงผสมเกสรจากออกซ่อดอกจนถึงมีเนื้อเต็มเมล็ด รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกซ่อดอก และรองลงมาเป็นช่วงที่เมล็ดกำลังจะเต็ม ช่วงผสมเกสรจะวิกฤติมากถ้าหากข้าวโพดไม่เคยขาดน้ำมาก่อน |
| ข้าวฟ่าง | วิกฤติมากในช่วงออกซ่อดอกจนถึงเมล็ดเต็ม รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอก |
| ถั่วต่าง ๆ | วิกฤติที่สุดในช่วงออกดอกและติดฝัก รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอก รองลงมาเป็นช่วงฝักกำลังแก่ แต่ช่วงฝักแก่จะวิกฤติกว่าช่วงก่อนออกดอกถ้าไม่เคยขาดน้ำมาก่อน |
| ธัญญพืช | จากตั้งท้องถึงออกรวง |
| บร็อคเคอลี่ | เริ่มออกดอกและดอกกำลังโต |
| ผักต่าง ๆ | ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูการปลูก |
| ฝ้าย | วิกฤติที่สุดในช่วงออกดอกถึงติดสมอ รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอก รองลงมาเป็นช่วงหลังติดสมอถึงสมอแก่ |
| มะเขือเทศ | จากออกดอกจนถึงช่วงผลกำลังโต |
| มันฝรั่ง | ต้องการความชื้นสูงหลังเริ่มลงหัว ออกดอก จนถึงเก็บเกี่ยว |
| ไม้ผล | ผลกำลังโต |
| ไม้ผลประเภทส้ม | ออกดอกและติดผล มะนาวจะออกดอกดกถ้างดให้น้ำในช่วงก่อนออกดอกเล็กน้อย ผลร่วงในช่วงแล้งจัดอาจแก้ได้โดยการให้น้ำให้ชุ่มชื้นพอ |
| ยาสูบ | ตั้งแต่ต้นสูงประมาณ 50 เซนติเมตรจนถึงออกดอก |
| ละหุ่ง | ต้องการความชื้นสูงในระยะที่กำลังโตเต็มที่ |
| อ้อย | วิกฤติมากในช่วงกำลังแตกกอและลำต้นกำลังโต |

## ดินกับการกำหนดการให้น้ำ

ถึงแม้ว่าการรักษาความชื้นของดินให้อยู่ในระดับสูงอยู่เสมอเป็นสิ่งที่จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง แต่ในทางปฏิบัติแล้วเราไม่สามารถจะรักษาความชื้นของดินให้อยู่ที่ระดับใดระดับหนึ่งตลอดฤดูการเพาะปลูกได้ นอกจากนั้นพืชแต่ละชนิดยังต้องการให้ดินมีจำนวนความชื้นแตกต่างกันอีกด้วย พืชบางชนิดต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาจึงจะให้คุณภาพและปริมาณของผลผลิตดี กล่าวคือ จะต้องไม่ยอมให้ความชื้นของดินลดลงไปใกล้ขีดเฉา(Wilting point) เลย ระดับความชื้นก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งที่จะ

บอกว่าดินนั้นมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาหรือไม่ เราอาจถือว่าถ้าดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ประมาณสองในสาม หรือประมาณ 66 เปอร์เซนต์แล้วดินนั้นยังชื้นอยู่ แต่ถ้าความชื้นดังกล่าวเหลืออยู่เพียงหนึ่งในสาม หรือประมาณ 33 เปอร์เซนต์ก็ถือว่าดินนั้นแห้ง

ระดับความชื้นของดินก่อนการให้น้ำอาจจะเทียบหาได้จากแรงดึงความชื้นของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดิน (Soil Moisture Tension) กับจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)มีลักษณะดังเช่นรูปที่ 7.1




**รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดินกับจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้**

จากรูปนี้จะเห็นว่า ที่ Field capacity ดินมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 100 เปอร์เซนต์ และที่ขีดเฉา (Wilting point) ดินไม่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เลย

เนื่องจากว่าช่องว่างระหว่างเมล็ดดินของดินแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน น้ำในดินที่มีเนื้อหยาบ เช่นทราย จะถูกดูดไปใช้เกือบหมดโดยใช้แรงดึงความชื้นเพียงเล็กน้อย แต่ในดินที่มีเนื้อละเอียดจะยังคงมีความชื้นเหลืออยู่อีกเป็นจำนวนมากเมื่อใช้แรงดึงความชื้นขนาดเดียวกัน หรือถ้าพิจารณาทางด้านความชื้นในดินที่ยังเหลืออยู่ ที่ระดับความชื้นที่ยังเหลืออยู่ 50 เปอร์เซนต์ดินเหนียวจะมีแรงดึงความชื้นประมาณ 4.5 บรรยากาศ ส่วนดินร่วนและดินทรายจะมีแรงดึงความชื้นประมาณ 2.0 และ 0.75 บรรยากาศตามลำดับ อย่าลืมว่ารากพืชจะต้องออก

แรงดึงดูดความชื้นมากกว่าแรงดึงความชื้นของดินจึงจะได้น้ำไปใช้ โดยปกติแล้วรากพืชมีแรงดูดน้ำจากดินได้ขนาดหนึ่ง เมื่อแรงดึงความชื้นของดินเพิ่มขึ้น หรือดินแห้งมากขึ้นรากพืชก็จะต้องใช้แรงดูดน้ำมากขึ้นและจะดูดน้ำจากดินได้น้อยลง เมื่ออัตราที่รากดูดน้ำได้น้อยกว่าที่มันคายออกทางใบพืชก็จะขาดน้ำและเกิดการเหี่ยวเฉา ดังนั้น จากตัวอย่างดินทั้งสามที่กล่าวนี้ ถ้าต้องการให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือ 50 เปอร์เซนต์ ก็จะต้องให้น้ำเมื่อดินเหนียว ดินร่วน และดินทรายมีแรงดึงความชื้น 4.5, 2.0 และ 0.75 บรรยากาศตามลำดับ

ดังได้กล่าวแล้วว่า ความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ได้จะยังคงสูงอยู่ถ้าหากแรงดึงความชื้นต่ำ ดังนั้น อาจพบว่าผลผลิตที่ได้จะแตกต่างกันถ้าให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือ 50 เปอร์เซนต์เท่า ๆ กัน ที่เป็นดังนี้เพราะพืชจะต้องออกแรงดึงดูดความชื้นจากดินเหนียวมากกว่าดินร่วนหรือดินทราย และจะพบว่า พืชที่ปลูกในดินเหนียวจะแสดงอาการขาดน้ำก่อนถึงแม้ว่ายังมีความชื้นเหลืออยู่มากกว่าก็ตาม แต่ถ้าหากให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นมีค่าเท่า ๆ กันจะพบว่าผลผลิตที่ได้แตกต่างกันไม่มากนักทั้ง ๆ ที่ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่แตกต่างกันมาก เช่น ถ้าให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นในดินเท่ากับ 2.0 บรรยากาศ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในดินเหนียว ดินร่วน และดินทราย จะเหลืออยู่ 75, 50 และ 27 เปอร์เซนต์ เป็นต้น

ไม่ว่าความถี่ในการให้น้ำจะกำหนดจากแรงดึงความชื้น หรือจากจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก็ตาม เราไม่สามารถใช้ค่าดังกล่าวนี้กับพืชหรือดินทุกชนิดได้ ค่าเหล่านี้ควรจะทดลองหาจากแปลงเพาะปลูกโดยตรง นอกจากนั้นความถี่ในการให้น้ำควรจะพิจารณาจากค่าแรงและอุปกรณ์ในการให้น้ำ และจากการเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ตลอดจนราคาของผลผลิตในท้องตลาดด้วยว่าถ้ามีการควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในระดับที่ต้องการแล้วจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่

ในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งน้ำที่พืชได้รับส่วนใหญ่เป็นน้ำชลประทาน จากการศึกษาพบว่าควรจะให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซนต์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งถ้าหากหลังการให้น้ำทุกครั้งดินมีความชื้นที่ Field capacity ดินจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้อยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เปอร์เซนต์ตลอดเวลา

สำหรับในเขตชุ่มชื้นน้ำที่พืชใช้ส่วนใหญ่อาจมาจากฝน ดังนั้นการให้น้ำจึงทำกันเฉพาะในช่วงที่ขาดฝน และถ้าหากต้องการจะใช้น้ำฝนให้มากที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดน้ำชลประทานแล้ว ก็จะต้องจัดที่ไว้สำหรับเก็บน้ำฝนให้มากที่สุด นั่นก็คือ ยอมให้ความชื้นในดินลดลงมาใกล้ขีดเฉาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิต

การกำหนดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก่อนการให้น้ำ จะต้องพิจารณาทั้งความสะดวกในการให้น้ำ และความชื้นที่พืชต้องการเพื่อให้เกิดผลผลิตสูงสุดด้วย ในบางครั้งกสิกรอาจจะยังไม่ต้องการให้น้ำเนื่องจากความชื้นในดินยังสูงอยู่ และเกรงว่าอีกสองสามวันข้างหน้าจะมีฝนตกลงมาอีก อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่า สำหรับพืชทั่ว ๆ ไปอาจจะยอมให้พืชดูดเอาความชื้นไปใช้ 40 ถึง 50 เปอร์เซนต์แล้วจึงให้น้ำ แต่ถ้าเป็นพืชที่มีราคาแพงซึ่งถ้าให้ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงมากแล้วจะทำให้ปริมาณหรือคุณภาพของผลผลิตลดลง ก็อาจจะต้องให้น้ำเมื่อดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ 65 ถึง 70 เปอร์เซนต์ เป็นต้น

การกำหนดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะว่าพืชจะไม่สามารถดูดน้ำ

มาใช้ให้พอเพียงกับความต้องการได้ถ้าหากความชื้นในดินลดลงใกล้ขีดเฉา เนื่องจากแรงดึงความชื้นจะสูงมาก จากการทดลองพบว่าผลผลิตของพืชเกือบทุกชนิดจะลดลงถ้าหากความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงเหลือ 20 เปอร์เซนต์ หรือต่ำกว่า สำหรับพืชและดินบางชนิดผลผลิตอาจจะลดลงได้เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 30 ถึง 50 เปอร์เซนต์

จำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดิน ในระดับที่เริ่มจะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตนี้เรียกว่า ระดับความชื้นวิกฤติ (Critical Moisture Level) หรือบางทีเรียกสั้น ๆ ว่า จุดวิกฤติ (Critical Point) ค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืชที่ปลูก จากรูปที่ 7.1 จะเห็นได้ว่าที่ระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือเท่ากับ 15 เปอร์เซนต์ แรงดึงความชื้นสำหรับดินทราย ดินร่วน และดินเหนียวจะมีค่าเท่ากับ 7.3, 9.8 และ 11.8 บรรยากาศตามลำดับ ถ้าพิจารณาจากแรงดึงความชื้นของดินแล้ว พืชจะสามารถดูดน้ำจากดินทรายได้ง่ายกว่าดินร่วนหรือดินเหนียว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าดินทรายมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้น้อย ที่แรงดึงความชื้น 7.3 บรรยากาศความชื้นในดินทรายก็ลดลงไปใกล้ขีดเฉาแล้ว ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยจึงไม่ควรให้ความชื้นในดินทรายลดลงไปต่ำกว่า 15 เปอร์เซนต์ ส่วนดินเหนียวซึ่งมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้มากกว่า ถึงแม้ว่าพืชจะต้องออกแรงดูดน้ำมากกว่า แต่ที่ระดับความชื้นที่เหลืออยู่ 15 เปอร์เซนต์นั้น เมื่อคิดออกมาเป็นปริมาณน้ำแล้วจะยังคงมีน้ำเหลืออยู่มากกว่าในดินทรายมาก ดังนั้นพืชจะยังมีน้ำใช้มากกว่า

ด้วยเหตุนี้ถ้าจะป้องกันมิให้พืชต้องขาดน้ำแล้ว การกำหนดระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่จะต้องพิจารณาจากดินและพืชเป็นราย ๆ ไป สำหรับการออกแบบระบบการชลประทาน ระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดินสำหรับการออกแบบควรอยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 เปอร์เซนต์

## องค์ประกอบอื่น ๆ กับการกำหนดการให้น้ำ

การกำหนดการให้น้ำ นอกจากจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของดินและพืชที่ปลูกแล้ว ยังมีองค์ประกอบอย่างอื่นที่จะต้องนำเข้ามาพิจารณาด้วยคือ สภาพภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูก สภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องก็มี รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศ และความยาวของชั่วโมงกลางวันตลอดฤดูการเพาะปลูก เป็นต้น สภาพภูมิอากาศเหล่านี้จะมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชซึ่งจะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำนั่นเอง สำหรับองค์ประกอบเกี่ยวกับการจัดการเพาะปลูกก็ได้แก่ ช่วงของฤดูที่ทำการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว ความหนาแน่นของพืชที่ปลูกต่อไร่ วิธีการและค่าใช้จ่ายในการให้น้ำ และการใช้ปุ๋ย เป็นต้น

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทุกอย่างแล้วอาจสรุปได้ว่า เราสามารถแบ่งการกำหนดการให้น้ำเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มหนึ่งต้องการการให้น้ำบ่อยครั้งจึงจะให้ผลผลิตสูง ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนักก็ได้

**กลุ่มที่ต้องการการให้น้ำบ่อยครั้ง** มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูกดังนี้คือ

### ก. พืช

1. มีรากตื้น ไม่หนาแน่น และอัตราการแผ่ขยายต่ำ
2. การเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ไม่มีฝน หรือช่วงที่มีการระเหยและคายน้ำมาก

3. ผลผลิตที่ต้องการเป็น ลำต้น ใบ ดอก หรือผลสด

## ข. ดิน

1. ชั้นดินตื้น โครงสร้างของดินไม่ดีทำให้รากแผ่ขยายออกไปได้แคบและตื้น
2. อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินต่ำ การระบายน้ำในดินไม่ดี และมีการถ่ายเทอากาศไม่ดี
3. มีโรคที่เป็นอันตรายต่อรากพืชอยู่ในดิน
4. ดินระบายน้ำออกมาให้พืชได้น้อยเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ
5. เป็นดินเค็ม และ/หรือน้ำชลประทานมีเกลือละลายอยู่เป็นปริมาณมาก
6. มีปุ๋ยอยู่ในดินเป็นปริมาณมาก หรือปุ๋ยส่วนใหญ่อยู่ในดินชั้นบน
7. ดินมีอุณหภูมิสูงมาก และพืชมีรากตื้น

## ค. ภูมิอากาศ

1. มีลักษณะที่ทำให้อัตราการระเหยและการคายน้ำสูง
2. ไม่มีฝนตกในฤดูการเพาะปลูก

## ง. การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกพืชตอนต้นฤดูแล้ง
2. ต้องการผลผลิตสูง ถึงแม้ว่าจะทำให้การเก็บเกี่ยวล่าช้าไปบ้างก็ยอม
3. ราคาของผลผลิตขึ้นอยู่กับน้ำหนักสด หรือขนาดของส่วนที่เก็บเกี่ยว

**กลุ่มที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนัก** มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศและการจัดเพาะปลูกดังนี้คือ

## ก. พืช

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

## ข. ดิน

1. ชั้นดินลึก โครงสร้างดี
2. อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินพอเหมาะ การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในดินดี
3. ดินระบายน้ำออกมาให้พืชได้มากเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ
4. ดินและน้ำชลประทานมีเกลืออยู่น้อย
5. มีปุ๋ยอยู่ในดินไม่มากนักและแผ่กระจายอยู่ตลอดความลึกของชั้นดิน
6. น้ำใต้ดินอยู่ในระดับที่พืชสามารถดูดมาใช้ได้บ้าง

## ค. ภูมิอากาศ

1. มีอัตราการระเหยและการคายน้ำต่ำ
2. มีฝนตกในฤดูการเพาะปลูก

## ง. การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกและเจริญเติบโตในฤดูฝน และ/หรือในช่วงที่มีการระเหยและการคายน้ำน้อย
2. ปลูกและเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนถึงฤดูแล้ง
3. ต้องการให้ผลผลิตแก่หรือสุกเร็วเพราะว่าตลาดกำลังต้องการ ถึงแม้ว่าคุณภาพและปริมาณจะด้อยกว่าปกติก็ยอม

# วิธีกำหนดการให้น้ำ

ดังได้กล่าวแล้วว่าการกำหนดการให้น้ำแก่พืชอาจทำได้หลายวิธี ทุก ๆ วิธีมีวัตถุประสงค์อย่างเดียวกันคือ เพื่อให้สามารถให้น้ำแก่พืชได้ทันเวลาที่มันต้องการโดยไม่ก่อให้เกิดการเสียหายแก่ผลผลิตอันเนื่องมาจากการขาดน้ำ อย่างไรก็ตาม การที่จะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้นย่อมขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย เช่น ในท้องที่ที่หาน้ำได้ยากหรือน้ำมีราคาแพง การให้น้ำควรจะกำหนดเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของน้ำที่ใช้สูงสุด ถ้าท้องที่นั้นหาน้ำได้ง่ายแต่คุณภาพของดินไม่ดีหรือพื้นที่ดินมีราคาสูง ก็ควรจะกำหนดการให้น้ำเพื่อให้ได้ผลผลิตต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่สูงสุด นอกจากนั้นการกำหนดการให้น้ำอาจจะต้องดัดแปลงให้เข้ากับสภาพแวดล้อมอย่างอื่น เช่น เพื่อให้เข้ากับกำหนดการส่งน้ำจากโครงการชลประทาน เพื่อให้เข้ากับการทำงานอย่างอื่นในไร่นา เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการให้น้ำให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อการควบคุมระดับน้ำใต้ดินและเพื่อการชะล้างเกลือออกจากดิน เป็นต้น

การกำหนดการให้น้ำอาจพิจารณาได้จากลักษณะอาการของพืชที่ปลูก คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับจำนวนความชื้นของดิน ซึ่งมีทั้งการวัดจำนวนความชื้นของดินโดยตรง การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน ตลอดจนการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์วัดคุณสมบัติบางอย่างแล้วเทียบเป็นจำนวนความชื้นที่ดินมีอยู่ในขณะนั้น ส่วนอีกวิธีหนึ่งก็คือ การหาว่าดินยังมีความชื้นเหลืออยู่เท่าใดโดยการเปรียบเทียบกับการระเหยที่วัดได้จากถาดวัดการระเหยหรือการใช้น้ำของพืชที่วัดได้ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เฉพาะสองอย่างหลังคือคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับจำนวนความชื้นของดิน และการเปรียบเทียบกับการระเหยหรือการใช้น้ำของพืชที่วัดได้

## การวัดจำนวนความชื้นของดินโดยตรง(Gravimetric Sampling)

การตรวจวัดความชื้นของดินโดยตรงเป็นวิธีหนึ่งที่จะหาว่าความชื้นของดินในขณะนั้นลดลงจนถึงจุดที่ต้องให้น้ำแล้วหรือยัง การตรวจวัดทำโดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในเขตรากและที่จุดต่าง ๆ ในพื้นที่เพาะปลูก จากนั้นก็นำมาชั่งแล้วอบให้แห้งในเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของดินนั้นไม่ลดลงอีก แล้วนำมาชั่งอีกครั้ง น้ำหนักของดินที่หายไปในการชั่งทั้งสองครั้งจะเป็นน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในดินในขณะที่เก็บตัวอย่าง น้ำดังกล่าวนี้อาจจะบอกเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของ

ดินแห้ง หรือถ้าทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินก็อาจจะแปลงให้เป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตรได้ อย่างไรก็ตาม การที่จะใช้ตัวเลขที่หามาได้มากำหนดการให้น้ำนั้น จำเป็นต้องทราบค่า Field Capacity และจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ของดินนั้นด้วย

ตามปกติแล้วเราจะยอมให้ความชื้นของดินลดลงถึงระดับหนึ่งซึ่งอาจเป็น 25, 50 หรือ 75 เปอร์เซนต์ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ ค่าดังกล่าวนี้เรียกว่า **ความชื้นที่ยอมให้ลดลงได้** (Allowable Soil Moisture Deficiency หรือ Allowable Depletion) ถ้าหากความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดต่ำกว่านี้แล้วจะเกิดการเสียหายแก่ผลผลิต หรือความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในดินในขณะที่ความชื้นของดินลดลงถึงระดับต่ำสุดที่ยอมให้ก็คือระดับความชื้นวิกฤติ(Critical Moisture Level) หรือจุดวิกฤติ(Critical Point) นั่นเอง

ถึงแม้ว่าการวัดจำนวนความชื้นของดินโดยตรงเป็นวิธีให้ค่าถูกต้องที่สุด แต่ก็มีข้อเสียที่ทำให้ไม่สามารถใช้ได้ทั่ว ๆ ไปอยู่หลายอย่าง คือ

1. ต้องใช้เวลาและแรงงานมาก กล่าวคือ ต้องออกไปเก็บตัวอย่างดิน นำมาเข้าเตาอบและคอยจนดินแห้ง ซึ่งจะต้องใช้เวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมงจึงจะได้คำตอบที่ต้องการ

2. ต้องการเครื่องมือหลายชิ้น เช่น สว่านเจาะเก็บตัวอย่างดิน กระป๋องเก็บตัวอย่าง เครื่องชั่งน้ำหนักและเตาอบ เครื่องมือเหล่านี้บางชิ้นมีใช้เฉพาะในห้องทดลองเท่านั้น

3. ความละเอียดถูกต้องขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการเก็บตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างและความสม่ำเสมอของเนื้อดินในพื้นที่เพาะปลูก

ด้วยเหตุดังกล่าว การกำหนดการให้น้ำโดยการวัดจำนวนความชื้นโดยตรงจึงมีใช้กันแต่เฉพาะในงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องจริง ๆ เช่นในงานวิจัยเท่านั้น

## การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดิน(Feel and Appearance)

การดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่เจาะได้ที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในเขตรากและที่จุดต่าง ๆ ในพื้นที่จะทำให้ทราบความชุ่มชื้นของดินได้โดยประมาณ เนื่องจากวิธีนี้ต้องการเครื่องมือเจาะดูตัวอย่างดินเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมีประโยชน์มากเมื่อไม่มีเครื่องมือกำหนดการให้น้ำช่วย

การตรวจดูลักษณะของดินทำโดยการใช้สว่านเจาะดิน หรือใช้พลั่วขุดดินในเขตรากมาตรวจดู ซึ่งถ้าหากกสิกรมีความคุ้นเคยกับลักษณะของดินที่มีความชื้นขนาดต่าง ๆ กันดีพอแล้วก็สามารถบอกได้ทันทีว่า ดินในขณะนั้นแห้งพอที่จะลงมือให้น้ำได้หรือยัง กระทรวงเกษตรของสหรัฐได้จัดทำตารางสำหรับเป็นแนวทางในการกำหนดการให้น้ำไว้ ดังตารางที่ 7.2

ถึงแม้ว่าการประมาณความชื้นของดินโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ละเอียดถูกต้องนัก แต่ถ้าหากกสิกรมีความชำนาญก็จะสามารถกำหนดการให้น้ำได้ถูกต้องพอสมควร

ตารางที่ 7.2 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่าง ๆ

| ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่มีอยู่ในดิน | ลักษณะและความรู้สึกสัมผัส | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ดินเนื้อหยาบ | ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ | ดินเนื้อปานกลาง | ดินเนื้อละเอียดและละเอียดมาก |
| 0 เปอร์เซนต์ | แห้ง ร่วน ไม่เกาะกัน-เป็นก้อน | แห้ง ร่วน ไม่เกาะกัน-เป็นก้อน | แห้งเป็นผง หรือเกาะกันเป็นก้อน แต่บี้ให้แตกเป็นผงได้ง่าย | แห้ง แข็ง มีรอยแตกร้าว บางทีมีก้อนร่วนเล็ก ๆ บนผิวหน้า |
| 50 เปอร์เซนต์หรือต่ำกว่า | ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ-ไม่เป็นก้อน | ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ-ไม่เป็นก้อน | ค่อนข้างร่วน แต่กำให้แน่น-จะเกาะกันเป็นก้อนได้ | ค่อนข้างนุ่ม กำให้แน่น-เป็นก้อนได้ |
| 50 ถึง 75 เปอร์เซนต์ | ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน | กำให้แน่นเป็นก้อนได้ แต่-แตกง่าย ไม่เกาะกัน | กำเป็นก้อนได้ ค่อนข้าง-เหนียว เมื่อบีบจะลื่นเล็กน้อย | กำเป็นก้อน ใช้นิ้วรีดเป็น-แผ่นบาง ๆ ได้ |
| 75 เปอร์เซนต์ ถึง Field Capacity | เกาะกันบ้าง กำเป็นก้อน แต่แตกง่าย | กำเป็นก้อน แต่แตกง่าย | กำเป็นก้อน อ่อนนุ่มมาก ถ้ามีดินเหนียวมากจะลื่น | รีดเป็นแผ่นระหว่างนิ้วมือ-ได้ง่าย รู้สึกลื่น |
| ที่ Field Capacity (100 เปอร์เซนต์) | บีบไม่มีน้ำออกมา แต่-เปียกมือ | เหมือนดินเนื้อหยาบ | เหมือนดินเนื้อหยาบ | เหมือนดินเนื้อหยาบ |
| เกิน Field Capacity | สลัดในมือจะมีน้ำกระเด็น-ออกมา | นวดดินจะมีน้ำออกมา | บีบจะมีน้ำออกมา | เป็นโคลน มีน้ำบนผิว |

## การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์วัด

ปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ได้ประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำขึ้นหลายแบบ เครื่องมือเหล่านี้ใช้วัดคุณสมบัติบางอย่างของดิน แล้วเทียบค่าที่วัดได้นั้นให้เป็นจำนวนความชื้น เครื่องมือนี้มีหลายแบบ ซึ่งอาจแบ่งออกตามคุณสมบัติของดินที่มันทำการวัดหรือวิธีการวัด คือ

1) **แบบวัดแรงดึงความชื้นของดิน** โดยให้แรงดึงความชื้นของดินอยู่ในภาวะสมดุลย์กับน้ำที่บรรจุอยู่ในกระเปาะพรุน (Porous cup) เครื่องมือชนิดนี้เรียกว่าเครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน (Tensiometer)

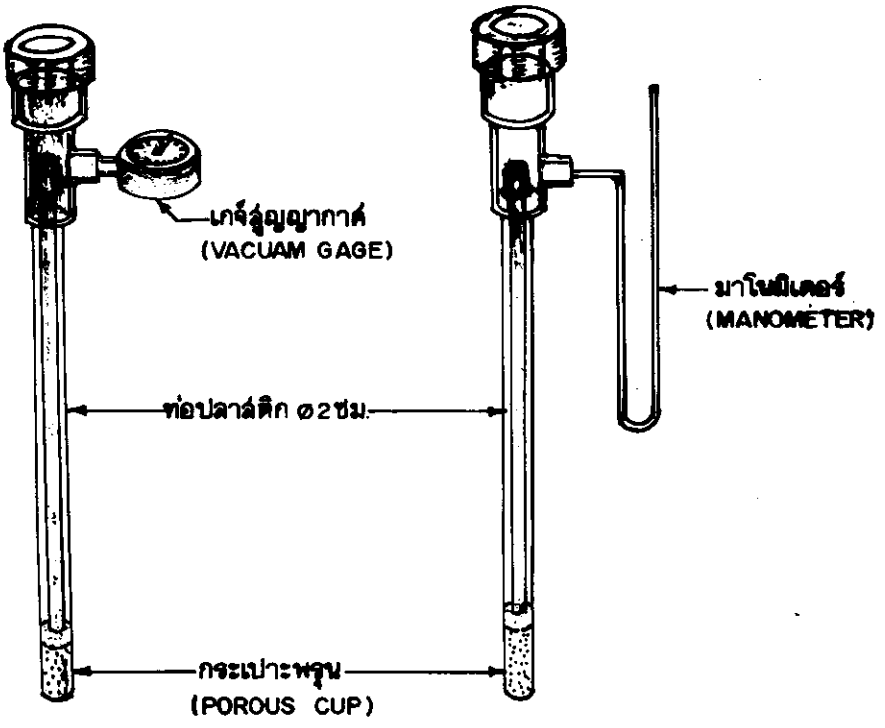
2) **แบบวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุพรุน(Porous Media)** ซึ่งมีความชื้นอยู่ในภาวะสมดุลย์กับดินบริเวณรอบ ๆ จุดที่มันฝังอยู่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่วัดส่วนมากเป็นความต้านทาน ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือวัดความต้านทานประกอบด้วย อุปกรณ์ทั้งหมดรวมเรียกว่าเครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า( Electrical Resistance Instruments) ส่วนตัววัสดุพรุนเรียกว่าก้อนความต้านทาน(Resistance block) ซึ่งประกอบขึ้นด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วแล้วห่อหุ้มด้วยปูนปลาสเตอร์ ไนล่อนหรือไฟเบอร์กลาส

3) **แบบวัดการกระจายของนิวตรอน (Neutron Scattering)** ที่สารกัมมันตภาพรังสีส่งออกไปแล้วสะท้อนกลับมา นิวตรอนที่ส่งออกไปนี้เมื่อไปกระทบเข้ากับไฮโดรเยนอตอมของน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในดิน จะทำให้ความเร็วของนิวตรอนที่สะท้อนกลับมาลดลง จำนวนนิวตรอนช้า(Slow Neutron) ที่สะท้อนกลับมานี้สามารถวัดและเทียบเป็นความชื้นในดินได้ เครื่องมือแบบนี้เรียกว่าเครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (Neutron Moisture Meter)

## เครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน (Tensiometer)

เครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดินประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ท่อกลม ซึ่งส่วนมากเป็นปลาสติกใส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร (3/4 นิ้ว) ยาวตั้งแต่ประมาณ 15 ถึง 150 เซนติเมตร แล้วแต่ความลึกของดินตรงจุดที่ต้องการวัด ที่ปลายของท่อจะมีกระเปาะพรุน (Porous Cup) ขนาดเดียวกันกับท่อ ยาวประมาณ 6 เซนติเมตร และมีปลายกลมมนสวมอยู่ ปลายอีกด้านหนึ่งมีฝาเกลียวเปิดได้ ก่อนที่จะถึงปลายท่อด้านมีฝาเกลียวจะมีข้อต่อเข้ากับเกจ์สูญญากาศ(Vacuum Gage) หรือหลอดแก้วรูปตัวยูบรรจุปรอทซึ่งเรียกว่า มาโนมิเตอร์ (Manometer) เพื่อใช้วัดค่าสูญญากาศในท่อปลาสติก ลักษณะโดยทั่ว ๆ ไปของเครื่องมือแสดงไว้ในรูปที่ 7.2

การทำงานของเครื่องวัดแรงดึงความชื้นจะเริ่มต้นเมื่อฝังลงไปในดินให้กระเปาะพรุนอยู่ในดินอยู่ตรงจุดที่ทำการวัด เติมน้ำให้เต็มแล้วปิดฝาให้แน่น ดินบริเวณรอบ ๆ กระเปาะพรุนซึ่งแห้งกว่าจะดูดน้ำออกไปจากกระเปาะพรุนและทำให้เกิดสูญญากาศขึ้นในท่อปลาสติกซึ่งจะวัดได้จากเกจ์สูญญากาศหรือมาโนมิเตอร์ ถ้าดินบริเวณรอบ ๆ กระเปาะพรุนแห้งมากก็จะเกิดสูญญากาศมาก ในทางตรงกันข้าม หลังจากฝนตกหรือให้น้ำดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น แรงดึงความชื้นลดลง น้ำก็จะถูกดูดกลับเข้ามาและค่าที่อ่านได้จากเกจ์สูญญากาศก็จะลดลง




**รูปที่ 7.2 เครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน ( TENSIOMETER)**

เสกลที่หน้าปัดของเกจ์สูญญากาศจะบอกเป็นแรงดึงความชื้นของดินจาก 0 ถึง 100 เซนติบาร์ หนึ่งร้อยเซนติบาร์เท่ากับหนึ่งบาร์ ซึ่งมีค่าประมาณเท่ากับหนึ่งบรรยากาศหรือ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ถ้าเกจ์สูญญากาศอ่านได้ 0 เซนติบาร์ก็แสดงว่าดินนั้นอิ่มน้ำ(Saturated) จาก 0 ถึง 5 เซนติบาร์แสดงว่าดินเปียกมาก สำหรับพืชทั่ว ๆ ไป จาก 10 ถึง 25 เซนติบาร์แสดงว่าดินกำลังมีความชื้นพอเหมาะโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่ต้องการให้ดินมีความชื้นสูง เพราะว่าที่แรงดึงความชื้นขนาดนี้ดินจะมีความชื้นประมาณ Field Capacity ส่วนที่ขีดเฉาหรือ Wilting Point ดินจะมีแรงดึงความชื้นประมาณ 1000 ถึง 2000 เซนติบาร์ซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องวัดแรงดึงความชื้นวัดได้ เมื่อเกจ์สูญญากาศอ่านได้มากกว่า 25 เซนติบาร์ พืชที่มีความรู้สึกไวต่อการขาดน้ำ พืชที่มีรากตื้น พืชที่ปลูกในกระถาง หรือพืชที่ปลูกในดินเนื้อหยาบอาจจะแสดงอาการขาดน้ำบ้าง แต่พืชทั่ว ๆ ไปที่มีรากลึก 50 เซนติเมตรหรือมากกว่าจะไม่กระทบกระเทือนจนกว่าแรงดึงความชื้นของดินจะถึงขนาด 40 ถึง 50 เซนติบาร์ ในดินที่มีเนื้อละเอียดปานกลางและพืชมีรากลึก 75 เซนติเมตรหรือมากกว่า พืชจะไม่กระทบกระเทือนจากการขาดน้ำจนกว่าแรงดึงความชื้นของดินจะถึง 70 เซนติบาร์ และถ้าเป็นดินเนื้อละเอียดหรือค่อนข้างละเอียดพืชมีรากแผ่กระจายออกไปกว้างขวาง ก็อาจจะให้น้ำหลังจากที่เกจ์สูญญากาศอ่านได้ 70 เซนติบาร์เป็นเวลาหลายวันแล้วก็ได้ เมื่ออ่านได้ 80 เซนติบาร์ก็แสดงว่าควรจะให้น้ำแก่พืชได้แล้วถึงแม้ว่าพืชยังไม่แสดงอาการขาดน้ำเลยก็ตาม ความหมายของค่าที่อ่านได้จากเกจ์สูญญากาศของเครื่องวัดแรงดึงความชื้นได้สรุปไว้ในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ความหมายของค่าที่อ่านได้จากเกจ์สูญญากาศของเครื่องวัดแรงดึงความชื้น (Tensiometer)

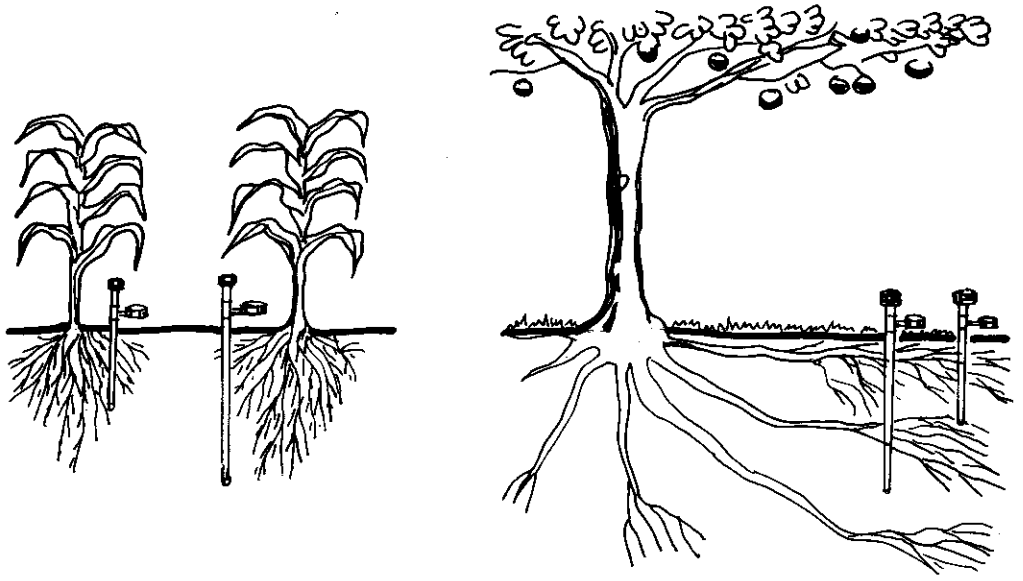
| ค่าที่อ่านได้ - เซนติบาร์ | ความหมาย |
|---|---|
| 0 | เปียกมาก ดินอิ่มน้ำ(Saturated) |
| 0 - 25 | ดินมีความชื้นประมาณที่ Field Capacity ความชื้นกำลังพอเหมาะสำหรับพืชที่ต้องการความชื้นสูง |
| มากกว่า 25 | พืชที่มีความรู้สึกไวต่อการขาดน้ำ พืชรากตื้น พืชที่ปลูกในกระถาง จะเริ่มแสดงอาการขาดน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นดินเนื้อหยาบ |
| 40 - 50 | พืชทั่ว ๆ ไปที่มีรากลึก 50 เซนติเมตรหรือมากกว่าจะเริ่มแสดงอาการขาดน้ำ ถ้าเป็นดินเนื้อหยาบ |
| 70 | พืชที่มีรากลึก 75 เซนติเมตรหรือมากกว่าในดินเนื้อปานกลาง จะเริ่มแสดงอาการขาดน้ำ แต่ถ้าเป็นดินละเอียดหรือค่อนข้างละเอียดอาจจะคอยต่อไปได้อีก 3 - 4 วันแล้วจึงให้น้ำก็ได้ |
| 80 | ควรจะให้น้ำได้แล้วถึงแม้ว่าพืชยังไม่แสดงอาการขาดน้ำเลยก็ตาม |

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วเครื่องวัดแรงดึงความชื้นจะทำงานได้ดีในช่วง 0 ถึงประมาณ 85 เซนติบาร์ เพราะถ้าค่าสูญญากาศมากกว่านี้อากาศจะซึมผ่านกระเปาะพรุนเข้าไปในท่อปลาสติก และจะทำให้เกจ์สูญญากาศไม่แสดงค่าเพิ่มขึ้นถึงแม้แรงดึงความชื้นของดินจะมีค่ามากกว่านี้ก็ตาม นอกจากอากาศจะซึมเข้าไปทางกระเปาะพรุนเมื่อแรงดึงความชื้นของดินมากกว่า 0.85 บรรยากาศแล้ว อากาศอาจจะรั่วเข้าไปตามรอยต่อต่าง ๆ หรือที่ฝาเกลียวซึ่งปิดไม่แน่น การรั่วตามรอยต่ออาจจะทดสอบได้โดยการใช้ปั๊มสูญญากาศสำหรับเครื่องวัดแรงดึงความชื้นซึ่งมีเกจ์ติดอยู่ด้วยตรวจสอบหลังจากเติมน้ำทุกครั้ง ถ้าหากเกจ์สูญญากาศของปั๊มอ่านค่าต่ำกว่า 0.85 บรรยากาศแต่มีฟองอากาศเกิดขึ้นในท่อก็แสดงว่ามีการรั่วที่ใดที่หนึ่ง หรือถ้ารั่วมากเกจ์สูญญากาศจะอ่านได้ 0 เซนติบาร์ตลอดเวลาถึงแม้ว่าดินจะแห้งมากก็ตาม ปั๊มสูญญากาศนอกจากจะใช้ตรวจสอบการรั่วแล้วยังใช้ตรวจสอบความถูกต้องของเกจ์สูญญากาศและใช้ดูดเอาอากาศซึ่งละลายอยู่ในน้ำในท่อปลาสติกออกไป ทำให้มันทำงานได้ถูกต้องดีขึ้นด้วย

การติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงความชื้นทำโดยการสอดท่อเข้าไปในรูที่ได้เตรียมไว้ รูดังกล่าวนี้เจาะด้วยสว่านเจาะดินหรือท่อเก็บตัวอย่างดินซึ่งมีปลายคมและมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับท่อปลาสติก กดที่ปลายด้านฝาเกลียวเบา ๆ เพื่อให้ผนังของกระเปาะพรุนสัมผัสกับดินทั่วทุกด้าน ใช้เศษดินพูนรอบ ๆ ท่อปลาสติก แล้วกดให้แน่นเพื่อป้องกันมิให้น้ำขังและไหลซึมลงไปหากระเปาะพรุนได้

การติดตั้งที่ถูกต้องจะต้องให้กระเปาะพรุนอยู่ในบริเวณที่มีรากแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่น และอยู่ใน

ตำแหน่งที่น้ำที่ให้แก่พืชสามารถซึมไปถึงได้ ตำแหน่งที่มีรากอยู่อย่างหนาแน่นนี้อาจหาได้โดยการขุดดูรากของพืชในบริเวณใกล้เคียง ซึ่งจะพบว่าอยู่ในบริเวณประมาณ 1/3 ของความลึกของราก ถ้าเป็นพืชรากตื้นอาจจะใช้เครื่องวัดแรงดึงความชื้นเพียงอันเดียว แต่ถ้าเป็นพืชรากลึกควรจะติดตั้งที่ 2/3 ของความลึกของรากอีกอันหนึ่ง สำหรับพืชสวนตำแหน่งทั้งสองอาจจะอยู่ที่ 30 และ 60 เซนติเมตร หรือ 40 และ 80 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นต้น ถ้าดินเป็นชั้น กระเปาะพรุนควรจะอยู่ในชั้นดินที่หนาและมีรากแทรกอยู่อย่างหนาแน่นกว่า



**รูปที่** 7.3 **การติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน**

หลังจากทำการติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงความชื้นแล้วประมาณ 24 ชั่วโมง แรงดึงความชื้นของดินรอบ ๆ กระเปาะพรุนก็จะอยู่ในภาวะสมดุลย์กับน้ำในกระเปาะพรุน ค่าที่วัดได้ก็สามารถใช้กำหนดการให้น้ำได้อย่างถูกต้อง แต่ถ้าในขณะที่ติดตั้งดินแห้งมากก็ควรจะให้น้ำแก่พืชครั้งหนึ่งก่อนแล้วจึงใช้ค่าที่อ่านได้กำหนดการให้น้ำครั้งต่อไป ค่าแรงดึงความชื้นที่ควรจะให้น้ำสำหรับพืชชนิดต่าง ๆ จะดูได้จากตารางที่ 7.4

หลังจากที่ได้ใช้เครื่องวัดแรงดึงความชื้นไปแล้วระยะหนึ่งจะพบว่าระดับน้ำในท่อลดลง ทั้งนี้เนื่องจากอากาศซึ่งละลายอยู่ในน้ำได้แยกตัวออกมาเมื่ออุณหภูมิและสูญญากาศในท่อสูงขึ้น และอาจมีการรั่วซึมของอากาศเข้าไปในท่อบ้าง ฟองอากาศนี้จะทำให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดเสียไป เพราะอากาศมีการขยายตัวได้มากกว่าน้ำ ดังนั้นเมื่อพบว่าระดับน้ำในท่อปลาสติกลดลงก็จะต้องเติมน้ำให้เต็มอยู่เสมอ การเติมน้ำทุกครั้งควรจะทำหลังจากให้น้ำแก่พืชแล้วเสร็จ

การอ่านค่าแรงดึงความชื้นควรจะอ่านในตอนเช้าและอยู่ในเวลาเดียวกันทุกครั้ง ทั้งนี้เพราะในตอนกลางคืนพืชมีการใช้น้ำน้อยมาก ความชื้นในดินมีโอกาสไหลซึมเข้ามาหาจุดที่แห้งกว่าในบริเวณรากพืช เมื่อถึงตอนเช้าดิน

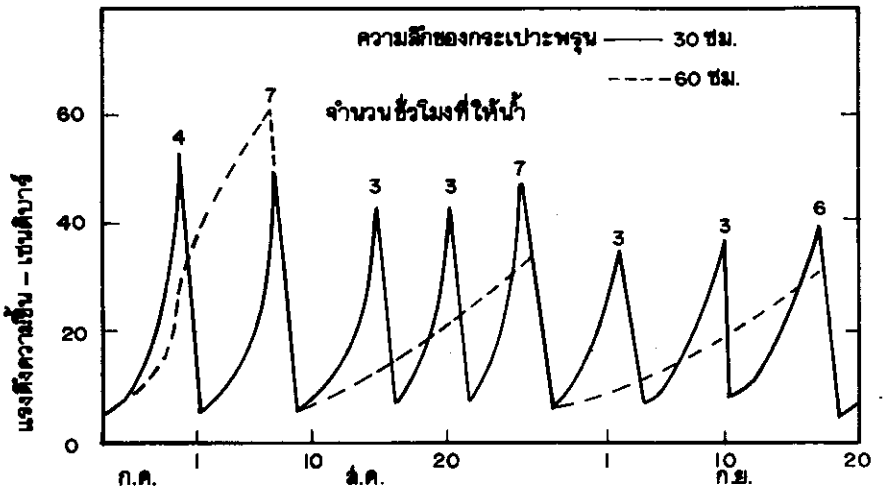
จึงมีความชื้นสม่ำเสมอกันดี ค่าที่อ่านได้จึงเป็นตัวแทนดินตลอดความลึกของเขตรากได้

ความถี่ในการอ่านแรงดึงความชื้นเพื่อกำหนดการให้น้ำขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืชและความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก หลังจากให้น้ำแล้วควรจะมีการอ่านอย่างน้อย 3 ครั้ง หรือให้การอ่านสองครั้งติดต่อกันต่างกันไม่เกิน 15 เซนติบาร์ ถ้าหากมีการให้น้ำมากกว่าหนึ่งครั้งในหนึ่งสัปดาห์ก็ควรจะอ่านทุกวัน และถ้าหากนำค่าที่อ่านได้ทุกครั้งมาเขียนกราฟแสดงค่าที่อ่านในวันต่าง ๆ และหลังจากให้น้ำแล้วเสร็จดังรูปที่ 7.4 ก็จะช่วยให้ทราบถึงสภาพความชุ่มชื้นของดินในอดีตและที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ตลอดจนทราบว่าหลังจากให้น้ำแล้วทุกครั้งน้ำซึมลงไปถึงจุดที่กระเปาะพรุนฝังอยู่หรือไม่ ซึ่งทำให้สามารถกำหนดปริมาณและความถี่ในการให้น้ำแก่พืชได้ถูกต้องดีขึ้น

ตารางที่ 7.4 ระดับแรงดึงความชื้นของดินที่ควรให้น้ำ สำหรับพืชที่ปลูกในดินที่ลึก มีการระบายน้ำดี เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

| พืช | แรงดึงความชื้น บาร์ | พืช | แรงดึงความชื้น บาร์ |
|---|---|---|---|
| กะหล่ำดอก | 0.60 - 0.70 | มะนาว | 0.40 |
| กะหล่ำปลี | 0.60 - 0.70 | มะเขือเทศ | 0.80 - 1.50 |
| กล้วย | 0.30 - 1.50 | มันฝรั่ง | 0.30 - 0.50 |
| ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ | | ไม้ผลประเภทผลัดใบ | 0.50 - 0.80 |
| เริ่มปลูกถึงออกฝัก | 1.50 | ยาสูบ | 0.30 - 0.80 |
| ฝักแก่ | 8.00 - 12.00 | ส้ม | 0.20 - 1.00 |
| ข้าวโพดหวาน | 0.50 - 1.00 | สตรอเบอรี่ | 0.20 - 0.30 |
| คื่นช่ายฝรั่ง | 0.20 - 0.30 | หญ้า | 0.30 - 1.00 |
| แคนตาลูป | 0.35 - 0.40 | หัวหอมใหญ่ | |
| แครอท | 0.55 - 0.65 | ช่วงแรก | 0.45 - 0.55 |
| ถั่ว | | ช่วงหัวกำลังโต | 0.55 - 0.65 |
| ฝัก(Snap lima) | 0.75 - 2.00 | อาโวกาโด | 0.50 |
| เมล็ด (Peas) | 0.30 - 0.50 | อ้อย | 0.25 - 0.30 |
| บรอคโคลี่ | | องุ่น | |
| ช่วงแรก | 0.45 - 0.55 | ช่วงแรก | 0.40 - 0.50 |
| หลังออกดอกเต็มแล้ว | 0.60 - 0.70 | ผลกำลังแก่ | 1.00 |
| ผักกาดหอม | 0.40 - 0.60 | | |

**หมายเหตุ** แรงดึงความชื้นค่าต่ำใช้สำหรับกรณีอากาศร้อน แดดจัดและลมแรง ค่าสูงใช้สำหรับอากาศเย็น พืชใช้น้ำน้อย ค่าเฉลี่ยใช้เมื่อสภาพภูมิอากาศทำให้พืชต้องการน้ำปานกลาง



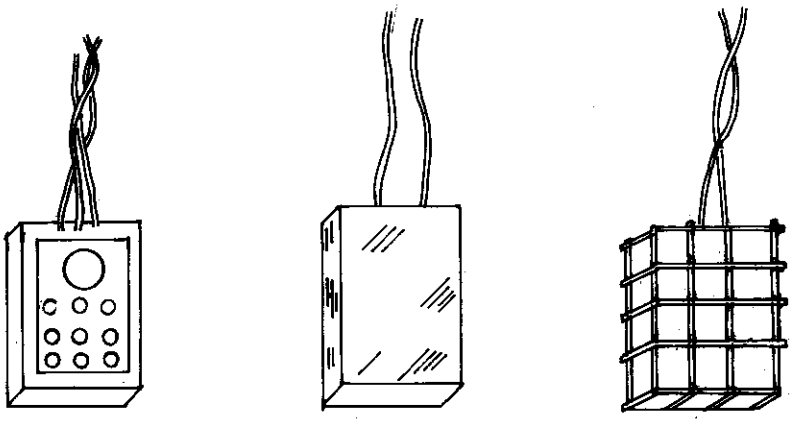

**รูปที่ 7.4 การกำหนดการให้น้ำโดยการสังเกตจากเครื่องวัดแรงดึงความชื้น ซึ่งฝังไว้ที่ระดับ 30 และ 60 เซนติเมตร จากผิวดิน เมื่อดินที่ระดับ 30 เซนติเมตรซึ่งมีรากอยู่อย่างหนาแน่นแห้ง แต่ที่ระดับ 60 เซนติเมตร ยังเปียกอยู่ก็ให้น้ำแต่น้อย ( 3 ถึง 4 ชั่วโมง ) เมื่อทั้งที่ระดับ 30 และ 60 เซนติเมตรแห้ง ก็เพิ่มเวลาให้น้ำให้นานขึ้น ( 7 ชั่วโมง ) เพื่อให้ดินเปียกตลอดความลึก**

เครื่องวัดแรงดึงความชื้น เป็นเครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำที่มีผู้นิยมใช้กันมากแบบหนึ่ง เพราะมันสามารถวัดแรงดึงความชื้นของดินได้ตลอดเวลาและถูกต้องพอสมควร หลังจากติดตั้งแล้วก็สามารถใช้ติดต่อกันไปจนกว่าจะสิ้นฤดูการเพาะปลูกโดยคอยเติมน้ำให้เต็มอยู่เสมอเท่านั้น อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่ามันสามารถวัดได้ถูกต้องเฉพาะในช่วง 0 ถึง 85 เซนติบาร์ ดังนั้นมันจึงเหมาะสำหรับดินเนื้อหยาบมากกว่า เพราะว่าในดินทรายทั่ว ๆ ไปความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เกือบทั้งหมดจะอยู่ในช่วงแรงดึงความชื้นไม่เกิน 1 บรรยากาศหรือ 100 เซนติบาร์ ส่วนในดินเนื้อละเอียดความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ประมาณ 45 เปอร์เซนต์เท่านั้นที่อยู่ในช่วงแรงดึงความชื้นนี้

## เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า (Electrical Resistance Instruments)

เครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำแก่พืชแบบนี้ ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์สองอย่างด้วยกัน คือเครื่องมือวัดความต้านทานไฟฟ้าที่มีขีดแบ่งบอกทั้งความต้านทานและจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ เครื่องวัดความต้านทานนี้บางครั้งเรียกว่า Soil Moisture Meter อุปกรณ์อีกอย่างหนึ่งก็คือก้อนความต้านทานหรือ Resistance block ที่บางครั้งเรียกว่า Soil block หรือ Bouyoucos block ตามชื่อของ G.J.Bouyoucos ผู้ประดิษฐ์เป็นคนแรก

ก้อนความต้านทานประกอบขึ้นด้วยขั้วไฟฟ้าสองขั้วแล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุพรุน เช่นปูนปลาสเตอร์ ไนล่อน หรือไฟเบอร์กลาส รูปร่างของก้อนความต้านทานจะขึ้นอยู่กับลักษณะของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ ขั้วไฟฟ้าที่นิยมใช้กันส่วนมากเป็นแผ่นลวดตะแกรงเหล็กเสตนเลส หรือโลหะผสมสองแผ่นวางขนานกันแล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุพรุน ก้อนความต้านทานที่มีขั้วไฟฟ้าแบบนี้จะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม สำหรับก้อนความต้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์



(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 7.5 ก้อนความต้านทานที่ทำด้วย ไฟเบอร์กลาส (ก) ปูนปลาสเตอร์ (ข) และ ไนล่อน (ค)**

บริษัทผู้ผลิตบางรายใช้ลวดตะแกรงรูปทรงกระบอกและแกนโลหะซึ่งวางอยู่ตรงกลางเป็นขั้วไฟฟ้า ก้อนความต้านทานจึงมีรูปทรงกระบอกด้วย ก้อนความต้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์บางครั้งเรียกว่า Gypsum block

เมื่อฝังก้อนความต้านทานไว้ในดินมันจะทำหน้าที่เสมือนส่วนหนึ่งของดิน คือมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเช่นเดียวกันกับดินในบริเวณรอบ ๆ และเนื่องจากจำนวนความชื้นในวัสดุพรุนมีผลต่อความต้านทานระหว่างขั้วไฟฟ้าในวัสดุพรุน กล่าวคือ ถ้าวัสดุพรุนมีความชื้นมากมันจะมีความนำไฟฟ้าดีหรือมีความต้านทานไฟฟ้าน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้าวัสดุพรุนแห้ง ความต้านทานไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานที่วัดได้จึงสามารถนำมาเทียบเป็นจำนวนความชื้น หรือแรงดึงความชื้นของดินได้

ความละเอียดถูกต้องของค่าที่วัดได้เพื่อนำมากำหนดการให้น้ำแก่พืช จะขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุพรุนที่จะปรับความชื้นในตัวของมันให้เท่ากับความชื้นของดินในบริเวณรอบ ๆ ที่เปลี่ยนไป วัสดุที่ทำจากไนล่อนจะให้ค่าละเอียดถูกต้องดีที่แรงดึงความชื้นไม่เกิน 2 บรรยากาศ ถ้าเป็นปูนปลาสเตอร์ค่าดังกล่าวจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 15 บรรยากาศ ส่วนไฟเบอร์กลาสจะใช้ได้ตลอดช่วงแรงดึงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ แต่พบว่าก้อนความต้านทานที่ทำด้วยไนล่อนและไฟเบอร์กลาสจะมีการสัมผัสกับดินที่เปียก ๆ แห้ง ๆ ไม่ดีนัก อย่างไรก็ตาม ในช่วงแรงดึงความชื้นต่ำกว่า 1 บรรยากาศเครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน(Tensiometer) จะช่วยกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้ละเอียดถูกต้องดีกว่าก้อนความต้านทานทุกแบบ

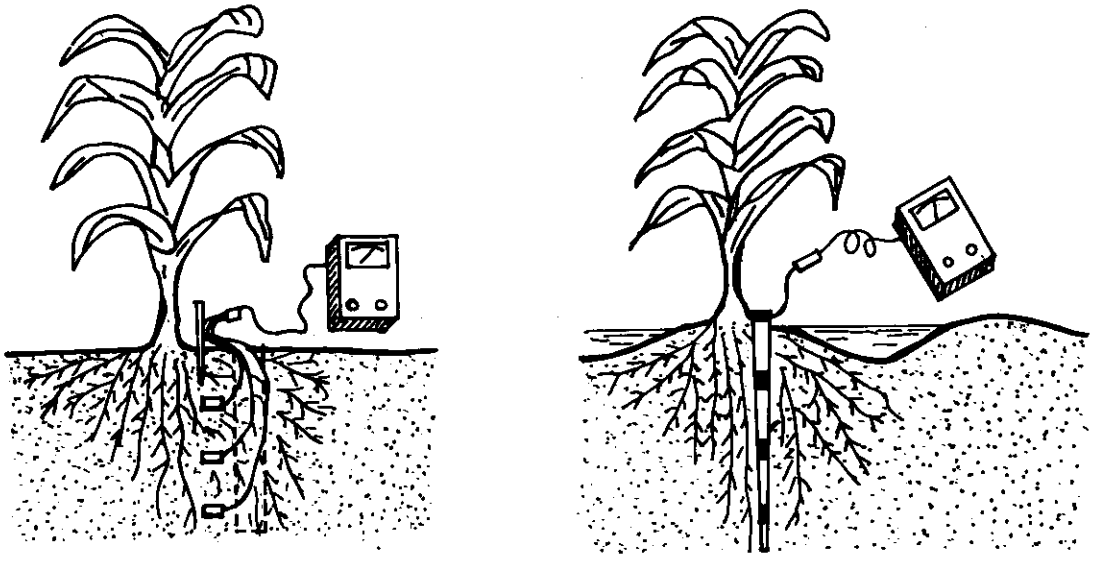
ก้อนความต้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์จะไม่ค่อยทนทานนักถ้าฝังในดินที่มีน้ำขัง หรือเป็นดินเนื้อหยาบและมีการให้น้ำบ่อยครั้ง ทั้งนี้เพราะปูนปลาสเตอร์จะสลายตัวได้ง่ายในสภาวะดังกล่าว

เนื่องจากว่า ปริมาณสารละลายของเกลือที่มีอยู่ในดินจะมีผลต่อความนำไฟฟ้าอยู่มาก กล่าวคือ ถ้าดินหรือน้ำมีเกลือมาก ก้อนความต้านทานก็จะมีความนำไฟฟ้าดี ความต้านทานที่วัดได้จึงต่ำกว่าดินชนิดเดียวกันที่มีความชื้นเท่ากันแต่มีเกลืออยู่น้อยกว่า ในกรณีนี้จำนวนความชื้นที่อ่านได้จากมิเตอร์ จะทำให้การกำหนดการให้น้ำผิดไปมาก เพราะผลที่อ่านได้จะบอกว่าดินยังมีความชื้นสูงอยู่ ทั้ง ๆ ที่ระดับความชื้นในดินขณะนั้นควร

จะให้น้ำแก่พืชได้แล้วก็ตาม นอกจากนั้นพืชยังต้องออกแรงดึงดูดความชื้นจากดินมากกว่าปกติ เพราะสารละลายในดินมีความข้นเหนียวเนื่องจากมีเกลือละลายอยู่มากด้วย

เกลือที่มีอยู่ในดินนี้จะกระทบกระเทือนต่อก้อนความต้านทานที่ทำด้วยไนล่อนและไฟเบอร์กลาสมากกว่าที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์ เพราะปูนปลาสเตอร์ที่ชื้นจะมีสารละลายของแคลเซี่ยมซัลเฟตอยู่ก่อนแล้ว และถ้าเกลือในดินมีความเข้มข้นน้อยกว่าในก้อนความต้านทานด้วยแล้ว ก็จะยิ่งมีผลต่อค่าที่วัดได้ไม่มากนัก

นอกจากปริมาณเกลือในดินแล้ว อุณหภูมิก็มีผลต่อค่าที่วัดได้เหมือนกัน แต่ความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุนี้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับที่เกิดขึ้นจากสาเหตุอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเบี่ยงเบนของคุณสมบัติของแต่ละก้อนจากก้อนที่ได้มาตรฐาน ซึ่งทำให้การเทียบความต้านทานมาเป็นจำนวนความชื้นผิดไป ในทางปฏิบัติความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุนี้อาจจะหลีกเลี่ยงได้โดยการเลือกใช้ก้อนความต้านทานที่เมื่อแช่น้ำไว้แล้ว วัดความต้านทานได้ต่างกันไม่เกิน 50 โอห์ม นอกจากนั้นคุณสมบัติด้านความนำไฟฟ้าอาจเปลี่ยนไปเมื่อมีอายุการใช้งานนานขึ้น และยังมีสาเหตุที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดเมื่อนำไปใช้งานในสนามอีก เป็นต้นว่าความไม่สม่ำเสมอในการให้น้ำ ความแตกต่างในปริมาณความชื้นที่พืชดูดไปจากดินที่จุดต่าง ๆ ความแตกต่างของเนื้อดิน การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินเนื่องจากการแตกระแหง การอัดแน่นของดินเนื่องจากเครื่องจักรกลเกษตร เป็นต้น สิ่งเหล่านี้มีผลต่อค่าที่วัดได้ซึ่งจะนำไปใช้กำหนดการให้น้ำแก่พืชทั้งสิ้น



**รูปที่ 7.6 การติดตั้งก้อนความต้านทาน เพื่อวัดความชื้นของดินในเขตราก**

การติดตั้งก้อนความต้านทานก็คล้ายคลึงกันกับการติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงความชื้น (Tensiometer) กล่าวคือฝังก้อนความต้านทานให้อยู่ในบริเวณที่มีรากอยู่อย่างหนาแน่น แต่ในกรณีนี้ต้องขุดหลุมแล้วฝังก้อนความต้านทานเข้าที่ผนังของหลุมในระดับต่าง ๆ ที่ต้องการ โยงสายไฟจากก้อนความต้านทานไปผูกไว้กับหลักเล็ก ๆ บริเวณใกล้ ๆ

แล้วจึงกลบดินในหลุมให้มีความหนาแน่นเท่ากับดินเดิม การที่ไม่ฝังก้อนความต้านทานในหลุมโดยตรงก็เพราะว่าถ้ากลบดินในหลุมได้ไม่เหมือนเดิมแล้ว ค่าที่วัดได้ในหลุมจะแตกต่างกับที่เป็นจริงมาก

ก้อนความต้านทานนี้บางบริษัททำเป็นชุดโดยการหล่อติดกับหลักซึ่งมีรูปร่างเรียวเป็นระยะ ๆ เวลาใช้ก็เสียบหลักนี้ลงในหลุมที่เจาะด้วยสว่านซึ่งออกแบบไว้โดยเฉพาะ ทำให้ก้อนความต้านทานทุกอันมีการสัมผัสกับดินดีกว่าแบบเป็นก้อนเดี่ยว ๆ การติดตั้งก็สะดวกกว่ากันมาก

ก่อนที่จะนำก้อนความต้านทานไปใช้ควรจะแช่ให้อิ่มน้ำเสียก่อน การติดตั้งควรจะทำหลังจากที่ให้น้ำแก่พืชแล้วหรือขณะที่ดินยังมีความชื้นสูงอยู่ หลังจากติดตั้งไปแล้ว 24 ชั่วโมงก็สามารถใช้ค่าที่อ่านได้มากำหนดการให้น้ำแก่พืชได้

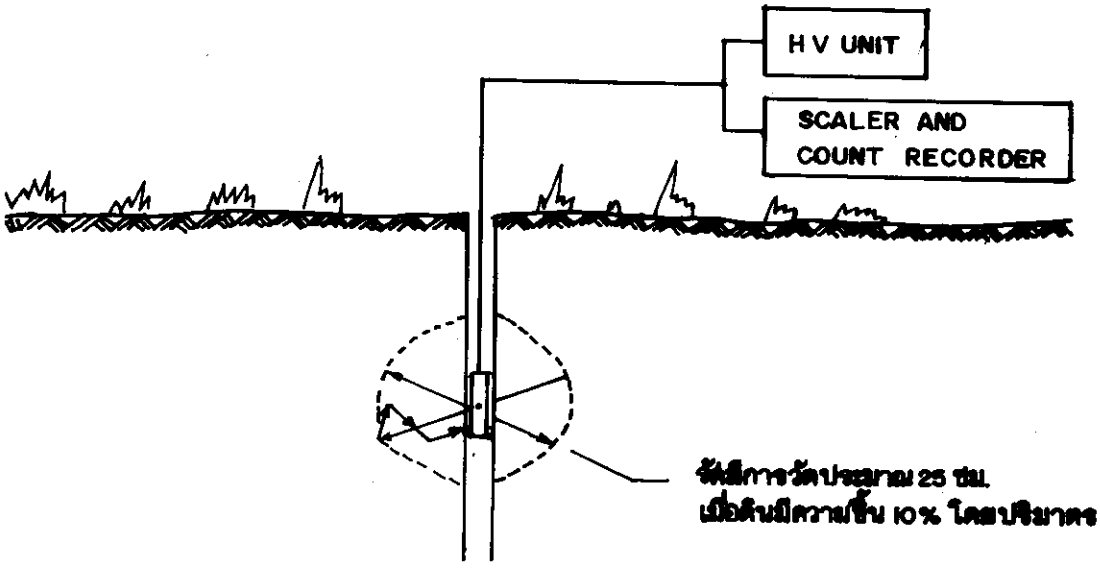
เครื่องมือวัดความต้านทานที่มีผู้ผลิตขายในปัจจุบันใช้ระบบทรานซิสเตอร์ ทำให้มีขนาดเล็กและสะดวกต่อการนำไปใช้ในสนามมาก ขีดแบ่งที่หน้าปัดของเครื่องวัดจะบอกความต้านทานเป็นโอห์มและจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เป็นเปอร์เซนต์ เมื่อมิเตอร์อ่านได้ 100 เปอร์เซนต์ก็แสดงว่าขณะนั้นดินมีความชื้นที่ Field Capacity และเมื่ออ่านได้ 0 เปอร์เซนต์ก็แสดงว่าดินมีความชื้นที่จุดเฉา (Wilting Point) การอ่านมิเตอร์ควรจะอ่านตอนเช้าและในเวลาเดียวกันทุก ๆ 2 ถึง 3 วัน และถ้าหากนำค่าที่อ่านได้ในวันต่าง ๆ มาเขียนกราฟในทำนองเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในเรื่องเครื่องวัดแรงดึงความชื้นก็จะช่วยให้การกำหนดการให้น้ำทำได้ถูกต้องดีขึ้น

ถึงแม้ว่าเครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้าจะเป็นเครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำที่เป็นที่รู้จักกันดีเหมือนกับเครื่องวัดแรงดึงความชื้นแต่ก็ได้รับความนิยมน้อยกว่า เพราะพืชส่วนใหญ่จะให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นของดินไม่เกิน 0.85 บรรยากาศ ในช่วงความชื้นขนาดนี้เครื่องวัดแรงดึงความชื้นจะให้ค่าละเอียดถูกต้องดีกว่า ส่วนก้อนความต้านทานนั้นพบว่า ความต้านทานที่วัดได้ไม่ค่อยสัมพันธ์กันกับจำนวนความชื้นในดินนัก นอกจากนั้น ความละเอียดถูกต้องยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและอายุการใช้งานของมันด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งก้อนความต้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์ ส่วนดีของก้อนความต้านทานก็คือมีราคาถูกและไม่ต้องการการดูแลรักษาเหมือนกับเครื่องวัดแรงดึงความชื้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ดินเป็นดินเนื้อละเอียดซึ่งยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้อีกมากอยู่ที่แรงดึงความชื้นสูงกว่า 0.85 บรรยากาศ ซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องวัดแรงดึงความชื้นวัดได้ ก็อาจจะใช้เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้าร่วมกับเครื่องวัดแรงดึงความชื้นกำหนดการให้น้ำได้เป็นอย่างดี

## เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (Neutron Moisture Meter)

เครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำแก่พืชแบบนี้ เป็นการใช้การกระจัดกระจายของนิวตรอนเทียบหาจำนวนความชื้นของดินโดยตรง โดยมีหลักอยู่ว่า นิวตรอนจากสารกัมมันตภาพรังสี เช่น Radium - Berryllium (Ra - Be) หรือ Americium - Berryllium (Am - Be) ซึ่งเป็นนิวตรอนเร็ว (Fast Neutron) จะสูญเสียพลังงานไปเมื่อกระจายไปชนกับนิวเคลียสของไฮโดรเยนอตอมซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในดิน การชนกันนี้ทำให้นิวตรอนเร็วกลายเป็นนิวตรอนช้า (Slow Neutron) ชนกับนิวเคลียสของอตอมอื่น ๆ และสะท้อนอยู่ในบริเวณรอบ ๆ สารกัมมันตภาพรังสี จำนวนนิวตรอนช้านี้สามารถวัดได้ และเนื่องจากอัตราการกระจัดกระจายของนิวตรอนช้าขึ้นอยู่กับจำนวนความชื้นในดิน อัตราดังกล่าวนี้จึงสามารถเทียบมาเป็นจำนวนความชื้นของดินได้

เครื่องมือนี้ประกอบขึ้นด้วยสารกัมมันตภาพรังสี ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายนิวตรอนเร็ว เครื่องตรวจจับและวัดจำนวนนิวตรอนช้า สารกัมมันตภาพรังสีและเครื่องตรวจจับนิวตรอนช้าจะถูกบรรจุอยู่ในแท่งกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ถึง 5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร และมีสายไฟต่อจากเครื่องตรวจจับนิวตรอนไปเข้าเครื่องวัด




**รูปที่ 7.7 ลักษณะการทำงานของเครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน**
**( NEUTRON MOISTURE METER)**

การใช้เครื่องมือนี้วัดความชื้นของดินในพื้นที่เพาะปลูก จะต้องใช้สว่านเจาะดินแล้วสอดท่อลงในรูที่เจาะไว้ โดยให้ปลายของท่ออยู่ลึกกว่าระดับดินที่ต้องการวัดความชื้นประมาณ 30 เซนติเมตร สว่านและท่อควรมีขนาดเดียวกันเพื่อป้องกันมิให้โครงสร้างของดินภายนอกท่อต้องเปลี่ยนไปจากเดิมมาก ท่อที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นท่ออลูมิเนียมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ถึง 6 เซนติเมตร หรือขนาดใหญ่พอที่จะสอดกระบอกที่ใช้วัดความชื้นของดินลงไปได้สะดวก กระบอกนี้จะถูกหย่อนลงไปในท่อในระดับที่ต้องการวัดความชื้น อ่านค่าจำนวนนิวตรอนช้าจากเครื่องวัด ค่าที่อ่านได้ในหนึ่งหน่วยเวลานี้สามารถเทียบให้เป็นจำนวนความชื้นของดินเป็นเปอร์เซนต์โดยปริมาตรได้ โดยเทียบจากกราฟที่ผู้ผลิตได้จัดทำไว้ให้

เนื่องจากว่า นิวตรอนเร็วจากสารกัมมันตภาพรังสีจะแผ่กระจายออกไปโดยรอบ และมีขอบเขตที่เครื่องนี้ทำการวัดได้ประมาณ 25 เซนติเมตรเมื่อดินมีความชื้น 10 เปอร์เซนต์โดยปริมาตร ค่าที่วัดได้จึงเป็นค่าความชื้นเฉลี่ยของก้อนดินทรงกลมซึ่งมีรัศมีประมาณ 25 เซนติเมตร รัศมีการวัดนี้จะลดลงอีกเมื่อดินมีความชื้นเพิ่มขึ้น สำหรับที่ผิวดินควรจะหย่อนกระบอกลงไปให้ต่ำกว่าผิวดินไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร เพราะถ้ากระบอก

อยู่สูงกว่านี้จะมีการสูญเสียนิวตรอนเร็วเนื่องจากกระจายออกไปในบรรยากาศ ทำให้นิวตรอนช้าที่นับได้น้อยกว่าที่ควร ดังนั้นความชื้นในบริเวณใกล้ ๆ กับผิวดินจึงไม่สามารถใช้เครื่องมือชนิดนี้วัดได้อย่างถูกต้อง ในกรณีที่ดินเป็นชั้นบาง ๆ การวัดจะต้องทำทั้งในระดับสูงและต่ำกว่าชั้นนั้น แล้วจึงนำค่าที่หาได้นั้นมาเฉลี่ยอีกทีหนึ่ง

นอกจากไฮโดรเยนอตอมที่มีอยู่ในความชื้นในดินแล้ว แร่ธาตุบางชนิด เช่น โบรอน คลอรีน ก็ทำให้นิวตรอนเร็วเป็นนิวตรอนช้าได้เหมือนกัน ดังนั้น ถ้าดินมีแร่ธาตุประเภทนี้อยู่มากก็จะมีผลต่อค่าความชื้นที่วัดได้ และควรจะทำการทดสอบเทียบ (Calibrate) หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกระจัดกระจายของนิวตรอนช้ากับจำนวนความชื้นของดินชนิดนั้นเสียใหม่

เนื่องจากว่าเครื่องวัดความชื้นชนิดนี้ใช้สารกัมมันตภาพรังสี ดังนั้นจึงมีราคาแพงมากและอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้ได้ถ้าหากไม่ระมัดระวัง นอกจากนั้นยังต้องคอยดูแลรักษาอย่างดีด้วย เครื่องมือชนิดนี้จึงไม่เป็นที่นิยมใช้กันทั่ว ๆ ไปเหมือนกับเครื่องวัดแรงดึงความชื้น (Tensiometer) หรือเครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า (Electrical Resistance Instrument) ที่มีอยู่ส่วนมากใช้ในงานวิจัย อย่างไรก็ตาม เครื่องวัดความชื้นของดินแบบนี้มีส่วนดีอยู่หลายอย่างเหมือนกัน กล่าวคือ สามารถวัดความชื้นได้รวดเร็ว การวัดแต่ละจุดใช้เวลาประมาณ 1 นาทีเท่านั้น การวัดซ้ำกันหลาย ๆ ครั้งค่าที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันเหมือนวิธีอื่น โครงสร้างของดินในบริเวณรอบ ๆ ท่อไม่เปลี่ยนแปลงหรือถูกทำลายไป การวัดจำนวนความชื้นตลอดความลึกของดินทำได้สะดวกกว่าวิธีอื่น ๆ

## การเปรียบเทียบกับการระเหยที่วัดได้

ดังได้กล่าวแล้ว เนื่องจากสภาพของภูมิอากาศทุกอย่าง เช่น รังสีจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ฯลฯ ต่างก็มีผลต่อการระเหยของน้ำจากถาดวัดการระเหยด้วยกันทั้งนั้น ดังนั้นถาดวัดการระเหยที่ได้รับการติดตั้งอย่างถูกต้อง จึงให้ค่าปริมาณการใช้น้ำของพืชในระยะเวลาสั้น ๆ ได้ถูกต้องดีกว่าสูตรเอมไพริกอลที่ใช้ข้อมูลภูมิอากาศเพียงอย่างเดียวหรือสองสามอย่าง การระเหยที่วัดได้จากถาดวัดการระเหยจึงสามารถนำมาใช้กำหนดการให้น้ำแก่พืชได้เป็นอย่างดี การกำหนดการให้น้ำโดยวิธีนี้เราจำเป็นจะต้องทราบ

1) ความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก

2) จำนวนความชื้นที่จะยอมให้พืชดูดไปใช้ได้ก่อนการให้น้ำครั้งต่อไป(Allowable depletion)

3) ความลึกของเขตราก

4) อัตราการใช้น้ำของพืช อัตราดังกล่าวนี้หามาได้โดยการแปลงการระเหยจากถาดวัดการระเหยให้เป็นอัตราการใช้น้ำของพืช ดังแสดงไว้ในตัวอย่างที่ 5.8

5) ปริมาณฝนที่ตกในแปลงเพาะปลูก

หลักการกำหนดการให้น้ำโดยวิธีนี้ มีลักษณะเช่นเดียวกันกับการทำบัญชีความชื้นของดิน โดยเริ่มต้นคำนวณเมื่อดินมีความชื้นที่ Field Capacity ซึ่งควรจะเป็นวันถัดจากวันฝนตกหนักหรือให้น้ำแก่พืช หลังจากวัดปริมาณการระเหยจากถาดวัดการระเหยแล้วทุกเช้าก็คำนวณความชื้นที่มีเหลืออยู่ในดิน โดยการหักค่าความชื้นที่เหลืออยู่จากวันก่อนด้วยปริมาณน้ำที่พืชใช้ไป ถ้าหากมีฝนตกก็ให้รวมปริมาณน้ำฝนที่วัดได้เข้าเป็นความชื้นของดินด้วย แต่ถ้าปริมาณน้ำฝนนั้นเมื่อรวมกับความชื้นเดิมของดินแล้วทำให้ดินมีความชื้นมากกว่า Field Capacity

ก็ให้ถือว่าดินมีความชื้นแค่ Field Capacity ที่เหลือก็เป็นน้ำผิวดินไหลไปสู่ที่ต่ำกว่า หรือสูญเสียไปโดยการซึมเลยเขตราก แต่ถ้าอัตราที่ฝนตกนั้นสูงมากจนกระทั่งไม่สามารถซึมลงไปในดินได้ทัน และเกิดเป็นน้ำผิวดินก่อนที่ดินจะถึง Field Capacity ก็จะต้องตรวจและประมาณดูว่าหลังฝนตกแล้วมีน้ำฝนซึมลงไปในดินประมาณเท่าไร และใช้ค่าประมาณนี้รวมกับความชื้นเดิมของดิน หรือประมาณค่าโดยตรงเลยก็ได้ว่าจำนวนความชื้นของดินในเขตรากหลังฝนตกเท่ากับเท่าไร ผลที่ได้ก็จะเป็นความชื้นที่จะใช้สำหรับการคำนวณในวันถัดไป

เมื่อความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดวิกฤติ(Critical Point) ก็ถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำแก่พืช และถ้าไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพในการให้น้ำ ปริมาณน้ำที่จะต้องให้ก็คือปริมาณที่จะเพิ่มความชื้นของดินจากจุดวิกฤติมาเป็น Field Capacity หรือเท่ากับจำนวนความชื้นที่ยอมให้ลดลงได้ (Allowable Depletion) นั่นเอง การคำนวณหลังจากนี้ก็จะเหมือนกันกับที่ได้อธิบายไว้ในตอนแรกแล้ว

วิธีนี้มีข้อดีที่ว่าไม่ต้องการเครื่องมือที่มีราคาแพง ต้องการแรงงานไม่มากนัก ส่วนความถูกต้องจะขึ้นอยู่กับการประมาณค่าความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก และการใช้น้ำของพืชในแต่ละวัน

ถ้าหากมีเครื่องมือกำหนดการให้น้ำ เช่นเครื่องวัดแรงดึงความชื้น (Tensiometer) ประกอบด้วย ก็จะช่วยให้สามารถกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้ถูกต้องดีขึ้น โดยเอาไว้ตรวจสอบกันวิธีนี้ที่จุดใดจุดหนึ่ง และเอาไว้ตรวจดูว่า น้ำฝนหรือน้ำชลประทานที่ให้แก่พืชซึมลงไปถึงจุดที่ต้องการหรือเปล่า

# บทที่ 8
# น้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืชและประสิทธิภาพในการชลประทาน

วัตถุประสงค์หลักของการชลประทานนั้น ก็เพื่อจัดหาน้ำมาให้แก่พืชให้ทันเวลาและมีปริมาณพอเหมาะกับที่มันต้องการ โดยปริมาณที่ให้แต่ละครั้งจะต้องไม่น้อยเกินไปจนกระทั่งพืชต้องขาดน้ำก่อนที่จะถึงกำหนดการให้น้ำครั้งต่อไป หรือมากเกินไปจนกระทั่งดินในเขตรากไม่สามารถเก็บไว้ได้หมด และทำให้มีการสูญเสียน้ำโดยการซึมเลยเขตรากขึ้น นอกจากว่าส่วนที่เกินกว่าที่ดินจะเก็บไว้ได้นั้นเพื่อประโยชน์อย่างอื่นด้วย เช่นเพื่อการชะล้างเกลือออกจากดิน และเพื่อควบคุมอุณหภูมิของบรรยากาศรอบ ๆ ต้นพืช เป็นต้น การให้น้ำแก่พืชมากจนเกินพอนั้น นอกจากจะสูญเสียน้ำไปโดยเปล่าประโยชน์แล้วยังจะทำให้ความอุดมสมบูรณ์ของดินลดลง อาจก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำซึ่งแก้ไขได้ยาก และอาจทำให้คุณภาพของพื้นที่เพาะปลูกและผลผลิตลดลงด้วย

## ปริมาณน้ำที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช

โดยปกติแล้ว น้ำที่พืชใช้ในการเจริญเติบโตจะได้มาจาก 4 แหล่งด้วยกัน คือ

1. จากความชื้นที่เหลืออยู่ในดินหลังการเก็บเกี่ยวหรือสิ้นฤดูการเพาะปลูกแล้ว เมื่อปลูกพืชครั้งต่อไป ความชื้นดังกล่าวนี้ถ้ามีปริมาณมากพอพืชก็จะสามารถนำไปใช้ได้ บางแห่งอาจจะได้รับเพิ่มเติมจากฝนที่ตกนอกฤดูการเพาะปลูกด้วย อย่างไรก็ตาม น้ำจากแหล่งนี้มีให้พืชเอาไปใช้ได้ไม่มากนักโดยเฉพาะอย่างยิ่งพืชที่มีรากตื้น เพราะดินในชั้นบนจะมีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยจากผิวดินไปบ้าง

2. จากน้ำใต้ดิน ถ้าหากน้ำใต้ดินอยู่ในระดับที่จะซึมขึ้นมาถึงเขตรากได้ พืชก็จะได้รับน้ำส่วนนี้เหมือนกัน แต่น้ำจะต้องมีคุณภาพดี มิฉะนั้นจะทำให้มีการสะสมเกลือในเขตรากขึ้น

3. จากฝนที่ตกในฤดูการเพาะปลูกซึ่งพืชอาจจะนำไปใช้ได้เพียงบางส่วนเท่านั้น เพราะส่วนที่ซึมลงไปเก็บไว้ในดินและพืชนำไปใช้ได้จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่น อัตราและปริมาณของฝน อัตราการซึมของน้ำฝนเข้าไปในดิน ความสามารถเก็บน้ำของดิน ความลึกของเขตราก และความชื้นเดิมของดินก่อนฝนตกเป็นต้น ถ้าอัตราที่ฝนตกสูงกว่าอัตราที่มันซึมเข้าไปในดิน ส่วนที่เกินก็จะกลายเป็นน้ำผิวดิน (Runoff) ไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง หรือถ้าปริมาณที่ซึมลงไปในดินมากเกินกว่าที่ดินจะเก็บไว้ได้ก็จะมีการซึมเลยเขตรากพืชออกไปอีก ดังนั้น ปริมาณน้ำฝนที่พืชจะนำไปใช้ได้อย่างแท้จริงหรือฝนใช้การ(Effective Rainfall) จึงขึ้นอยู่กับความชื้นเดิมของดินก่อนฝนตกด้วย

4. จากน้ำชลประทานที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืชเพิ่มเติมจากในข้อ 1 ถึง 3 แต่เนื่องจากว่าความชื้นที่เหลืออยู่ในดินและที่ซึมขึ้นมาจากน้ำใต้ดินมีปริมาณไม่มากนัก และยังหาจำนวนที่แน่นอนได้ยาก ในทางปฏิบัติน้ำดังกล่าวนี้จึงไม่นำมาหักออกจากปริมาณน้ำที่ต้องการทั้งหมด ดังนั้น น้ำชลประทานที่จะต้องจัดหามาเพิ่มเติมคือ ปริมาณที่พืชต้องการสำหรับการระเหยและคายน้ำรวมกับที่ต้องการสำหรับวัตถุประสงค์อย่างอื่น เช่น

สำหรับการควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเขตราก และที่จะสูญเสียไปในการส่งน้ำและให้น้ำ หักด้วยปริมาณน้ำฝนที่พืชนำไปใช้ได้ หรือฝนใช้การ

## ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (Net Water Application, $W_n$)

ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช ($W_n$) คือปริมาณที่จะเพิ่มความชื้นของดินเพื่อให้ดินนั้นมีความชื้นที่ Field Capacity รวมกับปริมาณที่ใช้สำหรับควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเขตรากพืชด้วย ปริมาณดังกล่าวนี้เป็นปริมาณที่ดินทุก ๆ จุดในพื้นที่จะได้รับจากการชลประทานเท่านั้น ไม่นับรวมน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ หรือ

$$W_n = W_{ad} + W_l - R_e \quad \text{.....(8.1)}$$

โดย$W_{ad}$ คือปริมาณที่จะเพิ่มความชื้นของดินให้เป็นความชื้นที่ Field Capacity หรือเป็นความชื้นที่จะยอมให้พืชดูดเอาไปจากดินได้ (Allowable depletion) นั่นเอง $W_l$ เป็นปริมาณที่เผื่อไว้สำหรับควบคุมความเข้มข้นของเกลือในดิน และ $R_e$ เป็นฝนใช้การ

เนื่องจากว่าน้ำที่พืชใช้นั้น ส่วนหนึ่งเป็นการระเหยจากผิวดินโดยตรง นอกจากนั้นน้ำที่พืชดูดใช้ไปในการคายน้ำพาเอาเกลือไปด้วยน้อยมาก ดังนั้นถ้าน้ำหรือดินมีเกลืออยู่มาก ปริมาณสุทธิที่ให้แก่พืชจะต้องเผื่อไว้สำหรับควบคุมความเข้มข้นของเกลือในดินด้วย ปริมาณที่ให้เพิ่มเติมเพื่อการควบคุมความเข้มข้นของเกลือในดินนี้เรียกว่าปริมาณน้ำเพื่อการชะล้างเกลือ (Leaching Requirement) แต่ถ้าหากมีเกลืออยู่น้อยน้ำส่วนนี้ก็ไม่จำเป็นต้องมี และถ้าหากไม่มีฝนตกปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชก็จะเท่ากับปริมาณที่จะเพิ่มความชื้นของดิน จากความชื้นก่อนการให้น้ำมาเป็นความชื้นที่ Field Capacity เช่น ก่อนการให้น้ำพืชใช้น้ำไป 40 เปอร์เซนต์ของความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Allowable depletion = 40 %) สมมุติว่าดินมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของเขตรากเท่ากับ 150 มม. ดังนั้นปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชจะเท่ากับ 0.40 × 150 = 60 มม. เป็นต้น

ในกรณีที่เป็นการจัดหาน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตลอดฤดู ค่า $W_{ad}$ ในสมการที่ (8.1) จะเป็นค่าเดียวกันกับการใช้น้ำของพืชตลอดฤดูการเพาะปลูกนั้น ค่าอื่น ๆ ก็จะต้องคิดตลอดฤดูการเพาะปลูกเช่นเดียวกัน

การหาปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชตามวิธีที่กล่าวข้างต้นใช้สำหรับพืชทั่ว ๆ ไป ในกรณีที่เป็นนาข้าว ปริมาณสุทธิที่ต้องให้แก่แปลงนาจะต้องเผื่อไว้สำหรับการรั่วซึมในแปลงซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ด้วย แต่ไม่ต้องเผื่อไว้สำหรับควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเขตราก นั่นคือ

$$W_n = ET + P - R_e \quad \text{.....(8.2)}$$

ในเมื่อ ET เป็นปริมาณการใช้น้ำของข้าวซึ่งเป็นผลรวมของการระเหยกับการคายน้ำ P เป็นการรั่วซึมในแปลงนาซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปจะมีค่าไม่เกินประมาณวันละ 5 มิลลิเมตร ค่าต่าง ๆ ที่ให้ไว้ในสมการที่ (8.1) และ

(8.2) อาจจะบอกเป็นความลึกหรือปริมาตรก็ได้ แต่โดยทั่ว ๆ ไปจะนิยมบอกเป็นความลึกเป็นมิลลิเมตร

สมการที่ (8.2) เป็นปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่แปลงนาหลังการปักดำแล้ว ไม่นับรวมถึงความต้องการสำหรับเตรียมดินและตกกล้าซึ่งต้องใช้น้ำอีกประมาณ 250 ถึง 350 มิลลิเมตร ความต้องการนี้อาจจะทดแทนได้จากฝนทั้งหมด (Total Rainfall) ที่ตกในพื้นที่เช่นเดียวกันกับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่แปลงนา

## ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช (Gross Water Application, $W_g$)

ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช ก็คือปริมาณที่เมื่อให้แล้วจะทำให้ทุก ๆ จุดในพื้นที่เพาะปลูกได้รับน้ำอย่างน้อยเท่ากับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช ปริมาณดังกล่าวนี้จะต้องมากกว่า ปริมาณสุทธิที่จะต้องให้ ($W_n$) เพราะว่าเราไม่สามารถให้น้ำอย่างสม่ำเสมอทั่วทุกจุดได้ บางแห่งอาจจะได้รับมากเกินไป บางแห่งได้ไม่พอกับที่ต้องการ ถ้าจะให้ทุกจุดได้รับน้ำอย่างน้อยเท่ากับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชแล้วก็จะมีบางจุดได้รับน้ำมากเกินไป และมีการซึมเลยเขตรากหรือไหลเลยท้ายแปลงออกไป ถ้าเป็นการให้น้ำแบบฉีดฝอย ก็จะมีบางส่วนสูญเสียไปโดยการระเหยจากละอองน้ำโดยตรง หรือจากกิ่งใบของพืชด้วย

น้ำที่ต้องเผื่อไว้สำหรับการสูญเสียซึ่งไม่อาจหลีกเลี่ยงได้นี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการให้น้ำ ความสามารถในการออกแบบและวางแผนให้น้ำให้เหมาะกับคุณสมบัติของดิน ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ การส่งน้ำ และองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง การคิดปริมาณที่เผื่อไว้สำหรับการสูญเสียนี้จะต้องบอกด้วยว่าเริ่มต้นจากจุดไหน ถ้าคิดที่แปลงเพาะปลูกที่ให้น้ำ ปริมาณดังกล่าวก็จะมีแต่ที่ซึมเลยเขตราก ที่ไหลเลยท้ายแปลงออกไป และที่ระเหยจากแปลงในขณะที่ให้น้ำ แต่ถ้าคิดจากจุดที่ส่งน้ำเข้าไปในไร่นาซึ่งน้ำจะต้องไหลผ่านคูส่งน้ำหรือระบบส่งน้ำก่อนที่จะไปถึงแปลงเพาะปลูก น้ำที่สูญเสียไปก็จะมีที่ระเหยและรั่วซึมจากคูส่งน้ำเพิ่มขึ้นมาอีก ในทางปฏิบัติ ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืชจะหามาโดยการรวมปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช กับการสูญเสียต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นซึ่งหามาได้โดยการประมาณ หรือโดยการหารปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชด้วยประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำและให้น้ำ หรือประสิทธิภาพรวมของการชลประทาน

$$W_g = \frac{W_n}{E_i} \qquad \text{.....(8.3)}$$

โดย $E_i$ = ประสิทธิภาพรวมของการชลประทาน (Overall Irrigation Efficiency)

## ความถี่ในการให้น้ำ (Irrigation Frequency, Irrigation Interval)

ความถี่ในการให้น้ำหมายถึงจำนวนวันระหว่างการให้น้ำแต่ละครั้งของพื้นที่แปลงใดแปลงหนึ่ง เช่น สมมุติว่าเราให้น้ำแก่พืชอย่างหนึ่งทุก ๆ วันอาทิตย์ ความถี่ในการให้น้ำจะเท่ากับ 7 วัน เป็นต้น ความถี่ในการให้น้ำขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืชและความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจาก Field Capacity ถึงระดับความชื้นที่จุดวิกฤติ (Critical Moisture Level) หรือความชื้นที่จะยอมให้พืชดูดจาก

ดินไปใช้ได้นั่นเอง

ความถี่ในการให้น้ำแก่พืชชนิดใดชนิดหนึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูการเพาะปลูกและระยะการเจริญเติบโต เมื่อเริ่มทำการเพาะปลูกที่ผิวดินจะต้องมีความชื้นสูงเพื่อให้เมล็ดงอกและต้นอ่อนสามารถตั้งตัวได้ ดังนั้นจึงต้องให้น้ำครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้ง เมื่อพืชเจริญเติบโตและมีรากแผ่ลึกลงไปในดินมากขึ้นความถี่ในการให้น้ำก็จะค่อย ๆ ลดลง จนกระทั่งถึงระยะออกดอก เมื่อผลเริ่มแก่ความถี่ในการให้น้ำจะลดลงอีกเพราะพืชมีการใช้น้ำน้อยลง และอาจไม่ต้องให้น้ำเลยเมื่อผลสุกหรือเก็บเกี่ยว

เนื่องจากว่าอัตราการใช้น้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามระยะการเจริญเติบโตของพืช ในการออกแบบระบบการชลประทานจะต้องคำนึงถึงว่า พืชจะต้องมีน้ำใช้อย่างเพียงพอในช่วงที่มีการใช้น้ำมากที่สุดด้วย ดังนั้นความหมายของความถี่ในการให้น้ำโดยทั่ว ๆ ไปจึงไม่เหมือนกับความถี่ในการให้น้ำสำหรับการออกแบบทีเดียวนัก กล่าวคือ ความถี่ในการให้น้ำสำหรับการออกแบบ จะหมายถึงจำนวนวันระหว่างการให้น้ำแต่ละครั้งในช่วงที่พืชมีอัตราการใช้น้ำสูงสุด หรือ

$$IF = \frac{FC - CP}{ET_{max}} \quad \text{.....(8.4)}$$

ในเมื่อ IF เป็นความถี่ในการให้น้ำสำหรับออกแบบระบบการชลประทาน FC เป็นจำนวนความชื้นในเขตรากที่ Field Capacity: CP เป็นจำนวนความชื้นในเขตรากที่จุดวิกฤติ(Critical Point) และ $ET_{max}$ เป็นอัตราการใช้น้ำสูงสุดของพืชที่ปลูก

## รอบเวรในการให้น้ำ (Irrigation Period, Irrigation Rotation)

รอบเวรในการให้น้ำหมายถึงจำนวนวันที่จะให้น้ำแก่พืชครบทั่วทุกแปลงในพื้นที่ที่กำหนดให้โดยถือว่าในขณะนั้นพืชมีอัตราการใช้น้ำสูงสุด

เนื่องจากว่า ในขณะที่พืชกำลังมีการใช้น้ำมากที่สุดนั้นส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงวิกฤติของความต้องการน้ำ (Critical Period) ซึ่งถ้าหากไม่สามารถจัดหาน้ำมาให้แก่พืชให้ทันกับความต้องการในช่วงนี้แล้วจะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตมาก ดังนั้นจะต้องออกแบบระบบชลประทานให้มีขนาดใหญ่พอที่จะให้น้ำแก่พืชทั่วทุกแปลงในระยะเวลาที่กำหนดให้

ในเขตแห้งแล้ง น้ำที่พืชได้รับทั้งหมดมาจากการชลประทานซึ่งให้หมุนเวียนกันไปทีละแปลงหรือหลายแปลงจนครบพื้นที่ทั้งหมด ในกรณีนี้จำนวนวันที่ให้น้ำจนแล้วเสร็จทุกแปลงจะเท่ากับความถี่ในการให้น้ำ เช่น สมมุติว่าพื้นที่ที่ต้องให้น้ำมีอยู่ 12 แปลง ความถี่ในการให้น้ำเท่ากับ 6 วัน ดังนั้นจะต้องให้น้ำทั้ง 12 แปลงให้เสร็จภายใน 6 วัน หรือให้น้ำอย่างน้อยวันละ 2 แปลงเพื่อจะได้กลับมาให้น้ำแก่สองแปลงแรกได้ทันเวลาที่มันต้องการน้ำ ซึ่งจะเห็นได้ว่ารอบเวรกับความถี่ในการให้น้ำมีค่าเท่ากัน

สำหรับในเขตชุ่มชื้น รอบเวรกับความถี่ในการให้น้ำอาจจะไม่เท่ากัน เพราะอาจจะไม่ได้ให้ทีละแปลงหรือ

สองแปลงแล้วหมุนเวียนไปจนครบรอบเหมือนในเขตแห้งแล้ง กล่าวคือ หลังฝนตกและพื้นที่ทั้งหมดมีความชื้นที่ Field Capacity ถ้าจะยอมให้แปลงแรกมีความชื้นลดลงจนถึงจุดวิกฤติ(Critical Point) แล้วจึงให้น้ำ แปลงที่ให้น้ำทีหลังก็จะแห้งมากเกินไป แต่ถ้าจะเริ่มให้น้ำเมื่อแปลงแรกยังเปียกมากอยู่เพื่อป้องกันมิให้แปลงท้าย ๆ แห้งมาก ก็จะทำให้ใช้น้ำฝนที่ตกลงมาโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายอะไรเลยได้น้อย ดังนั้น ถ้าจะใช้น้ำฝนให้ได้ประโยชน์มากที่สุด ก็จะต้องเริ่มให้น้ำแก่แปลงแรกเมื่อความชื้นลดลงไปใกล้จุดวิกฤติ และจะต้องให้น้ำแก่ทุกแปลงจนแล้วเสร็จโดยแปลงสุดท้ายมีความชื้นก่อนให้น้ำที่จุดวิกฤติหรือต่ำกว่าเล็กน้อย นั่นคือจะต้องเพิ่มสมรรถนะ (Capacity) ของระบบชลประทานให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถให้น้ำแก่พืชทั้งหมดในระยะเวลาที่สั้นกว่าปกติได้ ในกรณีนี้จะได้ว่า

$$\text{รอบเวรในการให้น้ำ} = \frac{\text{ผลต่างของความชื้นของดินก่อนให้น้ำกับความชื้นต่ำสุดที่ยอมให้}}{\text{อัตราการใช้น้ำของพืชในช่วงที่มีการใช้น้ำสูงสุด}} \qquad (8.5)$$

อย่างไรก็ตาม บางครั้งเราต้องการออกแบบให้ใช้เวลาในการให้น้ำแก่พื้นที่ทั้งหมดน้อยกว่ารอบเวรในการให้น้ำ ด้วยเหตุผลข้อใดข้อหนึ่งหรือหลายข้อดังต่อไปนี้ คือ

1. ต้องการให้มีเวลาว่างจากการให้น้ำแก่พืช เพื่อจะได้มีเวลาสำหรับทำอย่างอื่นบ้าง

2. เผื่อไว้สำหรับการซ่อมบำรุง หรือสำหรับการให้น้ำมากเป็นพิเศษเพื่อให้ผลผลิตมีคุณภาพดี มีน้ำหนักสูง

3. การส่งน้ำจากโครงการชลประทานเป็นแบบหมุนเวียน ทำให้การให้น้ำต้องทำเฉพาะในช่วงเวลาที่ได้รับน้ำเท่านั้น

## ตัวอย่างที่ 8.1

สมมุติว่าดินมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของเขตรากเท่ากับ 160 มิลลิเมตร พืชที่ปลูกมีอัตราการใช้น้ำสูงสุดเท่ากับ 8 มิลลิเมตรต่อวัน การให้น้ำเริ่มต้นเมื่อความชื้นเหลือ 50 เปอร์เซนต์ ความชื้นต่ำสุดของดินที่ยอมให้เท่ากับ 25 เปอร์เซนต์ ต้องการหาความถี่ในการให้น้ำ และรอบเวรในการให้น้ำ

## วิธีทำ

ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช $= \frac{160 \times 50}{100} = 80$ มม.

อัตราการใช้น้ำสูงสุด $= 8$ มม. ต่อวัน

ดังนั้น ความถี่ในการให้น้ำ $= \frac{80}{8} = 10$ วัน

ความชื้นเมื่อเริ่มต้นให้น้ำ $= 50$ เปอร์เซนต์

ความชื้นต่ำสุดที่ยอมให้ $= 25$ เปอร์เซนต์

ดังนั้น รอบเวรในการให้น้ำ $= \frac{160 \times (50 - 25)}{8 \times 100} = 5$ วัน

นั่นคือ ระบบชลประทานจะต้องมีสมรรถนะ (Capacity) และอุปกรณ์มากพอที่จะให้น้ำแก่พืชทั่วทุกแปลงเสร็จภายใน 5 วัน และถ้าในการให้น้ำแต่ละครั้งพืชได้รับน้ำ 80 มม. แล้วจะต้องให้น้ำทุก 10 วัน

## ประสิทธิภาพในการชลประทาน

น้ำซึ่งนำมาใช้ในการชลประทาน อาจกล่าวได้ว่าเป็นการใช้ที่ให้ผลตอบแทนน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่น เช่น เพื่อการบริโภค การไฟฟ้าพลังน้ำ และที่ใช้ในการอุตสาหกรรม เป็นต้น ทั้ง ๆ ที่การจัดหาน้ำมาเพื่อการชลประทานนั้นบางครั้งต้องลงทุนอย่างมากมาย ดังนั้น การใช้น้ำชลประทานอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่ง โดยทั่ว ๆ ไปแล้วประสิทธิภาพในการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับค่าของมันในแต่ละสถานที่ กล่าวคือ ในพื้นที่ที่น้ำหาได้ง่ายและมีราคาถูก กสิกรมักจะใช้น้ำอย่างไม่ประหยัด ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากน้ำหาได้ยากหรือต้องซื้อ การใช้น้ำก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในการชลประทานโดยทั่ว ๆ ไปจะมีน้ำส่วนหนึ่งต้องสูญเสียไป น้ำส่วนนี้มีทั้งที่สามารถป้องกันหรือควบคุมให้น้อยลงได้ และที่ไม่สามารถป้องกันได้ ประสิทธิภาพที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้จะบอกว่าส่วนไหนของขบวนการให้น้ำแก่พืชดีหรือเลวเพียงใด ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้เป็นอย่างดี

### ประสิทธิภาพของการชลประทาน (Irrigation Efficieney, $E_i$)

ประสิทธิภาพของการชลประทาน หมายถึงอัตราส่วนที่คิดเป็นเปอร์เซนต์ระหว่างปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (Net Water Application) ต่อปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืช (Gross Water Application) หรือ

$$E_i = \frac{W_n}{W_g} \times 100 \quad \text{.....(8.6)}$$

$E_i$ = ประสิทธิภาพของการชลประทาน (Irrigation Efficiency)

$W_n$ = ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (Net Water Application)

$W_g$ = ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จะต้องให้แก่พืช (Gross Water Application)

ทั้ง $W_n$ และ $W_g$ นี้อาจจะบอกเป็นความลึกหรือปริมาตรก็ได้

การหาประสิทธิภาพของการชลประทานนั้นอาจทำได้หลายแห่ง คือถ้าวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืชที่แปลงเพาะปลูก ก็เป็นประสิทธิภาพของการชลประทานที่แปลงเพาะปลูก ถ้าวัดที่ปากคลองส่งน้ำก็เป็นประสิทธิภาพของการชลประทานที่ปากคลองส่งน้ำ และถ้าวัดที่หัวงานของโครงการชลประทานก็เป็นประสิทธิ

ภาพของการชลประทานที่หัวงาน หรือประสิทธิภาพของโครงการชลประทานเป็นต้น

จะเห็นได้ว่า คำว่าประสิทธิภาพของการชลประทานนั้นกว้างมาก คือ คลุมตั้งแต่จุดที่ทำการวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่ต้องให้แก่พืชจนถึงแปลงเพาะปลูก ในทางปฏิบัติเรามีวิธีแยกคิดทีละส่วน เพื่อที่จะได้ทราบว่าในช่วงตอนใดมีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหน เพื่อช่วยให้สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบการชลประทานให้ดีขึ้นได้ถูกต้อง

## ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (Water Conveyance Efficiency, $E_c$)

• จุดแรกก่อนที่น้ำจะเข้ามาถึงพื้นที่เพาะปลูกก็คือระบบส่งน้ำ น้ำชลประทานทั่ว ๆ ไปจะถูกส่งมาจากแม่น้ำ คลอง หรืออ่างเก็บน้ำ จากจุดที่ส่งน้ำจนถึงพื้นที่เพาะปลูกนั้นจะมีน้ำส่วนหนึ่งต้องสูญเสียไปโดยการรั่วซึมจากคลอง ระเหยจากผิวน้ำในคลอง และถูกพืชซึ่งขึ้นอยู่ริมคลองใช้ ปริมาณที่สูญเสียไปนี้จะมากหรือน้อยบอกได้ด้วยประสิทธิภาพการส่งน้ำ คือ

$$E_c = \frac{W_f}{W_g} \times 100 \qquad \text{.....(8.7)}$$

โดย $E_c$ = ประสิทธิภาพการส่งน้ำ

$W_f$ = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่พื้นที่เพาะปลูก

$W_g$ = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าระบบส่งน้ำ ซึ่งจะเท่ากับปริมาณทั้งหมดที่จะต้องจัดหามาให้แก่พืช

ในกรณีที่น้ำที่ส่งผ่านท่อส่งน้ำออกไปนั้นต้องไปเข้าระบบคูน้ำก่อนที่จะถึงแปลงที่ให้น้ำ ในช่วงดังกล่าวนี้อาจจะมีการสูญเสียน้ำเพิ่มขึ้นอีก ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำก็สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน คือ

$$E_b = \frac{W_p}{W_f} \times 100 \qquad \text{.....(8.8)}$$

โดย $E_b$ = ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ

$W_p$ = ปริมาณน้ำที่ได้รับที่แปลงเพาะปลูก

$W_f$ = ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าปากคูส่งน้ำ

ขอให้สังเกตว่าในกรณีที่น้ำจากคลองส่งน้ำไหลเข้าแปลงโดยตรงโดยไม่ผ่านคูส่งน้ำ $W_p = W_f$ หรือ $E_b = 100$ เปอร์เซนต์

ในกรณีที่การส่งน้ำไปให้แก่พื้นที่เพาะปลูกจำเป็นต้องผ่านทั้งคลองและคูส่งน้ำ เราอาจจะรวมประสิทธิ

ภาพของทั้งสองส่วนนี้เข้าด้วยกันเป็นประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_s$) ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการส่งน้ำ ($E_c$) และประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ ($E_b$) โดยสมการ

$$E_s = E_b \cdot E_c \qquad \text{.....(8.9)}$$

## ประสิทธิภาพการให้น้ำ (Water Application Efficiency, $E_a$)

เมื่อส่งน้ำมาถึงพื้นที่เพาะปลูกแล้ว น้ำส่วนนี้ก็จะถูกให้แก่พืชโดยการเพิ่มความชื้นของดินในเขตรากให้ขึ้นมาถึง Field Capacity ส่วนที่เกินกว่าดินในเขตรากจะเก็บไว้ได้ก็เป็นการสูญเสีย ดังนั้น

$$E_a = \frac{W_s}{W_f} \times 100 \qquad \text{.....(8.10)}$$

โดย $E_a$ = ประสิทธิภาพการให้น้ำ

$W_s$ = ปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากจากการให้น้ำซึ่งต้องการให้มีค่าเท่ากับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช, $W_n$

$W_f$ = ปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชที่พื้นที่เพาะปลูก

ปริมาณน้ำที่สูญเสียไปในขณะที่ให้น้ำส่วนใหญ่เป็นการไหลเลยท้ายแปลงเพาะปลูกออกไป (Runoff) และซึมเลยเขตราก (Deep Percolation) ส่วนการระเหยจากพื้นที่เพาะปลูกในขณะให้น้ำนั้นน้อยมาก การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่เนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของพื้นที่ ดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สูง อัตราการให้น้ำไม่เหมาะกับดินและวิธีการให้น้ำ และพื้นที่เพาะปลูกกว้างใหญ่หรือยาวเกินไป เป็นต้น ความสามารถของผู้ให้น้ำก็มีผลต่อประสิทธภาพในการให้น้ำมากเหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการให้น้ำทางผิวดินที่มีความลาดเท เช่น แบบร่องคูลาด (Graded Furrow) และแบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border) เพราะการให้น้ำทั้งสองแบบนี้จะต้องเริ่มให้น้ำด้วยอัตราที่ค่อนข้างสูง และต้องลดอัตราการให้น้ำลงเมื่อน้ำไหลไปถึงบริเวณท้ายแปลงแล้วเพื่อป้องกันมิให้มีการไหลเลยท้ายแปลงออกไปมาก ถ้าหากผู้ให้น้ำสามารถลดอัตราการให้น้ำให้พอเหมาะกับอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินได้ ก็จะทำให้มีการสูญเสียน้ำน้อยลงและเป็นผลให้มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูงขึ้น

ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการให้น้ำ ถ้าหากน้ำที่ให้ในแปลงไม่มีการไหลซึมเลยเขตรากเลย ค่าปริมาณน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากจากการให้น้ำ ($W_s$) ควรจะใช้ค่าเฉลี่ยของทั้งแปลง แต่ถ้ามีบางส่วนไหลซึมเลยเขตรากออกไป การหาค่าเฉลี่ยเฉพาะส่วนที่อยู่ในเขตรากค่อนข้างจะยุ่งยาก ในทางปฏิบัติเราจึงใช้ค่าความลึกต่ำสุดที่ซึมลงไปในดินที่วัดได้แต่ไม่เลยเขตรากเป็นความลึกของน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากจากการให้น้ำ เพราะถ้าหาก

ใช้ค่าเฉลี่ยของทั้งหมดแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพการให้น้ำสูงกว่าปกติเนื่องจากจะมีส่วนที่ชื้มเลยเขตรากพืชมาเฉลี่ยรวมอยู่ด้วย ทำให้ดูเหมือนว่าพื้นที่ทั้งหมดได้รับน้ำเท่ากับที่ต้องการทั้ง ๆ ที่บางจุดยังขาดอยู่อีกมาก และขอให้สังเกตด้วยว่า ถ้าหากดินได้รับน้ำอย่างน้อยที่สุดเท่ากับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืชแล้ว ประสิทธิภาพการให้น้ำก็จะเท่ากับประสิทธิภาพของการชลประทานที่แปลงเพาะปลูก

เมื่อทราบประสิทธิภาพของแต่ละส่วนที่แยกออกมาแล้ว กล่าวคือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำ ($E_c$) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ ($E_b$) และประสิทธิภาพการให้น้ำ ($E_a$) แล้วการหาประสิทธิภาพรวมของโครงการชลประทานก็ทำได้โดย

$$E_i = E_a \cdot E_b \cdot E_c \quad \text{.....(8.11)}$$

ค่าทั่ว ๆ ไปของประสิทธิภาพทั้งสามส่วนนี้สำหรับวิธีการส่งน้ำ ให้น้ำ และคุณสมบัติของดินอาจดูได้จากตารางที่ 8.1

## ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ

ในการให้น้ำแก่พืชนั้น เราถือว่าทุก ๆ จุดในพื้นที่เพาะปลูกต้องการน้ำเท่ากัน และเท่ากับปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช ดังนั้นถ้าจะให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ น้ำที่ให้จะต้องแผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอและมีปริมาณเท่ากับที่พืชต้องการทุกจุด การที่จะบอกว่าการให้น้ำดีเลวแค่ไหนโดยดูจากประสิทธิภาพในการให้น้ำแต่เพียงอย่างเดียวนั้นไม่พอ จะต้องดูความสม่ำเสมอในการให้น้ำด้วย การประเมินความสม่ำเสมอในการให้น้ำอาจทำได้ 2 ลักษณะด้วยกันคือ ประเมินจากสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ (Uniformity Coefficient) และจากประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ (Distribution Efficiency)

**ก. สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ** เป็นวิธีที่นิยมใช้หาความสม่ำเสมอในการให้น้ำแบบฉีดฝอย ค่าสัมประสิทธิ์นี้คำนวณโดยสูตร

$$C_u = 100 \left[ 1.0 - \frac{\Sigma x}{M.n} \right] \quad \text{.....(8.12)}$$

ในเมื่อ $C_u$ เป็นสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ x เป็นผลต่างของความลึกของน้ำที่วัดได้แต่ละจุดจากค่าเฉลี่ย M โดยไม่คิดเครื่องหมาย และ n เป็นจำนวนจุดที่ทำการวัด

ในการประเมินผลการให้น้ำแบบฉีดฝอย ค่าความลึกของน้ำได้จากการตั้งกระป๋องวัดน้ำเป็นตะแกรงสี่เหลี่ยมในแปลงที่ให้น้ำ แต่ถ้าเป็นการให้น้ำทางผิวดินค่าความลึกของน้ำจะได้จากกราฟน้ำซึมสะสม (Accumulated Depth Curve) และระยะเวลาที่มีน้ำขังอยู่บนผิวดินที่จุดต่าง ๆ เหล่านั้น

ตารางที่ 8.1 ประสิทธิภาพการส่งน้ำ ($E_c$) ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ ($E_b$) ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_s = E_b.E_c$) และประสิทธิภาพการให้น้ำ ($E_a$) สำหรับวิธีการส่งน้ำ ขนาดของพื้นที่ ลักษณะของดินและวิธีการให้น้ำแบบต่าง ๆ

| | ประสิทธิภาพ |
|---|---|
| **ประสิทธิภาพการส่งน้ำ(Conveyance Efficiency, $E_c$)** | |
| ส่งน้ำแบบตลอดเวลา การเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้อย | 90% |
| ส่งน้ำแบบหมุนเวียน โครงการขนาด 20,000 - 40,000 ไร่ | |
| พื้นที่หมุนเวียน 500 - 2,000 ไร่ มีการจัดการดี | 80% |
| ส่งน้ำแบบหมุนเวียนในโครงการขนาดใหญ่มาก (มากกว่า 60,000 ไร่) | |
| หรือโครงการเล็ก (น้อยกว่า 6,000 ไร่) การจัดการไม่ดีพอ | 65 - 70 % |
| **ประสิทธิภาพของคูส่งน้ำ (Field Canal Efficiency, $E_b$)** | |
| สำหรับพื้นที่รับน้ำมากกว่า 125 ไร่: คลองดิน | 80% |
| คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ | 90% |
| สำหรับพื้นที่รับน้ำน้อยกว่า 125 ไร่: คลองดิน | 70% |
| คลองดาดหรือท่อส่งน้ำ | 80% |
| **ประสิทธิภาพของระบบส่งน้ำ ($E_s=E_b.E_c$)** | |
| สาหรับการส่งน้ำแบบหมุนเวียนที่มีการจัดการและการประสานงาน | |
| ก. ดี | 65% |
| ข. พอใช้ | 55% |
| ค. เกือบพอใช้ | 40% |
| ง. เลว | 30% |
| **ประสิทธิภาพการให้น้ำ(Application Efficiency, $E_a$)** | |
| ให้น้ำทางผิวดิน: | |
| ดินทราย | 55% |
| ดินร่วน | 70% |
| ดินเหนียว | 60% |
| แบบท่วมเป็นผืนยาว (Graded Border) | 60 - 75% |
| แบบท่วมเป็นอ่างหรือเป็นผืนราบ(Basin and Level Border) | 60 - 80% |
| แบบท่วมจากคูตามเส้นขอบเนิน (Contour Ditch) | 50 - 55% |
| แบบร่องคู(Furrow) | 55 - 70% |
| แบบร่องคูเล็ก (Corrugation) | 50 - 70% |
| ให้น้ำใต้ผิวดิน | ไม่เกิน 80% |
| ให้แบบฉีดฝอย(Sprinkler) | |
| อากาศร้อนและแห้ง | 60% |
| อากาศอบอุ่นปานกลาง | 70% |
| อากาศชุ่มชื้นและเย็น | 80% |
| การให้น้ำสำหรับนาข้าว | 32% |

**ข. ประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ** เป็นวิธีที่นิยมใช้หาความสม่ำเสมอในการให้น้ำทางผิวดิน เช่น การให้น้ำทางร่องดู การให้น้ำท่วมเป็นผืนยาวเป็นต้น ประสิทธิภาพดังกล่าวนี้คำนวณโดย

$$E_d = \frac{d_{min}}{\bar{d}} \times 100 \qquad \text{.....(8.13)}$$

ในเมื่อ $E_d$ เป็นประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำ $d_{min}$ เป็นความลึกต่ำสุดที่น้ำซึมเข้าไปในดินซึ่งโดยปกติจะอยู่ที่ท้ายแปลง $\bar{d}$ เป็นความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ซึมในแปลง

ในกรณีที่เป็นการให้น้ำทางร่องดูลาด (Graded Furrow) ประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำอาจเขียนให้อยู่ในรูป

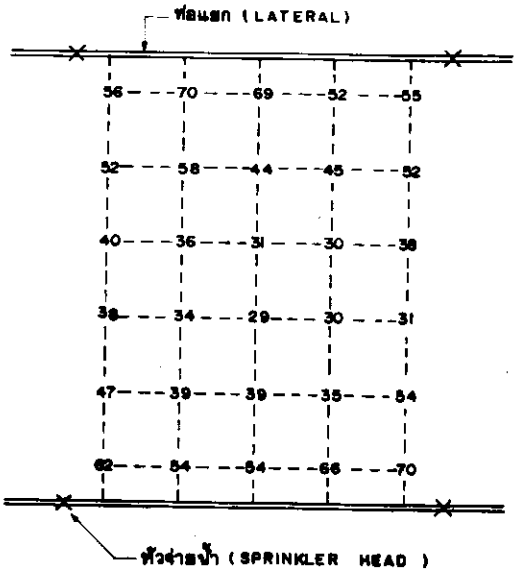
$$E_d = \frac{d_2}{0.5(d_1 + d_2)} \times 100 \qquad \text{.....(8.14)}$$

ในเมื่อ $d_1$ และ $d_2$ เป็นความลึกของน้ำที่ซึมเข้าไปในดินที่หัวแปลงและท้ายแปลงตามลำดับ

ขอให้สังเกตว่าทั้งสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำและประสิทธิภาพการแผ่กระจายน้ำเป็นค่าที่บอกว่าการให้น้ำในแปลงสม่ำเสมอเพียงใดเท่านั้น ไม่คำนึงถึงว่า น้ำที่ให้นั้นพอกับความต้องการหรือไม่

## ตัวอย่างที่ 8.2

ในการทดลองให้น้ำแบบฉีดฝอยโดยใช้ท่อแยก (Lateral) สองสายวางห่างกัน 12 เมตร ระยะระหว่างหัวจ่ายน้ำ (Sprinkler Head) 10 เมตร ความลึกของน้ำเป็นมิลลิเมตรในกระป๋องรับน้ำซึ่งตั้งอยู่ระหว่างหัวจ่ายน้ำทั้งสี่ เมื่อสิ้นสุดการให้น้ำดังรูป จงหาสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ




ความลึกของน้ำที่วัดได้จากกระป๋องรับน้ำเป็นมิลลิเมตร

## วิธีทำ

จากสูตร $C_u = 100 \left[ 1.0 - \frac{\Sigma x}{M.n} \right]$

n = จำนวนกระป๋องวัดน้ำทั้งหมด = 30 กระป๋อง

M = ค่าความลึกเฉลี่ยของน้ำในกระป๋องทั้งหมด

$= \frac{\text{ผลรวมของความลึกของน้ำในกระป๋องทั้งหมด}}{\text{จำนวนกระป๋อง}}$

$= \frac{1410}{30} = 47$ มม.

$\Sigma x$ = ผลรวมของผลต่างระหว่างความลึกของน้ำในแต่ละกระป๋อง กับค่าเฉลี่ย M โดยไม่คิดเครื่องหมาย

$= |56 - 47| + |70 - 47| + |69 - 47| + |52 - 47| + \ldots\ldots\ldots\ldots + |54 - 47| + |66 - 47| + |70 - 47|$

$= 9+23+22+5 + \ldots\ldots\ldots + 7+15+23$

$= 332$

ดังนั้น $C_u = 100 \left[ 1.0 - \frac{332}{47 \times 30} \right]$

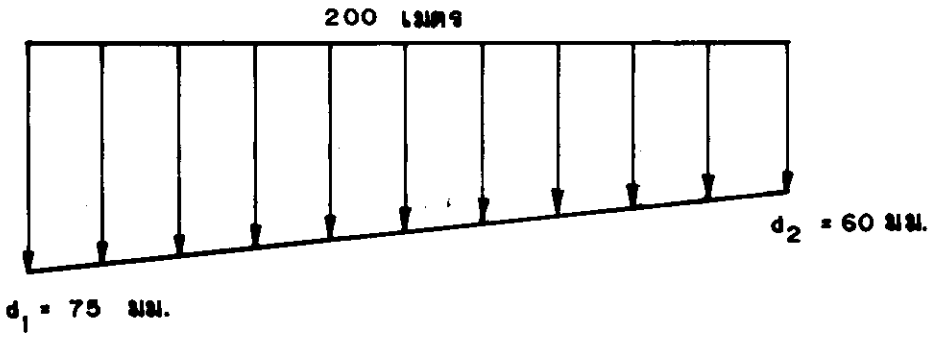
$= 76.5\%$

สัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอในการให้น้ำ = 76.5%

## ตัวอย่างที่ 8.3

ในการทดลองให้น้ำแบบร่องคูลาด (Graded Furrow) ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้

| | |
|---|---|
| ปริมาณน้ำสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช | 100 มม. |
| ระยะระหว่างร่อง (Furrow Spacing) | 0.90 เมตร |
| ความยาวของร่อง | 200 เมตร |
| อัตราการให้น้ำ | 1.0 ลิตรต่อวินาที |
| ระยะเวลาในการให้น้ำ | 10 ชั่วโมง |
| ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่หัวแปลง | 75 มม. |
| ความลึกของน้ำที่ซึมลงไปในดินที่ท้ายแปลง | 60 มม. |




**ความลึกของน้ำที่ซึมในร่องดู – มิลิเมตร**

จากข้อมูลที่กำหนดให้

ประสิทธิภาพในการแผ่กระจายน้ำ $= \dfrac{d_2}{0.5\ (d_1 + d_2)} \times 100$

$$E_d = \frac{60}{0.5(75 + 60)} \times 100$$

$$= 88.89\ \%$$

**ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่พืช** อาจหาได้จากสูตร

$$D = \frac{Q.t}{A} \qquad \text{.....(8.15)}$$

D = ความลึกเฉลี่ยของน้ำเป็นมิลลิเมตร

Q = อัตราการให้น้ำ เป็นลิตรต่อวินาที

t = ระยะเวลาในการให้น้ำเป็นวินาที

A = พื้นที่ที่ได้รับน้ำเป็นตารางเมตร

ดังนั้น $D = \dfrac{1.0 \times 10 \times 60 \times 60}{0.90 \times 200} = 200$ มม.

**ประสิทธิภาพในการให้น้ำ** $E_a = \dfrac{W_s}{W_f} \times 100$

$W_s$ = ความลึกของน้ำที่เก็บกักอยู่ในเขตรากในขณะที่ให้น้ำ

$= 0.5(75 + 60) = 67.5$ มม.

$W_f$ = ความลึกเฉลี่ยของน้ำที่ให้แก่พืช = 200 มม.

$$\text{ดังนั้น } E_a = \frac{67.5}{200} \times 100 = 33.75\ \%$$

จากตัวเลขที่กำหนดให้นี้ไม่สามารถหาประสิทธิภาพของการชลประทานที่แปลงเพาะปลูกได้เพราะน้ำที่ให้นั้นยังไม่ครบตามปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช สมมุติว่าถ้าจะให้พืชได้รับน้ำอย่างน้อยเท่ากับ 100 มม. แล้วจะต้องให้น้ำนาน 14 ชั่วโมง ซึ่งคิดเทียบมาเป็นความลึกจะได้

$$D = \frac{1.0 \times 14 \times 60 \times 60}{0.9 \times 200} = 280 \text{ มม.}$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของการชลประทานที่แปลงเพาะปลูก

$$E_i = \frac{W_n}{W_f} \times 100 = \frac{100}{280} \times 100 = 35.7\%$$

## ฝนใช้การ (Effective Rainfall)

ฝนใช้การ หมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกที่เป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูกนั้น เป็นต้นว่าพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ หรือสามารถทดแทนน้ำชลประทานที่จะต้องจัดหาให้แก่พืชที่แปลงเพาะปลูกได้

ดังได้กล่าวไว้แล้วว่า ฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกไม่จำเป็นต้องเป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูกทั้งหมด ทั้งนี้เพราะว่าส่วนที่เป็นประโยชน์อย่างแท้จริงนั้นคือส่วนที่ซึมลงไปเก็บไว้ในเขตรากซึ่งพืชสามารถดูดเอาไปใช้ได้ หรือถ้าซึมเลยเขตรากไปก็จะต้องมีประโยชน์ในการควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเขตราก ในกรณีที่เป็นนาข้าว ฝนที่จะเป็นประโยชน์ต่อข้าวก็คือส่วนที่ตกลงมาแล้วขังอยู่ในแปลงนาในระดับที่จะไม่เป็นอันตรายแก่ต้นข้าว เป็นต้น สัดส่วนของฝนที่จะเป็นประโยชน์ต่อการเพาะปลูกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ชนิดและอายุของพืชที่ปลูก อัตราและปริมาณของฝน คุณสมบัติของดินในพื้นที่เพาะปลูก ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ ความชื้นของดินหรือระดับน้ำในแปลงนาก่อนฝนตก เป็นต้น ถ้าฝนตกในช่วงที่กำลังจะต้องให้น้ำแก่พืช สัดส่วนของฝนที่ใช้การได้ก็จะสูงหรือใช้ได้ทั้งหมด ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากฝนตกหลังให้น้ำใหม่ ๆ ฝนดังกล่าวอาจจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชเลยก็ได้ แต่อาจจะเป็นโทษเสียด้วยซ้ำไปเพราะจะต้องระบายออกทิ้งไปก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืช

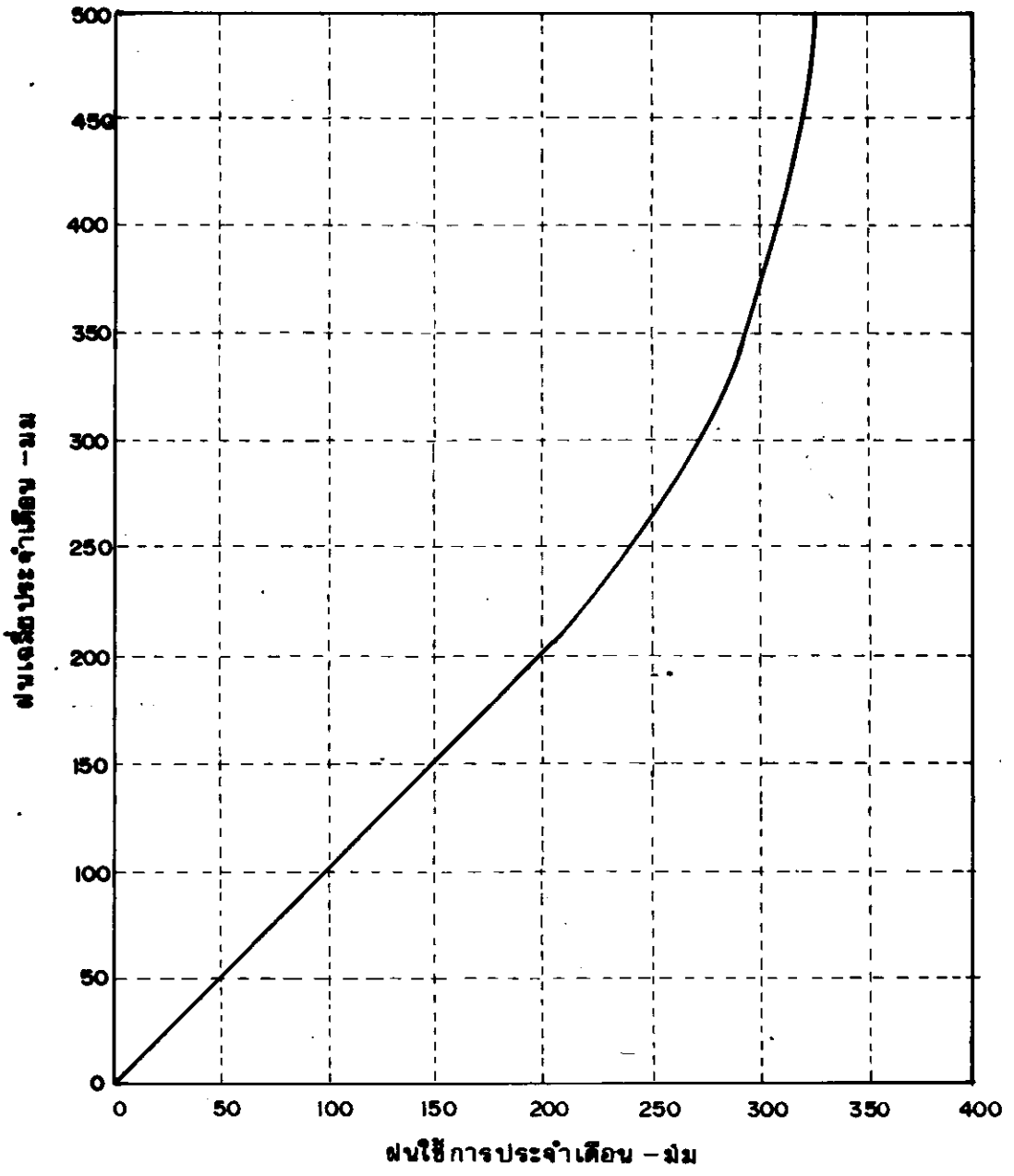
เนื่องจากว่าลักษณะการให้น้ำและใช้น้ำของข้าวกับพืชไร่นั้นต่างกันมาก กล่าวคือ เราให้น้ำแก่ข้าวโดยให้ขังไว้ในแปลงนา แต่พืชไร่ให้น้ำซึมลงไปเก็บไว้ในเขตราก ดังนั้น สัดส่วนของฝนที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งสองอย่างนี้จึงมีวิธีการพิจารณาคนละวิธี ดังนี้คือ

**ก. ฝนใช้การสำหรับนาข้าว** ฝนที่จะเป็นประโยชน์ต่อข้าวคือส่วนที่ตกลงมาเก็บกักไว้ในแปลงนาโดยไม่ทำให้ระดับน้ำในแปลงสูงขึ้นจนเป็นอันตรายต่อข้าว แปลงนาโดยทั่ว ๆ ไปมีผิวดินอยู่ในระดับราบและมีคันดินสูงประมาณ 30 ถึง 40 เซนติเมตรล้อมรอบ ดังนั้น ฝนที่ตกในนาในเกณฑ์ปกติจะถูกเก็บกักไว้ได้ทั้งหมด แต่จะทำให้ระดับน้ำในแปลงนาสูงขึ้นจนเป็นอัตรายต่อข้าวหรือไม่นั้นย่อมขึ้นอยู่กับอายุของข้าวและระดับน้ำในแปลงนาก่อนฝนตก ความลึกของน้ำในนาที่พอเหมาะในช่วงที่ต้นข้าวยังเป็นกล้าหรือปักดำใหม่ ๆ จะอยู่ระหว่าง 25 ถึง 30 มิลลิเมตร และสามารถเพิ่มเป็น 80 มิลลิเมตรหลังจากกล้าที่ปักดำตั้งตัวได้แล้ว หลังจากข้าวตั้งท้องแล้วก็อาจเพิ่มระดับน้ำให้สูงขึ้นได้ถึง 100 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตาม ก่อนเก็บเกี่ยวประมาณ 1 สัปดาห์ จะต้องระบายน้ำออกจนหมด

เนื่องจากว่าแปลงนาต้องการน้ำชลประทานมากเพราะต้องเผื่อไว้สำหรับการรั่วซึมในแปลงซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ด้วย โดยปกติความต้องการน้ำที่แปลงนาจะมีค่าอยู่ระหว่าง 150 ถึง 300 มิลลิเมตรต่อเดือน ดังนั้น อาจถือว่าฝนที่ตกด้วยอัตราปกติและแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดเดือนรวมกันแล้วไม่เกินความต้องการน้ำสำหรับเดือนนั้น ๆ เป็นฝนใช้การทั้งหมด แต่ข้อกำหนดดังกล่าวนี้จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อระดับน้ำในแปลงนาไม่สูงมากในขณะที่ฝนตก เพราะถ้าในนามีน้ำมากอยู่แล้วฝนอาจจะทำให้ระดับน้ำในนาสูงเกินไปจนเป็นอันตรายต่อต้นข้าวได้ ดังนั้น ถ้าจะใช้น้ำฝนซึ่งไม่ต้องลงทุนจัดหามาให้เกิดประโยชน์ได้มากที่สุดแล้ว ก็จะต้องรักษาระดับน้ำในแปลงนาให้ต่ำเท่าที่จำเป็นอยู่เสมอ

การคำนวณฝนใช้การสำหรับนาข้าวอาจทำได้หลายวิธี วิธีที่จะกล่าวถึงนี้เป็นวิธีที่แนะนำโดยบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา (Engineering Consultants, Inc.) สำหรับโครงการชลประทานน้ำพอง ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ข้อแนะนำนี้ให้ถือว่า ถ้าฝนเฉลี่ยตลอดเดือนมีค่าไม่เกิน 200 มิลลิเมตรให้นับเป็นฝนใช้การได้ทั้งหมด ถ้าฝนเฉลี่ยมากกว่า 200 มิลลิเมตรฝนใช้การจะลดลงตามส่วนดังแสดงในรูปที่ 8.1 หรือแสดงเป็นตัวเลขได้ดังนี้ คือ

| ฝนรายเดือนเฉลี่ย - มม. | ฝนใช้การ - มม.(%) | % ของฝนที่เพิ่มขึ้น 50 มม. |
|---|---|---|
| 200 | 200.0 (100%) | 75 |
| 250 | 237.5 (95.0%) | 65 |
| 300 | 270.0 (90.0%) | 45 |
| 350 | 292.5 (83.6%) | 35 |
| 400 | 310.0 (77.5%) | 20 |
| 450 | 320.0 (71.1%) | 10 |
| 500 | 325.0 (65.0%) | |




รูปที่ 8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฝนเฉลี่ยประจำเดือน และฝนใช้การสำหรับนาข้าวซึ่งแนะนำโดยบริษัทวิศวกรที่ปรึกษา ( ENGINEERING CONSULTANTS, INC )

จากตัวเลขที่แสดงข้างบนจะเห็นว่า เมื่อฝนเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 200 มม. เปอร์เซนต์ที่เป็นฝนใช้การจะลดลง เช่น เมื่อฝนเฉลี่ยเท่ากับ 200 มม. เป็นฝนใช้การทั้งหมดคือ 100 เปอร์เซนต์ แต่ถ้าในเดือนใดฝนตก 400 มม. จะเป็นฝนใช้การเพียง 310 มม. หรือ 77.5 เปอร์เซนต์เท่านั้น ค่าในคอลัมน์ที่สามเป็นค่าเปอร์เซนต์ของฝนที่เพิ่มขึ้น 50 มม. ที่เป็นฝนใช้การ เช่น เมื่อมีฝนเฉลี่ย 300 มม. เป็นฝนใช้การ 270 มม. แต่ถ้ามีฝนมากกว่า 300 แต่ไม่เกิน 350 มม. ส่วนที่เกินนี้จะเป็นฝนใช้การ 45 เปอร์เซนต์

ขอให้สังเกตว่า วิธีการคำนวณนี้อาจให้ค่าฝนใช้การสูงกว่าความต้องการน้ำชลประทานในเดือนเดียวกันได้ ทั้งนี้เพราะถ้าระดับน้ำในแปลงนาไม่สูงมากอยู่ก่อนแล้ว ฝนที่ตกลงมาก็สามารถเก็บไว้ใช้ในเดือนถัดไปได้ ซึ่งตรงกันข้ามกับพืชไร่ที่ฝนใช้การมีค่าเกินความต้องการน้ำในช่วงเดียวกันไม่ได้ เพราะส่วนที่เกินนั้นจะซึมลงเลยเขตรากซึ่งพืชไร่ไม่สามารถดูดเอามาใช้ได้

## ตัวอย่างที่ 8.4

จงหาค่าฝนใช้การสำหรับนาข้าวของจังหวัดพิษณุโลก สมมุติว่าปักดำต้นเดือนกรกฎาคม เก็บเกี่ยวเดือนตุลาคม ฝนที่ตกในฤดูทำนาจากเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมเท่ากับ 192.1, 226.0, 264.7 และ 140.6 มิลลิเมตร ตามลำดับ

## วิธีทำ

**เดือนกรกฎาคม** ฝนตก 192.1 มม. น้อยกว่า 200 มม. ดังนั้น ฝนที่ตกเป็นฝนใช้การ 100 เปอร์เซนต์ หรือ 192.1 มม.

**เดือนสิงหาคม** ฝนตก 226 มม. มากกว่า 200 มม.

200 มม.แรกเป็นฝนใช้การ 100% = 200 มม.

26 มม.ที่เหลือใช้การได้ 75% = $\frac{75 \times 26}{100}$ = 19.5 มม.

ดังนั้น ฝนใช้การสำหรับเดือนสิงหาคม = 200 + 19.5

= 219.5 มม.

**เดือนกันยายน** ฝนตก 264.7 มม. มากกว่า 200 มม.

จากตาราง 250 มม. แรกเป็นฝนใช้การ 95% หรือ = 237.5 มม.

ที่เหลือ 14.7 มม. ใช้การได้ 65% = $\frac{65}{100} \times 14.7$ = 9.6 มม.

ดังนั้น ฝนใช้การสำหรับเดือนกันยายน = 237.5 + 9.6

= 247.1 มม.

**เดือนตุลาคม** ฝนตก 140.6 มม. น้อยกว่า 200 มม. ดังนั้น ฝนที่ตกเป็นฝนใช้การ 100 เปอร์เซนต์ หรือ 140.6 มม.

**ข. ฝนใช้การสำหรับพืชไร่** ค่าฝนใช้การสำหรับพืชไร่หมายถึงส่วนของน้ำฝนที่ซึมลงไปเก็บไว้ในเขตรากซึ่งพืชสามารถดูดไปใช้ได้ ถ้าหากมีส่วนที่ซึมเลยเขตรากและตามปกติต้องมีการให้น้ำเผื่อไว้สำหรับการควบคุมความเข้มข้นของเกลือในเขตราก(Leaching Requirement)ก็ให้นับส่วนที่ช่วยชะล้างเกลือออกจากดินเป็นฝนใช้การด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งฝนใช้การเป็นส่วนของน้ำฝนที่ซึมลงไปทดแทนปริมาณสุทธิที่จะต้องให้แก่พืช (Net Water Application) นั่นเอง

การประมาณค่าฝนใช้การสำหรับพืชไร่นั้นค่อนข้างยุ่งยากกว่าของนาข้าว ทั้งนี้เพราะว่าค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่างด้วยกัน กล่าวคือ ก่อนที่ฝนที่ตกลงมาจะนับเป็นฝนใช้การสำหรับพืชไร่ได้จะต้องซึมลงไปเก็บไว้ในเขตรากเสียก่อน ดังนั้น ค่าฝนใช้การจึงขึ้นอยู่กับโอกาสที่น้ำฝนจะซึมเข้าไปในดิน เมื่อซึมเข้าไปแล้วยังขึ้นอยู่กับความสามารถอุ้มน้ำของดินและความลึกของเขตรากอีกด้วย โอกาสที่น้ำฝนจะซึมเข้าไปในดินขึ้นอยู่กับลักษณะของพืชคลุมดิน ความลาดเทของพื้นที่เพาะปลูก อัตราและปริมาณของฝนที่ตก คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับการซึมผ่านผิวดินซึ่งได้แก่เนื้อดิน และความชื้นของดินก่อนฝนตก เป็นต้น คุณสมบัติของดินทั้งสองอย่างที่กล่าวเป็นตัวการควบคุมความสามารถอุ้มน้ำของดินด้วย นอกจากนี้ชนิดและอายุของพืชก็เป็นตัวกำหนดความลึกของเขตราก และอัตราการใช้น้ำของพืชจากดินในเขตราก

เนื่องจากว่าค่าฝนใช้การสำหรับพืชไร่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างดังที่กล่าวแล้ว ดังนั้น ถ้าจะให้การประมาณค่าฝนใช้การมีความละเอียดถูกต้องสูงแล้วควรจะแบ่งพื้นที่เพาะปลูกออกเป็นแปลงย่อย ๆ โดยให้ในแต่ละแปลงย่อยนั้นมีลักษณะของตัวแปรดังกล่าวคล้ายคลึงกัน แล้วจึงแยกคำนวณปริมาณฝนใช้การของแต่ละแปลงย่อยนั้น

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้อย่างจริงจัง ค่าที่ใช้ในการออกแบบส่วนใหญ่ใช้วิธีของกระทรวงเกษตรของสหรัฐอเมริกา (U.S.Department of Agriculture) ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 8.2 ตารางดังกล่าวนี้ได้จากการวิเคราะห์สถิติน้ำฝนและคำนวณสมดุลย์ของความชื้นในดิน ทั้งนี้สมมุติว่าในขณะที่ถึงเวลาที่จะต้องให้น้ำแก่พืชนั้น ดินในเขตรากสามารถเก็บน้ำไว้ได้ 75 มม. แต่ถ้าดินเก็บน้ำไว้ได้ต่างจากนี้ก็จะต้องใช้ตัวคูณปรับแก้จากบรรทัดสุดท้ายของตารางคูณเข้าอีกทีหนึ่ง

การใช้ตารางที่ 8.2 เพื่อคำนวณฝนใช้การสำหรับพืชไร่ต้องการข้อมูลหลายอย่างด้วยกันคือ จำนวนฝนตลอดเดือน อัตราการใช้น้ำของพืชสำหรับเดือนนั้นและความสามารถเก็บน้ำของดินในเขตราก

เนื่องจากว่าประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้ ดังนั้นจึงไม่อาจบอกได้แน่นอนว่าค่าที่ประมาณได้นั้นถูกต้องมากน้อยแค่ไหน แต่ในขณะที่ยังไม่มีการศึกษาในเรื่องนี้เราอาจใช้วิธีของกระทรวงเกษตรสหรัฐไปพลางก่อน เข้าใจว่าโดยเฉลี่ยแล้วจะไม่ผิดความจริงมากนัก ทั้งนี้เพราะการวิเคราะห์เพื่อสร้างตารางฝนใช้การนี้ได้รวมเอาตัวเลขจากเขตชุ่มชื้นไปพิจารณาด้วย

ตารางที่ 8.2 ค่าฝนใช้การ (Effective Rainfall) ของพืชไร่สำหรับฝนรายเดือนเฉลี่ย และอัตราการใช้น้ำของพืชขนาดต่าง ๆ ตัวเลขในตารางสำหรับกรณีที่ดินในเขตรากเก็บน้ำไว้ได้ 75 มม.

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

**หมายเหตุ** ฝนใช้การเฉลี่ยประจำเดือนต้องไม่มากกว่าจำนวนฝนเฉลี่ยหรืออัตราการใช้น้ำของพืชในเดือนเดียวกัน ในกรณีที่ฝนเฉลี่ยรายเดือนน้อยกว่าค่าต่ำสุดของฝนใช้การในตารางข้างบนให้ถือว่าฝนดังกล่าวเป็นฝนใช้การทั้งหมด

## ตัวอย่างที่ 8.5

**ในการปลูกพืชไร่ในฤดูแล้งในเขตโครงการชลประทานแห่งหนึ่ง** ในเดือนที่ต้องการคำนวณฝนใช้การพืชไร่มีการใช้น้ำ (ET) 100 มิลลิเมตร ฝนเฉลี่ยในเดือนเดียวกันเท่ากับ 60 มิลลิเมตร จงคำนวณค่าฝนใช้การถ้าดินในเขตรากเก็บน้ำไว้ได้ (ก) 50 มิลลิเมตร (ข) 75 มิลลิเมตร (ค) 100 มิลลิเมตร

## วิธีทำ

จากตารางที่ 8.2 เมื่อพืชไร่มีการใช้น้ำ 100 มิลลิเมตร ฝนเฉลี่ยเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ฝนใช้การจะเท่ากับ 42 มิลลิเมตรเมื่อดินในเขตรากเก็บน้ำไว้ได้ 75 มิลลิเมตร

(ก) เมื่อดินในเขตรากเก็บน้ำไว้ได้ 50 มิลลิเมตร ตัวคูณปรับแก้จากบรรทัดสุดท้ายของตารางเท่ากับ 0.93
ดังนั้น ฝนใช้การ = 0.93 × 42 = 39 มิลลิเมตร

(ข) เมื่อดินในเขตรากเก็บน้ำได้ 75 มิลลิเมตร ตัวคูณปรับแก้เท่ากับ 1.0
ดังนั้น ฝนใช้การ = 1.0 × 42 = 42 มิลลิเมตร

(ค) เมื่อดินในเขตรากเก็บน้ำได้ 100 มิลลิเมตร ตัวคูณปรับแก้เท่ากับ 1.02
ดังนั้น ฝนใช้การ = 1.02 × 42 = 43 มิลลิเมตร

# บทที่ 9
## การส่งน้ำชลประทาน

การส่งน้ำชลประทาน หมายถึงการเปิดน้ำจากแหล่งน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำเพื่อให้มันไหลไปยังพื้นที่เพาะปลูกที่ต้องการให้น้ำ โดยปริมาณที่ส่งนั้นพอเหมาะกับความต้องการของพืช ขนาดของพื้นที่เพาะปลูก และตรงกับเวลาที่ต้องการให้น้ำ

ในโครงการชลประทานทั่ว ๆ ไป น้ำที่นำมาให้แก่พืชอาจจะได้มาจากแม่น้ำลำธารหรืออ่างเก็บน้ำ แหล่งน้ำเหล่านี้อาจจะอยู่ห่างจากพื้นที่เพาะปลูกไม่มากนักจนถึงอยู่ไกลออกไปเป็นระยะทางกว่า 100 กิโลเมตร ดังนั้นเพื่อให้พื้นที่เพาะปลูกทุกแปลงได้รับน้ำอย่างทั่วถึงกันจึงจำเป็นต้องมีระบบส่งน้ำ อาคารควบคุมบังคับน้ำตลอดจนวิธีการส่งน้ำที่มีกฎเกณฑ์แน่นอนเพื่อให้น้ำที่ส่งไปนั้นช่วยเพิ่มผลผลิตได้ตามวัตถุประสงค์ ระบบส่งน้ำที่ใช้กันอาจแบ่งแยกออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ระบบส่งน้ำที่เป็นทางน้ำเปิดหรือคลองส่งน้ำ และระบบส่งน้ำที่เป็นท่อ

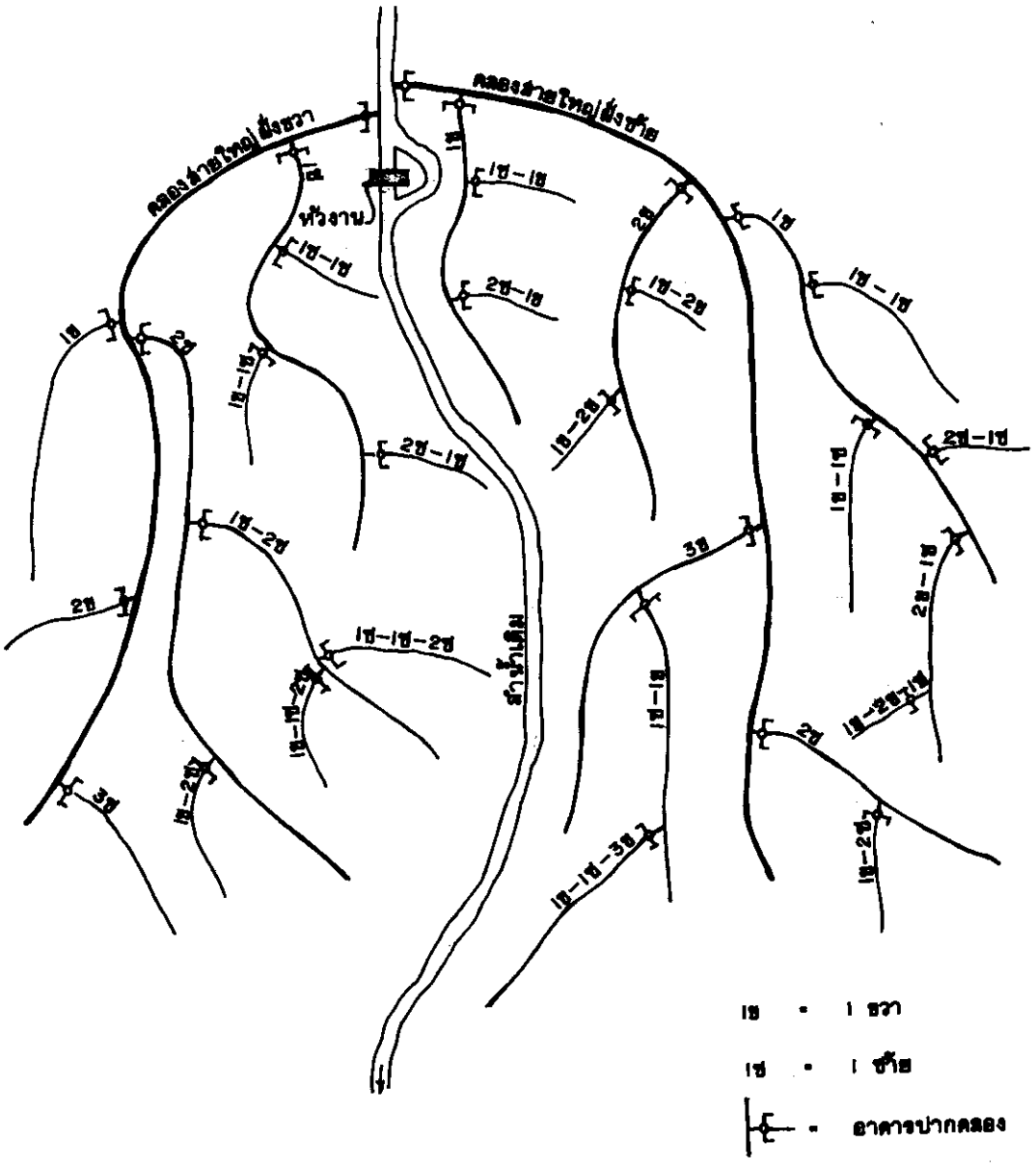
### ระบบคลองส่งน้ำ

ระบบส่งน้ำที่เป็นคลองก็คือทางน้ำเปิดที่ขุดขึ้น หรือถมขึ้นบนดินเพื่อให้น้ำจากแหล่งน้ำไหลไปถึงพื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก คลองของระบบส่งน้ำมีขนาดลดหลั่นกันและแผ่กระจายคลุมทั่วพื้นที่เพาะปลูกในเขตส่งน้ำ คลองส่งน้ำอาจแบ่งแยกตามขนาดและลักษณะหน้าที่ได้เป็น คลองส่งน้ำสายใหญ่ (Main canal) คลองซอย (Lateral) คลองแยกซอย (Sub - lateral) และคูส่งน้ำ (Farm Ditch)

**ก. คลองส่งน้ำสายใหญ่ (Main Canal)** หมายถึงคลองสายแรกที่ขุดขึ้นเพื่อรับน้ำจากแหล่งน้ำไปให้พื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดหรือพื้นที่ส่วนใหญ่ของโครงการ โดยทั่ว ๆ ไปโครงการชลประทานที่สร้างขึ้นจะสามารถส่งน้ำให้แก่พื้นที่ทั้งสองฝั่งของลำน้ำธรรมชาติ ดังนั้นปกติแล้วจะมีคลองส่งน้ำสายใหญ่สองสายคือคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้ายและคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวา คลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้ายซึ่งอยู่ทางซ้ายมือเมื่อมองตามกระแสน้ำจะส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกในเขตส่งน้ำทางฝั่งซ้ายทั้งหมด และคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวาจะส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกทางฝั่งขวาทั้งหมด

โดยทั่ว ๆ ไปแล้วไม่นิยมจ่ายน้ำจากคลองส่งน้ำสายใหญ่แก่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรง ยกเว้นแต่ว่าเป็นโครงการชลประทานขนาดเล็กซึ่งมีแต่คลองส่งน้ำสายใหญ่อย่างเดียว หรือในกรณีที่จำเป็น เช่นพื้นที่เพาะปลูกไม่สามารถรับน้ำจากคลองสายอื่นได้

**ข. คลองซอย (Lateral)** เป็นคลองที่ขุดแยกออกจากคลองสายใหญ่เพื่อรับน้ำไปจ่ายให้พื้นที่เพาะปลูกซึ่งคลองซอยสายนั้นควบคุมอยู่ แนวคลองซอยจะวางอยู่บนที่สูงเพื่อให้น้ำไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกได้ การจ่ายน้ำจากคลองซอยไปสู่พื้นที่เพาะปลูกอาจทำโดยการส่งผ่านท่อส่งน้ำเข้านา




รูปที่ 9.1 แผนผังแสดงการเรียกชื่อคลองในระบบลำน้ำ

(Farm Turnout) ให้น้ำไหลท่วมไปบนแปลงนาโดยตรง หรือผ่านท่อส่งน้ำเข้านาแล้วไปเข้าคูส่งน้ำก็ได้ ท่อส่งน้ำเข้านาจะฝังอยู่ตลอดแนวคลองซอยทุกระยะประมาณ 200 ถึง 400 เมตร

คลองส่งน้ำสายใหญ่สายหนึ่งอาจมีคลองซอยได้หลายสาย และอาจจะแยกออกจากคลองสายใหญ่ทางฝั่งเดียวหรือสองฝั่งก็ได้แล้วแต่ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ การเรียกชื่อคลองซอยให้ถือตามลำดับก่อนหลังที่คลองซอยนั้นแยกออกจากฝั่งเดียวกันของคลองสายใหญ่ เช่น คลองซอย 1 ข คือคลองซอยสายแรกที่แยกออกทางฝั่งขวา (ข = ขวา)ของคลองสายใหญ่ คลองซอย 5 ซ คือคลองซอยสายที่ 5 ที่แยกออกทางฝั่งซ้ายของคลองสายใหญ่ เป็นต้น

**ค. คลองแยกซอย (Sub - Lateral)** เป็นคลองขนาดเล็กที่ขุดแยกออกจากคลองซอยอีกทีหนึ่งเพื่อรับน้ำจากคลองซอยออกไปแจกจ่ายให้แก่พื้นที่เพาะปลูกให้ทั่วถึงยิ่งขึ้น ถ้าไม่มีคลองแยกซอยแล้วพื้นที่ที่อยู่ห่างจากคลองซอยออกไปจะไม่ได้รับน้ำ หรืออาจจะต้องใช้คูส่งน้ำยาวมากเกินไป การส่งน้ำจากคลองแยกซอยก็ทำในลักษณะเดียวกันกับคลองซอย คือส่งน้ำผ่านท่อส่งน้ำเข้านาไปเข้าพื้นที่เพาะปลูกโดยตรง หรือผ่านท่อแล้วไปเข้าคูส่งน้ำก็ได้ อย่างไรก็ตาม การส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูกโดยไม่ผ่านคูส่งน้ำนั้นใช้ได้เฉพาะกับนาเท่านั้น ไม่เหมาะกับการปลูกพืชไร่เพราะไม่สามารถควบคุมการไหลของน้ำได้

การเรียกชื่อคลองแยกซอยก็ทำในลักษณะเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้ว เช่น คลองแยกซอย 3ซ - 1ข ก็คือคลองแยกซอยสายที่ 3 ซึ่งแยกออกทางฝั่งซ้ายของคลองซอย 1ข คลองแยกซอย 2ข - 3ซ คือคลองแยกซอยสายที่ 2 ซึ่งแยกออกทางฝั่งขวาของคลองซอย 3 ซ เป็นต้น

แผนผังการเรียกชื่อคลองในระบบส่งน้ำแสดงไว้ในรูปที่ 9.1

**ง. คูส่งน้ำ(Farm Ditch)** เป็นทางน้ำเปิดขนาดเล็กที่ขุดขึ้นเพื่อรับน้ำจากท่อส่งน้ำเข้านาไปให้แก่พื้นที่เพาะปลูกที่อยู่ห่างจากท่อออกไป คูส่งน้ำจะช่วยให้สามารถควบคุมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น กล่าวคือถ้าไม่มีคูส่งน้ำก็จะต้องส่งน้ำผ่านแปลงนาที่อยู่ใกล้ท่อส่งน้ำออกไปหาแปลงที่อยู่ไกลออกไป ทำให้เกิดปัญหาเมื่อแปลงนาเหล่านี้ใส่ปุ๋ยและไม่ต้องการน้ำ แต่แปลงอื่น ๆ ยังต้องการน้ำอยู่

เพื่อให้สามารถควบคุมบังคับน้ำในระบบส่งน้ำได้ตามต้องการ ในระบบส่งน้ำทุกระดับจำเป็นต้องมีอาคารบังคับน้ำ เช่น ปากคลองสายใหญ่ คลองซอย และคลองแยกซอย จะต้องมีประตูระบายปากคลอง(Head Regulator) เพื่อควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองและอาจมีอาคารวัดน้ำสำหรับตรวจสอบอัตราการส่งน้ำ ที่ปลายคลองต้องมีประตูระบายปลายคลอง (Tail Regulator) เพื่อระบายน้ำที่เกินความต้องการทิ้งไป ในช่วงจากปากคลองถึงปลายคลองอาจมีอาคารทดน้ำกลางคลอง (Check) เพื่อทดน้ำให้เข้าคลองซอย คลองแยกซอย หรือเข้าท่อส่งน้ำเข้านา เป็นต้น นอกจากนั้นยังอาจมีอาคารน้ำตก(Drop)เมื่อจำเป็นต้องลดระดับคลองลงมาก ๆ มีสะพานน้ำ (Flume)หรือท่อไซฟอน(Siphon)เมื่อคลองตัดผ่านทางน้ำธรรมชาติ เป็นต้น อาคารต่าง ๆ เหล่านี้จำเป็นต้องสร้างขึ้นเพื่อให้สามารถควบคุมการส่งน้ำให้ไปถึงพื้นที่เพาะปลูกได้ตามความต้องการ

# คุณสมบัติของคลองส่งน้ำ

ในโครงการชลประทานโดยทั่ว ๆ ไป ระบบส่งน้ำนับว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุด แพงที่สุด และต้องการการดูแลรักษามากที่สุด โครงการชลประทานไม่อาจประสบผลสำเร็จในการเพิ่มผลผลิตตามที่คาดหมายไว้ถ้าหากมีระบบส่งน้ำที่ไม่ดีพอ ระบบส่งน้ำจะดีได้ต้องมีปัจจัยที่สำคัญสามประการด้วยกันคือ

ก. มีการออกแบบดี

ข. มีการวางแนวและก่อสร้างดี

ค. มีการบำรุงรักษาดี

ข้อกำหนดในการออกแบบคลองส่งน้ำซึ่งเป็นปัจจัยอันแรกของระบบส่งน้ำที่ดีมีดังนี้คือ

1. คลองส่งน้ำมีขนาดโตพอที่จะส่งน้ำได้ตามจำนวนที่ต้องการ อัตราการส่งน้ำเข้าคลองซึ่งเป็นตัวกำหนดขนาดคลองนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำสูงสุดของพืชที่ปลูก ขนาดของพื้นที่รับน้ำ วิธีการส่งน้ำ การสูญเสียน้ำจากคลองและจากการให้น้ำ ความสามารถส่งน้ำของคลองอาจจะลดลงจากที่ออกแบบไว้ได้มากถ้าหากมีการบำรุงรักษาไม่ดีเท่าที่คาดหมายไว้ เช่น มีวัชชพืชในคลองมากเกินไป รูปตัดของคลองเปลี่ยนไปเนื่องจากการพังทลายของตลิ่งและคันคลอง มีการตกจมของตะกอนในคลองเป็นต้น

2. ระดับน้ำในคลองต้องสูงพอ ระดับน้ำในคลองสายใหญ่เมื่อส่งน้ำเต็มที่ตามที่ได้ออกแบบไว้ควรจะอยู่สูงกว่าผิวดินประมาณ 1.0 ถึง 1.50 เมตรถ้าคลองนั้นวางอยู่บนทุ่งราบกว้างใหญ่และพื้นที่มีความลาดเทน้อย แต่ถ้าพื้นที่เพาะปลูกมีความลาดเทมากก็อาจจะลดลงเหลือ 0.50 ถึง 1.0 เมตร สำหรับคลองซอยและคูส่งน้ำควรจะมีระดับน้ำสูงกว่าระดับผิวดิน 0.30 ถึง 0.50 เมตร ระดับน้ำสูงสุดในคลองนี้อาจจะลดลงจากที่ได้ออกแบบไว้ได้ถ้าหากคลองมีการบำรุงรักษาไม่ดี โดยเหตุผลเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อที่ 1

3. จะต้องไม่มีการตื้นเขินหรือกัดเซาะในคลอง สาเหตุสำคัญที่ทำให้มีการกัดเซาะในคลองก็คือ ความเร็วของกระแสน้ำสูงเกินไปสำหรับดินที่ขุดคลองนั้น หรือแนวคลองคดเคี้ยวมากเกินไปทำให้น้ำเซาะตลิ่ง อย่างไรก็ตาม ความเร็วของน้ำจะต้องไม่น้อยเกินไปจนทำให้ตะกอนซึ่งแขวนลอยมากับน้ำตกจมลงในคลองและทำให้คลองตื้นเขิน ตะกอนที่ตกจมในคลองอาจจะมาจากดินบนคันคลองถูกฝนชะแล้วไหลลงมาในคลองก็ได้ ในกรณีนี้อาจจะป้องกันได้โดยการปลูกหญ้าในบริเวณที่มีปัญหาดังกล่าว

4. คลองส่งน้ำจะต้องไม่รั่วมาก การรั่วซึมจากคลองส่งน้ำขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่คลองนั้นขุดผ่าน อัตราการส่งน้ำ และรูปร่างลักษณะของคลอง การสูญเสียน้ำส่วนนี้อาจมากถึง 50 เปอร์เซนต์หรือมากกว่า โดยปกติแล้วผู้ออกแบบแนวคลองพยายามหลีกเลี่ยงแนวที่ต้องผ่านเข้าไปในดินทราย แต่ถ้าหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็อาจจำเป็นต้องดาดคลอง

การดาดคลองนอกจากจะลดการสูญเสียน้ำจากการรั่วซึมแล้ว ยังเป็นการป้องกันมิให้เกิดปัญหาการระบายน้ำเนื่องจากระดับน้ำใต้ดินจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วด้วย นอกจากนั้นขนาดของคลองจะเล็กลงเนื่องจากสามารถให้น้ำไหลเร็วขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลงเนื่องจากไม่มีวัชชพืชขึ้นและคลองมีความมั่นคงแข็งแรงขึ้นด้วย

## ระบบท่อส่งน้ำ

ในระบบส่งน้ำที่เป็นท่อ น้ำจะไหลไปยังจุดที่ต้องการให้น้ำโดยอาศัยแรงดันที่จุดส่งน้ำเข้าระบบท่อ เช่นเดียวกันกับระบบประปา โดยปกติแล้วท่อน้ำส่งน้ำจะฝังไว้ใต้ดินแล้วมีท่อตั้งโผล่ขึ้นมาบริเวณหัวแปลงเพาะปลูก เมื่อต้องการให้น้ำก็เปิดวาวล์หรือประตูน้ำ น้ำก็จะไหลเข้าแปลงหรือเข้าท่อจ่ายน้ำให้แก่ร่องดู(Gated Pipe) ระบบส่งน้ำที่เป็นท่อนี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงเพราะไม่มีการสูญเสียน้ำโดยการระเหยและรั่วซึม และเนื่องจากท่อฝังอยู่ใต้ดิน ดังนั้นจึงไม่มีการสูญเสียพื้นที่เพาะปลูกไปทำระบบส่งน้ำเหมือนคลองส่งน้ำ การบำรุงรักษาก็น้อยกว่า นอกจากนั้นในพื้นที่ที่สูง ๆ ต่ำ ๆ ระบบท่อส่งน้ำจะใช้งานได้ง่ายกว่าคลองส่งน้ำ อย่างไรก็ตาม ค่าลงทุนของระบบท่อส่งน้ำนี้สูงมากเพราะต้องการอุปกรณ์พิเศษหลายอย่าง ดังนั้นจึงใช้สำหรับพืชที่ให้ผลตอบแทนสูงเท่านั้น

## วิธีการส่งน้ำ

การส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกอาจทำได้หลายวิธี แต่โดยทั่ว ๆ ไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ

1) ส่งน้ำตลอดเวลา (Continuous Flow Method)

2) ส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ (Demand Method)

3) ส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotation Method)

การที่จะพิจารณาเลือกใช้วิธีการส่งน้ำวิธีใดวิธีหนึ่งนั้น จำเป็นจะต้องพิจารณากำหนดไว้ในขั้นวางโครงการเพื่อที่จะได้ออกแบบระบบส่งน้ำได้ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะว่าระบบที่ใช้ส่งน้ำแต่ละประเภทจะมีขนาดไม่เท่ากัน ดังนั้นเมื่อก่อสร้างระบบส่งน้ำไปแล้วจะมาเปลี่ยนวิธีการส่งน้ำย่อมจะยุ่งยากและไม่มีประสิทธภาพ อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนวิธีการส่งน้ำเพื่อแก้ปัญหาเฉพาะหน้าในสนาม เช่น เมื่อมีการขาดแคลนน้ำอาจจำเป็นต้องเปลี่ยนจากส่งน้ำตลอดเวลามาเป็นแบบหมุนเวียน เป็นต้น

**1.การส่งน้ำตลอดเวลา** การส่งน้ำตลอดเวลาหมายถึงการส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกทั่วทุกแปลงด้วยอัตราคงที่ตลอด 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงเก็บเกี่ยว ทั้งนี้จะหยุดส่งน้ำก็เฉพาะแต่ในช่วงที่มีฝนตกและหลังฝนตกในปริมาณที่มากพอสมควรเท่านั้น การออกแบบขนาดระบบซึ่งส่งน้ำโดยวิธีนี้จะทำโดยหาความต้องการน้ำทั้งหมดตลอดฤดูเพาะปลูก (Gross Water Requirement) แล้วหารด้วยอายุของพืชที่ปลูก ดังนั้นอัตราการส่งน้ำที่ส่งแบบตลอดเวลาจึงมีค่าเท่ากับค่าความต้องการน้ำเฉลี่ยตลอดฤดู จะเห็นได้ชัดว่าในช่วงแรกซึ่งพืชยังต้องการน้ำน้อยจะมีน้ำใช้อย่างเหลือเฟือ แต่เมื่อพืชโตเต็มที่และมีการใช้น้ำมาก อัตราการส่งน้ำที่ได้รับจะไม่พอกับความต้องการ ยิ่งไปกว่านั้นในช่วงที่ขาดน้ำนี้ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงวิกฤติ (Critical Period)ในความต้องการน้ำของพืชด้วย ดังนั้นผลผลิตอาจจะกระทบกระเทือนได้มาก

การส่งน้ำแบบนี้ให้แก่นาข้าวจะมีปัญหาน้อยกว่าพื้นที่ที่ปลูกพืชไร่ เพราะโดยปกติชาวนามักจะปลูกข้าวตามกำหนดเวลาที่เคยทำกันมาตั้งแต่โบราณ คือให้ช่วงที่มีการใช้น้ำมากอยู่ในเดือนที่มีฝนตกชุก นอกจากนั้นแปลงนาส่วนใหญ่สามารถเก็บน้ำไว้ใช้ได้หลายวัน เพราะฉะนั้น จุดอ่อนของการส่งน้ำแบบนี้จึงมองไม่เห็นชัด

เหมือนการส่งน้ำให้แก่พืชที่ปลูกในฤดูแล้ง สำหรับพืชไร่นั้นมิได้ให้น้ำตลอดเวลาเหมือนกับข้าว ในตอนกลางคืนน้ำที่ส่งจึงต้องปล่อยทิ้งไป หรือมิฉะนั้นต้องทำสระเก็บน้ำในไร่นาเก็บน้ำไว้ในช่วงที่มิได้ให้น้ำ หรือมีน้ำมากเกินพอ แล้วรวบรวมไว้ให้ในตอนกลางวันตามเวลาและปริมาณที่ต้องการ

โดยสรุปแล้ว การส่งน้ำแบบนี้มีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้ คือ

ก. ข้อดี

1. ระบบส่งน้ำมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับระบบที่ส่งน้ำโดยวิธีอื่น ทำให้ค่าลงทุนถูก

2. ส่งน้ำง่ายไม่ต้องการเจ้าหน้าที่ส่งน้ำมาก เพราะอัตราการส่งน้ำจะเท่ากันตลอดเวลา

3. ถ้าระบบส่งน้ำเป็นคลองดิน ตลิ่งของคลองจะมั่นคงแข็งแรง เพราะระดับน้ำในคลองไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนั้น วัชชพืชน้ำบางชนิดก็ไม่ขยายพันธุ์ในคลองได้ง่าย เพราะมีน้ำไหลในคลองตลอดเวลา

ข. ข้อเสีย

1. อัตราการส่งน้ำไม่ต้องกับความต้องการ ในช่วงแรกของการเพาะปลูกมีน้ำใช้มากเกินไป แต่ในช่วงที่มีการใช้น้ำมากและเป็นช่วงวิกฤติกลับมีน้ำไม่พอใช้ ทำให้ประสิทธิภาพการชลประทานต่ำ

2. ส่วนใหญ่จะมีปัญหาเรื่องแย่งน้ำกัน เพราะผู้อยู่ทางต้นน้ำจะใช้น้ำอย่างไม่ประหยัด ทำให้ผู้อยู่ทางปลายคลองจะไม่มีน้ำใช้ นอกจากนั้น ผู้ที่อยู่ทางต้นน้ำก็ไม่สนใจที่จะช่วยกันบำรุงรักษาคลอง เพราะถึงอย่างไรตนเองก็มีน้ำใช้โดยไม่เดือดร้อน ทำให้กสิกรส่วนใหญ่ไม่เห็นความสำคัญของการมีการชลประทาน

3. ไม่เหมาะกับการส่งน้ำให้แก่พืชไร่ เพราะโดยทั่ว ๆ ไปกสิกรจะไม่ให้น้ำแก่พืชไร่ตลอดเวลาเหมือนนาข้าว ทั้งนี้ยกเว้นการให้น้ำแบบหยดซึ่งยังมีใช้อยู่น้อยมาก ดังนั้นในตอนกลางคืนจึงต้องปล่อยน้ำทิ้งไปโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์

4. ในกรณีที่เกิดวิกฤติการเนื่องจากมีน้ำต้นทุนไม่พอ การจัดสรรน้ำให้แก่พื้นที่ต่าง ๆ อาจมีปัญหาเพราะกสิกรไม่คุ้นกับการส่งน้ำแบบอื่น และขนาดของระบบส่งน้ำอาจเล็กเกินไปทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนไปส่งน้ำวิธีอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. เมื่อมีฝนตกในเขตโครงการ และกสิกรพากันปิดท่อส่งน้ำเข้านากันหมดเนื่องจากมีน้ำฝนแล้ว น้ำอาจจะไหลล้นคันคลองและทำให้คลองพังได้ถ้าหากหยุดส่งน้ำช้าเกินไป

**2.การส่งน้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำ (Demand Method)** เป็นการส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตามเวลาและปริมาณที่ผู้ใช้น้ำขอ วิธีนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของผู้ใช้น้ำ เพราะกสิกรสามารถวางแผนการปลูกพืชและให้น้ำแก่พืชในเวลาและปริมาณที่พอเหมาะ ทั้งอัตราการส่งน้ำกสิกรก็สามารถเลือกให้พอเหมาะกับวิธีการให้น้ำที่ใช้อยู่ด้วย ดังนั้น ประสิทธิภาพการชลประทานที่ส่งน้ำโดยวิธีนี้จะดีที่สุด ปริมาณและเวลาที่ต้องการน้ำนี้กสิกรอาจจะเตรียมไว้ล่วงหน้าโดยคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชจากข้อมูลภูมิอากาศและสัมประสิทธิการใช้น้ำของพืช หรือข้อมูลการระเหยจากถาดวัดการระเหยและสัมประสิทธิ์ของถาด และคุณสมบัติของดินและพืช ในระหว่างฤดูการเพาะปลูกอาจมีการแก้ไขให้เข้ากับสถาพการใช้น้ำและฝนที่เกิดขึ้นจริง

การที่จะใช้วิธีการส่งน้ำแบบนี้ได้เกษตรกรจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในหลักการชลประทานเป็นอย่างดี หรือมีผู้ที่สามารถให้คำแนะนำแก่เกษตรกรได้อย่างถูกต้อง เท่าที่มีใช้อยู่ในประเทศพัฒนาแล้ว กสิกรจะต้องจ่ายค่าน้ำตามปริมาณที่ใช้ ดังนั้น การใช้น้ำจะเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด

โดยสรุปแล้วการส่งน้ำแบบนี้มีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้ คือ

**ก. ข้อดี**

1. เป็นวิธีที่ดีที่สุดในแง่ของผู้ใช้น้ำ เพราะกสิกรสามารถกำหนดการให้น้ำแก่พืชแต่ละชนิดได้ตามต้องการ และสามารถใช้อัตราการให้น้ำได้เหมาะสมกับวิธีการให้น้ำ ทำให้การใช้น้ำมีประสิทธิภาพและประหยัด

2. ส่งเสริมให้มีการวางแผนการใช้น้ำจากโครงการอย่างละเอียด เพราะจะต้องมีการพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณน้ำต้นทุนที่จะนำมาใช้ได้กับความต้องการในช่วงต่าง ๆ ตลอดฤดูการเพาะปลูก ดังนั้น ประสิทธิภาพของโครงการชลประทานก็จะสูงด้วย

**ข. ข้อเสีย**

1. เนื่องจากว่าต้องมีการวางแผนการใช้น้ำอย่างรอบคอบ ดังนั้น ผู้บริหารโครงการจะต้องเป็นผู้ที่มีความสามารถสูง มีความเข้าใจในหลักการชลประทานเป็นอย่างดี

2. จะต้องมีการติดต่อประสานงานกับผู้ใช้น้ำอย่างใกล้ชิด

3. การส่งน้ำวิธีนี้จะใช้ได้ดีก็ต่อเมื่อมีแหล่งน้ำที่มากพอ หรือสามารถคาดคะเนปริมาณน้ำต้นทุนที่จะนำมาใช้ได้ค่อนข้างแน่นอน มิฉะนั้น จะไม่สามารถวางแผนการใช้น้ำได้อย่างถูกต้อง

4. ระบบส่งน้ำจะมีขนาดโตกว่าการส่งน้ำโดยวิธีอื่น ถึงกระนั้นก็ตามอาจจะมีบางครั้งที่ความต้องการน้ำนั้นมากเกินกว่าที่ระบบส่งน้ำจะส่งได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่อากาศร้อนจัด พืชต้องการน้ำมากติดต่อกันเป็นเวลานาน ๆ

5. กสิกรผู้ใช้น้ำจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในการใช้น้ำดี

**3. การส่งน้ำแบบหมุนเวียน (Rotation Method)** เป็นการส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกตามจำนวนและระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า โดยทำเป็นแผนการส่งน้ำไว้แล้วว่าแปลงใดจะได้รับน้ำเมื่อใด จำนวนเท่าใด เป็นระยะเวลานานเท่าใด และเมื่อใดจะได้รับน้ำสำหรับการส่งน้ำครั้งต่อ ๆ ไป

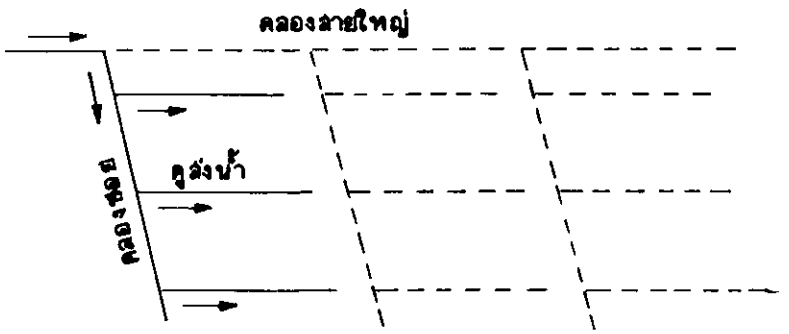
หลักการที่สำคัญของการส่งน้ำโดยวิธีนี้มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. แบ่งพื้นที่ที่จะต้องส่งน้ำทั้งหมดออกเป็นแปลงย่อย ๆ แล้วจัดเรียงลำดับของแปลงที่จะส่งน้ำให้

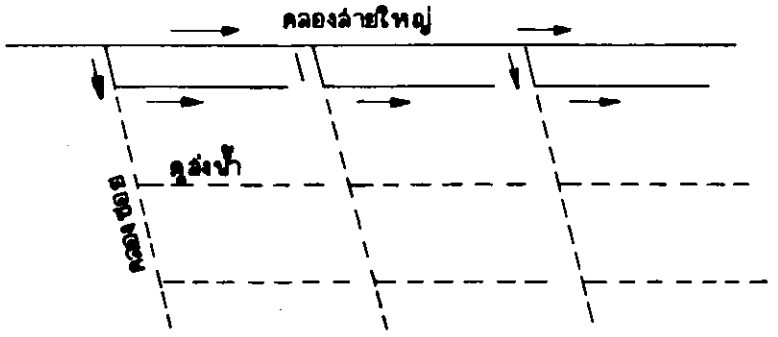
2. คำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องส่งให้กับแปลงย่อยที่ได้แบ่งไว้ให้พอเหมาะกับความต้องการพืช ขนาดของแปลงและการสูญเสียน้ำจากการส่งน้ำและให้น้ำ

3. กำหนดระยะเวลาที่แต่ละแปลงย่อยจะได้รับน้ำ ระยะเวลาดังกล่าวนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่และอัตราการส่งน้ำ

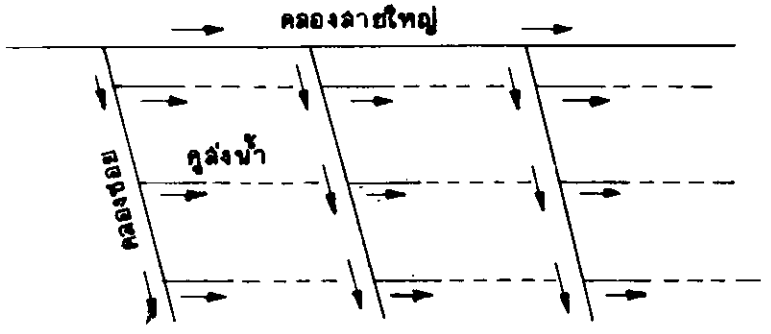
การแบ่งพื้นที่ส่งน้ำ คำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องให้ และกำหนดระยะเวลาที่แต่ละแปลงย่อยจะได้รับน้ำนี้




(a) การส่งน้ำหมุนเวียนโดยคลองสายใหญ่




(b) การส่งน้ำหมุนเวียนโดยคลองซอย




(c) การส่งน้ำหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำ

ส่วนที่ยังไม่ได้ส่งน้ำ

ส่วนที่ส่งน้ำ

รูปที่ 9.2 การส่งน้ำแบบหมุนเวียนโดยส่วนต่างๆ ของระบบส่งน้ำ

เจ้าหน้าที่ผู้จัดสรรน้ำเป็นผู้ดำเนินการให้ทั้งหมด ส่วนการเปิดน้ำเข้าแปลงเกษตรกรจะต้องดำเนินการเอง ในได้หวันจะมีเจ้าหน้าที่ปิดเปิดน้ำซึ่งจ้างโดยเงินค่าน้ำที่เก็บจากกสิกรให้ด้วย โดยวิธีนี้การส่งน้ำและให้น้ำก็จะมีประสิทธิภาพ เพราะเจ้าหน้าที่ดังกล่าวมีความชำนาญในการส่งน้ำและให้น้ำดีกว่า

การส่งน้ำแบบหมุนเวียนอาจแบ่งตามลักษณะการหมุนเวียนออกได้เป็น 3 ประเภทคือ หมุนเวียนโดยคลองสายใหญ่ หมุนเวียนโดยคลองซอย และหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำ

ก. หมุนเวียนโดยคลองสายใหญ่ การหมุนเวียนวิธีนี้คลองสายใหญ่จะถูกแบ่งออกเป็นส่วน ๆ แล้วให้น้ำแก่พื้นที่ที่คลองสายใหญ่แต่ละส่วนนั้นรับผิดชอบ กล่าวคือมีคลองซอยและคูส่งน้ำที่แยกออกไปจากคลองสายใหญ่ในช่วงนั้น ๆ ได้รับน้ำพร้อมกัน ลักษณะการส่งน้ำหมุนเวียนโดยวิธีนี้ดูได้จากรูปที่ 9.2 (a)

ข. หมุนเวียนโดยคลองซอย วิธีนี้จะส่งน้ำเข้าคลองสายใหญ่ตลอดเวลา แต่แบ่งคลองซอยสายต่าง ๆ ออกเป็นส่วน ๆ ดังนั้น คลองซอยแต่ละตอนและคูส่งน้ำแต่ละสายจะได้รับน้ำเป็นครั้งคราว และตามระยะเวลาที่กำหนด ดังรูปที่ 9.2 (b)

ค. หมุนเวียนโดยคูส่งน้ำ การหมุนเวียนโดยคูส่งน้ำนี้จะส่งน้ำเข้าคลองสายใหญ่ และคลองซอยตลอดเวลา แต่แบ่งคูส่งน้ำออกเป็นส่วน ๆ แล้วส่งน้ำให้แก่พื้นที่ที่คูแต่ละส่วนรับผิดชอบตามระยะเวลาที่กำหนด ลักษณะการส่งน้ำหมุนเวียนโดยวิธีนี้ดูได้จากรูปที่ 9.2 (c)

สำหรับข้อดีและข้อเสียของการส่งน้ำโดยวิธีนี้ มีดังนี้

**ก. ข้อดี**

1. สามารถส่งน้ำหมุนเวียนได้หลายระดับ ซึ่งสามารถเลือกใช้ให้เหมาะกับความต้องการของผู้ใช้น้ำได้

2. เป็นการส่งน้ำอย่างมีแบบแผนและตรงกับความต้องการน้ำของพืชซึ่งผันแปรไปตลอดฤดู ดังนั้น การส่งน้ำและใช้น้ำจะเป็นไปอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ

3. สามารถส่งน้ำได้อย่างทั่วถึงกว่าแบบส่งน้ำตลอดเวลา เพราะในแต่ละแปลงย่อยมีหมายกำหนดการและระยะเวลาที่จะได้รับน้ำแน่นอน พื้นที่ที่อยู่นอกเขตส่งน้ำไม่มีสิทธิที่จะได้รับน้ำเพิ่มเติมอีกเมื่อไม่ถึงเวลา

4. กสิกรรู้กำหนดเวลาและระยะเวลาที่พื้นที่ของตนเองจะได้รับน้ำ ดังนั้น จะไม่มีปัญหาการแย่งน้ำระหว่างเกษตรกรด้วยกัน

5. ในกรณีที่มีการขาดแคลนน้ำ เจ้าหน้าที่ผู้จัดสรรน้ำจะแก้ปัญหาได้ง่ายเพราะทราบถึงสภาพการเพาะปลูกในเขตโครงการดี และเกษตรกรคุ้นเคยกับการแบ่งน้ำดีแล้ว

**ข. ข้อเสีย**

1. เนื่องจากว่าต้องมีการวางแผนการใช้น้ำอย่างรอบคอบ ผู้บริหารโครงการต้องเป็นผู้ที่มีความสามารถสูง มีความเข้าใจในหลักการชลประทานเป็นอย่างดี

2. เจ้าหน้าที่ส่งน้ำต้องประสานงานกับผู้ใช้น้ำอย่างใกล้ชิด

3. การกำหนดเวลาส่งน้ำไว้ล่วงหน้าอาจจะไม่อยู่ในช่วงที่พอเหมาะที่ต้องให้น้ำเช่น ดินอาจจะยังเปียกอยู่เนื่องจากมีฝนตกก่อนถึงกำหนดส่งน้ำหรือดินแห้งเกินไปเนื่องจากอากาศแห้งแล้งกว่าปกติ เป็นต้น

4. ระบบส่งน้ำจะมีขนาดโตกว่าระบบที่ส่งน้ำตลอดเวลา

5. กสิกรจะต้องมีความรู้ในการใช้น้ำดี

# บทที่ 10
# การวัดน้ำชลประทาน

## วัตถุประสงค์ของการวัดน้ำชลประทาน

ในการที่จะจัดสรรน้ำจากแหล่งน้ำที่มีอยู่ไปใช้ในการเพาะปลูกให้เกิดประโยชน์ในทางเศรษฐกินอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นจะต้องทราบว่ามีน้ำต้นทุนอยู่มากน้อยเท่าใด จะได้รับเพิ่มขึ้นมาในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ เท่าใด จะต้องส่งออกไปให้แก่เกษตรกรผู้ใช้น้ำในช่วงใดบ้างและด้วยอัตราเท่าใด ทางด้านเกษตรกรเมื่อได้น้ำมาแล้วก็จะต้องนำมาให้แก่พืชในปริมาณที่พอเหมาะกับความต้องการ และให้ด้วยอัตราที่พอเหมาะกับวิธีการให้น้ำ คุณสมบัติของดิน ลักษณะของภูมิประเทศ ฯลฯ

จะเห็นได้ว่า ถ้าจะใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพแล้วจำเป็นต้องมีการวัดอัตราและปริมาณในทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการได้เพิ่มขึ้นมาหรือใช้ไป เพราะมิฉะนั้นแล้วจะไม่มีข้อมูลพอที่จะจัดสรรน้ำให้มีประสิทธิภาพได้ โดยหลักการแล้วการวัดน้ำชลประทานเป็นสิ่งจำเป็น เพราะข้อมูลนี้มีประโยชน์ต่อการจัดสรรน้ำและบริหารโครงการชลประทานหลายอย่างด้วยกัน กล่าวคือ

1. ทำให้ทราบถึงอัตราและปริมาณน้ำต้นทุนที่จะนำมาใช้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแหล่งน้ำนั้นมีการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่างร่วมกัน เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลมาของลำน้ำสายหนึ่งอาจจะต้องแบ่งไว้สำหรับการอุปโภคบริโภค การคมนาคมทางน้ำ การควบคุมน้ำเค็มบริเวณปากอ่าว เหลือเท่าไรจึงเอาไปใช้ในการชลประทานได้เป็นต้น

2. ทำให้สามารถส่งน้ำเข้าระบบส่งน้ำได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ รวมทั้งสามารถจัดสรรน้ำให้แก่เกษตรกรอย่างยุติธรรมด้วย

3. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของคลอง คูส่งน้ำ ในช่วงตอนต่าง ๆ สำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงหรือแก้ไขระบบส่งน้ำให้ดีขึ้น

4. เมื่อมีการวัดการให้น้ำในแปลงเพาะปลูก ก็จะทำให้ทราบถึงอัตราและปริมาณที่ให้แก่พืช สำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงการให้น้ำให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

5. เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเก็บค่าน้ำจากผู้ใช้น้ำ

6. ใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินข้อพิพาทเรื่องแก่งแย่งน้ำ หรือสิทธิในการใช้น้ำ

## การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ

โดยปกติแล้วการวัดน้ำในระบบส่งน้ำจะเริ่มต้นทันทีที่จุดส่งน้ำจากแหล่งน้ำเข้าระบบซึ่งอาจจะเป็นประตูระบายปากคลอง หรือท่อระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ หลังจากนั้นก็จะวัดทุกจุดที่มีระบบย่อยแตกแขนงออกไป เช่น ปากคลองซอย ปากคลองแยกซอย เป็นต้น และทุก ๆ จุดหลังท่อส่งน้ำเข้านา

เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำมีมากมายหลายแบบ แต่เนื่องจากว่าส่วนใหญ่แล้วความลาดเทของผิวน้ำในคลองค่อนข้างราบ เครื่องมือที่ใช้จึงไม่ควรก่อให้เกิดการเสียพลังงานหรือเสียเฮด (Head) ในการไหลมาก โดยทั่ว ๆ ไปจึงนิยมใช้รางวัดน้ำ เช่นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) หรือรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut - Throat Flume) เป็นต้น ทั้งนี้ยกเว้นบริเวณปากคลองซอยหรือแยกซอยซึ่งจำเป็นต้องมีอาคารปิดและเปิดน้ำด้วย ในกรณีดังกล่าวนี้จะนิยมใช้อาคารวัดน้ำที่มีระดับต่างคงที่ (Constant Head Orifice) หรือ CHO ซึ่งทำหน้าที่ได้ทั้งวัดน้ำและปิด - เปิดน้ำแทน

โดยหลักการแล้วจุดที่น่าจะต้องทำการวัดมากที่สุดในระบบส่งน้ำก็คือหลังท่อส่งน้ำเข้านา ทั้งนี้เพราะว่าที่จุดนี้เป็นจุดสุดท้ายที่น้ำชลประทานจะพ้นจากความรับผิดชอบของโครงการ และเป็นจุดที่ถือว่าเกษตรกรจะต้องรับน้ำไปจากจุดนี้ ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงถือว่าเป็นปริมาณที่เกษตรกรได้รับจากโครงการชลประทาน ถ้าหากจะมีการเก็บค่าน้ำก็จะต้องคำนวณจากค่าที่วัดได้ที่จุดนี้ โครงการชลประทานส่งน้ำได้ทั่วถึงหรือไม่ก็บอกได้ที่จุดนี้ อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันโครงการชลประทานในประเทศไทยเป็นกิจการที่รัฐบาลให้บริการแก่เกษตรกรฟรี ดังนั้นจึงยังมิได้ให้ความสำคัญต่อการวัดน้ำที่ท่อส่งน้ำเข้านาแต่อย่างใด

## ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี

เครื่องมือวัดน้ำที่จะกล่าวถึงในที่นี้ถือว่าเป็นเครื่องมือวัดน้ำที่จะใช้ในระบบส่งน้ำขนาดเล็กและใช้ในไร่นา ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปอัตราการไหลจะมีค่าไม่เกินประมาณ 500 ลิตรต่อวินาที เครื่องมือวัดน้ำในคลองส่งน้ำที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1. เนื่องจากว่าความลาดเทตามแนวยาวของคลองส่วนใหญ่จะแบนราบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดน้ำที่มีความต้านทานต่อการไหลน้อย หรืออีกนัยหนึ่งมีการเสียเฮด (Head) น้อย นอกจากนั้น เศษวัชพืชหรือสิ่งที่ลอยมากับน้ำควรจะไหลผ่านไปได้โดยไม่ก่อให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น

2. ถ้าเป็นไปได้ควรจะทำหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือการวัดน้ำได้ด้วย เช่นช่วยควบคุมระดับน้ำในคลองทำหน้าที่เป็นประตูน้ำด้วย เช่น อาคารวัดน้ำแบบ CHO เป็นต้น

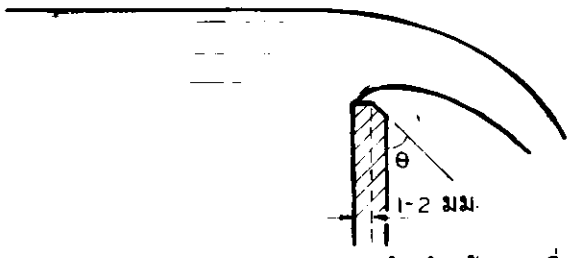
3. จะต้องใช้ง่าย แผ่นเสกล (Scale) ที่อ่านค่าเฮด (Head) ควรติดอยู่กับที่ สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและอ่านได้ง่าย ควรมีตารางที่บอกอัตราการไหลได้ทันทีจากค่าเฮดที่อ่านได้

4. ให้ความละเอียดถูกต้องดีพอสมควรตลอดช่วงการวัดตั้งแต่ส่งน้ำด้วยอัตราต่ำสุดถึงสูงสุด

5. จะต้องมั่นคงแข็งแรง ติดตั้งและใช้งานง่าย ไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก และมีราคาไม่แพง

## ฝายวัดน้ำ

ฝายวัดน้ำอาจจะให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นอาคารที่สร้างขึ้นขวางกั้นทางน้ำ เพื่อให้น้ำไหลล้นข้ามผ่านช่องเปิดที่ทำไว้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลข้ามสัมพันธ์กับความลึกของน้ำเหนือระดับสันฝายเป็นกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว




$\theta \leq 45^{\circ}$ สำหรับฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้า
และสี่เหลี่ยมคางหมู

$\theta \leq 30^{\circ}$ สำหรับฝายสามเหลี่ยม

**รูปที่ 10.1 ลักษณะของสันฝายคม และการไหลผ่านสันฝายชนิดนี้**

ฝายวัดน้ำที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไปเป็นฝายสันคม (Sharp Crested) ซึ่งทำจากเหล็กหรือโลหะแผ่นเรียบ ปาดสันให้คมด้วยการลบมุม 30 ถึง 45 องศากับหน้าของแผ่นจนความหนาของสันเหลือ 1 ถึง 2 มิลลิเมตร ส่วนที่ลบมุมนี้จะติดตั้งไว้ทางด้านท้ายน้ำเพื่อให้แผ่นน้ำไหลข้ามไปได้โดยไม่ลู่ติดกับสันฝาย ลักษณะของสันฝายและการไหลผ่านสันฝายชนิดนี้แสดงไว้ในรูปที่ 10.1

ฝายสันคมแบบมาตรฐานที่ใช้กันอยู่จะเรียกชื่อตามรูปร่างลักษณะของช่องเปิดที่น้ำไหลผ่าน เช่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมคางหมู และสามเหลี่ยม สำหรับฝายประเภทแรกคือสี่เหลี่ยมผืนผ้านั้นยังแบ่งออกเป็นแบบไม่บีบข้าง คือความยาวของสันฝายเท่ากับความกว้างของทางน้ำซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกัน และแบบบีบข้าง (Contracted) ซึ่งช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านแคบกว่าความกว้างของทางน้ำ อีกสองประเภทที่เหลือคือแบบสี่เหลี่ยมคางหมูและสามเหลี่ยมเป็นแบบบีบข้างทั้งสองประเภท

## ข้อกำหนดในการติดตั้งฝายวัดน้ำ

เนื่องจากว่าการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายหรืออาคารวัดน้ำอื่น ๆ นั้นมิใช่เป็นการวัดอัตราการไหลโดยตรง แต่เป็นการวัดความลึกของน้ำเหนือสันฝายหรือเฮด (Head) แล้วไปแทนค่าในสูตร หรือนำไปเปิดตารางอัตราการไหลที่มีผู้จัดทำไว้ ตารางดังกล่าวนี้คำนวณโดยสูตรซึ่งได้จากการทดลองวัดการไหลผ่านฝายที่มีลักษณะเฉพาะและติดตั้งในลักษณะที่กำหนดไว้ ดังนั้น ถ้าจะให้ฝายที่ติดตั้งในสนามวัดได้ละเอียดถูกต้องตามสูตรหรือตารางก็จะต้องติดตั้งตามกฎเกณฑ์ที่กำหนดไว้เช่นเดียวกัน ลักษณะเฉพาะของฝายและหลักเกณฑ์ทั่ว ๆ ไปในการติดตั้งฝายวัดน้ำมีดังต่อไปนี้ คือ

1. ผนังด้านเหนือน้ำของฝายจะต้องเรียบ อยู่ในแนวดิ่ง และตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของทางน้ำ
2. แผ่นโลหะสันฝายซึ่งติดอยู่กับตัวฝายต้องเรียบเป็นผืนเดียวกับผนังด้านหน้า สันฝายจะต้องตรงและเรียบ

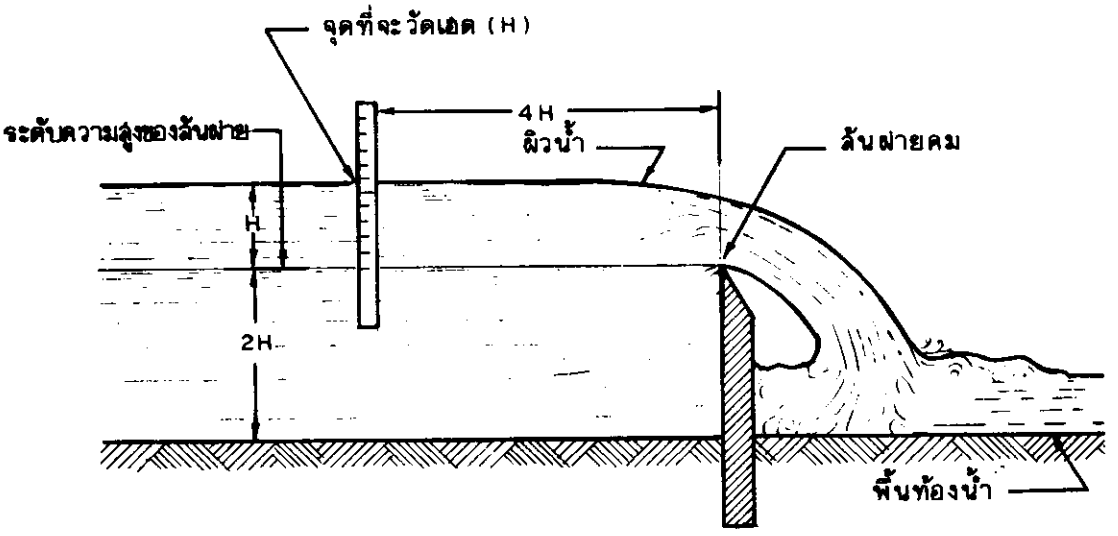
3. สันฝายจะต้องวางให้ได้ระดับหรือมุมตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ เช่นสันฝายด้านล่างของฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้า หรือฝายสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องได้ระดับราบ สันฝายด้านข้างของแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะต้องได้ดิ่งและทำมุมฉากกับสันฝายด้านล่าง เป็นต้น ความหนาของสันฝายควรจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิเมตร (สันฝายคมบางใช้กับอัตราการไหลน้อย ๆ ) ด้านมุมฉากของสันฝายอยู่ทางเหนือน้ำ ดังรูปที่ 10.1

4. การลบมุมด้านท้ายน้ำของสันฝายจะต้องไม่เกิน 45 องศาจากผิวหน้าของแผ่นสันฝายถ้าเป็นฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมคางหมู แต่ถ้าเป็นฝายสามเหลี่ยม มุมดังกล่าวไม่ควรเกิน 30 องศา ไม่ควรใช้สันฝายที่คมมากเพราะจะดูแลรักษาได้ยาก

5. ความสูงจากก้นคลองหรือทางน้ำถึงจุดต่ำสุดของสันฝายจะต้องไม่น้อยกว่าสองเท่าของความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝายหรือเฮด (Head) และต้องไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร ทั้งนี้ยกเว้นฝายสามเหลี่ยมที่ยอมให้น้อยกว่า 30 เซนติเมตรได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 2 เท่าของเฮด ถ้าเป็นไปได้ควรจะยกสันฝายให้สูงไว้ เพื่อให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ(Free Flow)

6. จะต้องมีอากาศผ่านเข้าใต้ผืนน้ำที่ไหลข้ามสันฝายได้ เพื่อให้น้ำที่ไหลผ่านสัมผัสกับสันฝายด้านมุมฉาก ซึ่งไม่ได้ลบเหลี่ยมเพียงด้านเดียวเท่านั้น ถ้าอากาศผ่านไม่ได้อาจเกิดสูญญากาศใต้ผืนน้ำ ทำให้การวัดผิดพลาด

7. การวัดเฮด (Head) หรือความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝาย จะต้องวัดทางด้านเหนือน้ำที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากสันฝายออกมาไม่น้อยกว่าสี่เท่าของเฮดสูงสุดของการวัดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 10.2




**รูปที่ 10.2 รูปตัดตามแนวยาวของทางน้ำเพื่อแสดงการติดตั้งฝาย และหลักวัดระดับน้ำสำหรับอ่านค่าเฮด ( H )**

8. พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำหน้าฝายจะต้องไม่น้อยกว่า 8 เท่าของพื้นที่หน้าตัดของน้ำในช่องเปิดเหนือสันฝายนั้น ขนาดพื้นที่หน้าตัดเช่นที่ว่านี้จะต้องเป็นระยะทางยาวขึ้นไปทางเหนือน้ำไม่น้อยกว่า 15 ถึง 20 เท่าของเฮด

9. ถ้าหากไม่สามารถเพิ่มขนาดพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำตามข้อที่ 8 ได้ การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายจะต้องนำเอาความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝาย (Velocity of Approach) มาพิจารณาด้วย

วิธีการติดตั้งตามข้อ 5 และข้อ 7 ได้แสดงไว้ในรูปที่ 10.2

## การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำ

สูตรและตารางสำหรับคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ถือว่าลักษณะและการติดตั้งฝายเป็นไปตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ในกรณีที่สภาพการวัดในสนามไม่ตรงตามกฎเกณฑ์นี้ให้ถือว่าสูตรและตารางที่ให้ไว้นี้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น

### ก. ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir)

เป็นแบบซึ่งสันฝายยาวเต็มความกว้างของทางน้ำซึ่งเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสม่ำเสมอกันตลอดจนพ้นบริเวณที่น้ำไหลตกลงมาดังรูปที่ 10.3 การใช้ฝายแบบนี้จำเป็นต้องมีท่ออากาศต่อลงไปใต้ผืนน้ำที่ไหลตกจากสันฝาย มิฉะนั้นจะเกิดสูญญากาศและทำให้น้ำไหลลู่ติดกับผนังฝายด้านท้ายน้ำ การวัดก็จะผิดพลาด อัตราการไหลผ่านฝายประเภทนี้คำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838\ LH^{3/2} \qquad \text{.....(10.1)}$$

ในเมื่อ $Q$ = อัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที

$L$ = ความยาวของสันฝาย เป็นเซนติเมตร

$H$ = เฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝาย เป็นเซนติเมตร

ในกรณีที่ความเร็วของกระแสน้ำในทางน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที ความเร็วดังกล่าวจะช่วยให้น้ำไหลข้ามฝายเร็วขึ้น ดังนั้นต้องนำเอาเฮดความเร็ว (Velocity head) ของน้ำมาพิจารณาด้วย เฮดความเร็วนี้คำนวณโดยสูตร

$$h = \frac{V^2}{2g} \qquad \text{.....(10.2)}$$

โดย $h$ = เฮดความเร็วมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

$V$ = ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝาย เป็นเซนติเมตร/วินาที

$g$ = ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

= 981 เซนติเมตร/(วินาที)$^2$

จากนั้นอัตราการไหลผ่านฝายก็จะคำนวณได้โดยสูตร

$$Q = 0.01838\ L \left[ (H + h)^{3/2} - h^{3/2} \right] \qquad \text{.....(10.3)}$$

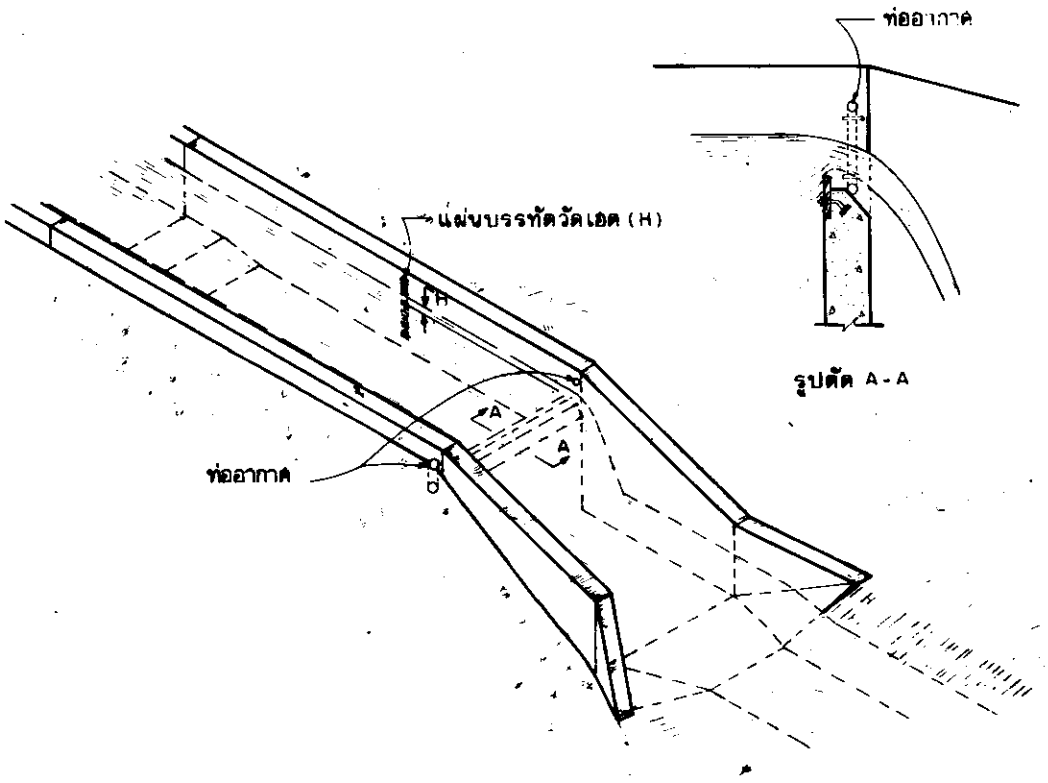
การใช้สูตรที่ (10.1) และ (10.3) มีข้อจำกัดดังนี้คือ

1. สันฝายจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่า 0.30 เมตร

2. อัตราส่วนระหว่างเฮด (H) ต่อความสูงของสันฝายเหนือพื้นท้องน้ำจะต้องไม่เกิน 0.5

3. ฝายวัดน้ำชนิดนี้วัดได้ถูกต้องดีสำหรับเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน 1/2 ของความยาวของสันฝาย หรือ 60 เซนติเมตร

4. ความยาวของสันฝายควรกำหนดโดยให้เกิดเฮดใกล้เคียงกับค่าเฮดสูงสุดที่ยอมให้สำหรับอัตราการไหลที่ต้องการวัด อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าชนิดไม่บีบข้างเมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร และไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) อาจดูได้จากตารางที่ 10.1




**รูปที่ 10-3 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง ( SUPPRESSED RECTANGULAR WEIR )**

ตารางที่ 10.1 อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir) เมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร คำนวณโดยสูตร

$$Q = 0.01838\ L\ H^{3/2}$$

| เฮด (H) ซม. | Q ลิตร/วินาที | เฮด (H) ซม. | Q ลิตร/วินาที | เฮด (H) ซม. | Q ลิตร/วินาที |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.0 | 1.84 | 15.0 | 107 | 29.0 | 288 |
| 1.5 | 3.38 | 15.5 | 112 | 29.5 | 295 |
| 2.0 | 5.20 | 16.0 | 118 | 30.0 | 302 |
| 2.5 | 7.27 | 16.5 | 123 | 30.5 | 310 |
| 3.0 | 9.56 | 17.0 | 129 | 31.0 | 318 |
| 3.5 | 12.0 | 17.5 | 135 | 31.5 | 325 |
| 4.0 | 14.7 | 18.0 | 141 | 32.0 | 333 |
| 4.5 | 17.6 | 18.5 | 146 | 32.5 | 341 |
| 5.0 | 20.6 | 19.0 | 152 | 33.0 | 349 |
| 5.5 | 23.7 | 19.5 | 158 | 33.5 | 357 |
| 6.0 | 27.0 | 20.0 | 165 | 34.0 | 365 |
| 6.5 | 30.5 | 20.5 | 171 | 34.5 | 373 |
| 7.0 | 34.1 | 21.0 | 177 | 35.0 | 381 |
| 7.5 | 37.8 | 21.5 | 183 | 35.5 | 389 |
| 8.0 | 41.6 | 22.0 | 190 | 36.0 | 397 |
| 8.5 | 45.6 | 22.5 | 196 | 36.5 | 406 |
| 9.0 | 49.7 | 23.0 | 203 | 37.0 | 414 |
| 9.5 | 53.9 | 23.5 | 210 | 37.5 | 422 |
| 10.0 | 58.2 | 24.0 | 216 | 38.0 | 431 |
| 10.5 | 62.6 | 24.5 | 223 | 38.5 | 440 |
| 11.0 | 67.1 | 25.0 | 230 | 39.0 | 448 |
| 11.5 | 71.8 | 25.5 | 237 | 39.5 | 457 |
| 12.0 | 76.5 | 26.0 | 244 | 40.0 | 466 |
| 12.5 | 81.3 | 26.5 | 251 | 40.5 | 475 |
| 13.0 | 86.2 | 27.0 | 258 | 41.0 | 483 |
| 13.5 | 91.3 | 27.5 | 265 | 41.5 | 492 |
| 14.0 | 96.4 | 28.0 | 273 | 42.0 | 501 |
| 14.5 | 102 | 28.5 | 280 | 42.5 | 510 |

## ตัวอย่างที่ 10.1

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง ซึ่งมีความยาวของสันฝาย 1.0 เมตร เฮด 35 เซนติเมตร

## วิธีทำ

จากสูตร $Q = 0.01838\ LH^{3/2}$

$L = 100$ เซนติเมตร $\quad H = 35$ เซนติเมตร

ดังนั้น $Q = 0.01838 \times 100 \times (35)^{3/2}$

$= 380.6$ ลิตร/วินาที

## ตัวอย่างที่ 10.2

สมมุติว่าความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายในตัวอย่างที่ 10.1 เท่ากับ 50 เซนติเมตรต่อวินาที อัตราการไหลที่คำนวณได้จะน้อยกว่าที่ควรจะเป็นเท่าไร

## วิธีทำ

เมื่อคิดเฮดความเร็ว $h = \frac{V^2}{2g}$

$= \frac{(50)^2}{2 \times 981}$

$= 1.27$ เซนติเมตร

จากสูตรการไหลผ่านฝายเมื่อคิดเฮดความเร็ว

$$Q = 0.01838\ L \left[ (H + h)^{3/2} - h^{3/2} \right]$$

$$= 0.01838 \times 100 \left[ (35 + 1.27)^{3/2} - (1.27)^{3/2} \right]$$

$$= 1.838\ (218.43 - 1.43)$$

$$= 398.8 \text{ ลิตร/วินาที}$$

ดังนั้น ถ้าไม่คิดเฮดความเร็ว การวัดจะผิดพลาดไป

$= 398.8 - 380.6 = 18.2$ ลิตร/วินาที

หรือคิดเป็นเปอร์เซนต์

$= \frac{18.2 \times 100}{398.8} = 4.56\%$

## ตัวอย่างที่ 10.3

จากตารางที่ 10.1 ซึ่งใช้สำหรับความยาวของสันฝาย 1.0 เมตร จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายเมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ (ก) 0.75 เมตร และ (ข) 1.20 เมตร ถ้าเฮดของทั้งสองกรณีเท่ากับ 30 เซนติเมตร

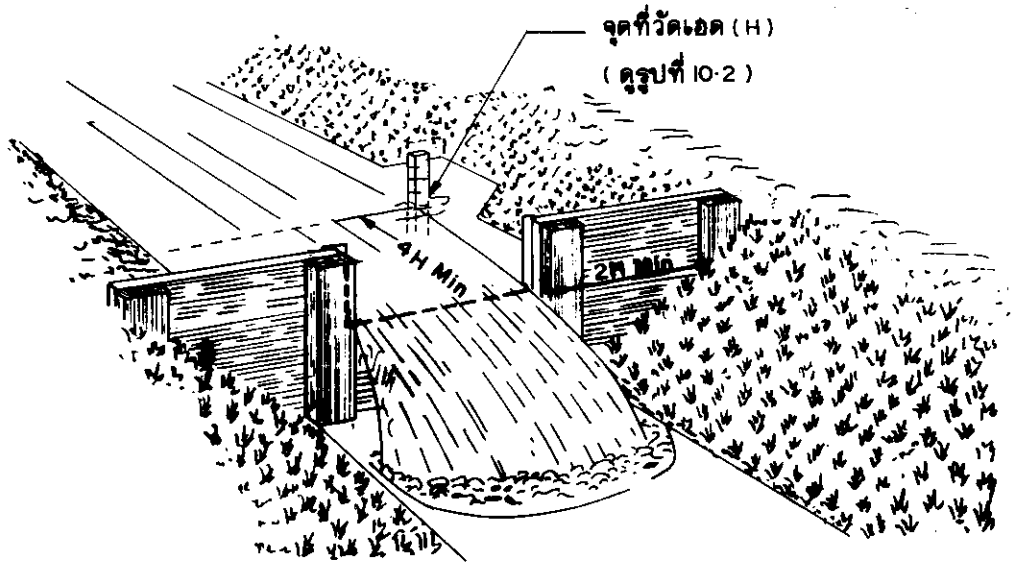
## วิธีทำ

จากตารางที่ 10.1 เมื่อเฮดเท่ากับ 30 เซนติเมตร อัตราการไหลผ่านฝายเท่ากับ 302 ลิตร/วินาที/ความยาวของสันฝาย 1 เมตร

(ก) เมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 0.75 เมตร $Q = 0.75 \times 302 = 226.5$ ลิตร/วินาที

(ข) เมื่อความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.20 เมตร $Q = 1.20 \times 302 = 362.4$ ลิตร/วินาที

**ข. ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง (Contracted Rectangular Weir)** เป็นฝายซึ่งมีช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกันกับแบบแรก แต่ไม่เต็มความกว้างของทางน้ำ กล่าวคือมีกำแพงยื่นออกมาทั้งสองข้างทำให้ทางน้ำไหลผ่านแคบเข้า กำแพงแต่ละข้างที่ยื่นออกมาเมื่อวัดที่ผิวน้ำเป็นความยาวไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด ดังแสดงไว้ในรูปที่ 10.4




**รูปที่ 10-4 ฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง ( CONTRACTED RECTANGULAR WEIR )**

อัตราการไหลผ่านฝายชนิดนี้เมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) เมื่อความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01838\ (L - 0.2H)\ H^{3/2} \qquad \text{.....(10.4)}$$

และอัตราการไหลผ่านฝายเมื่อความเร็วของกระแสน้ำมากกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01838\ (L - 0.2H)\left[(H + h)^{3/2} - h^{3/2}\right] \qquad \text{.....(10.5)}$$

สัญญลักษณ์และข้อจำกัดในการใช้สูตรทั้งสองนี้ยังคงเหมือนกับฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้างของหัวข้อที่แล้ว ข้อที่ควรสังเกตคือ เมื่อแทนค่าความยาวของสันฝาย L ในสมการที่ (10.1) และ (10.3) ด้วย (L - 0.2H) ก็จะเปลี่ยนสูตรสำหรับการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบไม่บีบข้าง (Suppressed Rectangular Weir) มาเป็นแบบบีบข้าง (Contracted Rectangular Weir) ดังนั้น เราอาจจะใช้ตารางที่ 10.1 ซึ่งเป็นอัตราการไหลผ่านฝายแบบไม่บีบข้างที่มีความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.0 เมตร มาคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายแบบบีบข้างได้โดยคูณค่าที่อ่านได้จากตารางเมื่อเฮดเท่ากันด้วยค่า (L - 0.2H) ที่มีหน่วยเป็นเมตร ก็จะได้อัตราการไหลผ่านฝายบีบข้าง

## ตัวอย่างที่ 10.4

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง สมมุติว่าความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.50 เมตร และเฮดเท่ากับ 35 เซนติเมตร

## วิธีทำ

จากสูตร

$$Q = 0.01838\ (L - 0.2H)\ H^{3/2}$$

L = ความยาวของสันฝาย = 120 เซนติเมตร

H = เฮด = 35 เซนติเมตร

ดังนั้น $Q = 0.01838(150 - 0.2 \times 35)\ (35)^{3/2}$

$= 0.01838 \times 143 \times 207.1$

$= 544.2$ ลิตร/วินาที

## ตัวอย่างที่ 10.5

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายในข้อ 10.4 โดยใช้ตารางที่ 10.1

## วิธีทำ

เมื่อความยาวของฝายเท่ากับ 1.0 เมตร เฮดเท่ากับ 35 เซนติเมตร อัตราการไหลจากตารางที่ 10.1 เท่ากับ 381 ลิตร/วินาที

คำนวณค่า $(L - 0.2H)$ $= 150 - 0.2 \times 35$

$= 143$ เซนติเมตร

$= 1.43$ เมตร

ดังนั้น อัตราการไหลเมื่อเป็นฝายแบบบีบข้าง

$= 381 \times 1.43$

$= 544.8$ ลิตร

ความแตกต่างของผลลัพธ์ในตัวอย่างที่ 10.4 กับ 10.5 นั้น เนื่องมาจากการปัดเศษของตารางที่ 10.1

## ตัวอย่างที่ 10.6

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบบีบข้าง สมมุติว่าความยาวของสันฝายเท่ากับ 1.20 เมตร เฮดเท่ากับ 42 เซนติเมตร และความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายเท่ากับ 0.55 เมตร/วินาที

## วิธีทำ

เฮดความเร็ว $h = \frac{V^2}{2g}$

$= \frac{(55)^2}{2 \times 981} = 1.54$ เซนติเมตร

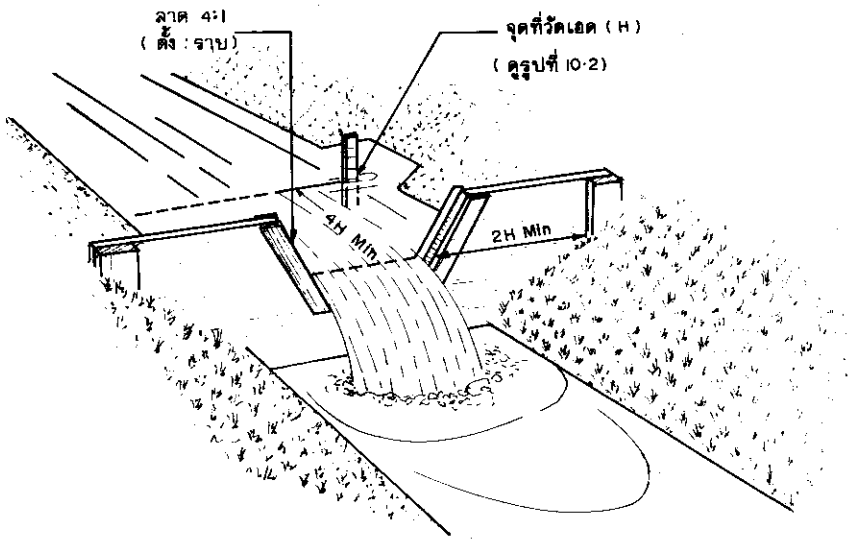
จากสูตร $Q = 0.01838\,(L - 0.2H)\left[(H + h)^{3/2} - h^{3/2}\right]$

$= 0.01838(120 - 0.2 \times 42)\left[(42 + 1.54)^{3/2} - (1.54)^{3/2}\right]$

$= 0.01838 \times 111.6 \times (287.3 - 1.9)$

$= 585.4$ ลิตร/วินาที

**ค. ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipolletti หรือ Trapezoidal Weir)** เป็นฝายประเภทบีบข้าง (Contracted) ที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สันฝายด้านล่างอยู่ในแนวระดับราบ สันฝายด้านข้างเอียงออกโดยมีความลาดเทด้านราบ 1 ส่วน ด้านตั้ง 4 ส่วน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 10.5




**รูปที่ 10-5 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู** ( CIPOLLETTI OR TRAPEZOIDAL WEIR )

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูเมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) ซึ่งใช้เมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

$$Q = 0.01859LH^{3/2} \qquad \text{.....(10.6)}$$

และเมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายมากกว่า 0.30 เมตร/วินาที ควรใช้สูตร

$$Q = 0.01859L(H + 1.5h)^{3/2} \qquad \text{.....(10.7)}$$

สัญญลักษณ์ที่ใช้ในสมการที่ (10.6) และ (10.7) ยังคงเหมือนเดิมคือ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที L เป็นความยาวของสันฝายเป็นเซนติเมตร H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือสันฝายเป็นเซนติเมตร h เป็นเฮดความเร็วเป็นเซนติเมตร

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูสำหรับความยาวของสันฝายขนาดต่าง ๆ เมื่อคำนวณโดยไม่คิดเฮดความเร็วแสดงไว้ในตารางที่ 10.2

ตารางที่ 10.2 อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Weir) ที่มีความยาวของสันฝายขนาดต่าง ๆ เมื่อคำนวณโดยสมการ

$$Q = 0.01859\ LH^{3/2}$$

| เฮด | ความยาวของสันฝาย (L) - เมตร | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (H) | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |
| ซม. | อัตราการไหล (Q) - ลิตร/วินาที | | | | | | | | | |
| 1 | 0.5 | 0.9 | 1.4 | 1.9 | 2.8 | 3.7 | 5.6 | 7.4 | 9.3 | 11.2 |
| 2 | 1.3 | 2.6 | 3.9 | 5.3 | 7.9 | 10.1 | 15.8 | 21.0 | 26.3 | 31.6 |
| 3 | 2.4 | 4.8 | 7.2 | 9.7 | 14.5 | 19.3 | 29.0 | 38.7 | 48.3 | 58.0 |
| 4 | 3.7 | 7.4 | 11.2 | 14.9 | 22.3 | 29.8 | 44.6 | 59.5 | 74.4 | 89.3 |
| 5 | 5.2 | 10.4 | 15.6 | 20.8 | 31.2 | 41.6 | 62.4 | 83.2 | 104 | 125 |
| 6 | 6.8 | 13.7 | 20.5 | 27.3 | 41.0 | 54.7 | 82.0 | 109 | 137 | 164 |
| 7 | 8.6 | 17.2 | 25.8 | 34.4 | 51.7 | 68.9 | 103 | 138 | 172 | 207 |
| 8 | 10.5 | 21.0 | 31.6 | 42.1 | 63.1 | 84.2 | 126 | 168 | 210 | 252 |
| 9 | 12.6 | 25.1 | 37.7 | 50.2 | 75.3 | 100 | 151 | 201 | 251 | 301 |
| 10 | 14.7 | 29.4 | 44.1 | 58.8 | 88.2 | 118 | 176 | 235 | 294 | 353 |
| 11 | 17.0 | 33.9 | 50.9 | 67.8 | 102 | 136 | 204 | 271 | 339 | 407 |
| 12 | 19.3 | 38.7 | 58.0 | 77.3 | 116 | 155 | 232 | 309 | 387 | 464 |
| 13 | 21.8 | 43.6 | 65.4 | 87.2 | 131 | 174 | 262 | 349 | 436 | 523 |
| 14 | 24.4 | 48.7 | 73.1 | 97.4 | 146 | 195 | 292 | 390 | 487 | 585 |
| 15 | 27.0 | 54.1 | 81.1 | 108 | 162 | 216 | 324 | 432 | 540 | 649 |
| 16 | 29.8 | 59.5 | 89.2 | 119 | 178 | 238 | 357 | 476 | 595 | 714 |
| 17 | 32.6 | 65.2 | 97.8 | 130 | 196 | 261 | 391 | 522 | 652 | 782 |
| 18 | 35.5 | 71.0 | 107 | 142 | 213 | 284 | 426 | 568 | 710 | 852 |
| 19 | 38.5 | 77.0 | 116 | 154 | 231 | 308 | 462 | 616 | 770 | 924 |
| 20 | 41.6 | 83.2 | 125 | 166 | 250 | 333 | 499 | 666 | 832 | 998 |
| 21 | 44.8 | 89.5 | 134 | 179 | 268 | 358 | 537 | 716 | 895 | 1074 |
| 22 | 48.0 | 96.0 | 144 | 192 | 288 | 384 | 576 | 768 | 960 | 1152 |
| 23 | 51.3 | 103 | 154 | 205 | 308 | 410 | 616 | 821 | 1026 | 1231 |
| 24 | 54.7 | 109 | 164 | 219 | 328 | 437 | 656 | 875 | 1094 | 1312 |
| 25 | 58.1 | 116 | 174 | 232 | 349 | 465 | 698 | 930 | 1162 | 1395 |
| 26 | 61.6 | 123 | 185 | 247 | 370 | 493 | 740 | 986 | 1233 | 1480 |
| 27 | 65.2 | 131 | 196 | 261 | 392 | 522 | 783 | 1044 | 1305 | 1566 |
| 28 | 68.9 | 138 | 207 | 276 | 414 | 551 | 827 | 1103 | 1378 | 1654 |
| 29 | 72.6 | 145 | 218 | 291 | 436 | 581 | 872 | 1162 | 1452 | 1743 |
| 30 | 76.4 | 153 | 229 | 306 | 458 | 611 | 917 | 1222 | 1528 | 1834 |

ข้อจำกัดในการใช้ฝายสี่เหลี่ยมคางหมูนี้ก็เหมือนกับแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองแบบที่กล่าวข้างต้น กล่าวคือ

1. สันฝายด้านล่างและด้านข้างจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำและตลิ่งไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด

2. ฝายชนิดนี้ให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน 1/2 ของความยาวของสันฝาย

## ตัวอย่างที่ 10.7

จงคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู ถ้าสันฝายยาว 1.20 เมตร เฮดเท่ากับ 28 เซนติเมตร ไม่คิดเฮดความเร็ว

ถ้าลดความยาวของสันฝายเหลือ 1.0 เมตร อัตราการไหลจะเหลือเท่าไร

## วิธีทำ

เมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว

$$Q = 0.01859\ LH^{3/2}$$

$L$ = 120 เซนติเมตร $H$ = 28 เซนติเมตร

$$Q = 0.01859 \times 120\ (28)^{3/2}$$

$$= 330.5 \text{ ลิตร/วินาที}$$

เนื่องจากอัตราการไหลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของสันฝาย ดังนั้นอัตราการไหลเมื่อความยาวของสันฝายลดลงเหลือ 1.0 เมตร จะคำนวณได้โดย

$$Q = 330.5 \times \frac{1.00}{1.20}$$

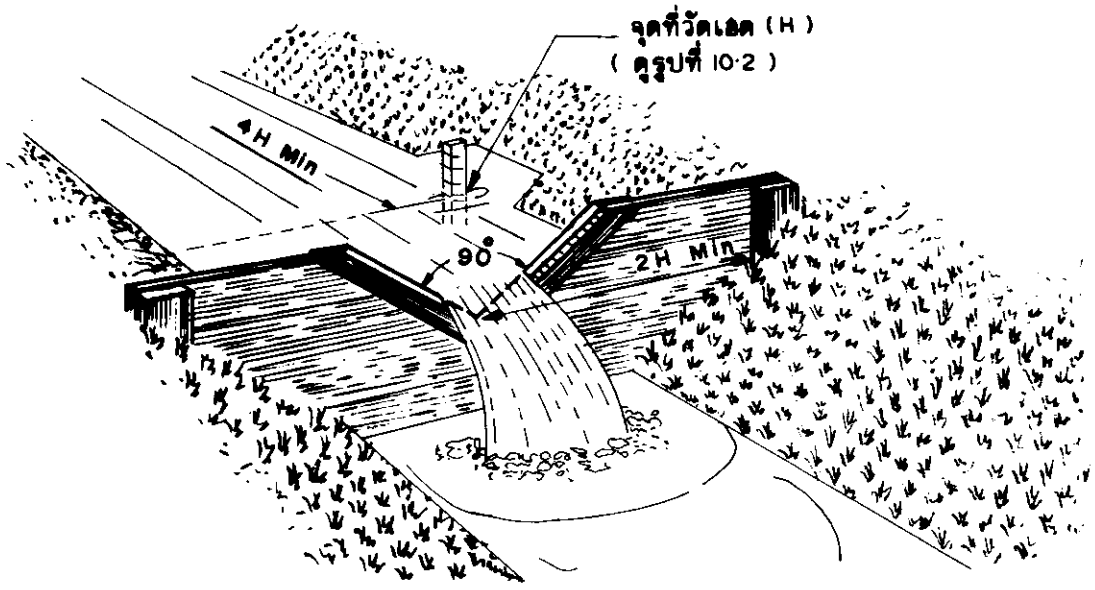
$$= 275.4 \text{ ลิตร/วินาที}$$

**ง. ฝายสามเหลี่ยม (Triangular or V - notch Weir)** เป็นฝายประเภทบีบข้าง (Contracted) ที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยสันฝายทั้งสองข้างทำมุม 45 องศากับแนวดิ่ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 10.6

อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยมคำนวณได้โดยสมการ

$$Q = 0.0138\ H^{5/2} \qquad \text{.....(10.8)}$$

ในเมื่อ $Q$ เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ $H$ เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือยอดสามเหลี่ยมของสันฝายเป็นเซนติเมตร อัตราการไหลสำหรับเฮดขนาดต่าง ๆ อาจจะดูได้จากตารางที่ 10.3




**รูปที่ 10·6 ฝายสามเหลี่ยม ( TRIANGULAR OR V-NOTCH WEIR )**

ฝายสามเหลี่ยมเป็นฝายวัดอัตราการไหลของน้ำที่ให้ความละเอียดถูกต้องดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอัตราการไหลน้อย ๆ ฝายชนิดนี้เป็นฝายประเภทบีบข้าง ดังนั้นสันฝายจะต้องอยู่ห่างจากตลิ่ง และจุดปลายยอดของสามเหลี่ยมจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่าสองเท่าของเฮด

เนื่องจากว่าฝายสามเหลี่ยมนี้ไม่มีสันฝายในแนวราบ ดังนั้น เฮดจึงต้องมากกว่าฝายแบบอื่นเมื่ออัตราการไหลเท่า ๆ กัน การมีเฮดมากนี้จะช่วยให้น้ำไหลผ่านสันฝายอย่างอิสระ ไม่ลู่ติดกับสันฝาย ทำให้วัดอัตราการไหลน้อย ๆ ได้ถูกต้องกว่าแบบอื่น

## ตัวอย่างที่ 10.8

จงคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามเหลี่ยม สมมุติว่าเฮดที่วัดได้เท่ากับ 17.5 เซนติเมตร

## วิธีทำ

จากสมการ $Q = 0.0138\ H^{5/2}$

$H = 17.5$ เซนติเมตร

$Q = 0.0138(17.5)^{5/2}$

$= 17.7$ ลิตร/วินาที

ตารางที่ 10.3 อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยม (V - notch Weir) ซึ่งคำนวณโดยสมการ $Q = 0.0138H^{5/2}$

| เฮด (H) ซม. | Q ลิตร/วินาที | เฮด (H) ซม. | Q ลิตร/วินาที | เฮด (H) ซม. | Q ลิตร/วินาที |
|---|---|---|---|---|---|
| 1.0 | 0.014 | 15.5 | 13.1 | 30.0 | 68.0 |
| 1.5 | 0.038 | 16.0 | 14.1 | 30.5 | 70.9 |
| 2.0 | 0.078 | 16.5 | 15.3 | 31.0 | 73.8 |
| 2.5 | 0.136 | 17.0 | 16.4 | 31.5 | 76.9 |
| 3.0 | 0.215 | 17.5 | 17.7 | 32.0 | 79.9 |
| 3.5 | 0.316 | 18.0 | 18.9 | 32.5 | 83.1 |
| 4.0 | 0.441 | 18.5 | 20.3 | 33.0 | 86.4 |
| 4.5 | 0.592 | 19.0 | 21.7 | 33.5 | 89.7 |
| 5.0 | 0.731 | 19.5 | 23.2 | 34.0 | 93.0 |
| 5.5 | 0.977 | 20.0 | 24.7 | 34.5 | 96.5 |
| 6.0 | 1.21 | 20.5 | 26.2 | 35.0 | 100 |
| 6.5 | 1.49 | 21.0 | 27.9 | 35.5 | 104 |
| 7.0 | 1.79 | 21.5 | 29.5 | 36.0 | 107 |
| 7.5 | 2.11 | 22.0 | 31.3 | 36.5 | 111 |
| 8.0 | 2.49 | 22.5 | 33.1 | 37.0 | 115 |
| 8.5 | 2.90 | 23.0 | 35.1 | 37.5 | 117 |
| 9.0 | 3.34 | 23.5 | 37.0 | 38.0 | 123 |
| 9.5 | 3.85 | 24.0 | 38.9 | 38.5 | 127 |
| 10.0 | 4.36 | 24.5 | 41.0 | 39.0 | 131 |
| 10.5 | 4.92 | 25.0 | 43.1 | 39.5 | 135 |
| 11.0 | 5.54 | 25.5 | 45.3 | 40.0 | 140 |
| 11.5 | 6.20 | 26.0 | 47.6 | 40.5 | 144 |
| 12.0 | 6.91 | 26.5 | 49.9 | 41.0 | 148 |
| 12.5 | 7.65 | 27.0 | 52.3 | 41.5 | 153 |
| 13.0 | 8.41 | 27.5 | 54.8 | 42.0 | 158 |
| 13.5 | 9.27 | 28.0 | 57.3 | 42.5 | 163 |
| 14.0 | 10.2 | 28.5 | 59.9 | 43.0 | 167 |
| 14.5 | 11.0 | 29.0 | 62.5 | 43.5 | 172 |
| 15.0 | 12.0 | 29.5 | 65.3 | 44.0 | 177 |

## ข้อดีและข้อเสียของฝายวัดน้ำ

### ก. ข้อดี

1. สามารถวัดอัตราการไหลได้ละเอียดถูกต้องดี มีหลายแบบที่สามารถเลือกใช้ให้เหมาะกับงานได้ นอกจากนั้น บางแบบยังสามารถขยายความยาวของสันฝายให้พอเหมาะกับอัตราการไหลได้

2. ออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และใช้งานง่าย อาจสร้างให้เป็นอาคารวัดน้ำแบบถาวร หรือเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ ได้ทั้งสองอย่าง

3. เศษวัสดุที่ลอยมากับน้ำไหลผ่านไปได้ ไม่ทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำ

4. มีความคงทนแข็งแรงพอสมควร ไม่มีชิ้นส่วนที่ต้องดูแลรักษาเป็นพิเศษ

### ข. ข้อเสีย ฝายวัดน้ำมีจุดอ่อนดังต่อไปนี้ คือ

1. ต้องให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ(Free Flow) ดังนั้นจะต้องการเฮดมากจนบางครั้งไม่อาจใช้ในพื้นที่หรือระบบส่งน้ำที่ราบมาก ๆ

2. อาจจะมีกรวด ทราย หรือเศษวัสดุถูกพัดพามาตกจมหน้าฝาย ทำให้ระดับพื้นท้องน้ำสูงขึ้นจนทำให้สันฝายอยู่สูงกว่าท้องน้ำน้อยกว่าสองเท่าของเฮด ค่าที่วัดได้ก็จะน้อยกว่าที่ไหลผ่านจริง

3. ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะพื้นท้องน้ำและตลิ่งท้ายฝายด้วย

4. อาจมีน้ำไหลลอดใต้ฝายได้

## หลักการเบื้องต้นของรางวัดน้ำ

รางวัดน้ำเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างขึ้นหรือติดตั้งไว้ในทางน้ำโดยแนวศูนย์กลางตามยาวของรางกับของทางน้ำทับกัน แต่ขนาดของรางน้ำจะถูกบีบให้แคบกว่าด้วยผนังของรางทั้งสองข้าง หรือด้วยการยกพื้นรางให้สูงขึ้น หรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกของน้ำในรางนั้น

ทฤษฎีทางชลศาสตร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบรางวัดน้ำก็คือ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำขณะไหลเข้ามาในรางเพิ่มขึ้นโดยการบีบทางน้ำให้แคบเข้า จนกระทั่งได้ความเร็ววิกฤติ (Critical Velocity) หรือเร็วกว่าที่บริเวณส่วนที่แคบที่สุด แล้วผายออกจนกระทั่งการไหลเป็นไปอย่างปกติอีกครั้ง ตามหลักการข้างต้น อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะคำนวณได้โดยสมการ

$$Q = KH^n \qquad \text{.....(10.9)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำ K เป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของราง และจุดที่ทำการวัดเฮดหรือความลึกของน้ำในราง H เป็นเฮด หรือความลึกของน้ำเหนือพื้นรางวัดน้ำ ถ้าพื้นรางมีหลายระดับก็วัดจากพื้นที่อยู่สูงที่สุด และ n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของรางเช่นเดียว

กันกับค่า K ค่า n และ K ของรางวัดน้ำชนิดต่าง ๆ จะได้จากการทดลองวัดจริงตามสภาพการติดตั้งที่กำหนด

## รางวัดน้ำแบบพาร์แชล

รางวัดน้ำแบบพาร์แชล เป็นรางวัดน้ำที่ออกแบบโดย Mr. Ralph L. Parshall เพื่อใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด รูปร่างลักษณะของรางวัดน้ำแบบพาร์แชลซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 10.7 ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนด้วยกันคือ

1. ทางผายเข้า (Converging Section) เป็นทางเข้าที่ผนังของรางซึ่งอยู่ในแนวดิ่งเริ่มบีบตัวจากกำแพงปีกซึ่งกางเต็มความกว้างของทางน้ำให้แคบเข้า พื้นของรางส่วนนี้อยู่ในแนวราบแต่อยู่สูงกว่าพื้นของส่วนอื่น

2. ส่วนคอ (Throat Section) เป็นส่วนที่แคบที่สุดซึ่งผนังของรางบีบเข้ามาเป็นแนวขนานกัน ความกว้างของส่วนคอนี้จะเท่ากันตลอด แต่พื้นรางจะลาดลงต่ำกว่าพื้นของทางผายเข้า ความกว้างของส่วนคอเป็นค่าที่ใช้บอกขนาดของรางวัดน้ำแบบนี้

3. ทางผายออก (Diverging Section) เป็นส่วนที่ผายออกจากส่วนคอออกไปพบกำแพงปีกด้านท้ายน้ำซึ่งจะผายออกไปเท่ากับความกว้างของทางน้ำตามเดิม ระดับพื้นของส่วนนี้จะลาดจากส่วนคอขึ้นไปหาระดับพื้นท้องน้ำ แต่ปลายของส่วนนี้ยังคงอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นของทางผายเข้า

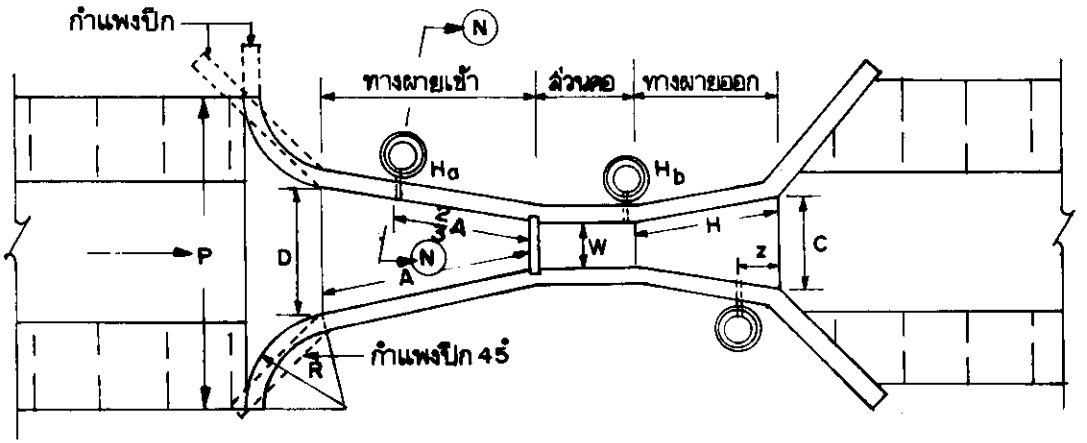
รางวัดน้ำแบบพาร์แชลที่ได้ออกแบบไว้ทั้งหมดมีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้วจนถึง 50 ฟุต รวม 22 ขนาด สัดส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำขนาดต่าง ๆ และช่วงอัตราการไหลเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) แสดงไว้ในตารางที่ 10.4

เนื่องจากว่ามิติต่าง ๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชลทั้ง 22 ขนาดนั้น ไม่เป็นสัดส่วนทางชลศาสตร์(Hydraulic Scale) ซึ่งกันและกัน ดังนั้น มิติต่าง ๆ ที่ให้ไว้จึงไม่อาจเปลี่ยนให้เป็นระบบเมตริกที่เป็นเลขลงตัวได้ เพราะค่าสัมประสิทธิ์ในสูตรของแต่ละขนาดทั้ง 22 สูตรเป็นค่าเฉพาะของรางขนาดนั้น ๆ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนไปด้วย เช่น สำหรับรางวัดน้ำขนาด 1, 2 และ 3 นิ้ว ได้กำหนดไว้ว่าความกว้างของส่วนคอจะผิดได้ไม่เกิน 1/64 นิ้ว หรือ 0.4 มิลลิเมตรเท่านั้น ดังนั้นรางวัดน้ำขนาด 3 นิ้วไม่สามารถเทียบมาเป็นขนาด 7.5 เซนติเมตร เพราะค่าความผิดพลาดจะมากเกินกว่าที่ยอมให้

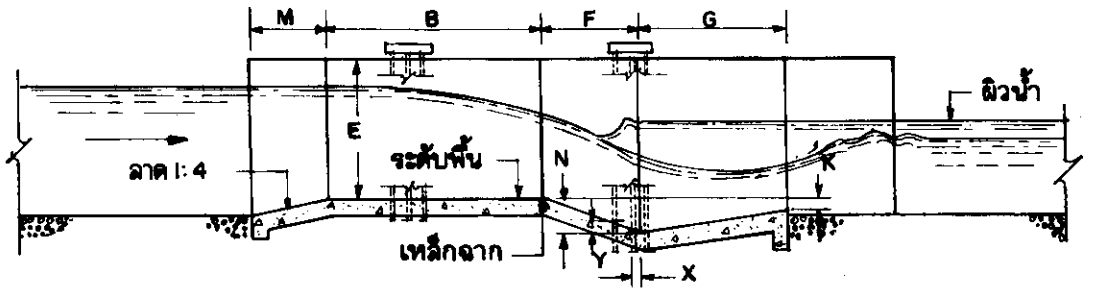
## อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

การไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลมีสองลักษณะคือ เป็นการไหลแบบอิสระ(Free Flow) และการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) ลักษณะของผิวน้ำในการไหลทั้งสองแบบนี้แสดงไว้ในรูปด้านข้างของรูปที่ 10.7 กล่าวคือเส้นระดับผิวน้ำเส้นบนในส่วนผายออกของรางเป็นลักษณะของการไหลใต้ผิวน้ำ และเส้นระดับผิวน้ำเส้นล่างเป็นการไหลแบบอิสระ

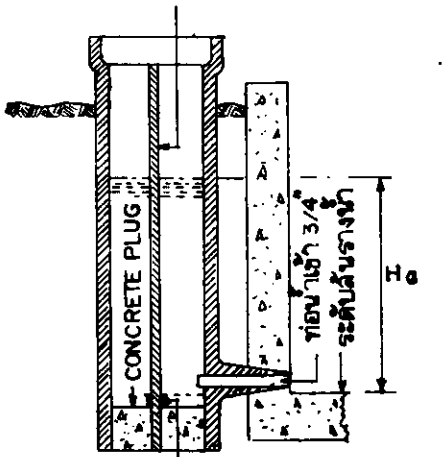
อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขึ้นอยู่กับเฮดหรือความลึกของน้ำในราง ความลึกดังกล่าวนี้จะวัดในบ่อน้ำนิ่ง (Stilling Well) ซึ่งต่อกับทางผายเข้าและส่วนคอ เฮดที่วัดได้ที่จุดทั้งสองนี้ใช้แทนด้วยสัญญลักษณ์ $H_a$ และ $H_b$ ตามลำดับ




รูปแปลน




รูปด้านข้าง




รูปตัด N-N

รูปที่ 10·7 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล ( PARSHALL FLUME ) ขัดล่วนมาตรฐานที่ให้ไว้ดูได้จากตารางที่ 10·4

ตารางที่ 10.4 อัตส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (PARSHALL FLUMES) และช่วงอัตราการไหลผ่านเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ

| W | | A | | $\frac{2}{3}$A | | B | | C | | D | | E | | F | | G | | H | | K | | M | | N | | P | | R | | X | | Y | | Z | | ไหลแบบอิสระ ลิตร/วินาที | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ฟุต | นิ้ว | ต่ำสุด | สูงสุด |
| 0 | 1 | 1 | $2\frac{9}{32}$ | 0 | $9\frac{17}{32}$ | 1 | 2 | 0 | $3\frac{21}{32}$ | 0 | $6\frac{19}{32}$ | 0 | 6-9 | 0 | 3 | 0 | 8 | 0 | $8\frac{1}{8}$ | 0 | $\frac{3}{4}$ | – | – | 0 | $1\frac{1}{8}$ | | – | – | | 0 | $\frac{5}{16}$ | 0 | $\frac{1}{2}$ | 0 | $\frac{1}{8}$ | 0.09 | 5.4 |
| | 2 | 1 | $4\frac{5}{16}$ | | $10\frac{7}{8}$ | 1 | 4 | | $5\frac{5}{16}$ | | $8\frac{13}{32}$ | | 6-10 | | $4\frac{1}{2}$ | | 10 | | $10\frac{1}{8}$ | | $\frac{7}{8}$ | | – | | $1\frac{11}{16}$ | | – | – | | | $\frac{5}{8}$ | | 1 | | $\frac{1}{4}$ | 0.18 | 13.2 |
| | 3 | 1 | $6\frac{3}{8}$ | 1 | $\frac{1}{4}$ | 1 | 6 | | 7 | | $10\frac{3}{16}$ | 1-$1\frac{1}{2}$ | | | 6 | 1 | 0 | 1 | $\frac{5}{32}$ | | 1 | – | | | $2\frac{1}{4}$ | | – | – | | | 1 | | $1\frac{1}{2}$ | | $\frac{1}{2}$ | 0.77 | 32.1 |
| 0 | 6 | 2 | $\frac{7}{16}$ | 1 | $4\frac{5}{16}$ | 2 | 0 | 1 | $3\frac{1}{2}$ | 1 | $3\frac{5}{8}$ | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | – | | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | $4\frac{1}{2}$ | 2 | $11\frac{1}{2}$ | 1 | 4 | 0 | 2 | 0 | 3 | – | | 1.50 | 111 |
| | 9 | 2 | $10\frac{3}{8}$ | 1 | $11\frac{7}{8}$ | 2 | 10 | 1 | 3 | 1 | $10\frac{3}{8}$ | 2 | 6 | 1 | 0 | 1 | 6 | – | | | 3 | 1 | 0 | | $4\frac{1}{2}$ | 3 | $6\frac{1}{2}$ | 1 | 4 | | 2 | | 3 | – | | 2.50 | 251 |
| 1 | 0 | 4 | 6 | 3 | 0 | 4 | $4\frac{7}{8}$ | 2 | 0 | 2 | $9\frac{1}{4}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 3 | | 9 | 4 | $10\frac{3}{4}$ | 1 | 8 | | 2 | | 3 | – | | 3.32 | 457 |
| 1 | 6 | 4 | 9 | 3 | 2 | 4 | $7\frac{7}{8}$ | 2 | 6 | 3 | $4\frac{3}{8}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 3 | | 9 | 5 | 6 | 1 | 8 | | 2 | | 3 | – | | 4.60 | 695 |
| 2 | 0 | 5 | 0 | 3 | 4 | 4 | $10\frac{7}{8}$ | 3 | 0 | 3 | $11\frac{1}{2}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 3 | | 9 | 6 | 1 | 1 | 8 | | 2 | | 3 | – | | 12.1 | 937 |
| 3 | 0 | 5 | 6 | 3 | 8 | 5 | $4\frac{3}{4}$ | 4 | 0 | 5 | $1\frac{5}{8}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 3 | | 9 | 7 | $3\frac{1}{2}$ | 1 | 8 | | 2 | | 3 | – | | 17.6 | 1427 |
| 4 | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 5 | $10\frac{5}{8}$ | 5 | 0 | 6 | $4\frac{1}{4}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 6 | | 9 | 8 | $10\frac{3}{4}$ | 2 | 0 | | 2 | | 3 | – | | 35.8 | 1923 |
| 5 | 0 | 6 | 6 | 4 | 4 | 6 | $4\frac{1}{2}$ | 6 | 0 | 7 | $6\frac{1}{8}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 6 | | 9 | 10 | $1\frac{1}{4}$ | 2 | 0 | | 2 | | 3 | – | | 44.1 | 2424 |
| 6 | 0 | 7 | 0 | 4 | 8 | 6 | $10\frac{3}{8}$ | 7 | 0 | 8 | 9 | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 6 | | 9 | 11 | $3\frac{1}{2}$ | 2 | 0 | | 2 | | 3 | – | | 74.1 | 2929 |
| 7 | 0 | 7 | 6 | 5 | 0 | 7 | $4\frac{1}{4}$ | 8 | 0 | 9 | $11\frac{3}{4}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 6 | | 9 | 12 | 6 | 2 | 0 | | 2 | | 3 | – | | 85.8 | 3438 |
| 8 | 0 | 8 | 0 | 5 | 4 | 7 | $10\frac{1}{8}$ | 9 | 0 | 11 | $1\frac{3}{4}$ | 3 | 0 | 2 | 0 | 3 | 0 | – | | | 3 | 1 | 6 | | 9 | 13 | $8\frac{1}{4}$ | 2 | 0 | | 2 | | 3 | – | | 97.2 | 3949 |
| 10 | 0 | – | | 6 | 0 | 14 | 0 | 12 | 0 | 15 | $7\frac{1}{4}$ | 4 | 0 | 3 | 0 | 6 | 0 | – | | 0 | 6 | – | | 1 | $1\frac{1}{2}$ | – | | – | | 0 | 9 | 1 | 0 | – | | 0.16 | 8.28 |
| 12 | 0 | – | | 6 | 8 | 16 | 0 | 14 | 8 | 18 | $4\frac{3}{4}$ | 5 | 0 | 3 | 0 | 8 | 0 | – | | | 6 | – | | 1 | $1\frac{1}{2}$ | – | | – | | | 9 | 1 | 0 | – | | 0.19 | 14.68 |
| 15 | 0 | – | | 7 | 8 | 25 | 0 | 16 | 4 | 25 | 0 | 6 | 0 | 4 | 0 | 10 | 0 | – | | | 9 | – | | 1 | 6 | – | | – | | | 9 | 1 | 0 | – | | 0.23 | 25.04 |
| 20 | 0 | – | | 9 | 4 | 25 | 0 | 24 | 0 | 30 | 0 | 7 | 0 | 6 | 0 | 12 | 0 | – | | 1 | 0 | – | | 2 | 3 | – | | – | | | 9 | 1 | 0 | – | | 0.31 | 37.97 |
| 25 | 0 | – | | 11 | 0 | 25 | 0 | 29 | 4 | 35 | 0 | 7 | 0 | 6 | 0 | 13 | 0 | – | | 1 | 0 | – | | 2 | 3 | – | | – | | | 9 | 1 | 0 | – | | 0.38 | 47.14 |
| 30 | 0 | – | | 12 | 8 | 26 | 0 | 34 | 8 | 40 | $4\frac{3}{4}$ | 7 | 0 | 6 | 0 | 14 | 0 | – | | 1 | 0 | – | | 2 | 3 | – | | – | | | 9 | 1 | 0 | – | | 0.46 | 56.33 |
| 40 | 0 | – | | 16 | 0 | 27 | 0 | 45 | 4 | 50 | $9\frac{1}{2}$ | 7 | 0 | 6 | 0 | 16 | 0 | – | | 1 | 0 | – | | 2 | 3 | – | | – | | | 9 | 1 | 0 | – | | 0.60 | 74.70 |
| 50 | 0 | – | | 19 | 4 | 27 | 0 | 56 | 8 | 60 | $9\frac{1}{2}$ | 7 | 0 | 6 | 0 | 20 | 0 | – | | 1 | 0 | – | | 2 | 3 | – | | – | | | 9 | 1 | 0 | – | | 0.75 | 93.04 |

ลบ.ม./วินาที

หมายเหตุ 1. ความคลาดเคลื่อนในขนาดของคอ (W) ที่ยอมให้ไม่เกิน ±1/64 นิ้ว

2. ความคลาดเคลื่อนในขนาดของส่วนอื่น ไม่เกิน ±1/32 นิ้ว

3. อัตราการไหลเมื่อขนาดโตกว่า 10 ฟุต มีหน่วยเป็น ล.บ.ม./วินาที

**ก.เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ(Free Flow)** จากการทดลองพบว่า เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ อัตราการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับขนาดหรือความกว้างของส่วนคอ และ $H_a$ เท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่กับ $H_b$

การไหลของน้ำผ่านรางจะเป็นแบบอิสระ (Free Flow) เมื่ออัตราส่วน $H_b/H_a$ ไม่เกินค่าที่กำหนดดังต่อไปนี้

| ขนาดของรางวัดน้ำ | $H_b/H_a$ |
|---|---|
| 1 ถึง 3 นิ้ว | 0.50 |
| 6 และ 9 นิ้ว | 0.60 |
| 1 ถึง 8 ฟุต | 0.70 |
| 10 ถึง 50 ฟุต | 0.80 |

สูตรสำหรับอัตราการไหล ช่วงการวัดเฮดและอัตราการไหลสำหรับกรณีที่การไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ของรางวัดน้ำทั้ง 22 ขนาด แสดงไว้ในตารางที่ 10.5 อัตราการไหลสำหรับรางวัดน้ำขนาดไม่เกิน 9 นิ้ว และเป็นการไหลแบบอิสระอาจจะดูได้จากตารางที่ 10.6 ถึง 10.10

สูตรที่ให้ไว้ในตารางที่ 10.5 ทั้ง 22 สูตรอาจเขียนเป็นสมการทั่ว ๆ ไปได้เป็น

$$Q = KH_a^n \qquad \text{.....(10.9)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที $H_a$ เป็นเฮดที่ทางผายเข้ามีหน่วยเป็นเมตร

## ตัวอย่างที่ 10.9

ต้องการใช้รางวัดน้ำแบบพาร์แชลวัดอัตราการไหลของน้ำในคลอง สมมุติว่าอัตราการไหลต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในช่วง 5 ถึง 300 ลิตรต่อวินาที จงหาขนาดของรางวัดน้ำที่ใช้ได้และสูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำนั้น ถ้าการไหลเป็นแบบอิสระ

## วิธีทำ

จากตารางที่ 10.5 ถ้าอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 300 ลิตรต่อวินาที ขนาดของรางจะต้องไม่เล็กกว่า 1 ฟุต

เมื่อพิจารณาทางด้านอัตราการไหลต่ำสุด รางที่วัดอัตราการไหลต่ำสุดได้ 5 ลิตรต่อวินาที จะต้องไม่โตกว่า 1 ฟุต 6 นิ้ว

ดังนั้น รางวัดน้ำแบบพาร์แชลที่จะใช้ได้คือ ขนาด 1 ฟุต และขนาด 1 ฟุต 6 นิ้ว

ขนาด 1 ฟุต $Q = 0.6909\ H_a^{1.522}$

ขนาด 1.5 ฟุต $Q = 1.056 H_a^{1.538}$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ $H_a$ เป็นเฮดซึ่งวัดที่ทางผายเข้าเป็นเมตร

## ตัวอย่างที่ 10.10

จงหาอัตราการไหลผ่านร่างวัดน้ำแบบพาร์แชลที่เลือกในตัวอย่างที่ 10.9 ถ้าเฮดซึ่งวัดที่ทางผายเข้าเท่ากับ 50 เซนติเมตรเท่ากันทั้งสองขนาด และการไหลเป็นแบบอิสระ

## วิธีทำ

$$H_a = 50 \text{ เซนติเมตร} = 0.50 \text{ เมตร}$$

ถ้าเป็นรางขนาด 1 ฟุต

$$Q = 0.6909\ H_a^{1.522}$$
$$= 0.6909\ (0.5)^{1.522}$$
$$= 0.2406 \text{ ม.}^3/\text{วินาที}$$
$$= 240.6 \text{ ลิตร/วินาที}$$

ถ้าเป็นรางขนาด 1.5 ฟุต

$$Q = 1.056\ H_a^{1.538}$$
$$= 1.056(0.50)^{1.538}$$
$$= 0.3636 \text{ ม.}^3/\text{วินาที}$$
$$= 363.6 \text{ ลิตร/วินาที}$$

ตารางที่ 10.5 สูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหล ช่วงอัตราการวัดและช่วงการไหลที่ถือว่าเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) สำหรับรางวัดน้ำ พาร์แชล

| ขนาดของรางวัด W | ช่วงอัตราการไหล $m^3$/วินาที × 1000 | | สูตรสำหรับคำนวณ $Q = KH_a^n$ | ช่วงเฮด เมตร | | ช่วงการไหลแบบอิสระ $H_b/H_a$ สูงสุด |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ต่ำสุด | สูงสุด | | ต่ำสุด | สูงสุด | |
| 1" | 0.09 | 5.4 | $0.0604\ H_a^{1.55}$ | 0.015 | 0.21 | 0.50 |
| 2" | 0.18 | 13.2 | $0.1207\ H_a^{1.55}$ | 0.015 | 0.24 | 0.50 |
| 3" | 0.77 | 32.1 | $0.1771\ H_a^{1.55}$ | 0.03 | 0.33 | 0.50 |
| 6" | 1.50 | 111 | $0.3812\ H_a^{1.58}$ | 0.03 | 0.45 | 0.60 |
| 9" | 2.50 | 251 | $0.5354\ H_a^{1.53}$ | 0.03 | 0.61 | 0.60 |
| 1' | 3.32 | 457 | $0.6909\ H_a^{1.522}$ | 0.03 | 0.76 | 0.70 |
| 1' 6" | 4.80 | 695 | $1.056\ H_a^{1.538}$ | 0.03 | 0.76 | 0.70 |
| 2' | 12.1 | 937 | $1.428\ H_a^{1.550}$ | 0.046 | 0.76 | 0.70 |
| 3' | 17.6 | 1427 | $2.184\ H_a^{1.566}$ | 0.046 | 0.76 | 0.70 |
| 4' | 35.8 | 1923 | $2.953\ H_a^{1.578}$ | 0.06 | 0.76 | 0.70 |
| 5' | 44.1 | 2424 | $3.732\ H_a^{1.587}$ | 0.06 | 0.76 | 0.70 |
| 6' | 74.1 | 2929 | $4.519\ H_a^{1.595}$ | 0.076 | 0.76 | 0.70 |
| 7' | 85.8 | 3438 | $5.312\ H_a^{1.601}$ | 0.076 | 0.76 | 0.70 |
| 8' | 97.2 | 3949 | $6.112\ H_a^{1.607}$ | 0.076 | 0.76 | 0.70 |
| | $m^3$/วินาที | | | | | |
| 10' | 0.16 | 8.28 | $7.463\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.07 | 0.80 |
| 12' | 0.19 | 14.68 | $8.859\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.37 | 0.80 |
| 15' | 0.23 | 25.04 | $10.96\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.67 | 0.80 |
| 20' | 0.31 | 37.97 | $14.45\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.83 | 0.80 |
| 25' | 0.38 | 47.14 | $17.94\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.83 | 0.80 |
| 30' | 0.46 | 56.33 | $21.44\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.83 | 0.80 |
| 40' | 0.60 | 74.70 | $28.43\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.83 | 0.80 |
| 50' | 0.75 | 93.04 | $35.41\ H_a^{1.60}$ | 0.09 | 1.83 | 0.80 |

**หมายเหตุ** สูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหล $Q = KH_a^n$

Q มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

$H_a$ มีหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ 10.6 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 1 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.0604\ H_a^{1.55}$

| เฮด $H_a$ เมตร | ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .01 | | | | | | 0.09 | 0.10 | 0.11 | 0.12 | 0.13 |
| .02 | 0.14 | 0.15 | 0.16 | 0.17 | 0.19 | 0.20 | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 0.25 |
| .03 | 0.26 | 0.28 | 0.29 | 0.31 | 0.32 | 0.33 | 0.35 | 0.36 | 0.38 | 0.40 |
| .04 | 0.41 | 0.43 | 0.44 | 0.46 | 0.48 | 0.49 | 0.51 | 0.53 | 0.55 | 0.56 |
| .05 | 0.58 | 0.60 | 0.62 | 0.64 | 0.66 | 0.67 | 0.69 | 0.71 | 0.73 | 0.75 |
| .06 | 0.77 | 0.79 | 0.81 | 0.83 | 0.85 | 0.87 | 0.89 | 0.92 | 0.94 | 0.96 |
| .07 | 0.98 | 1.00 | 1.02 | 1.05 | 1.07 | 1.09 | 1.11 | 1.14 | 1.16 | 1.18 |
| .08 | 1.20 | 1.23 | 1.25 | 1.28 | 1.30 | 1.32 | 1.35 | 1.37 | 1.40 | 1.42 |
| .09 | 1.45 | 1.47 | 1.50 | 1.52 | 1.55 | 1.57 | 1.60 | 1.62 | 1.65 | 1.68 |
| .10 | 1.70 | 1.73 | 1.76 | 1.78 | 1.81 | 1.84 | 1.86 | 1.89 | 1.92 | 1.95 |
| .11 | 1.97 | 2.00 | 2.03 | 2.06 | 2.09 | 2.11 | 2.14 | 2.17 | 2.20 | 2.23 |
| .12 | 2.26 | 2.29 | 2.32 | 2.35 | 2.38 | 2.41 | 2.44 | 2.47 | 2.50 | 2.53 |
| .13 | 2.56 | 2.59 | 2.62 | 2.65 | 2.68 | 2.71 | 2.74 | 2.77 | 2.80 | 2.84 |
| .14 | 2.87 | 2.90 | 2.93 | 2.96 | 3.00 | 3.03 | 3.06 | 3.09 | 3.13 | 3.16 |
| .15 | 3.19 | 3.22 | 3.26 | 3.29 | 3.32 | 3.36 | 3.39 | 3.43 | 3.46 | 3.49 |
| .16 | 3.53 | 3.56 | 3.60 | 3.63 | 3.66 | 3.70 | 3.73 | 3.77 | 3.80 | 3.84 |
| .17 | 3.87 | 3.91 | 3.95 | 3.98 | 4.02 | 4.05 | 4.09 | 4.12 | 4.16 | 4.20 |
| .18 | 4.23 | 4.27 | 4.31 | 4.34 | 4.38 | 4.42 | 4.45 | 4.49 | 4.53 | 4.57 |
| .19 | 4.60 | 4.64 | 4.68 | 4.72 | 4.75 | 4.79 | 4.83 | 4.87 | 4.91 | 4.95 |
| .20 | 4.98 | 5.02 | 5.06 | 5.10 | 5.14 | 5.18 | 5.22 | 5.26 | 5.30 | 5.34 |
| .21 | 5.38 | | | | | | | | | |

ตารางที่ 10.7 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 2 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.1207\ H_a^{1.55}$

| เฮด $H_a$ เมตร | ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .01 | | | | | | 0.18 | 0.20 | 0.22 | 0.24 | 0.26 |
| .02 | 0.28 | 0.30 | 0.33 | 0.35 | 0.37 | 0.40 | 0.42 | 0.45 | 0.47 | 0.50 |
| .03 | 0.53 | 0.55 | 0.58 | 0.61 | 0.64 | 0.67 | 0.70 | 0.73 | 0.76 | 0.79 |
| .04 | 0.82 | 0.85 | 0.89 | 0.92 | 0.95 | 0.99 | 1.02 | 1.06 | 1.09 | 1.13 |
| .05 | 1.16 | 1.20 | 1.23 | 1.27 | 1.31 | 1.35 | 1.38 | 1.42 | 1.46 | 1.50 |
| .06 | 1.54 | 1.58 | 1.62 | 1.66 | 1.70 | 1.74 | 1.79 | 1.83 | 1.87 | 1.91 |
| .07 | 1.96 | 2.00 | 2.04 | 2.09 | 2.13 | 2.18 | 2.22 | 2.27 | 2.31 | 2.36 |
| .08 | 2.41 | 2.45 | 2.50 | 2.55 | 2.60 | 2.64 | 2.69 | 2.74 | 2.79 | 2.84 |
| .09 | 2.89 | 2.94 | 2.99 | 3.04 | 3.09 | 3.14 | 3.19 | 3.24 | 3.30 | 3.35 |
| .10 | 3.40 | 3.45 | 3.51 | 3.56 | 3.62 | 3.67 | 3.72 | 3.78 | 3.83 | 3.89 |
| .11 | 3.94 | 4.00 | 4.06 | 4.11 | 4.17 | 4.22 | 4.28 | 4.34 | 4.40 | 4.45 |
| .12 | 4.51 | 4.57 | 4.63 | 4.69 | 4.75 | 4.81 | 4.87 | 4.93 | 4.99 | 5.05 |
| .13 | 5.11 | 5.17 | 5.23 | 5.29 | 5.35 | 5.42 | 5.48 | 5.54 | 5.60 | 5.67 |
| .14 | 5.73 | 5.79 | 5.86 | 5.92 | 5.99 | 6.05 | 6.12 | 6.18 | 6.25 | 6.31 |
| .15 | 6.38 | 6.44 | 6.51 | 6.58 | 6.64 | 6.71 | 6.78 | 6.84 | 6.91 | 6.98 |
| .16 | 7.05 | 7.12 | 7.19 | 7.25 | 7.32 | 7.39 | 7.46 | 7.53 | 7.60 | 7.67 |
| .17 | 7.74 | 7.81 | 7.88 | 7.96 | 8.03 | 8.10 | 8.17 | 8.24 | 8.31 | 8.39 |
| .18 | 8.46 | 8.53 | 8.61 | 8.68 | 8.75 | 8.83 | 8.90 | 8.98 | 9.05 | 9.12 |
| .19 | 9.20 | 9.27 | 9.35 | 9.43 | 9.50 | 9.58 | 9.65 | 9.73 | 9.81 | 9.88 |
| .20 | 9.96 | 10.04 | 10.12 | 10.19 | 10.27 | 10.35 | 10.43 | 10.51 | 10.59 | 10.66 |
| .21 | 10.74 | 10.82 | 10.90 | 10.98 | 11.06 | 11.14 | 11.22 | 11.30 | 11.38 | 11.47 |
| .22 | 11.55 | 11.63 | 11.71 | 11.79 | 11.87 | 11.96 | 12.04 | 12.12 | 12.20 | 12.29 |
| .23 | 12.37 | 12.45 | 12.54 | 12.62 | 12.71 | 12.79 | 12.87 | 12.96 | 13.04 | 13.13 |
| .24 | 13.21 | | | | | | | | | |

ตารางที่ 10.8 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 3 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.1771\ H_a^{1.55}$

| เฮด $H_a$ เมตร | ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .03 | 0.77 | 0.81 | 0.85 | 0.90 | 0.94 | 0.98 | 1.02 | 1.07 | 1.11 | 1.16 |
| .04 | 1.21 | 1.25 | 1.30 | 1.35 | 1.40 | 1.45 | 1.50 | 1.55 | 1.60 | 1.65 |
| .05 | 1.70 | 1.76 | 1.81 | 1.87 | 1.92 | 1.98 | 2.03 | 2.09 | 2.15 | 2.20 |
| .06 | 2.26 | 2.32 | 2.38 | 2.44 | 2.50 | 2.56 | 2.62 | 2.68 | 2.75 | 2.81 |
| .07 | 2.87 | 2.94 | 3.00 | 3.06 | 3.13 | 3.20 | 3.26 | 3.33 | 3.40 | 3.46 |
| .08 | 3.53 | 3.60 | 3.67 | 3.74 | 3.81 | 3.88 | 3.95 | 4.02 | 4.09 | 4.17 |
| .09 | 4.24 | 4.31 | 4.39 | 4.46 | 4.53 | 4.61 | 4.69 | 4.76 | 4.84 | 4.91 |
| .10 | 4.99 | 5.07 | 5.15 | 5.23 | 5.30 | 5.38 | 5.46 | 5.54 | 5.62 | 5.70 |
| .11 | 5.79 | 5.87 | 5.95 | 6.03 | 6.12 | 6.20 | 6.28 | 6.37 | 6.45 | 6.54 |
| .12 | 6.62 | 6.71 | 6.79 | 6.88 | 6.97 | 7.05 | 7.14 | 7.23 | 7.32 | 7.41 |
| .13 | 7.50 | 7.59 | 7.68 | 7.77 | 7.80 | 7.95 | 8.04 | 8.13 | 8.22 | 8.32 |
| .14 | 8.41 | 8.50 | 8.60 | 8.69 | 8.78 | 8.88 | 8.97 | 9.07 | 9.16 | 9.26 |
| .15 | 9.36 | 9.45 | 9.55 | 9.65 | 9.75 | 9.85 | 9.94 | 10.04 | 10.14 | 10.24 |
| .16 | 10.34 | 10.44 | 10.54 | 10.64 | 10.75 | 10.85 | 10.95 | 11.05 | 11.15 | 11.26 |
| .17 | 11.36 | 11.46 | 11.57 | 11.67 | 11.78 | 11.88 | 11.99 | 12.09 | 12.20 | 12.31 |
| .18 | 12.41 | 12.52 | 12.63 | 12.74 | 12.84 | 12.95 | 13.06 | 13.17 | 13.28 | 13.39 |
| .19 | 13.50. | 13.61 | 13.72 | 13.83 | 13.94 | 14.05 | 14.16 | 14.28 | 14.39 | 14.50 |
| .20 | 14.62 | 14.73 | 14.84 | 14.96 | 15.07 | 15.19 | 15.30 | 15.42 | 15.53 | 15.65 |
| .21 | 15.76 | 15.88 | 16.00 | 16.11 | 16.23 | 16.35 | 16.47 | 16.59 | 16.70 | 16.82 |
| .22 | 16.94 | 17.06 | 17.18 | 17.30 | 17.42 | 17.54 | 17.66 | 17.79 | 17.91 | 18.03 |
| .23 | 18.15 | 18.27 | 18.40 | 18.52 | 18.64 | 18.77 | 18.89 | 19.01 | 19.14 | 19.26 |
| .24 | 19.39 | 19.51 | 19.64 | 19.77 | 19.89 | 20.02 | 20.15 | 20.27 | 20.40 | 20.53 |
| .25 | 20.66 | 20.78 | 20.91 | 21.04 | 21.17 | 21.30 | 21.43 | 21.56 | 21.69 | 21.82 |
| .26 | 21.95 | 22.08 | 22.21 | 22.34 | 22.48 | 22.61 | 22.74 | 22.87 | 23.01 | 23.14 |
| .27 | 23.27 | 23.41 | 23.54 | 23.67 | 23.81 | 23.94 | 24.08 | 24.21 | 24.35 | 24.49 |
| .28 | 24.62 | 24.76 | 24.89 | 25.03 | 25.17 | 25.31 | 25.44 | 25.58 | 25.72 | 25.86 |
| .29 | 26.00 | 26.14 | 26.28 | 26.42 | 26.56 | 26.70 | 26.84 | 26.98 | 27.12 | 27.26 |
| .30 | 27.40 | 27.54 | 27.68 | 27.83 | 27.97 | 28.11 | 28.25 | 28.40 | 28.54 | 28.68 |
| .31 | 28.83 | 28.97 | 29.12 | 29.26 | 29.41 | 29.55 | 29.70 | 29.84 | 29.99 | 30.14 |
| .32 | 30.28 | 30.43 | 30.58 | 30.72 | 30.87 | 31.02 | 31.17 | 31.32 | 31.46 | 31.61 |
| .33 | 31.76 | 31.91 | 32.06 | | | | | | | |

ตารางที่ 10.9 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 6 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.3812\ H_a^{1.580}$

| เฮด $H_a$ | ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เมตร | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .03 | 1.5 | 1.6 | 1.7 | 1.7 | 1.8 | 1.9 | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 2.3 |
| .04 | 2.4 | 2.4 | 2.6 | 2.6 | 2.7 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 3.1 | 3.2 |
| .05 | 3.4 | 3.5 | 3.6 | 3.7 | 3.8 | 3.9 | 4.0 | 4.1 | 4.2 | 4.4 |
| .06 | 4.5 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 5.0 | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.4 | 5.6 |
| .07 | 5.7 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.2 | 6.4 | 6.5 | 6.6 | 6.8 | 6.9 |
| .08 | 7.0 | 7.2 | 7.3 | 7.5 | 7.6 | 7.8 | 7.9 | 8.0 | 8.2 | 8.3 |
| .09 | 8.5 | 8.6 | 8.8 | 8.9 | 9.1 | 9.2 | 9.4 | 9.6 | 9.7 | 9.9 |
| .10 | 10.0 | 10.2 | 10.4 | 10.5 | 10.7 | 10.8 | 11.0 | 11.2 | 11.3 | 11.5 |
| .11 | 11.7 | 11.8 | 12.0 | 12.2 | 12.3 | 12.5 | 12.7 | 12.8 | 13.0 | 13.2 |
| .12 | 13.4 | 13.6 | 13.7 | 13.9 | 14.1 | 14.3 | 14.4 | 14.6 | 14.8 | 15.0 |
| .13 | 15.2 | 15.4 | 15.6 | 15.7 | 15.9 | 16.1 | 16.3 | 16.5 | 16.7 | 16.9 |
| .14 | 17.1 | 17.3 | 17.4 | 17.6 | 17.8 | 18.0 | 18.2 | 18.4 | 18.6 | 18.8 |
| .15 | 19.0 | 19.2 | 19.4 | 19.6 | 19.8 | 20.0 | 20.2 | 20.4 | 20.7 | 20.9 |
| .16 | 21.1 | 21.3 | 21.5 | 21.7 | 21.9 | 22.1 | 22.3 | 22.6 | 22.8 | 23.0 |
| .17 | 23.2 | 23.4 | 23.6 | 23.8 | 24.1 | 24.3 | 24.5 | 24.7 | 24.9 | 25.2 |
| .18 | 25.4 | 25.6 | 25.8 | 26.0 | 26.3 | 26.5 | 26.7 | 27.0 | 27.2 | 27.4 |
| .19 | 27.6 | 27.9 | 28.1 | 28.3 | 28.6 | 28.8 | 29.0 | 29.3 | 29.5 | 29.7 |
| .20 | 30.0 | 30.2 | 30.4 | 30.7 | 30.9 | 31.2 | 31.4 | 31.6 | 31.9 | 32.1 |
| .21 | 32.4 | 32.6 | 32.9 | 33.1 | 33.4 | 33.6 | 33.8 | 34.1 | 34.4 | 34.6 |
| .22 | 34.8 | 35.1 | 35.4 | 35.6 | 35.8 | 36.1 | 36.4 | 36.6 | 36.9 | 37.1 |
| .23 | 37.4 | 37.6 | 37.9 | 38.2 | 38.4 | 38.7 | 38.9 | 39.2 | 39.5 | 39.7 |
| .24 | 40.0 | 40.2 | 40.5 | 40.8 | 41.0 | 41.3 | 41.6 | 41.8 | 42.1 | 42.4 |
| .25 | 42.6 | 42.9 | 43.2 | 43.5 | 43.7 | 44.0 | 44.3 | 44.6 | 44.8 | 45.1 |
| .26 | 45.4 | 45.6 | 45.9 | 46.2 | 46.5 | 46.8 | 47.0 | 47.3 | 47.6 | 47.9 |
| .27 | 48.2 | 48.4 | 48.7 | 49.0 | 49.3 | 49.6 | 49.9 | 50.2 | 50.4 | 50.7 |
| .28 | 51.0 | 51.3 | 51.6 | 51.9 | 52.2 | 52.5 | 52.8 | 53.0 | 53.3 | 53.6 |
| .29 | 53.9 | 54.2 | 54.5 | 54.8 | 55.1 | 55.4 | 55.7 | 56.0 | 56.3 | 56.6 |
| .30 | 56.9 | 57.2 | 57.5 | 57.8 | 58.1 | 58.4 | 58.7 | 59.0 | 59.3 | 59.6 |
| .31 | 59.9 | 60.2 | 60.5 | 60.8 | 61.1 | 61.4 | 61.8 | 62.1 | 62.4 | 62.7 |
| .32 | 62.0 | 63.3 | 63.6 | 63.9 | 64.2 | 64.6 | 64.9 | 65.2 | 65.5 | 65.8 |
| .33 | 66.1 | 66.4 | 66.8 | 67.1 | 67.4 | 67.7 | 68.0 | 68.4 | 68.7 | 69.0 |
| .34 | 69.3 | 69.6 | 70.0 | 70.3 | 70.6 | 70.9 | 71.3 | 71.6 | 71.9 | 72.2 |
| .35 | 72.6 | 72.9 | 73.2 | 73.6 | 73.9 | 74.2 | 74.6 | 74.9 | 75.2 | 75.5 |
| .36 | 75.9 | 76.2 | 76.5 | 76.9 | 77.2 | 77.6 | 77.9 | 78.2 | 78.6 | 78.9 |
| .37 | 79.2 | 79.6 | 79.9 | 80.2 | 80.6 | 80.9 | 81.3 | 81.6 | 82.0 | 82.3 |
| .38 | 82.6 | 83.0 | 83.3 | 83.7 | 84.0 | 84.4 | 84.7 | 85.1 | 85.4 | 85.8 |
| .39 | 86.1 | 86.5 | 86.8 | 87.2 | 87.5 | 87.9 | 88.2 | 88.6 | 88.9 | 89.3 |
| .40 | 89.6 | 90.0 | 90.3 | 90.7 | 91.0 | 91.4 | 91.8 | 92.1 | 92.5 | 92.8 |
| .41 | 93.2 | 93.6 | 93.9 | 94.3 | 94.6 | 95.0 | 95.4 | 95.7 | 96.1 | 96.4 |
| .42 | 96.8 | 97.2 | 97.5 | 97.9 | 98.3 | 98.6 | 99.0 | 99.4 | 99.7 | 100.1 |
| .43 | 100.5 | 100.8 | 101.2 | 101.6 | 102.0 | 102.3 | 102.7 | 103.1 | 103.4 | 103.8 |
| .44 | 104.2 | 104.6 | 104.9 | 105.3 | 105.7 | 106.1 | 106.4 | 106.8 | 107.2 | 107.6 |
| .45 | 108.0 | 108.3 | 108.7 | 109.1 | 109.5 | 109.8 | 110.2 | 110.6 | | |

ตารางที่ 10.10 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 9 นิ้ว เป็นลิตรต่อวินาทีเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) ค่าในตารางคำนวณโดยสมการ $Q = 0.5354H_a^{1.53}$

| เฮด $H_a$ | ทศนิยมตำแหน่งที่สามของเฮด | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| เมตร | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| .03 | 2.5 | 2.6 | 2.8 | 2.9 | 3.0 | 3.2 | 3.3 | 3.4 | 3.6 | 3.7 |
| .04 | 3.9 | 4.0 | 4.2 | 4.3 | 4.5 | 4.7 | 4.8 | 5.0 | 5.1 | 5.3 |
| .05 | 5.5 | 5.6 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.3 | 6.5 | 6.7 | 6.9 | 7.0 |
| .06 | 7.2 | 7.4 | 7.6 | 7.8 | 8.0 | 8.2 | 8.4 | 8.6 | 8.8 | 9.0 |
| .07 | 9.2 | 9.4 | 9.6 | 9.8 | 10.0 | 10.2 | 10.4 | 10.6 | 10.8 | 11.0 |
| .08 | 11.2 | 11.4 | 11.7 | 11.9 | 12.1 | 12.3 | 12.5 | 12.8 | 13.0 | 13.2 |
| .09 | 13.4 | 13.7 | 13.9 | 14.1 | 14.4 | 14.6 | 14.8 | 15.1 | 15.3 | 15.6 |
| .10 | 15.8 | 16.0 | 16.3 | 16.5 | 16.8 | 17.0 | 17.3 | 17.5 | 17.8 | 18.0 |
| .11 | 18.3 | 18.5 | 18.8 | 19.0 | 19.3 | 19.6 | 19.8 | 20.1 | 20.4 | 20.6 |
| .12 | 20.9 | 21.2 | 21.4 | 21.7 | 22.0 | 22.2 | 22.5 | 22.8 | 23.0 | 23.3 |
| .13 | 23.0 | 23.9 | 24.2 | 24.4 | 24.7 | 25.0 | 25.3 | 25.6 | 25.9 | 26.2 |
| .14 | 26.4 | 26.7 | 27.0 | 27.3 | 27.6 | 27.9 | 28.2 | 28.5 | 28.8 | 29.1 |
| .15 | 29.4 | 29.7 | 30.0 | 30.3 | 30.6 | 30.9 | 31.2 | 31.5 | 31.8 | 32.1 |
| .16 | 32.4 | 32.7 | 33.0 | 33.4 | 33.7 | 34.0 | 34.3 | 34.6 | 35.0 | 35.3 |
| .17 | 35.6 | 35.9 | 36.2 | 36.6 | 36.9 | 37.2 | 37.5 | 37.8 | 38.2 | 38.5 |
| .18 | 38.8 | 39.2 | 39.5 | 39.8 | 40.2 | 40.5 | 40.8 | 41.2 | 41.5 | 41.8 |
| .19 | 42.2 | 42.5 | 42.9 | 43.2 | 43.6 | 43.9 | 44.2 | 44.6 | 44.9 | 45.3 |
| .20 | 45.6 | 46.0 | 46.3 | 46.7 | 47.0 | 47.4 | 47.7 | 48.1 | 48.4 | 48.8 |
| .21 | 49.2 | 49.5 | 49.9 | 50.2 | 50.6 | 51.0 | 51.3 | 51.7 | 52.1 | 52.4 |
| .22 | 52.8 | 53.2 | 53.5 | 53.9 | 54.3 | 54.6 | 55.0 | 55.4 | 55.8 | 56.1 |
| .23 | 56.5 | 56.9 | 57.3 | 57.6 | 58.0 | 58.4 | 58.8 | 59.2 | 59.5 | 59.9 |
| .24 | 60.3 | 60.7 | 61.1 | 61.5 | 61.9 | 62.2 | 62.6 | 63.0 | 63.4 | 63.8 |
| .25 | 64.2 | 64.6 | 65.0 | 65.4 | 65.8 | 66.2 | 66.6 | 67.0 | 67.4 | 67.8 |
| .26 | 68.2 | 68.6 | 69.0 | 69.4 | 69.8 | 70.2 | 70.6 | 71.0 | 71.4 | 71.8 |
| .27 | 72.2 | 72.6 | 73.0 | 73.4 | 73.9 | 74.3 | 74.7 | 75.1 | 75.5 | 75.9 |
| .28 | 76.4 | 76.8 | 77.2 | 77.6 | 78.0 | 78.4 | 78.9 | 79.3 | 79.7 | 80.1 |
| .29 | 80.6 | 81.0 | 81.4 | 81.8 | 82.3 | 82.7 | 83.1 | 83.6 | 84.0 | 84.4 |
| .30 | 84.8 | 85.3 | 85.7 | 86.2 | 86.6 | 87.0 | 87.5 | 87.9 | 88.3 | 88.8 |
| .31 | 89.2 | 89.7 | 90.1 | 90.5 | 91.0 | 91.4 | 91.9 | 92.3 | 92.8 | 93.2 |
| .32 | 93.7 | 94.1 | 94.6 | 95.0 | 95.5 | 95.9 | 96.4 | 96.8 | 97.3 | 97.7 |
| .33 | 98.2 | 98.6 | 99.1 | 99.5 | 100.0 | 100.5 | 100.9 | 101.4 | 101.8 | 102.3 |
| .34 | 102.8 | 103.2 | 103.7 | 104.2 | 104.6 | 105.1 | 105.6 | 106.0 | 106.5 | 107.0 |
| .35 | 107.4 | 107.9 | 108.4 | 108.8 | 109.3 | 109.8 | 110.2 | 110.7 | 111.2 | 111.7 |
| .36 | 112.2 | 112.6 | 113.1 | 113.6 | 114.1 | 114.6 | 115.0 | 115.5 | 116.0 | 116.5 |
| .37 | 117.0 | 117.4 | 117.9 | 118.4 | 118.9 | 119.4 | 119.9 | 120.4 | 120.8 | 121.3 |
| .38 | 121.8 | 122.3 | 122.8 | 123.3 | 123.8 | 124.3 | 124.8 | 125.3 | 125.8 | 126.3 |
| .39 | 126.8 | 127.3 | 127.8 | 128.3 | 128.8 | 129.3 | 129.8 | 130.3 | 130.8 | 131.3 |
| .40 | 131.8 | 132.3 | 132.8 | 133.3 | 133.8 | 134.3 | 134.8 | 135.3 | 135.8 | 136.3 |
| .41 | 136.8 | 137.4 | 137.9 | 138.4 | 138.9 | 139.4 | 139.9 | 140.4 | 141.0 | 141.5 |
| .42 | 142.0 | 142.5 | 143.0 | 143.5 | 144.1 | 144.6 | 145.1 | 145.6 | 146.2 | 146.7 |
| .43 | 147.2 | 147.7 | 148.2 | 148.8 | 149.3 | 149.8 | 150.4 | 150.9 | 151.4 | 151.9 |
| .44 | 152.5 | 153.0 | 153.5 | 154.1 | 154.6 | 155.1 | 155.6 | 156.2 | 156.7 | 157.3 |
| .45 | 157.8 | 158.3 | 158.9 | 159.4 | 160.0 | 160.5 | 161.0 | 161.6 | 162.1 | 162.6 |
| .46 | 163.2 | 163.7 | 164.3 | 164.8 | 165.4 | 165.9 | 166.5 | 167.0 | 167.6 | 168.1 |
| .47 | 168.6 | 169.2 | 169.8 | 170.3 | 170.8 | 171.4 | 172.0 | 172.5 | 173.1 | 173.6 |
| .48 | 174.2 | 174.7 | 175.3 | 175.8 | 176.4 | 177.0 | 177.5 | 178.1 | 178.6 | 179.2 |
| .49 | 179.8 | 180.3 | 180.9 | 181.4 | 182.0 | 182.6 | 183.1 | 183.7 | 184.3 | 184.8 |
| .50 | 185.4 | 186.0 | 186.5 | 187.1 | 187.7 | 188.2 | 188.8 | 189.4 | 190.0 | 190.5 |
| .51 | 191.1 | 191.7 | 192.2 | 192.8 | 193.4 | 194.0 | 194.6 | 195.1 | 195.7 | 196.3 |
| .52 | 196.9 | 197.4 | 198.0 | 198.6 | 199.2 | 199.8 | 200.4 | 200.9 | 201.5 | 202.1 |
| .53 | 202.7 | 203.3 | 203.9 | 204.4 | 205.0 | 205.6 | 206.2 | 206.8 | 207.4 | 208.0 |
| .54 | 208.6 | 209.2 | 209.8 | 210.3 | 210.9 | 211.5 | 212.1 | 212.7 | 213.3 | 213.0 |
| .55 | 214.5 | 215.1 | 215.7 | 216.3 | 216.9 | 217.5 | 218.1 | 218.7 | 219.3 | 219.9 |
| .56 | 220.5 | 221.1 | 221.7 | 222.3 | 222.9 | 223.5 | 224.1 | 224.7 | 225.3 | 225.9 |
| .57 | 226.6 | 227.2 | 227.8 | 228.4 | 229.0 | 229.6 | 230.2 | 230.8 | 231.4 | 232.0 |
| .58 | 232.7 | 233.3 | 233.9 | 234.5 | 235.1 | 235.7 | 236.4 | 237.0 | 237.6 | 238.2 |
| .59 | 238.8 | 239.4 | 240.1 | 240.7 | 241.3 | 241.9 | 242.6 | 243.2 | 243.8 | 244.4 |
| .60 | 245.0 | 245.7 | 246.3 | 246.0 | 247.6 | 248.2 | 248.8 | 249.4 | 250.1 | 250.7 |
| .61 | 251.3 | | | | | | | | | |

**ข. เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow)** เมื่อความลึกของน้ำทางด้านผายออกของรางวัดน้ำมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราการไหลผ่านจะลดลงเนื่องจากมีความต้านทานต่อการไหลมากขึ้น ความต้านทานดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นเมื่ออัตราส่วน $H_b/H_a$ มากกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดไว้สำหรับการไหลแบบอิสระ เช่น สำหรับรางวัดน้ำขนาด 6 นิ้ว อัตราส่วน $H_b/H_a$ ไม่เกิน 0.60 ถือว่าเป็นการไหลแบบอิสระ ถ้ามากกว่า 0.60 ถือว่าเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) เป็นต้น เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ อัตราการไหลจะคำนวณโดย

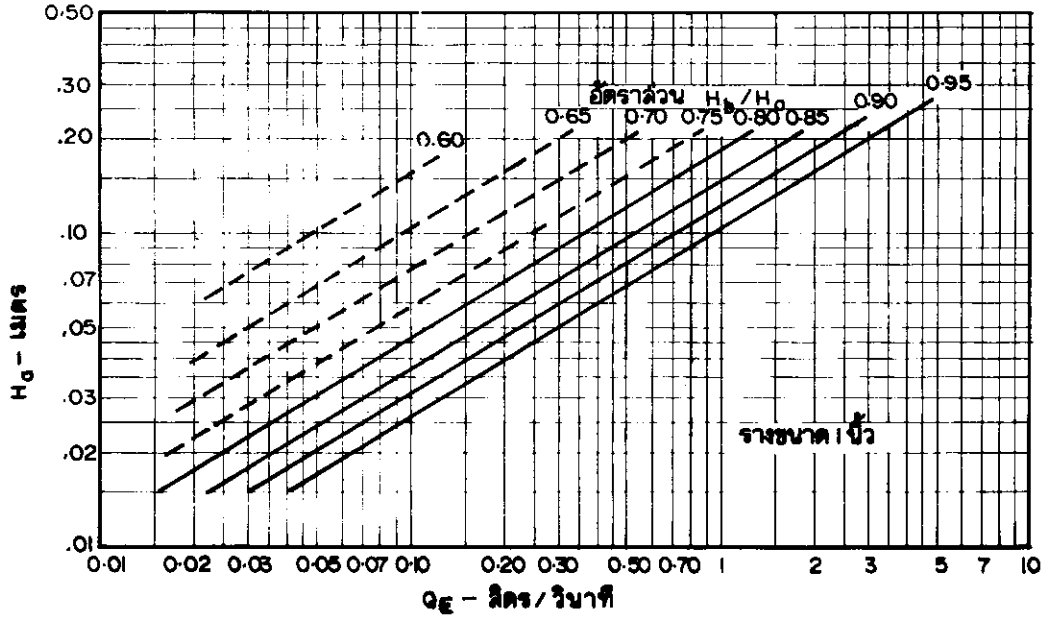
$$Q_S = Q - Q_E \qquad \text{.....(10.10)}$$

ในเมื่อ $Q_S$ เป็นอัตราการไหลผ่านราง เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ Q เป็นอัตราการไหลแบบอิสระ ซึ่งคำนวณโดยใช้ค่า $H_a$ และ $Q_E$ เป็นค่าปรับแก้อัตราการไหลอันเนื่องมาจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ค่า $Q_E$ สำหรับรางวัดน้ำขนาดต่าง ๆ อาจจะดูได้จากรูปที่ 10.8 ถึง 10.13 ค่า $Q_E$ ในรูปที่ 10.13 ซึ่งเป็นของรางขนาด 1 ฟุต ใช้กับรางขนาดโตกว่า คือ ตั้งแต่ 1.5 ถึง 8 ฟุตได้ด้วย โดยคูณค่า $Q_E$ ที่อ่านได้สำหรับรางขนาด 1 ฟุต ด้วยตัวคูณปรับขนาดอีกค่าหนึ่ง ดังนี้ คือ

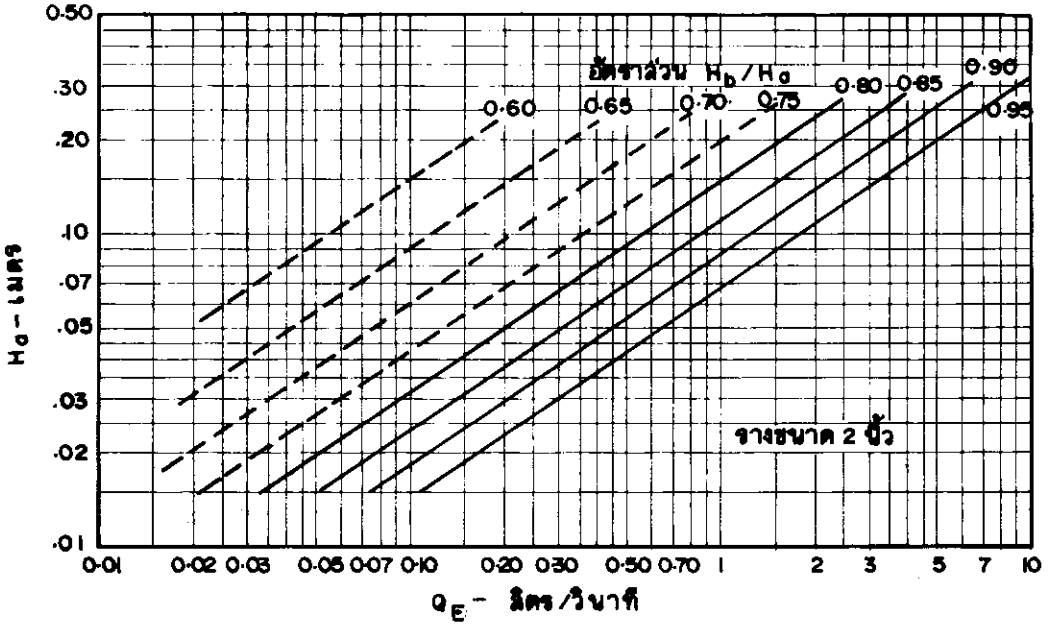
| ขนาดของรางวัดน้ำ – ฟุต | ตัวคูณปรับขนาด |
|---|---|
| 1.0 | 1.0 |
| 1.5 | 1.4 |
| 2 | 1.8 |
| 3 | 2.4 |
| 4 | 3.1 |
| 5 | 3.7 |
| 6 | 4.3 |
| 7 | 4.9 |
| 8 | 5.4 |

ค่าเหล่านี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 10.13 ด้วยแล้ว

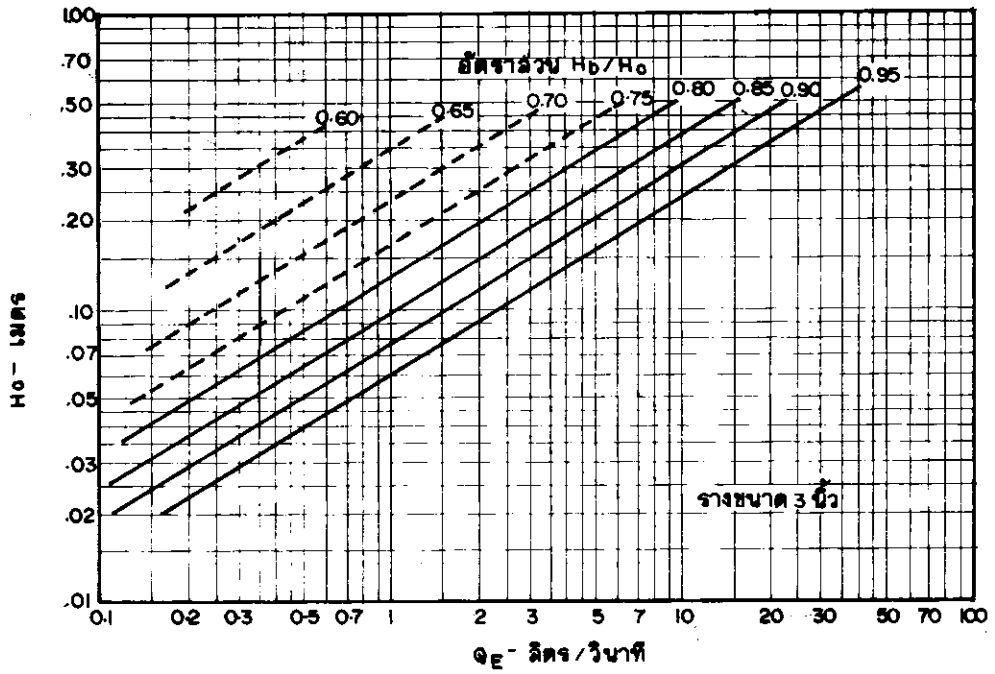
จะเห็นได้ว่า การคำนวณอัตราการไหลเมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำนั้นค่อนข้างยุ่งยาก นอกจากนั้นยังต้องมีการวัดเฮดทั้งสองแห่ง ดังนั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจึงพยายามหลีกเลี่ยงโดยการติดตั้งให้การไหลผ่านเป็นการไหลแบบอิสระแต่เพียงอย่างเดียว



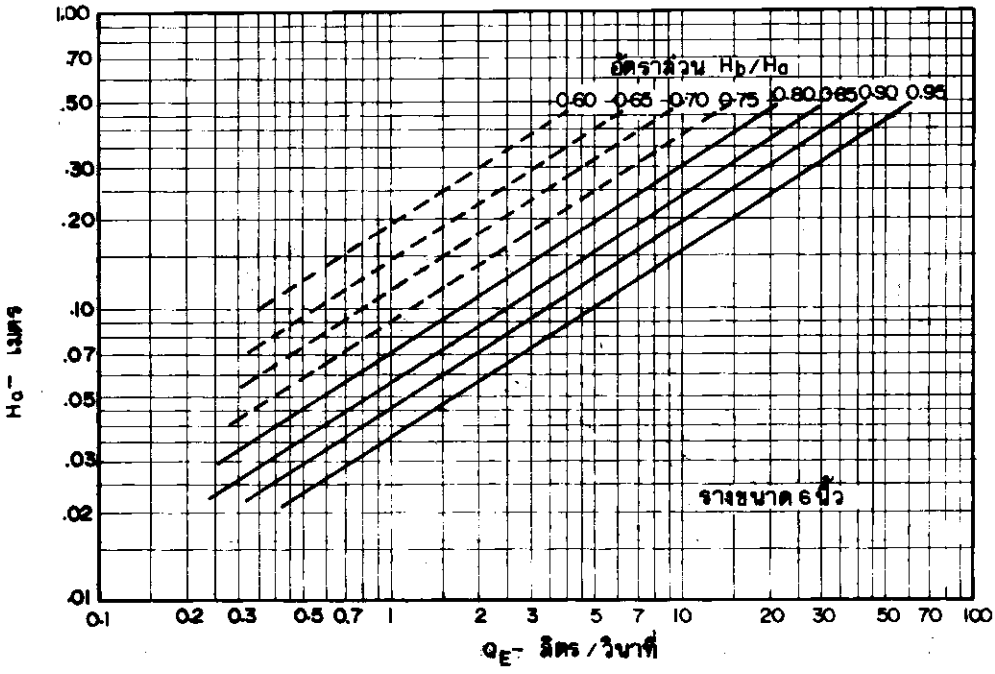

รูปที่ 10·8 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ( SUBMERGED FLOW )
สำหรับรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 1 นิ้ว



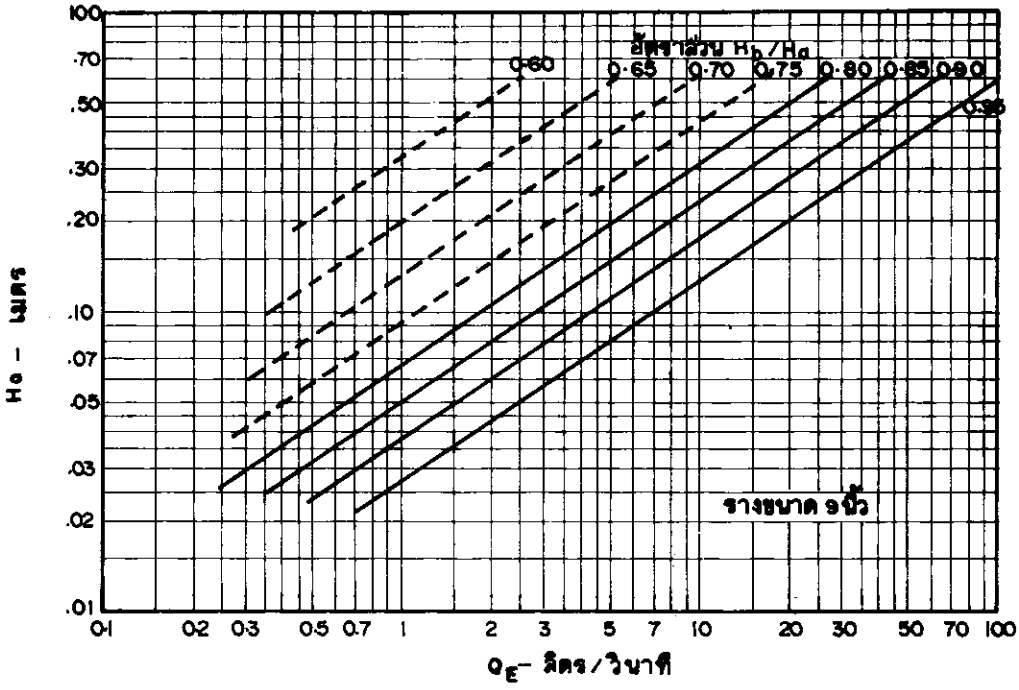

รูปที่ 10·9 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ( SUBMERGED FLOW )
สำหรับรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 2 นิ้ว



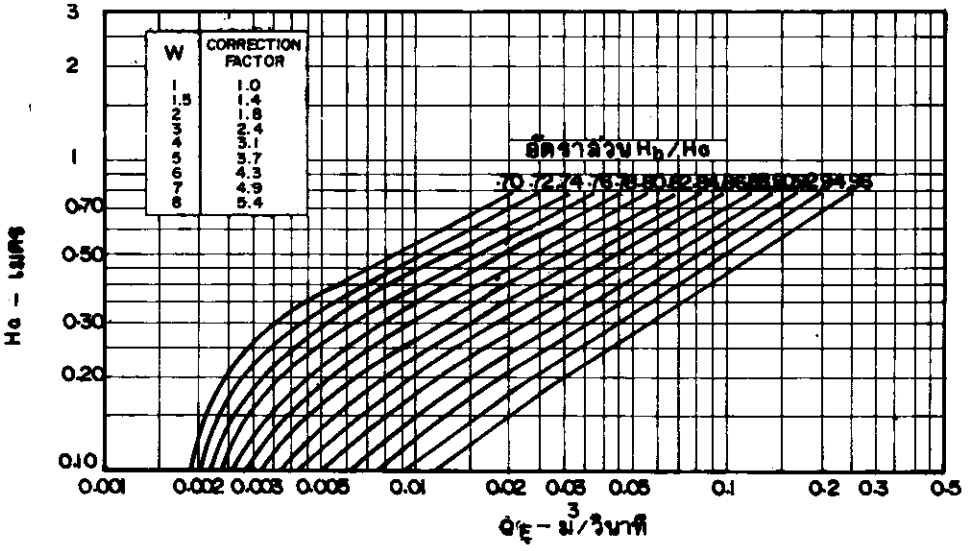

รูปที่ 10.10 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ( SUBMERGED FLOW ) สำหรับรางวัดน้ำพาร์แชลขนาด 3 นิ้ว




รูปที่ 10.11 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ( SUBMERGED FLOW ) สำหรับรางวัดน้ำพาร์แชลขนาด 6 นิ้ว




รูปที่ 10·12 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ( SUBMERGED FLOW ) สำหรับรางวัดน้ำพาร์แชลขนาด 9 นิ้ว




รูปที่ 10·13 ค่าปรับแก้อัตราการไหล เนื่องจากเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ ( SUBMERGED FLOW ) สำหรับวัดน้ำขนาด 1 ฟุต ถ้ารางโตกว่า 1 ฟุต ให้คูณค่าที่อ่านได้ด้วยตัวคูณปรับขนาดสำหรับรางนั้นจากตารางในรูป

## ตัวอย่างที่ 10.11

จงหาอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 6 นิ้ว

(ก) เมื่อ $H_a$ = 0.40 เมตร $H_b$ = 0.20 เมตร

(ข) เมื่อ $H_a$ = 0.40 เมตร $H_b$ = 0.30 เมตร

## วิธีทำ

จากตารางที่ 10.5 สำหรับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ขนาด 6 นิ้ว เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

$$H_b/H_a \leq 0.60$$

และ $$Q = 0.3812\ H_a^{1.58}$$

(ก) $$H_b/H_a = 0.20/0.40 = 0.50$$

เนื่องจาก $H_b/H_a$ น้อยกว่า 0.60 ดังนั้นเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

และ $$Q = 0.3812(0.40)^{1.58}$$

$$= 0.0896 \text{ ม.}^3\text{/วินาที}$$

$$= 89.6 \text{ ลิตร/วินาที}$$

(ข) $$H_b/H_a = 0.30/0.40 = 0.75$$

เนื่องจาก $H_b/H_a$ มากกว่า 0.60 การไหลเป็นแบบใต้ผิวน้ำ

เพราะฉะนั้น $Q_s = Q - Q_E$

จากรูปที่ 10.11 เมื่อ $H_a$ = 0.40 เมตร และ $H_b/H_a$ เท่ากับ 0.75 $Q_E$ = 11 ลิตร/วินาที

จากข้อ (ก) เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ Q = 89.6 ลิตร/วินาที

ดังนั้น $Q_s$ = 89.6 - 11

= 78.6 ลิตร/วินาที

## การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชลเพื่อให้การไหลเป็นแบบอิสระ

เนื่องจากว่า การวัดเฮดและการคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระนั้นสะดวกกว่าเมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำมาก ดังนั้น โดยปกติแล้วจะติดตั้งให้การไหลผ่านเป็นแบบอิสระ วิธีการคำนวณเพื่อติดตั้งให้ดำเนินการดังนี้ คือ

1. ตรวจสอบให้แน่นอนว่า อัตราการไหลสูงสุด ($Q_{max}$) ที่จะวัดนั้นเท่ากับเท่าไร

2. เมื่อมีน้ำไหลผ่านด้วยอัตราสูงสุด ระดับน้ำอยู่ที่ใด มี Free Board หรือเผื่อล้นในคลองเท่าใด

3. เลือกขนาดของรางวัดน้ำที่จะใช้ได้ตามวิธีการเช่นในตัวอย่างที่ 10.9 แล้วคำนวณ $H_a$ เมื่ออัตราการไหลผ่านเท่ากับ $Q_{max}$ และการไหลเป็นแบบอิสระ

4. จากตารางที่ 10.5 ดูว่าค่า $H_b$ $H_a$ สูงสุดที่การไหลเป็นแบบอิสระเท่ากับเท่าไร คำนวณค่า $H_b$ จากอัตราส่วนที่ได้นี้

5. ติดตั้งรางวัดน้ำโดยให้พื้นของทางผายเข้าอยู่ต่ำจากผิวน้ำในคลองไม่เกิน $H_b$ ดังนั้นระดับน้ำหน้ารางวัดน้ำจะสูงขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ $H_a - H_b$ เป็นอย่างน้อย

6. ตรวจสอบดูว่าระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้($H_a - H_b$ จะทำให้น้ำล้นคลอง หรือเกินค่าเผื่อล้น(Free Board) หรือไม่ ถ้าเกินก็ให้ทดลองใช้รางวัดน้ำขนาดโตกว่าถัดมาจนกว่าจะได้ขนาดรางที่ต้องการ

## ตัวอย่างที่ 10.12

คลองส่งน้ำสายหนึ่ง เมื่อส่งน้ำด้วยอัตราสูงสุด 0.30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีจะมีความลึกของน้ำในคลองเท่ากับ 0.60 เมตร และเผื่อล้น(Free Board) 0.30 เมตร จงหาขนาดและบอกระดับพื้นรางวัดน้ำที่จะติดตั้งเพื่อให้การไหลเป็นแบบอิสระ สมมุติว่าระดับผิวน้ำในคลองก่อนติดตั้งรางวัดน้ำเท่ากับ + 20.000 เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง

## วิธีทำ

จากตารางที่ 10.5 เมื่ออัตราการไหลเท่ากับ 300 ลิตร/วินาที ขนาดของรางต่ำสุดจะต้องไม่เล็กกว่า 1 ฟุต สำหรับรางขนาด 1 ฟุต

$$Q = 0.6909 H_a^{1.522}$$

และ $H_b$ $H_a$ = 0.70 สำหรับการไหลแบบอิสระ

$$\text{ดังนั้น } H_a = \left(\frac{Q}{0.6909}\right)^{1/1.522}$$

$$= \left(\frac{0.30}{0.6909}\right)^{1/1.522} = 0.578 \text{ เมตร}$$

$$H_b = 0.70 H_a$$

$$= 0.70 \times 0.578 = 0.40 \text{ เมตร}$$

ดังนั้น ระดับต่ำสุดของพื้นรางวัดน้ำ = ระดับผิวน้ำ - $H_b$

= 20 - 0.40

= + 19.60

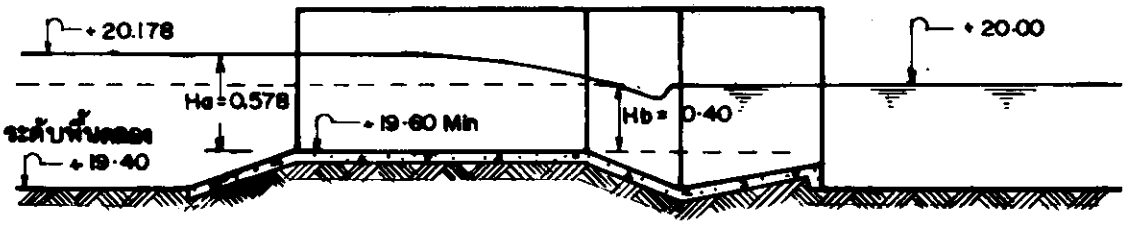
ระดับผิวน้ำหน้ารางวัดน้ำหลังติดตั้งรางแล้ว

= ระดับพื้นรางวัดน้ำ + $H_a$

= 19.60 + 0.578 = +20.178

หรือระดับน้ำสูงขึ้นจากเดิม = 20.178 - 20.0 = 0.178 เมตร ซึ่งน้อยกว่าเผื่อล้น (30 เซนติเมตร) ก็แสดงว่าใช้ได้ แต่ถ้าระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้มากกว่าก็จะต้องทดลองคำนวณดูว่าขนาดโตกว่าถัดมา คือขนาด 1.5 ฟุต ใช้ได้หรือไม่จนกว่าจะได้ขนาดที่ใช้ได้

ลักษณะการติดตั้งรางวัดน้ำของตัวอย่างนี้แสดงไว้ในรูปที่ 10.14




**รูปที่ 10.14 แสดงการติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 1 ฟุต ให้มีการไหลผ่านแบบอิสระ (FREE FLOW) สำหรับอัตราการไหลไม่เกิน 300 ลิตร / วินาที (ตัวอย่างที่ 10.12)**

## ข้อกำหนดในการติดตั้งและใช้งานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

เพื่อให้การวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลมีความละเอียดถูกต้องเชื่อถือได้ การสร้าง ติดตั้ง และใช้งานจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้ คือ

1. สัดส่วนของรางวัดน้ำจะต้องตรงตามมาตรฐานที่ให้ไว้ในตารางที่ 10.4 อย่างเคร่งครัด
2. ช่วงอัตราการวัดควรจะอยู่ในขอบเขตที่ให้ไว้ของแต่ละขนาด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 10.5
3. อัตราส่วน $H_b/H_a$ สูงสุดที่ใช้งานจะต้องไม่มากกว่า 0.95
4. รางวัดน้ำจะต้องติดตั้งให้ได้ระดับทั้งตามแนวยาวและด้านขวาง
5. รางวัดน้ำแบบพาร์แชลออกแบบไว้สำหรับติดตั้งตามแนวยาวของทางน้ำ โดยให้ศูนย์กลางตามแนวยาวของรางและของทางน้ำทับกัน ดังนั้นไม่ควรติดตั้งทำมุมใด ๆ กับทิศทางการไหลของน้ำ ยกเว้นแต่ว่ามีอุปกรณ์ช่วยทำให้ความเร็วของน้ำสม่ำเสมอก่อนถึงทางผายเข้าของราง

## ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

รางวัดน้ำแบบพาร์แชลเป็นรางวัดน้ำที่รู้จักกันดีและนิยมใช้กันมากแบบหนึ่ง ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำชนิดนี้มีดังต่อไปนี้ คือ

ก. ข้อดี

1. เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูง

2. สามารถวัดอัตราการไหลได้โดยใช้ความต่างของเฮดเพียงเล็กน้อย กล่าวคืออัตราส่วน $H_b/H_a$ ที่อยู่ในเกณฑ์ที่วัดได้มากถึง 0.95

3. ในช่วงที่การไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) สามารถวัดอัตราการไหลโดยวัด $H_a$ เพียงค่าเดียว นอกจากนั้นอัตราส่วน $H_b/H_a$ ที่การไหลเป็นแบบอิสระก็ค่อนข้างมาก(0.50 สำหรับรางขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว จนถึง 0.80 สำหรับรางขนาดโตกว่า 8 ฟุต)ต้องวัดเฮดสองค่าคือ $H_a$ และ $H_b$ ต่อเมื่อเป็นการไหลแบบใต้ผิวน้ำเท่านั้น

4. ไม่เป็นสิ่งกีดขวางตะกอนหรือเศษวัสดุที่ลอยมากับน้ำ

5. เมื่อวางตามแนวยาวของทางน้ำ ความละเอียดถูกต้องของการวัดจะไม่ขึ้นกับความเร็วของน้ำในทางน้ำที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ กล่าวคือ การไหลของน้ำหน้ารางไม่ปั่นป่วน ซึ่งถ้าหากเป็นฝายวัดน้ำก็จะต้องพิจารณาความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายด้วย

ข. ข้อเสีย

1. มีราคาแพงกว่าฝายวัดน้ำ

2. จะต้องสร้างและติดตั้งตามข้อกำหนดอย่างถูกต้องจึงจะให้ความละเอียดถูกต้องดี

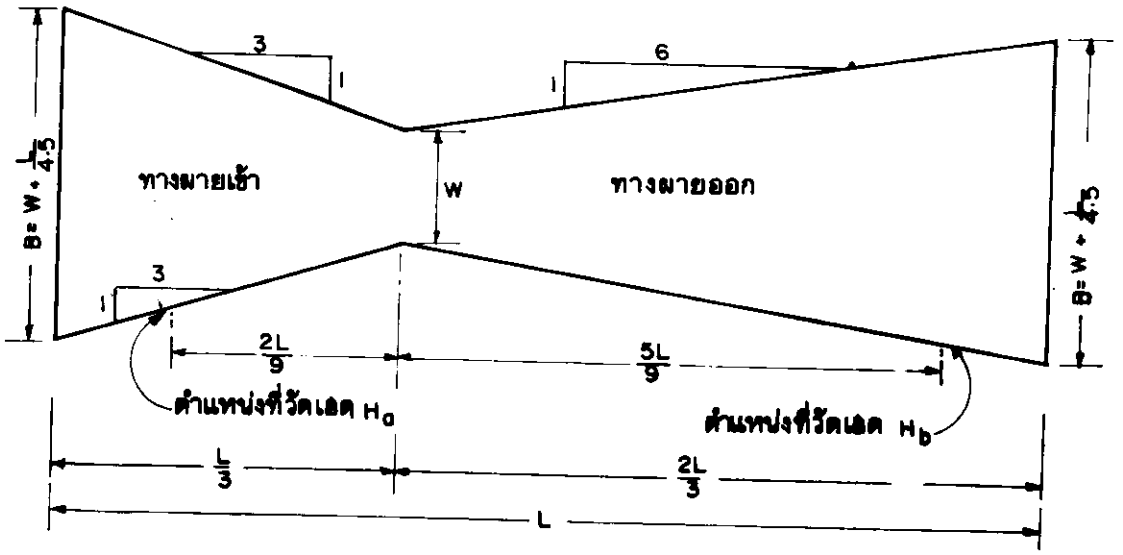
3. ออกแบบไว้สำหรับติดตั้งตามแนวยาวของทางน้ำเท่านั้น ดังนั้น จะไม่เหมาะที่จะใช้คู่กับอาคารแบ่งน้ำเข้าแปลง หรือใช้เป็นอาคารส่งน้ำเข้าแปลงจากคลองส่งน้ำโดยตรง

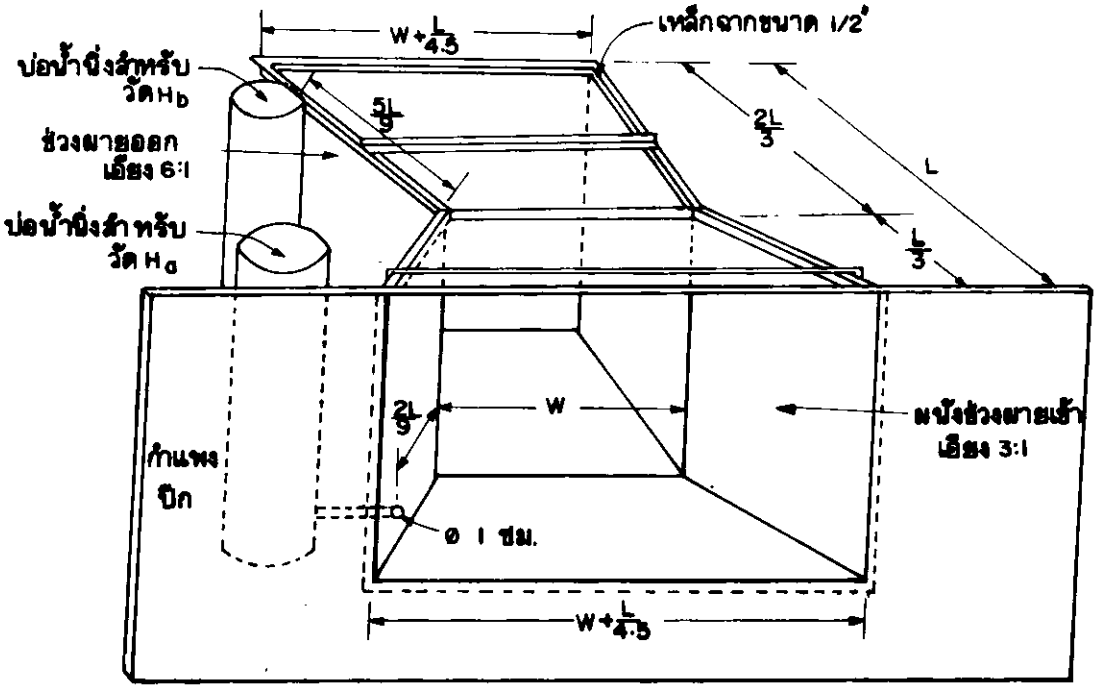
## รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut - Throat Flume)

รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ อาจกล่าวได้ว่าเป็นรางวัดน้ำที่ดัดแปลงมาจากรางวัดน้ำแบบพาร์แชล โดยการตัดส่วนคอออกไปและทำให้พื้นรางเรียบเสมอกันตลอด รูปร่างลักษณะของรางวัดน้ำแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 10.15

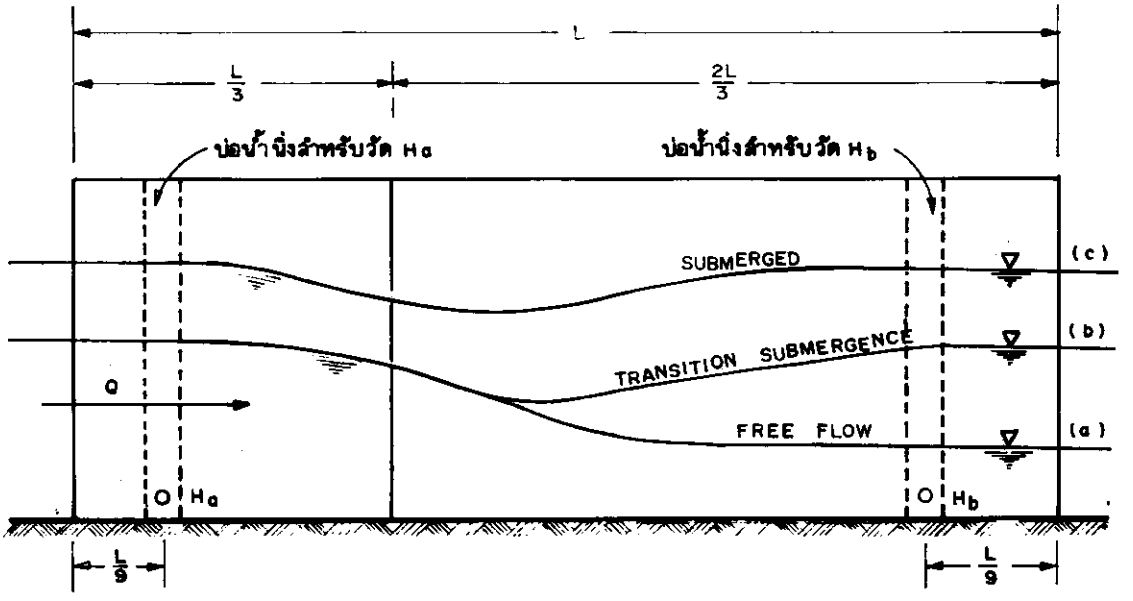
ดังแสดงในรูป รางวัดน้ำแบบไม่มีคอประกอบขึ้นด้วยส่วนที่สำคัญสองส่วนด้วยกัน คือทางผายเข้าซึ่งผนังของรางจะบีบทางน้ำให้แคบเข้าด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 3 เมื่อสุดทางผายเข้าแล้วรางก็จะผายออกทันทีด้วยอัตราส่วน 1 ต่อ 6 ความยาวของทางผายออกจะมากเป็นสองเท่าของทางผายเข้าเสมอ ขนาดของรางวัดน้ำแบบนี้จะบอกด้วยความกว้างของช่องแคบที่ทางผายเข้าพบกับทางผายออกกับความยาวทั้งหมดของรางเช่น รางขนาด 0.50 × 1.50 เมตร เป็นรางที่ช่องแคบที่น้ำไหลผ่านกว้าง 0.50 เมตร และรางยาว 1.50 เมตร

การดัดแปลงจากรางวัดน้ำแบบพาร์แชลโดยการตัดส่วนคอออกและทำให้พื้นราบเรียบเสมอกันมีข้อดีหลายอย่างคือ ทำให้สร้างได้ง่ายขึ้นมากไม่ว่าจะใช้เหล็กแผ่น ไม้ หรือคอนกรีต ราคาก็ถูกกว่ารางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาดเดียวกัน การติดตั้งก็ง่ายกว่าเพราะสามารถวางบนพื้นคลองคอนกรีตได้ หรือถ้าเป็นทางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าอยู่แล้วก็จะสะดวกมากเพราะขนาดของปากทางเข้าและออกเท่ากัน อาจจะต้องการแต่ผนังของรางสองข้างและปอน้ำนิ่งวัดระดับน้ำเท่านั้น




**รูปที่ 10.15 รางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (CUTTHROAT FLUME)**




**รูปที่ 10.16 ลักษณะการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (a) ไหลแบบอิสระ (FREE FLOW) (c) ไหลใต้ผิวน้ำ (SUBMERGED FLOW) และ (b) อยู่ระหว่างไหลอิสระกับไหลใต้ผิวน้ำ (TRNSITION SUBMERGENCE)**

## อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ

การวัดอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ ทำโดยการวัดเฮดในบ่อน้ำนิ่งซึ่งต่อเข้ากับทางผายเข้าและทางผายออกที่ตำแหน่งซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 10.15 การไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคออาจแบ่งออกเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) และการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow)เช่นเดียวกันกับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ลักษณะของผิวน้ำเมื่อเป็นการไหลแบบอิสระและไหลใต้ผิวน้ำได้แสดงไว้ในรูปที่ 10.16 ด้วยเส้นผิวน้ำ (a) และ (c) ตามลำดับ สำหรับเส้นผิวน้ำ (b) นั้นเป็นช่วงต่อที่จะเปลี่ยนลักษณะการไหลจากแบบหนึ่งไปเป็นอีกแบบหนึ่ง (Transition Submergence)

**(ก) เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow)** อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอเมื่อเป็นการไหลแบบอิสระจะขึ้นอยู่กับเฮดทางด้านผายเข้าเพียงอย่างเดียว อัตราการไหลดังกล่าวนี้อาจคำนวณโดยสมการ

$$Q = CH_a^{n_1} \quad ; H_a/L \leq 0.4 \quad \text{.....(10.11)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที $H_a$ เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำในทางผายเข้าเป็นเมตร $n_1$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวของราง (L) เพียงอย่างเดียว ไม่ขึ้นกับความกว้างของช่องแคบหรือส่วนคอ ดังนั้น รางวัดน้ำที่มีความยาวเท่ากันจะมีค่า $n_1$ เท่ากัน ค่า $n_1$ นี้จะดูได้จากกราฟของรูปที่ 10.17

สำหรับค่า C ซึ่งเป็นค่าสัมประสิทธิ์เมื่อการไหลผ่านรางเป็นแบบอิสระ จะคำนวณโดยสมการ

$$C = K.W^{1.025} \qquad \text{.....(10.12)}$$

โดย W เป็นความกว้างของส่วนคอมีหน่วยเป็นเมตร ค่า K เป็นสัมประสิทธิ์ที่ขึ้นอยู่กับความยาวของราง ซึ่งอาจดูได้จากกราฟของรูปที่ 10.17

ข้อจำกัดในการวัดอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบนี้ที่ต้องระวังก็คือ การวัดจะให้ความละเอียดถูกต้องดีก็ต่อเมื่ออัตราส่วน $H_a/L$ มีค่าไม่เกิน 0.4 ถ้าเกินจากนี้มากขึ้นเท่าไรความละเอียดถูกต้องก็จะยิ่งลดลงเท่านั้น ทั้งนี้เพราะความเร็วของกระแสน้ำหน้ารางจะมีผลต่อการวัดมาก

อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอขนาดต่าง ๆ เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระจะดูได้จากตารางที่ 10.11

## ตัวอย่างที่ 10.13

จงคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ ขนาด 0.30 × 0.90 เมตร สมมุติว่าเฮดที่วัดได้ที่ทางผายเข้าเท่ากับ 0.25 เมตร และการไหลเป็นแบบอิสระ

## วิธีทำ

ตรวจสอบค่า $H_a/L = 0.25/0.90 = 0.28$ น้อยกว่า 0.40

ดังนั้น สามารถคำนวณโดยสมการ (10.11) ได้ถูกต้อง

$$C = KW^{1.025}$$

W = ความกว้างของคอ = 0.30 เมตร

จากรูปที่ 10.17 สำหรับรางวัดน้ำยาว 0.90 เมตร

$K = 3.75$ , $n_1 = 1.84$

แทนค่าในสูตรจะได้ $C = 3.75\ (0.30)^{1.025} = 1.092$

และ $Q = CH_a^{n_1}$

$= 1.092(0.25)^{1.84}$

$= 0.0852$ ม$^3$/วินาที

$= 85.2$ ลิตร/วินาที

ตารางที่ 10.11 อัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดแบบไม่มีคอขนาดต่าง ๆ เป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ

| เฮด $H_a$ เมตร | ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. ซม. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10×90 | 20×90 | 30×90 | 20×180 | 40×180 | 60×180 | 30×270 | 60×270 | 100×270 |
| .005 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .001 |
| .010 | .000 | .000 | .000 | .000 | .000 | .001 | .000 | .001 | .002 |
| .015 | .000 | .000 | .000 | .000 | .001 | .001 | .001 | .002 | .003 |
| .020 | .000 | .001 | .001 | .001 | .002 | .002 | .001 | .003 | .005 |
| .025 | .000 | .001 | .001 | .001 | .002 | .003 | .002 | .004 | .007 |
| .030 | .001 | .001 | .002 | .001 | .003 | .005 | .003 | .005 | .009 |
| .035 | .001 | .002 | .002 | .002 | .004 | .006 | .003 | .007 | .011 |
| .040 | .001 | .002 | .003 | .002 | .005 | .007 | .004 | .008 | .014 |
| .045 | .001 | .003 | .004 | .003 | .006 | .009 | .005 | .010 | .017 |
| .050 | .001 | .003 | .004 | .003 | .007 | .011 | .006 | .012 | .020 |
| .055 | .002 | .004 | .005 | .004 | .008 | .012 | .007 | .014 | .023 |
| .060 | .002 | .004 | .006 | .005 | .009 | .014 | .008 | .016 | .026 |
| .065 | .002 | .005 | .007 | .005 | .011 | .016 | .009 | .018 | .030 |
| .070 | .003 | .006 | .008 | .006 | .012 | .018 | .010 | .020 | .034 |
| .075 | .003 | .006 | .009 | .007 | .014 | .021 | .011 | .022 | .038 |
| .080 | .003 | .007 | .011 | .007 | .015 | .023 | .012 | .025 | .042 |
| .085 | .004 | .008 | .012 | .008 | .017 | .025 | .013 | .027 | .046 |
| .090 | .004 | .009 | .013 | .009 | .018 | .028 | .015 | .030 | .050 |
| .095 | .005 | .010 | .014 | .010 | .020 | .030 | .016 | .032 | 0.54 |
| .100 | .005 | .011 | .016 | .011 | .022 | .033 | .017 | .035 | .059 |
| .105 | .006 | .012 | .017 | .012 | .024 | .036 | .018 | .038 | .063 |
| .110 | .006 | .013 | .019 | .013 | .026 | .039 | .020 | .040 | .068 |
| .115 | .007 | .014 | .021 | .013 | .027 | .042 | .021 | .043 | .073 |
| .120 | .007 | .015 | .022 | .014 | .029 | .045 | .023 | .046 | .078 |
| .125 | .008 | .016 | .024 | .015 | .032 | .048 | .024 | .049 | .083 |
| .130 | .008 | .018 | .026 | .016 | .034 | .051 | .026 | .052 | .089 |
| .135 | .009 | .019 | .028 | .018 | .036 | .054 | .027 | .056 | .094 |
| .140 | .010 | .020 | .030 | .019 | .038 | .057 | .029 | .059 | .099 |
| .145 | .010 | .022 | .031 | .020 | .040 | .061 | .031 | .062 | .105 |
| .150 | .011 | .023 | .034 | .021 | .043 | .064 | .032 | .066 | .111 |

ตารางที่ 10.11 (ต่อ)

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

ตารางที่ 10.11 (ต่อ)

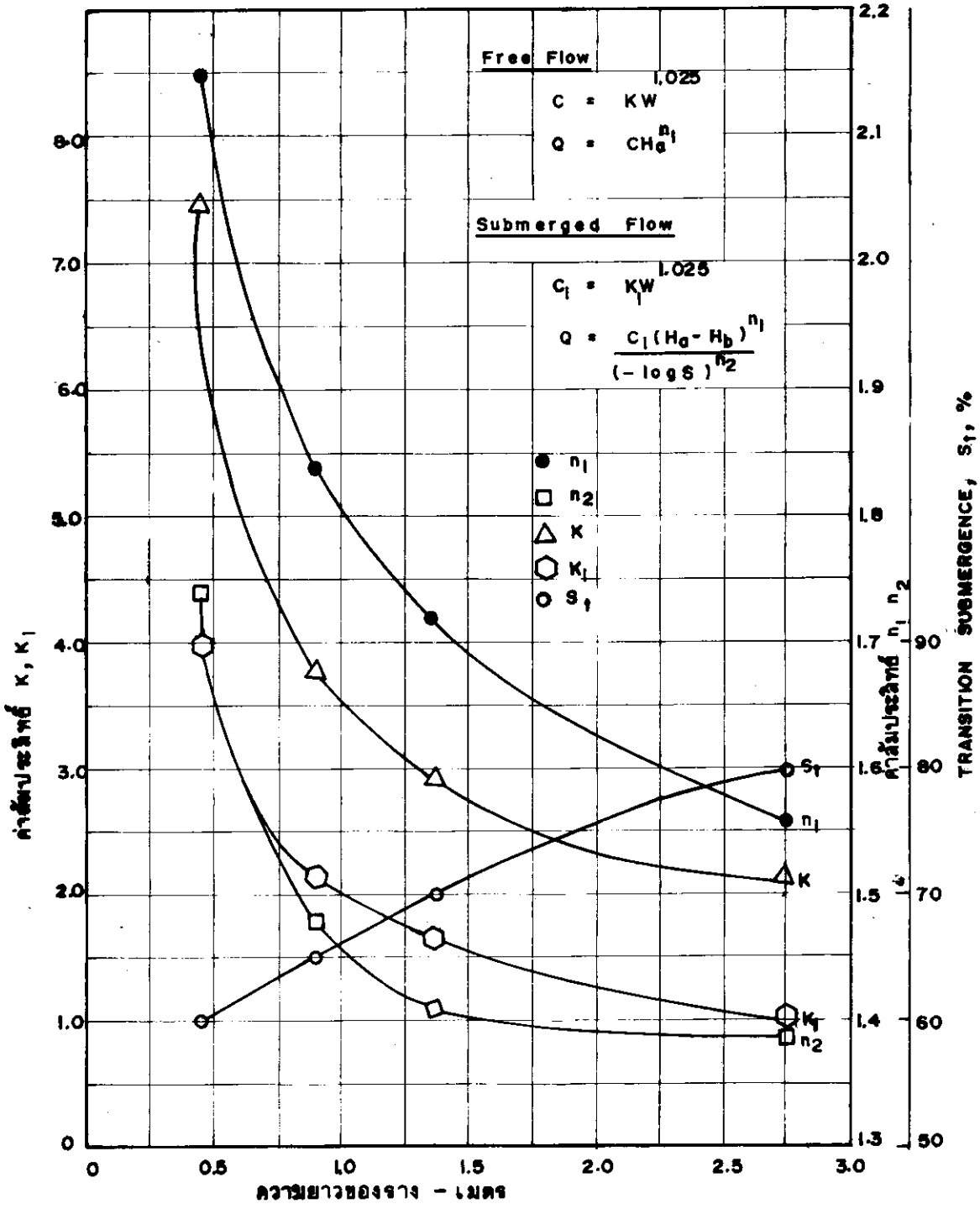
| เฮด $H_a$ เมตร | ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. × ซม. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 × 90 | 20 × 90 | 30 × 90 | 20 × 180 | 40 × 180 | 60 × 180 | 30 × 270 | 60 × 270 | 100 × 270 |
| .305 | .040 | .085 | .124 | .067 | .137 | .208 | .098 | .199 | .335 |
| .310 | .041 | .088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

ตารางที่ 10.11 (ต่อ)

| เฮด $H_a$ เมตร | ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. × ซม. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 × 90 | 20 × 90 | 30 × 90 | 20 × 180 | 40 × 180 | 60 × 180 | 30 × 270 | 60 270 | 100 × 27 |
| .455 | | | | .130 | .266 | .402 | .182 | .371 | .626 |
| .460 | | | | .133 | .270 | .409 | .185 | .377 | .637 |
| .465 | | | | .135 | .275 | .417 | .189 | .383 | .648 |
| .470 | | | | .138 | .280 | .424 | .192 | .390 | .659 |
| .475 | | | | .140 | .285 | .432 | .195 | .396 | .669 |
| .480 | | | | .142 | .290 | .439 | .198 | .403 | .681 |
| .485 | | | | .145 | .295 | .447 | .201 | .409 | .692 |
| .490 | | | | .147 | .300 | .454 | .205 | .416 | .703 |
| .495 | | | | .150 | .305 | .462 | .208 | .423 | .714 |
| .500 | | | | .152 | .310 | .470 | .211 | .429 | .725 |
| .505 | | | | .155 | .315 | .477 | .214 | .436 | .737 |
| .510 | | | | .157 | .321 | .485 | .218 | .443 | .748 |
| .515 | | | | .160 | .326 | .493 | .221 | .450 | .760 |
| .520 | | | | .162 | .331 | .501 | .224 | .457 | .771 |
| .525 | | | | .165 | .336 | .509 | .228 | .463 | .783 |
| .530 | | | | .168 | .342 | .517 | .231 | .470 | .794 |
| .535 | | | | .170 | .347 | .525 | .235 | .477 | .806 |
| .540 | | | | .173 | .352 | .533 | .238 | .484 | .818 |
| .545 | | | | .176 | .358 | .541 | .242 | .491 | .830 |
| .550 | | | | .178 | .363 | .550 | .245 | .498 | .842 |
| .555 | | | | .181 | .369 | .558 | .249 | .505 | .854 |
| .560 | | | | .184 | .374 | .566 | .252 | .513 | .866 |
| .565 | | | | .186 | .380 | .575 | .256 | .520 | .878 |
| .570 | | | | .189 | .385 | .583 | .259 | .527 | .890 |
| .575 | | | | .192 | .391 | .591 | .263 | .534 | .902 |
| .580 | | | | .195 | .396 | .600 | .266 | .541 | .914 |
| .585 | | | | .197 | .402 | .609 | .270 | .549 | .927 |
| .590 | | | | .200 | .408 | .617 | .273 | .556 | .939 |
| .595 | | | | .203 | .414 | .626 | .277 | .563 | .952 |
| .600 | | | | .206 | .419 | .635 | .281 | .571 | .964 |

ตารางที่ 10.11 (ต่อ)

| เฮด $H_a$ เมตร | ขนาดของรางวัดน้ำ - ซม. × ซม. | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 × 90 | 20 × 90 | 30 × 90 | 20 × 180 | 40 × 180 | 60 × 180 | 30 × 270 | 60 × 270 | 100 × 270 |
| .605 | | | | | | | .284 | .578 | .977 |
| .610 | | | | | | | .288 | .586 | .989 |
| .615 | | | | | | | .292 | .593 | 1.002 |
| .620 | | | | | | | .295 | .601 | 1.015 |
| .625 | | | | | | | .299 | .608 | 1.028 |
| .630 | | | | | | | .303 | .616 | 1.040 |
| .635 | | | | | | | .307 | .624 | 1.053 |
| .640 | | | | | | | .310 | .631 | 1.066 |
| .645 | | | | | | | .314 | .639 | 1.079 |
| .650 | | | | | | | .318 | .647 | 1.092 |
| .655 | | | | | | | .322 | .655 | 1.106 |
| .660 | | | | | | | .326 | .662 | 1.119 |
| .665 | | | | | | | .330 | .670 | 1.132 |
| .670 | | | | | | | .333 | .678 | 1.145 |
| .675 | | | | | | | .337 | .686 | 1.159 |
| .680 | | | | | | | .341 | .694 | 1.172 |
| .685 | | | | | | | .345 | .702 | 1.186 |
| .690 | | | | | | | .349 | .710 | 1.199 |
| .695 | | | | | | | .353 | .718 | 1.213 |
| .700 | | | | | | | .357 | .726 | 1.226 |
| .705 | | | | | | | .361 | .734 | 1.240 |
| .710 | | | | | | | .365 | .742 | 1.256 |
| .715 | | | | | | | .369 | .750 | 1.268 |
| .720 | | | | | | | .373 | .759 | 1.281 |
| .725 | | | | | | | .377 | .767 | 1.295 |
| .730 | | | | | | | .381 | .775 | 1.309 |
| .735 | | | | | | | .385 | .784 | 1.323 |
| .740 | | | | | | | .389 | .792 | 1.337 |
| .745 | | | | | | | .393 | .800 | 1.352 |
| .750 | | | | | | | .398 | .809 | 1.366 |




รูปที่ 10-17 ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ในสูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ ทั้งที่การไหลเป็นแบบอิสระ และแบบไหลใต้ผิวน้ำ พร้อมทั้งค่า TRANSITION SUBMERGENCE, $S_t$ สำหรับตรวจสอบลักษณะการไหล

**ข. เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow)** เมื่อความลึกของน้ำทางด้านผายออก ($H_b$) มีค่าสูงขึ้นจนกระทั่งทำให้ความลึกของน้ำในรางที่จุดใดจุดหนึ่งมากกว่าความลึกวิกฤติ (Critical Depth) การไหลของน้ำในรางก็จะเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) และการคำนวณอัตราการไหลจำเป็นต้องพิจารณาความลึกของน้ำทั้งสองแห่งคือทั้ง $H_a$ และ $H_b$ ดังนี้

$$Q = \frac{C_1(H_a - H_b)^{n_1}}{(-\log S)^{n_2}} \quad ; H_a/L \leq 0.40 \quad \text{.....(10.13)}$$

ในเมื่อ $C_1$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์เมื่อการไหลผ่านรางเป็นแบบใต้ผิวน้ำ ค่าดังกล่าวนี้คำนวณโดยสมการ

$$C_1 = K_1 W^{1.025} \quad \text{.....(10.14)}$$

$K_1$ $n_1$ และ $n_2$ เป็นสัมประสิทธิ์ที่ค่าของมันขึ้นอยู่กับความยาวของรางวัดเพียงอย่างเดียว ค่าเหล่านี้จะดูได้จากกราฟของรูปที่ 10.17 สำหรับ S เป็นอัตราส่วนระหว่างเฮดทางด้านท้ายน้ำต่อเฮดทางด้านเหนือน้ำ หรือ

$$S = H_b/H_a \quad \text{.....(10.15)}$$

เมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ การวัดและคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะให้ความละเอียดถูกต้องดีก็ต่อเมื่อ S มีค่าไม่เกิน 0.95 เช่นเดียวกันกับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล นอกจากนั้นความลึกของน้ำในทางผายเข้าหรือ $H_a$ ไม่ควรมีค่ามากกว่า 40 เปอร์เซนต์ของความยาวของรางวัดน้ำ ($H_a/L \leq 0.40$)

เนื่องจากว่าการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ มีทั้งการไหลแบบอิสระและไหลใต้ผิวน้ำ และสูตรสำหรับคำนวณอัตราการไหลก็แตกต่างกันมาก เพราะฉะนั้น ก่อนที่จะคำนวณจำเป็นต้องตรวจสอบให้แน่นอนเสียก่อนว่าเป็นการไหลแบบใด ค่าที่จะบอกว่าเมื่อใดเป็นการไหลแบบอิสระหรือเมื่อใดเป็นการไหลใต้ผิวน้ำนั้นก็คือค่า Transition Submergence, $S_t$ ซึ่งแสดงไว้ในกราฟของรูปที่ 10.17

ถ้า S หรือ $H_b/H_a$ น้อยกว่า $S_t$ ก็แสดงว่าเป็นการไหลแบบอิสระ

ถ้า S หรือ $H_b/H_a$ มากกว่า $S_t$ ก็แสดงว่าเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

ถ้า S หรือ $H_b/H_a$ เท่ากับ $S_t$ ก็แสดงว่าการไหลอยู่ระหว่างแบบอิสระและใต้ผิวน้ำ จะใช้วิธีการคำนวณแบบใดก็จะได้ผลลัพธ์เท่ากัน

## ตัวอย่างที่ 10.14

สมมุติว่ารางวัดน้ำแบบไม่มีคออันหนึ่งยาว 2.0 เมตร จงหาว่า

(ก) รางวัดน้ำนี้จะวัดได้ถูกต้องดีเมื่อ $H_a$ มีค่ามากที่สุดเท่าไร

(ข) ถ้า $H_a$ มีค่าเท่ากับ 0.60 เมตร เมื่อใดจึงจะเป็นการไหลแบบอิสระ เมื่อใดจึงเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

## วิธีทำ

(ก) การวัดจะต้องอยู่ในช่วง $H_a/L$ ไม่เกิน 0.40

ดังนั้นรางวัดน้ำนี้จะให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อ $H_a$ มีค่าไม่เกิน 0.40 L หรือ 0.80 เมตร

(ข) จากรูปที่ 10.17 สำหรับรางวัดน้ำขนาด 2 เมตร

Transition Submergence $S_t$ = 0.76

หรือ $H_b/H_a$ = 0.76

$H_b$ = 0.76 × 0.60 = 0.456 เมตร

นั่นคือ $H_b$ ที่ Transition Submergence = 0.456 เมตร

เมื่อ $H_b$ น้อยกว่า 0.456 เมตร การไหลในรางเป็นการไหลแบบอิสระ

และ $H_b$ มากกว่า 0.456 เมตร เป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

## ตัวอย่างที่ 10.15

จงคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบไม่มีคอขนาด 0.40 × 1.80 เมตร ถ้า $H_a$ และ $H_b$ เท่ากับ 0.50 และ 0.38 เมตร ตามลำดับ

## วิธีทำ

อัตราส่วน $H_b/H_a$ = 0.38/0.50 = 0.76

และ $H_a/L$ = 0.50/1.80 = 0.28

ในเมื่อ $H_b/H_a$ น้อยกว่า 0.95 และ $H_a/L$ น้อยกว่า 0.40 การคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะถูกต้องเชื่อถือได้

จากรูปที่ 10.17 เมื่อรางวัดน้ำยาว 1.80 เมตร $S_t$ = 0.74

เนื่องจาก $H_b/H_a$ มากกว่า $S_t$ ดังนั้น จะเป็นการไหลใต้ผิวน้ำ

สูตรสำหรับการไหลใต้ผิวน้ำ

$$C_1 = K_1 W^{1.025}$$

และ

$$Q = \frac{C_1 (H_a - H_b)^{n_1}}{(-\log S)^{n_2}}$$

จากรูปที่ 10.17

$K_1$ = 1.40, $n_1$ = 1.65, $n_2$ = 1.393

แทนค่า

$$C_1 = 1.40(0.40)^{1.025}$$

$$= 0.547$$

และ $$Q = \frac{0.547(0.50 - 0.38)^{1.65}}{(-\log 0.76)^{1.393}}$$

$$= \frac{0.547 \times 0.0302}{0.0517}$$

$$= 0.319 \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

## การติดตั้งรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ

หลักเกณฑ์ทั่ว ๆ ไปในการติดตั้งรางวัดน้ำแบบไม่มีคอนั้นเหมือนกับรางวัดน้ำแบบพาร์แชล กล่าวคือ

1. รางวัดน้ำจะต้องติดตั้งตามแนวยาวของทางน้ำ โดยให้ศูนย์กลางตามแนวยาวของทางน้ำกับของรางวัดน้ำทับกัน ทางน้ำในบริเวณที่ติดตั้งรางจะต้องเป็นแนวตรง ไม่ควรติดตั้งในบริเวณที่น้ำไหลปั่นป่วนหรือมีคลื่น เช่น ในบริเวณติดกับประตูระบายหรือท่อระบายทางด้านท้ายน้ำเป็นต้น

2. รางวัดน้ำจะต้องได้ระดับทั้งทางด้านยาวและด้านขวาง และจะต้องคอยตรวจสอบให้อยู่ในลักษณะเช่นที่กล่าวนี้ตลอดไป เพราะเมื่อใช้งานไปนาน ๆ อาจมีการทรุดตัวไม่เท่ากันได้

3. การวัดเฮดในทางผายเข้าและผายออกควรจะวัดโดยใช้บ่อน้ำนิ่ง (Stilling Wells) ซึ่งติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่กำหนด ถ้าจะใช้ไม้บรรทัดหรือแผ่นเทปติดไว้ที่ผนังของรางก็จะต้องติดให้อยู่ในแนวดิ่ง

4. เนื่องจากว่าการวัดเฮดและการคำนวณอัตราการไหลผ่านรางในกรณีที่เป็นการไหลแบบอิสระนั้นสะดวกกว่าเมื่อเป็นการไหลใต้ผิวน้ำมาก ดังนั้น โดยทั่วไปแล้วจึงมักติดตั้งให้น้ำไหลผ่านรางแบบอิสระ วิธีการคำนวณในการติดตั้งก็เหมือนกับของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

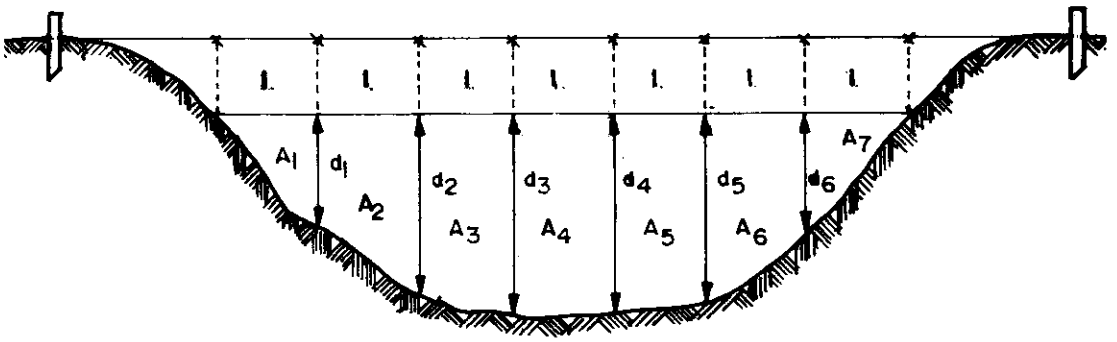
## การวัดความเร็วของกระแสน้ำ

อัตราการไหลของน้ำในทางน้ำอาจจะหาได้จากผลคูณของพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำในทางน้ำนั้น กล่าวคือ

$$Q = AV \qquad \text{.....(10.16)}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลของน้ำผ่านจุดที่ทำการวัด A เป็นพื้นที่หน้าตัดของน้ำที่จุดเดียวกันและ V เป็นความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำซึ่งวัดได้ที่จุดนั้น

การหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำอาจจะทำโดยการขึงเชือกขวางกั้นตั้งฉากกับทางน้ำ แล้ววัดความลึกที่จุดต่าง ๆ ตามแนวเชือกที่ขึงกั้นไว้เป็นระยะทางเท่า ๆ กันนับจากจุดที่น้ำสัมผัสกับตลิ่งด้านใดด้านหนึ่งจนได้ความลึกตลอดความกว้างของทางน้ำ ดังรูปที่ 10.18




**รูปที่ 10.18 แสดงวิธีการหาพื้นที่หน้าตัดของน้ำในลำน้ำ**

เมื่อทราบความลึกของน้ำที่จุดต่าง ๆ แล้ว พื้นที่หน้าตัดของน้ำก็จะหาได้จากผลรวมของพื้นที่ย่อยระหว่างจุดที่ทำการวัดความลึก พื้นที่ย่อยเหล่านี้จะหาได้โดยสูตรคำนวณพื้นที่สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมคางหมู กล่าวคือ

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + A_7$$

$$= \frac{1}{2} l d_1 + \frac{1}{2} l \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right) + \frac{1}{2} l \left(\frac{d_2 + d_3}{2}\right)$$

$$+ \ldots\ldots\ldots + \frac{1}{2} l \left(\frac{d_5 + d_6}{2}\right) + \frac{1}{2} l d_6 \quad \ldots(10.17)$$

การวัดความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำทำได้หลายวิธีด้วยกัน การที่จะเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับเครื่องมือเครื่องใช้ที่มีอยู่และความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงสองวิธีที่ใช้กันมากที่สุดคือ การวัดโดยใช้ทุ่นลอยและการวัดด้วยเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ

**ก. การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยใช้ทุ่นลอย** การวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยเทียบกับความเร็วของทุ่นลอยเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่ให้ค่าความเร็วโดยประมาณ ทุ่นลอยที่ใช้มีทั้งที่เป็นทุ่นผิวน้ำและท่อซึ่งลอยในแนวดิ่งโดยมีปลายด้านหนึ่งจมลงไปที่ระดับความลึกต่าง ๆ สำหรับทุ่นผิวน้ำนั้นความเร็วของทุ่นที่วัดได้มิใช่ความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ ถ้าต้องการหาความเร็วเฉลี่ยจะต้องคูณความเร็วของทุ่นลอยด้วยสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำดังนี้คือ

| ความลึกของน้ำ - เมตร | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 1.50 | 1.80 | 2.70 | 3.60 | 4.50 | 6.00 + |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| สัมประสิทธิ์ | 0.66 | 0.68 | 0.70 | 0.72 | 0.74 | 0.76 | 0.77 | 0.78 | 0.79 | 0.80 |

เนื่องจากว่า ความเร็วของทุ่นผิวน้ำนั้นอาจจะอยู่ใต้อิทธิพลของลมได้ง่าย ดังนั้น จึงควรใช้ในขณะที่ลมสงบเท่านั้น

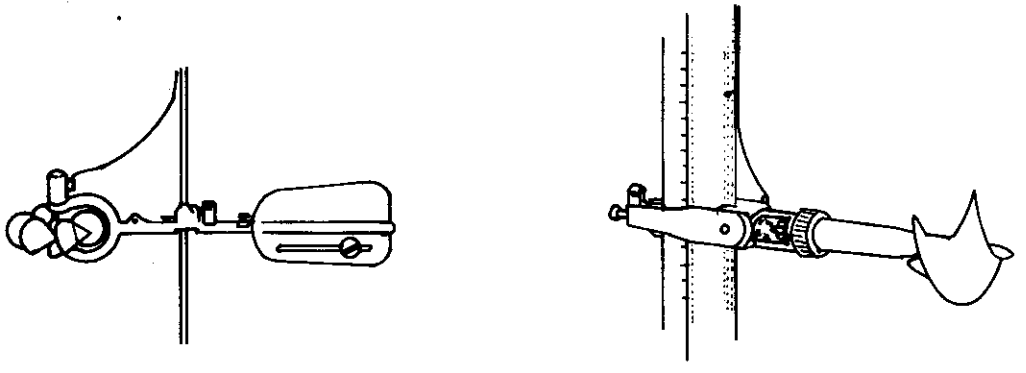
สำหรับทุ่นลอยที่เป็นท่อซึ่งมีความยาว 90 เปอร์เซนต์ของความลึกของน้ำ อาจถือได้ว่าลอยไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำ แต่ทุ่นแบบนี้จะใช้วัดได้เฉพาะตอนกลางของทางน้ำเท่านั้น นอกจากนั้นทุ่นอาจสะดุดหรือครูดไปกับพื้นท้องน้ำได้ถ้าหากความลึกของน้ำไม่สม่ำเสมอ

ตำแหน่งที่จะวัดความเร็วของกระแสน้ำโดยวิธีนี้ควรเป็นแนวตรง และพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเป็นแนวยาวพอสมควร ขึงเชือกขวางกั้นตั้งฉากกับลำน้ำในช่วงนี้ 2 แนวให้อยู่ห่างกัน 20 - 30 เมตรหรือมากกว่า หย่อนทุ่นลอยด้านเหนือน้ำห่างจากแนวเชือกเส้นแรก 2 - 3 เมตรเพื่อให้ทุ่นปรับตัวเข้ากับกระแสน้ำก่อนที่จะเข้าจุดเริ่มทำการวัด จากนั้นก็จับเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลา คำนวณความเร็วของทุ่น และความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่กำหนดให้ในตาราง

เพื่อให้ได้อัตราการไหลที่ถูกต้อง ควรแบ่งความกว้างของลำน้ำออกเป็น 3 ส่วนเป็นอย่างน้อย แล้ววัดความเร็วเฉลี่ยและพื้นที่หน้าตัดของแต่ละส่วนคูณกันออกมาเป็นอัตราการไหล ความเร็วของทุ่นลอยควรวัดซ้ำกันหลาย ๆ ครั้ง

**ข. การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัด** การวัดความเร็วของกระแสน้ำด้วยเครื่องวัดเพื่อนำไปใช้คำนวณหาอัตราการไหลนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับทางน้ำขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะที่จะใช้ฝายหรือรางวัดน้ำ

เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 2 แบบคือ แบบที่วัดโดยใช้ถ้วยรูปทรงคล้ายกรวยแต่ไม่มีรู (Cup Type)และแบบวัดโดยใช้ใบพัด (Propeller Type) รูปร่างลักษณะของเครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำของทั้งสองแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 10.19



( ก ) ( ข )

**รูปที่ 10.19 เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ ( ก ) แบบถ้วย ( CUP TYPE ) และ ( ข ) แบบใบพัด ( PROPELLER TYPE )**

ในการใช้เครื่องวัดความเร็วของกระแสน้ำ ถ้าน้ำไม่ลึกนักเครื่องวัดก็จะติดตั้งอยู่บนท่อนเหล็กซึ่งใช้หย่งความลึกของลำน้ำได้ด้วย แต่ถ้าน้ำลึกมากไม่สามารถใช้คนจับท่อนเหล็กลงไปวัดได้ เครื่องวัดก็จะแขวนไว้ด้วยลวดสลิงแล้วหย่อนลงไปในน้ำในระดับความลึกที่ต้องการวัด เมื่อถ้วยหรือใบพัดหมุนด้วยความเร็วของกระแสน้ำเครื่องวัดก็จะส่งสัญญาณมาเข้าหูฟังที่ผู้ทำการวัดสวมอยู่ จำนวนครั้งของสัญญาณในหนึ่งหน่วยเวลาที่นับได้ก็จะนำไปเทียบเป็นความเร็วของกระแสน้ำได้โดยใช้กราฟหรือตารางที่บริษัทผู้ผลิตทำไว้ให้

การหาความเร็วเฉลี่ยของลำน้ำในส่วนต่าง ๆ อาจทำได้หลายแบบ วิธีที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปทำโดยการอ่านค่าความเร็วที่จุด 2 จุด คือที่ 0.2 และ 0.8 ของความลึกในแนวดิ่งเดียวกัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเป็นความเร็วของกระแสน้ำเฉลี่ยสำหรับพื้นที่หน้าตัดนั้น แต่ถ้าหากน้ำตื้นมากก็อาจจะใช้ความเร็วที่ 0.6 ของความลึกเพียงค่าเดียวเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยก็ได้

การหาอัตราการไหลในทางน้ำโดยวิธีนี้ จะเริ่มโดยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดของทางน้ำออกเป็นส่วน ๆ ดังเช่นที่แสดงไว้ในรูปที่ 10.18 แล้ววัดความเร็วเฉลี่ยที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ย่อย ๆ เหล่านั้น เช่น ถ้าเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็วัดความเร็วที่กึ่งกลางของพื้นที่ ถ้าเป็นสามเหลี่ยมก็วัดที่ 1/3 จากฐาน ผลรวมของผลคูณระหว่างพื้นที่หน้าตัดของน้ำกับความเร็วเฉลี่ยในส่วนนั้นครบทุกพื้นที่ย่อยก็จะเป็นอัตราการไหลในลำน้ำนั้น

# บทที่ 11
# การระบายน้ำ

**การระบายน้ำ (Drainage)** หมายถึงการกำจัดน้ำที่มากเกินความต้องการออกจากพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง เพื่อให้พื้นที่นั้นมีสภาพที่เหมาะต่อการใช้งานตามวัตถุประสงค์ เราอาจแบ่งการระบายน้ำออกตามลักษณะของพื้นที่เป็นการระบายน้ำจากบริเวณตัวเมือง (Municipal Drainage) การระบายน้ำจากพื้นที่เพาะปลูก (Agricultural Drainage) และการระบายน้ำจากทางหลวง (Highway Drainage) เป็นต้น

ในหัวข้อต่อไปนี้จะกล่าวถึงเฉพาะแต่การระบายน้ำจากพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งหมายถึงการกำจัดน้ำที่มากเกินพอ ทั้งที่อยู่บนผิวดินหรือใต้ผิวดิน เพื่อให้พื้นที่นั้นมีสภาพพอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของพืชและการปฏิบัติงานด้านเกษตรกรรม รวมทั้งการบูรณะดินในที่ลุ่มซึ่งมีน้ำขังให้สามารถใช้เพาะปลูกได้ด้วย

## การระบายน้ำจากพื้นที่ชลประทาน

ในการระบายน้ำจากพื้นที่เพาะปลูกซึ่งมีการชลประทาน จะต้องพิจารณาถึงน้ำที่ต้องการระบายจากแหล่งต่าง ๆ คือ น้ำฝน น้ำชลประทาน และน้ำใต้ดิน สำหรับน้ำฝนถ้าพื้นที่เพาะปลูกค่อนข้างเรียบและมีความลาดเทบ้างมักจะไม่ค่อยมีปัญหา ข้อสำคัญก็คืออย่าให้มีสิ่งใดมากีดขวางทางระบายน้ำซึ่งมีอยู่แล้วตามธรรมชาตินั้นเสีย ส่วนน้ำชลประทานที่ก่อให้เกิดปัญหานั้น อาจอยู่ในรูปของน้ำที่เหลือจากให้แก่พืชไหลเลยท้ายแปลงออกมา หรือในรูปของน้ำใต้ดินซึ่งรั่วซึมจากคลองส่งน้ำ จากที่ไหลซึมเลยเขตราก และที่ไหลซึมมาจากพื้นที่เพาะปลูกซึ่งอยู่ในระดับที่สูงกว่า สำหรับน้ำใต้ดินที่มาจากน้ำชลประทานนั้นจะมีปริมาณไม่มากนักในปีแรก ๆ ที่มีการชลประทาน แต่จะสะสมกันมากขึ้นเมื่อมีการขยายพื้นที่เพาะปลูกและมีการใช้น้ำกันมากขึ้น การรั่วซึมจากคลองส่งน้ำนับเป็นแหล่งสำคัญที่จะเพิ่มระดับน้ำใต้ดินให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว การรั่วซึมขนาด 20 ถึง 30 เปอร์เซนต์อาจจะพบได้ในคลองดินทั่ว ๆ ไป บางแห่งอาจจะมากถึง 50 เปอร์เซนต์ถ้าดินโปร่งมาก นอกจากนั้นก็มีการรั่วซึมเลยเขตรากซึ่งมีขนาด 40 ถึง 60 เปอร์เซนต์สำหรับการให้น้ำทางผิวดิน และจากน้ำฝนที่ซึมมาเพิ่มเติมให้ในฤดูฝนอีกด้วย

ถึงแม้ว่าการมีน้ำไหลซึมเลยเขตรากจะช่วยรักษาระดับความเข้มข้นของเกลือในเขตรากมิให้สูงเกินไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินหรือน้ำชลประทานนั้นมีเกลืออยู่ด้วยเป็นปริมาณมาก หรือถึงแม้มีเกลืออยู่น้อยก็ตาม แต่ถ้าน้ำที่ไหลซึมเลยเขตรากมานั้นไม่ไหลไปสู่ระบบระบายน้ำธรรมชาติแล้ว น้ำดังกล่าวก็จะมาสะสมกันและทำให้ระดับน้ำใต้ดินสูงขึ้นจนก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้นได้ในภายหลัง

## ผลของการมีน้ำมากเกินไป

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการมีน้ำในดินมากเกินไปว่าจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและผลผลิตอย่างไรบ้าง พบว่าพืชทั่ว ๆ ไปจะถูกกระทบกระเทือนจากการขาดอากาศในดินในเขตราก โดยมีองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องคือ ชนิดและอายุของพืช ดิน ปริมาณเกลือในน้ำหรือดิน สภาพภูมิอากาศ และองค์ประกอบอื่น ๆ

อย่างไรก็ตาม พอจะสรุปได้ว่า การที่ดินมีน้ำมากเกินไปจะมีผลเสียต่อพืชและสิ่งแวดล้อมหลายประการด้วยกัน คือ

1. การมีน้ำแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากเกินไปจะทำให้ขาดการถ่ายเทอากาศในดิน กล่าวคือ นอกจากจะทำให้รากพืชต้องขาดออกซิเจนแล้ว ยังป้องกันมิให้รากระบายคาร์บอนไดออกไซด์ได้โดยสะดวกอีกด้วย ยิ่งกว่านั้น การขาดออกซิเจนจะทำให้การเน่าของสารอินทรีย์ช้าลง ทำให้พืชได้รับแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ เช่น ไนโตรเจนช้าลง และได้รับสารที่เป็นพิษซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาที่ขาดออกซิเจนแทน

2. การมีระดับน้ำใต้ดินสูงเกินไปจะทำให้รากพืชถูกจำกัดอยู่ในบริเวณแคบ ๆ ทำให้หาอาหารได้น้อย และอาจทำให้พืชขาดน้ำเมื่อระดับน้ำใต้ดินลดลง

3. ถ้าหากน้ำหรือดินมีเกลืออยู่เป็นปริมาณมาก จะเป็นเหตุให้มีเกลือขึ้นมาสะสมกันอยู่ในเขตรากหรือบนผิวดินเป็นปริมาณมากด้วย

4. ทำให้โรคพืชและวัชชพืชบางชนิดขยายตัวอย่างรวดเร็ว

5. โครงสร้างของดินอาจเสียไป

6. ดินที่เปียกมากทำให้การเก็บเกี่ยว หรือการใช้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานไม่สะดวก

7. ในเขตที่มีอากาศหนาวจัด น้ำในดินหรือที่ผิวดินจะระเหยและดึงดูดเอาความร้อนไปจากดิน ทำให้ดินมีอุณหภูมิต่ำ และเนื่องจากดินที่เปียกมากทำให้อบอุ่นได้ช้ากว่าดินแห้ง ดังนั้น การมีน้ำในดินมากเกินไปจะทำให้มีระยะเวลาทำการเพาะปลูกได้สั้นลง

8. ทำให้เป็นแหล่งเพาะและแพร่ขยายพันธุ์ยุง ซึ่งทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของเกษตรกรและสัตว์เลี้ยง

## ชนิดของทางระบายน้ำ

ทางระบายน้ำจากผิวดินและใต้ดินมีอยู่หลายแบบ แบบที่เคยใช้กันเมื่อแบ่งตามลักษณะของมันมีอยู่ 4 ชนิดคือ แบบคูระบายน้ำ (Open Ditch Drain) แบบรูตุ่น (Mole Drain) แบบท่อระบายน้ำ (Tile Drain) และแบบบ่อระบายน้ำ (Well Drain)

1. แบบคูระบายน้ำ (Open Ditch Drain) ทางระบายน้ำแบบนี้มีลักษณะเป็นคูเปิดเช่นเดียวกับคลองส่งน้ำแต่ทำหน้าที่กลับกัน โดยปกติแล้วจะใช้ระบายน้ำผิวดิน หรือเป็นที่รวบรวมน้ำจากท่อระบายน้ำไปสู่ที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ทั้งนี้เพราะถ้าใช้ท่อแล้วจะต้องการท่อขนาดใหญ่ซึ่งมีราคาแพงกว่ามาก คูระบายน้ำนี้สามารถใช้ระบายทั้งน้ำที่ผิวดินและใต้ผิวดินในขณะเดียวกัน ข้อดีของคูระบายน้ำคือค่าลงทุนต่ำ ไม่มีปัญหาเรื่องรากพืชมาอุดตันเหมือนท่อระบายน้ำ ระบายน้ำได้เร็วเพราะมีขนาดใหญ่ และสามารถใช้ระบายน้ำได้ทั้งจากผิวดินและใต้ผิวดิน

ข้อเสียของคูระบายน้ำก็คือต้องเสียพื้นที่เป็นจำนวนมาก ทำให้ไม่เหมาะกับที่ซึ่งที่ดินมีราคาสูง ต้องมีการดูแลรักษาโดยการขุดลอก กำจัดวัชชพืช และซ่อมแซมตลิ่งเป็นประจำ นอกจากนั้นยังเป็นสิ่งกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตรด้วย

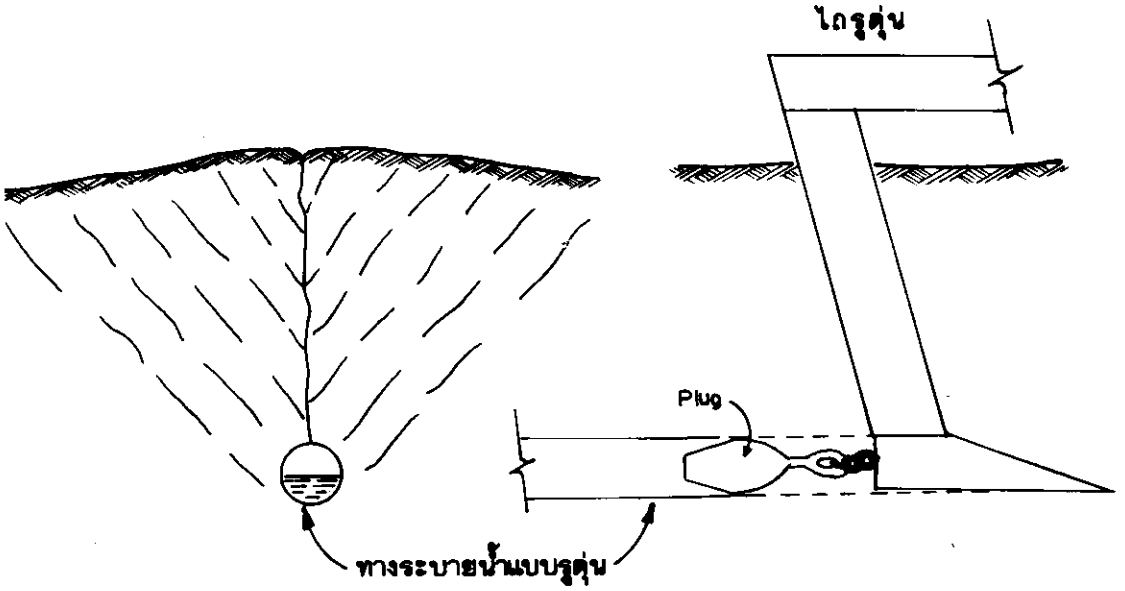
**2. แบบรูตุ่น (Mole Drain)**เป็นทางระบายน้ำที่ทำขึ้นโดยการลากท่อนโลหะที่มีลักษณะคล้ายลูกปืน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7 ถึง 15 เซนติเมตร ไปในดิน ท่อหรือโพรงที่เกิดขึ้นโดยวิธีนี้อยู่ลึกจากผิวดิน 0.50 ถึง 1.20 เมตร และอยู่ห่างกัน 1 ถึง 10 เมตร ใช้ระบายน้ำใต้ผิวดิน

ลักษณะรูปตัดและอุปกรณ์ซึ่งใช้ทำทางระบายน้ำแบบนี้แสดงไว้ในรูปที่ 11.1

การระบายน้ำโดยใช้ทางระบายน้ำรูตุ่นนี้เป็นแบบชั่วคราว เพราะส่วนใหญ่จะใช้ได้ผลดีเฉพาะในระยะสองสามปีแรกเท่านั้น อายุการใช้งานของมันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างด้วยกัน เช่นโครงสร้างและความมั่นคงแข็งแรงของดิน ความชื้นของดินขณะที่ทำทางระบายน้ำ ปริมาณและความถี่ของฝน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความลึกของมัน เป็นต้น

**3. แบบท่อระบายน้ำ (Tile Drain)** เป็นทางระบายน้ำที่ทำขึ้นโดยการฝังท่อดินเผาหรือท่อคอนกรีตซึ่งยาวท่อนละ 30 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ถึง 15 เซนติเมตรเป็นแนวไว้ใต้ดิน น้ำใต้ดินที่ต้องการระบายจะไหลเข้าไปในท่อโดยผ่านทางรอยต่อของท่อแต่ละท่อนหรือรูที่เจาะไว้เป็นระยะที่ผนังของท่อ ความลึกและระยะระหว่างแนวท่อขึ้นอยู่กับความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน (Permeability) และความลึกของระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการจะควบคุม

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาท่อปลาสติกแบบตัวหนอนซึ่งเจาะรูไว้โดยรอบมาแทนท่อคอนกรีตหรือดินเผา ท่อดังกล่าวนี้ขนส่งและติดตั้งในสนามได้สะดวกกว่าเพราะว่ามีน้ำหนักเบา สามารถทำให้ยาวมากได้ จึงเป็นที่นิยมกันมากกว่าท่อคอนกรีตหรือดินเผา




**รูปที่ 11.1 ลักษณะรูปตัดและอุปกรณ์ซึ่งใช้ทำทางระบายน้ำแบบรูตุ่น**

การระบายน้ำทางท่อระบายน้ำนี้เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากเพราะว่าไม่ต้องเสียพื้นที่ทำการเพาะปลูก ไม่กีดขวางการทำงานในไร่นา และไม่ต้องการการดูแลรักษาเป็นประจำเหมือนคูระบายน้ำ ส่วนข้อเสียก็คือ ค่าลงทุนครั้งแรกสูงมาก อาจมีการอุดตันเนื่องจากมีรากพืชบางชนิดเข้าไป มีการตกตะกอนหรือตกผลึกของสารละลายที่ถูกชะล้างออกจากดินในท่อที่อยู่ต่ำกว่าแนวระดับที่ได้ออกแบบไว้ ถ้าหากมีการอุดตันหรือชำรุด การตรวจหาจุดดังกล่าวและการซ่อมแซมทำได้ยาก นอกจากนั้น ในดินที่เหนียวมากการระบายน้ำใต้ดินโดยใช้ท่อระบายให้ผลสู้คูระบายน้ำไม่ได้

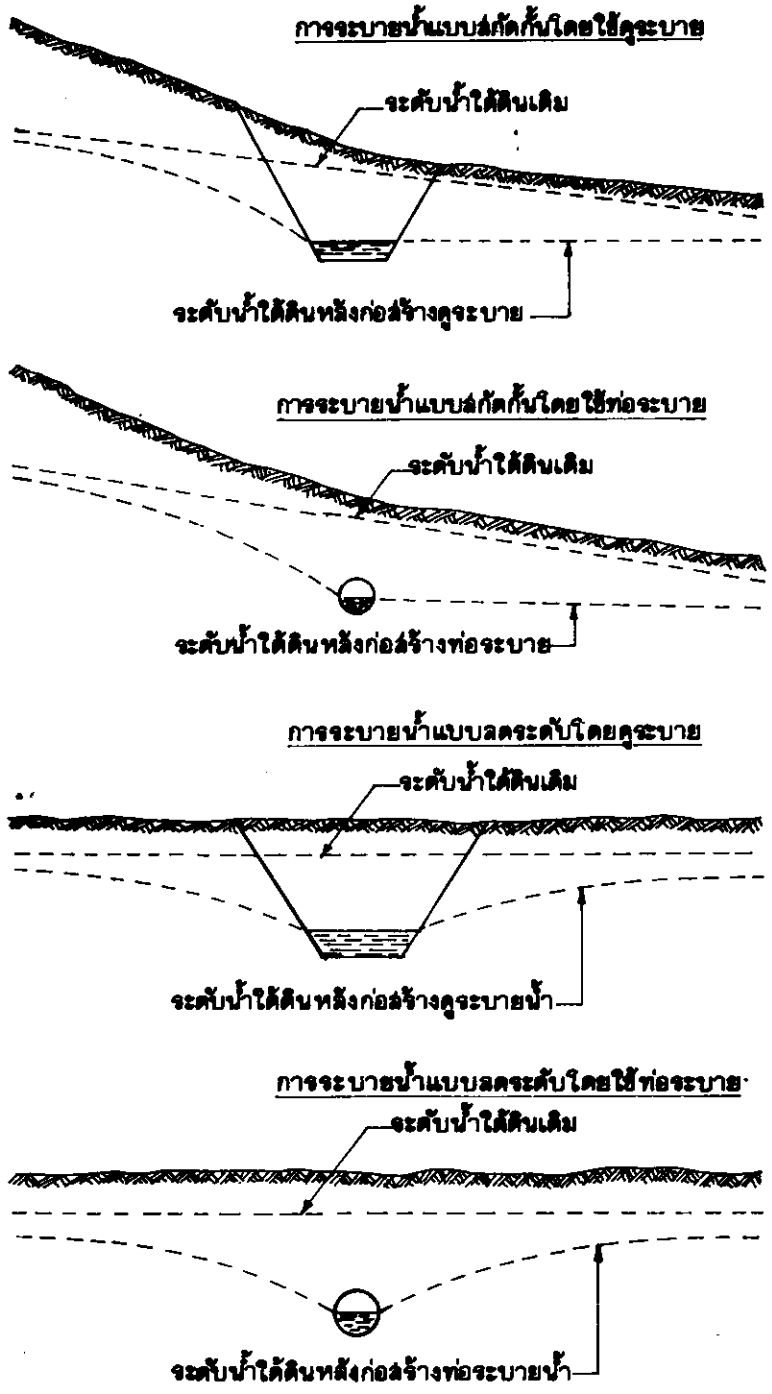
4. แบบบ่อระบายน้ำ (Well Drain) เป็นทางระบายน้ำที่ทำขึ้นโดยการขุดหรือเจาะบ่อให้น้ำที่ต้องการระบายไหลเข้ามาแล้วสูบทิ้งไป บ่อที่ใช้ระบายน้ำมีอยู่สองแบบคือ บ่อตื้น (Water Table or Gravity Well) ซึ่งเป็นบ่อที่ระดับน้ำในบ่อเท่ากับระดับน้ำใต้ดิน ส่วนมากเป็นบ่อที่ขุดลงไปไม่ลึกกว่าระดับน้ำใต้ดินมากนัก การระบายน้ำจากบ่อตื้นนี้จะเป็นการลดระดับน้ำใต้ดินโดยตรง บ่ออีกแบบหนึ่งก็คือบ่อบาดาล (Artesian Well) ซึ่งน้ำที่ไหลเข้ามาในบ่อจะมาจากชั้นกรวดหรือทรายที่อยู่ระหว่างชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก (Impervious Layer) สองชั้น โดยปกติแล้วชั้นที่มีน้ำดังกล่าวจะอยู่ลึกและมีความกดดันสูง ถ้าหากเจาะบ่อลงไปถึงชั้นน้ำนี้แล้ว ระดับน้ำในบ่อจะอยู่สูงหรือต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินก็ได้

ในพื้นที่ที่ต้องการระบายน้ำโดยใช้บ่อระบายน้ำ มักจะมีสาเหตุจากมีการรั่วซึมจากชั้นน้ำบาดาลขึ้นมาทำให้การระบายน้ำแบบอื่นใช้ไม่ได้ผล การระบายน้ำโดยการเจาะบ่อถึงชั้นน้ำบาดาลแล้วสูบออกมาใช้หรือทิ้งไปนี้จะไม่เป็นการลดระดับน้ำใต้ดินโดยตรง แต่จะเป็นการสกัดกั้นมิให้น้ำบาดาลไหลขึ้นมาเพิ่มระดับน้ำใต้ดินมากกว่า

## วิธีระบายน้ำ

การระบายน้ำอาจแบ่งออกอย่างกว้าง ๆ ได้เป็นสองวิธีด้วยกัน คือการระบายน้ำโดยการสกัดกั้นไม่ให้น้ำจากที่อื่นไหลเข้ามาในพื้นที่ซึ่งเรียกว่าการระบายน้ำแบบสกัดกั้น (Interception Drain) และการระบายน้ำโดยการทำให้น้ำที่มีอยู่แล้วในพื้นที่ลดน้อยลง การระบายน้ำแบบหลังนี้เรียกว่าการระบายน้ำแบบลดระดับ (Relief Drain) การที่จะเลือกใช้แบบใดแบบหนึ่งหรือทั้งสองแบบร่วมกันย่อมขึ้นอยู่กับว่า น้ำที่ต้องการระบายนั้นมาจากไหน มีทิศทางการไหลไปทางใด ทั้งนี้จะต้องนำเอาลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ตลอดจนข้อมูลทางธรณีวิทยาเข้ามาพิจารณาด้วย การเปรียบเทียบลักษณะการใช้งานของทั้งสองวิธีนี้แสดงไว้ในรูปที่ 11.2

1. การระบายน้ำแบบสกัดกั้น (Interception Drain) การระบายน้ำโดยการสกัดกั้นมิให้น้ำจากแหล่งอื่นไหลเข้ามาในพื้นที่นี้ใช้ได้ทั้งน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน เช่น น้ำฝนที่ไหลมาจากพื้นที่ที่สูงกว่า น้ำที่รั่วซึมมาจากคลองส่งน้ำ หรือน้ำที่รั่วซึมขึ้นมาจากชั้นน้ำบาดาลเป็นต้น ทางระบายน้ำอาจจะใช้ได้ทั้งคูระบายน้ำหรือท่อระบายน้ำ ยกเว้นกรณีที่น้ำที่ต้องการระบายนั้นรั่วซึมขึ้นมาจากชั้นน้ำบาดาล ซึ่งควรจะใช้บ่อระบายน้ำที่เจาะถึงชั้นน้ำดังกล่าวแทน




รูปที่ 11.2 ลักษณะของการระบายน้ำแบบสกัดกั้น (INTERCEPTION DRAIN) และการระบายน้ำแบบลดระดับ (RELIEF DRAIN) เมื่อใช้คูระบายและท่อระบาย

สำหรับกรณีที่น้ำนั้นไหลมาจากที่สูง หรือเป็นน้ำใต้ดินที่ไหลมาในแนวราบ การวางทางระบายน้ำลักกันขวางทิศทางการไหลตามแนวขอบของพื้นที่จะได้ผลดีและประหยัดที่สุด เพราะจะต้องการคูหรือท่อระบายน้ำสั้นแต่คลุมพื้นที่ได้กว้างขวาง อย่างไรก็ตาม ถ้าหากความลาดเทของผิวน้ำใต้ดินชันมาก อาจมีน้ำบางส่วนซึมลอดใต้ทางระบายน้ำไปได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นท่อระบายน้ำซึ่งไม่ได้วางอยู่บนชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ในกรณีที่ชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ที่ระดับลึกมาก การใช้คูระบายน้ำจะให้ผลดีกว่าท่อระบายน้ำ

2. การระบายน้ำแบบลดระดับ (Relief Drain) ในพื้นที่เพาะปลูกที่เป็นทุ่งราบหรือค่อนข้างราบ น้ำที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำมักจะมาจากน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นที่ และน้ำใต้ดินซึ่งมีระดับค่อนข้างสูง เพราะว่าพื้นที่ราบ การไหลของน้ำใต้ดินไปสู่ทางระบายน้ำธรรมชาติจึงช้ามาก และเมื่อมีการชลประทาน น้ำที่รั่วซึมจากคลองส่งน้ำรวมกับที่ซึมเลยเขตรากก็จะช่วยเพิ่มระดับน้ำใต้ดินให้สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว การระบายน้ำในพื้นที่ดังกล่าวจึงอยู่ในลักษณะเป็นการระบายน้ำใต้ดินซึ่งมีระดับสูงอยู่แล้วให้ลดลง หรือควบคุมให้อยู่ในขนาดที่พอเหมาะกับความต้องการของพืช ถ้าหากน้ำที่ต้องการระบายส่วนใหญ่เป็นน้ำใต้ดินก็มักจะใช้ท่อระบายน้ำ แต่ถ้าต้องระบายทั้งน้ำฝนและน้ำใต้ดิน คูระบายน้ำจะให้ผลดีกว่า

## การระบายน้ำผิวดิน
## (Surface Drainage)

การระบายน้ำผิวดิน (Surface Drainage) เป็นการกำจัดน้ำที่ขังอยู่บนผิวดิน โดยการปรับปรุงผิวดินหรือทางระบายน้ำที่มีอยู่แล้วตามธรรมชาติ เพื่อให้น้ำที่ขังอยู่นั้นไหลไปสู่ที่ทิ้งน้ำโดยเร็วที่สุดโดยไม่เกิดการกัดเซาะผิวดินหรือทางระบายน้ำนั้นด้วย

ในบางครั้งที่ระบบระบายน้ำใต้ดินระบายน้ำได้ช้า เราอาจจะใช้ระบบระบายน้ำผิวดินช่วยระบายน้ำผิวดินเสียก่อน เพื่อให้ระบบระบายน้ำใต้ดินทำการลดระดับน้ำใต้ดินได้รวดเร็วขึ้น

## ลักษณะของปัญหาการระบายน้ำผิวดิน

สาเหตุที่ทำให้ต้องมีการระบายน้ำผิวดินนั้น ส่วนใหญ่เนื่องมาจากพื้นที่นั้นราบหรือค่อนข้างราบจึงทำให้การระบายน้ำตามธรรมชาติไม่ได้ผล ลักษณะที่ก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำผิวดินที่พบโดยทั่ว ๆ ไปมีดังนี้ คือ

1. พื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ ทำให้น้ำไหลลงสู่ทางระบายน้ำที่มีอยู่ตามธรรมชาติไม่สะดวก โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินนั้นน้ำซึมผ่านได้ยากด้วยแล้วก็จะยิ่งทำให้เกิดปัญหามากขึ้น

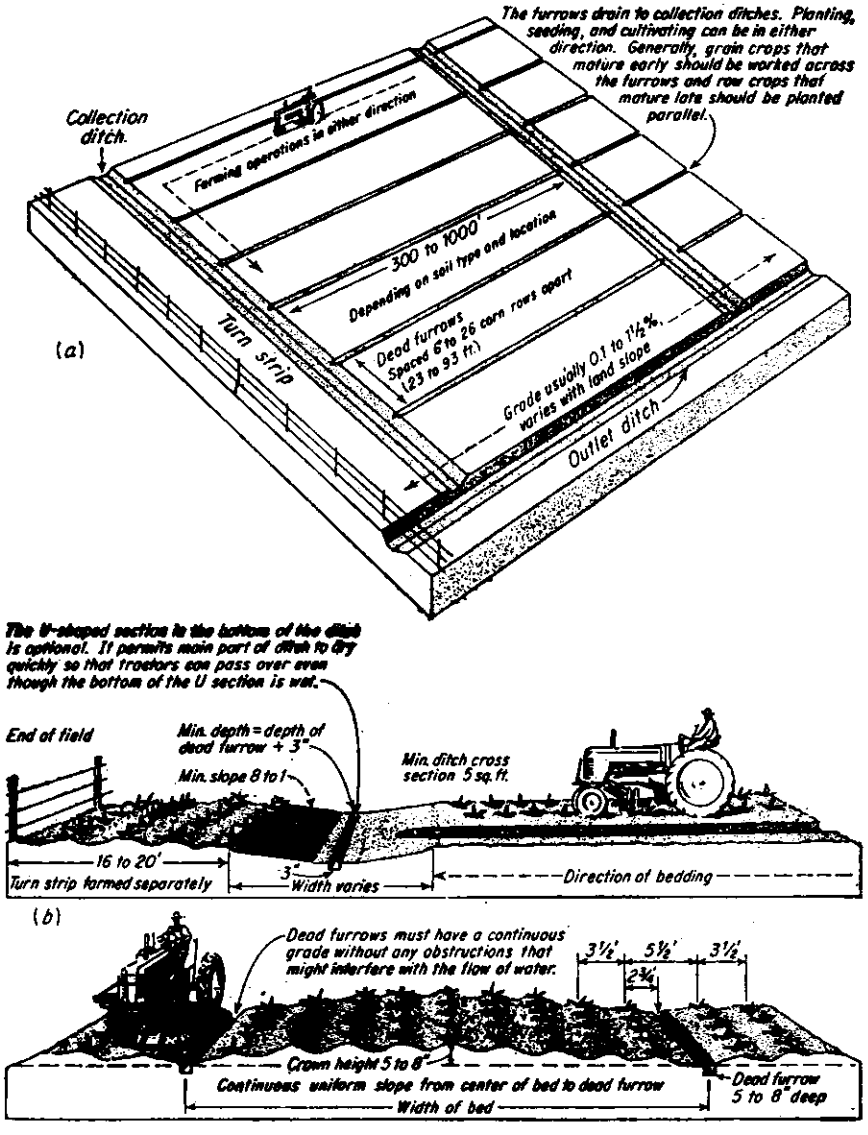
2. ทางระบายน้ำมีขนาดเล็ก เมื่อมีฝนตกหนักก็ระบายออกไม่ทัน จึงทำให้มีน้ำขังบนผิวดินนานเกินไปจนเกิดผลเสียหาย

3. สภาพของที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ไม่เหมาะสม ทำให้ระบายน้ำทิ้งได้ช้า เช่น น้ำในทางระบายน้ำมีระดับเดียวกันหรือต่ำกว่าน้ำในแม่น้ำ ซึ่ง ๆลๆ ซึ่งเป็นที่ทิ้งน้ำ

น้ำที่เป็นสาเหตุให้ต้องมีการระบายน้ำผิวดินนั้น ส่วนใหญ่เป็นฝนที่ตกลงบนพื้นที่ รองลงมาก็เป็นน้ำชลประทานที่ให้แก่พืชมากเกินไป และน้ำที่ไหลซึมมาจากที่สูงกว่าหรือจากคลองส่งน้ำ

## ระบบระบายน้ำผิวดิน

โดยหลักการแล้ว ระบบระบายน้ำผิวดินที่ดีที่สุดทำได้โดยการปรับพื้นที่ให้เรียบและมีความลาดเทไปหาทางระบายน้ำที่ได้จัดทำไว้ แต่เนื่องจากว่าส่วนใหญ่ค่าลงทุนในการปรับพื้นที่สูงมากจนกระทั่งไม่สามารถใช้วิธีนี้กับพื้นที่ทุกแปลงได้ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกวิธีที่ง่ายและลงทุนน้อยกว่า ระบบระบายน้ำผิวดินที่ใช้กันมีอยู่ 4 แบบ คือ




**รูปที่ 11.3 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า**

1. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า (Bedding หรือ Crowning System)

2. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบไร้รูปแบบ (Random Ditch System)

3. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบขวางความลาดเท (Cross - Slope System)

4. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบคูขนาน (Parallel Ditch System)

การที่จะเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้น จะต้องพิจารณาจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ คุณสมบัติของดิน พืชที่ปลูก ที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ตลอดจนความเหมาะสมต่อการใช้เครื่องจักรกลเกษตรทำงานในพื้นที่ดังกล่าวด้วย

1. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบหลังเต่า (รูปที่ 11.3) ระบบระบายน้ำแบบนี้ทำโดยการแบ่งพื้นที่ออกเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแปลงย่อย ๆ ขนาดกว้าง 8 ถึง 30 เมตรยาว 100 ถึง 300 เมตร หน้าตัดตามความกว้างของแต่ละแปลงจะพูนเป็นรูปหลังเต่าเทไปหาร่องระบายน้ำเล็ก ๆ สองข้าง และมีคูระบายน้ำที่หัวและท้ายแปลงรวบรวมน้ำจากร่องระบายเหล่านี้ไปสู่คูทิ้งน้ำอีกทีหนึ่ง การไถพรวนดินทำในแนวขนานกับด้านยาวของแปลง

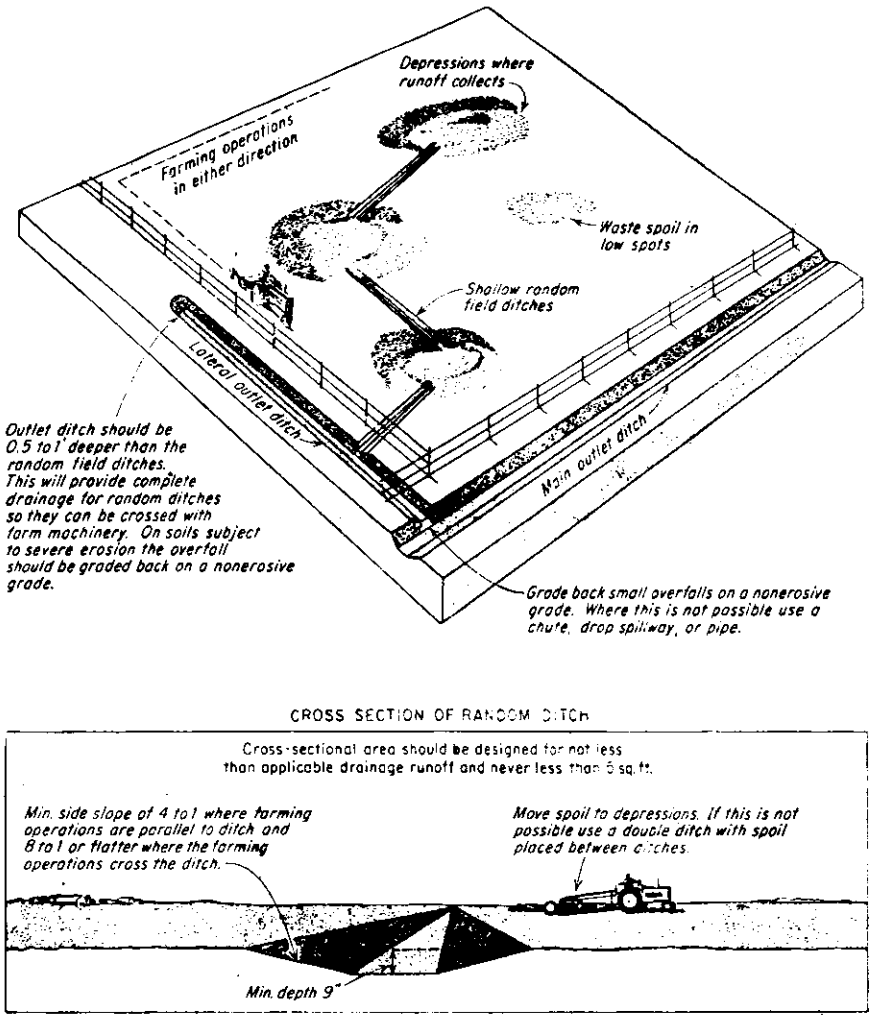
ระบบระบายน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เรียบและมีความลาดเทไม่เกิน 1.5 เปอร์เซนต์ ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดินต่ำ พืชที่ปลูกให้ผลตอบแทนไม่คุ้มกับการระบายน้ำโดยใช้ท่อ และไม่มีที่ทิ้งน้ำที่เหมาะสม

2. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบไร้รูปแบบ (รูปที่ 11.4) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้ระบายน้ำจากแอ่งน้ำหรือที่ลุ่มซึ่งกระจัดกระจายอยู่ในพื้นที่ โดยการขุดคูเชื่อมต่อระหว่างแอ่งน้ำจากแอ่งหนึ่งไปหาอีกแอ่งหนึ่งในแนวที่จะมีปริมาตรดินขุดและมีการกีดขวางการทำงานน้อยที่สุด แล้วขุดคูจากแอ่งที่อยู่ต่ำสุดไปสู่คูระบายน้ำออกจากพื้นที่

เพื่อให้ระบบระบายน้ำแบบนี้ได้ผลเต็มที่ ดินที่ขุดขึ้นมาควรจะนำไปใช้ถมที่ลุ่มหรือแอ่งน้ำที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก แล้วปรับพื้นที่ให้เรียบและมีความลาดเทไปหาแอ่งน้ำหรือคูระบายที่ขุดขึ้นนั้น ในดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากอาจจะต้องใช้ระบบระบายน้ำแบบนี้ร่วมกับแบบหลังเต่า (Bedding System)

ถ้าหากคูที่ขุดขึ้นกีดขวางการทำงานของเครื่องจักรกลเกษตร จะต้องออกแบบให้มีลาดด้านข้าง (Side Slope) เท่ากับ 1:8 หรือราบกว่าถ้าคูลึกไม่เกิน 30 ซม. และควรจะใช้ลาดด้านข้าง 1:10 หรือราบกว่าสำหรับคูที่ลึกเกิน 50 ซม. แต่ถ้าหากแนวการไถพรวนของดินขนานกับคู ก็อาจจะใช้ลาดด้านข้างได้มากถึง 1:4 ความเร็วของน้ำในคูไม่ควรจะมากจนเกิดการกัดเซาะขึ้นได้

3. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบขวางความลาดเท (รูปที่ 11.5) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้สำหรับระบายน้ำจากพื้นที่ที่มีความลาดเทค่อนข้างชันแต่ไม่เกิน 4 เปอร์เซนต์ โดยการขุดคูตื้น ๆ ในแนวเกือบจะขนานกับแนวเส้นขอบเนินของพื้นที่เป็นระยะ ๆ คูเหล่านี้จะทำหน้าที่รวบรวมน้ำจากพื้นที่ระหว่างคูทางด้านที่สูงกว่าให้ไหลไปสู่คูทิ้งน้ำ ดินที่ขุดขึ้นควรจะนำไปถมแอ่งหรือที่ลุ่มระหว่างคูให้เรียบ

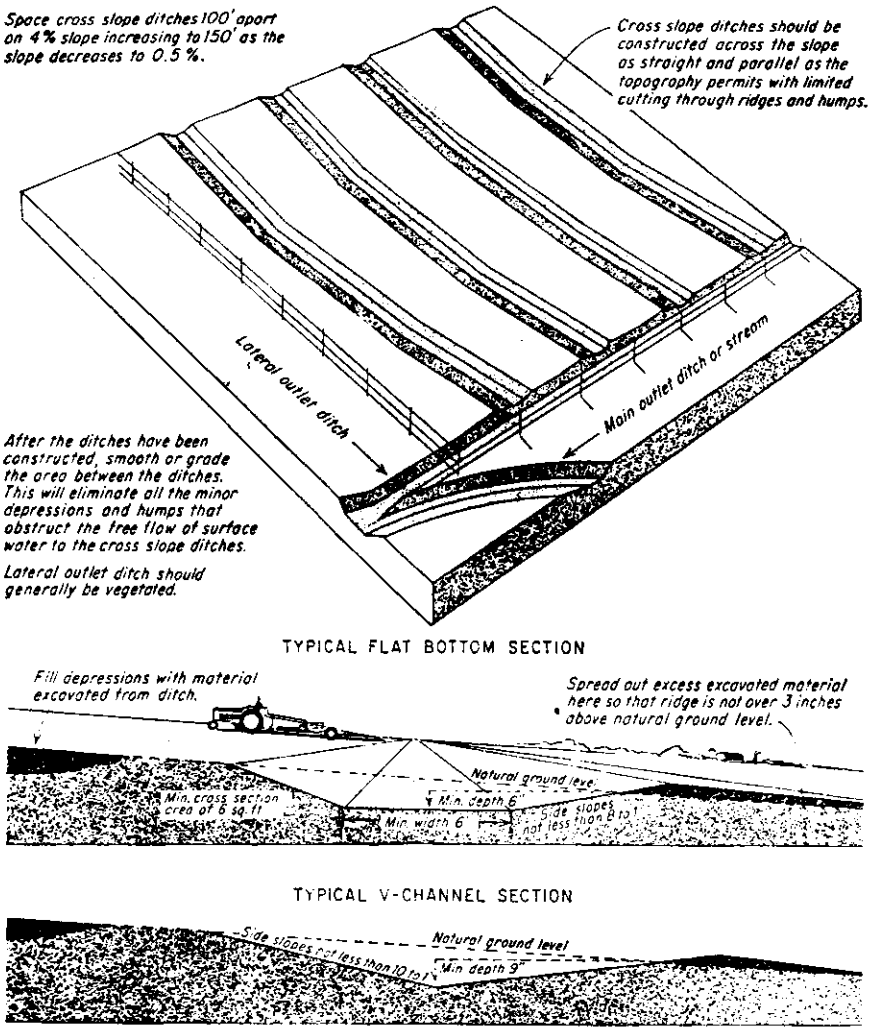



**รูปที่ II.4 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบไร้รูปแบบ**

ความลาดเทของคูไม่ควรจะชันกว่า 1 เปอร์เซนต์ หรือขนาดที่จะทำให้เกิดการกัดเซาะในคูขึ้น ระยะระหว่างคูอาจจะเลือกใช้จาก 30 เมตร เมื่อพื้นที่มีความลาดเท 4 เปอร์เซนต์จนถึง 50 เมตรเมื่อความลาดเทลดลงเหลือ 0.5 เปอร์เซนต์ แนวของคูควรจะตรงและขนานกันให้มากที่สุดเพราะจะช่วยให้การไถเตรียมดินซึ่งทำในแนวขนานกับคูทำได้สะดวกขึ้น

**4. ระบบระบายน้ำผิวดินแบบคูขนาน** (รูปที่ 11.6) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้สำหรับที่ราบและดินมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำ ซึ่งทำให้เกิดที่ลุ่มมีน้ำขังกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป

การจัดระบบระบายน้ำแบบนี้ก็คล้ายกับแบบหลังเต่า (Bedding System) คือแบ่งพื้นที่ออกเป็นแปลงสี่เหลี่ยมผืนผ้าย่อย ๆ แต่ไม่จำเป็นว่าระยะระหว่างคูระบายน้ำหรือความกว้างของแปลงต้องเท่ากัน ทั้งนี้เพราะ

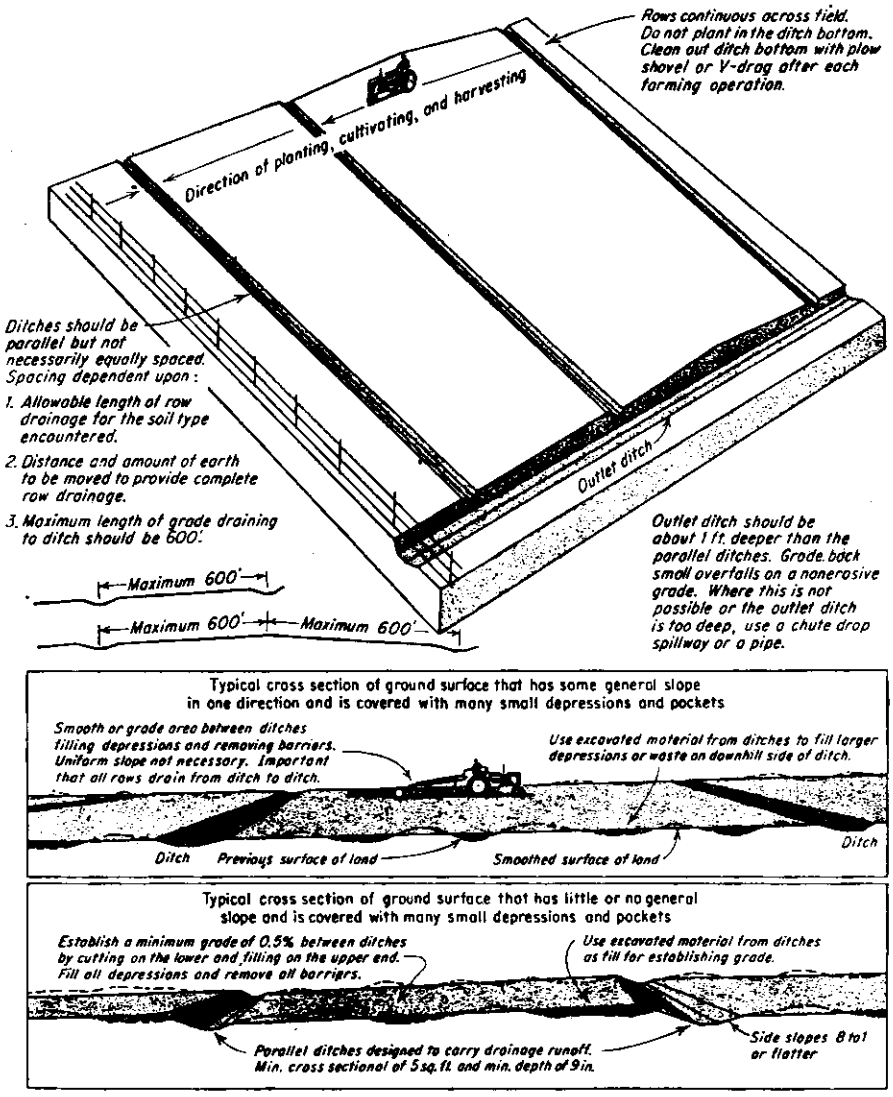



**รูปที่ 11.5 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบขวางความลาดเท**

น้ำจากแต่ละจุดในแปลงย่อยอาจจะไหลไปสู่คูระบายน้ำด้านใดก็ได้ ซึ่งแล้วแต่ว่าจุดนั้นมีความลาดเทไปทางใด ข้อสำคัญก็คือคูระบายจะต้องโตพอที่จะระบายน้ำออกไปได้โดยไม่ล้นขึ้นมา หรือมีการกัดเซาะมากเกินไป

ขนาดของคูระบายน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของพื้นที่ที่จะมีน้ำไหลไปสู่คูระบายน้ำนั้น อัตราการตกของฝนหรือน้ำที่ต้องการระบายออกไป ความลาดเทของพื้นที่ คุณสมบัติของดิน ฯลฯ คูระบายน้ำไม่ควรจะตื้นกว่า 20 ซม. และมีพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 0.5 ตารางเมตร ลาดด้านข้างควรจะราบกว่า 1:8 ในแปลงที่มีความลาดเทไปหาคูระบายน้ำทางด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว ระยะระหว่างคูไม่ควรเกิน 200 เมตร หรือถ้ามีความลาดเทสองด้านระยะดังกล่าวไม่ควรเกิน 400 เมตร ในดินที่ถูกกัดเซาะได้ง่ายและมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ยาก ระยะระหว่างคูไม่ควรเกิน 100 เมตร

ระบบระบายน้ำแบบคูขนานบางแห่งใช้ระบายทั้งน้ำผิวดินและใต้ดิน ในกรณีนี้คูจะต้องลึกและมีลาดด้านข้างชันขึ้น นอกจากนั้นระยะระหว่างคูก็จะต้องลดลงเหลือ 30 ถึง 100 เมตร




**รูปที่ II.6 ระบบระบายน้ำผิวดินแบบคูขนาน**

# การระบายน้ำใต้ดิน
# (Subsurface Drainage)

การระบายน้ำใต้ดิน (Subsurface Drainage) เป็นการกำจัดน้ำเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำอิสระ (Free Water) ออกจากดินโดยการสร้างความแตกต่างของระดับน้ำในดินขึ้น เพื่อให้น้ำดังกล่าวไหลไปสู่ท่อหรือคูระบายน้ำ จนกระทั่งผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำอยู่ต่ำจากผิวดินมากพอกับความต้องการของพืช

โดยแท้จริงแล้วผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำกับระดับน้ำใต้ดินไม่จำเป็นต้องอยู่ที่ระดับเดียวกัน สมมุติว่าเราใช้สว่านเจาะดินลงไปให้ลึกจากผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำมากพอ ระดับน้ำในบ่อที่ใช้สว่านเจาะเมื่อมันถึงจุดสมดุลย์หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงระดับแล้วถือว่าเป็นระดับน้ำใต้ดิน (Water Table) แต่ผิวบนของชั้นดินที่อิ่มน้ำรอบ ๆ บ่อจะอยู่สูงกว่าระดับน้ำในบ่อ ทั้งนี้เพราะช่องว่างระหว่างเมล็ดดินเหนือระดับน้ำใต้ดินจะทำหน้าที่คล้ายท่อเล็ก ๆ (Capillary Tube) และด้วยแรงดึงผิว (Surface Tension) ระหว่างน้ำกับผนังของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน น้ำจะถูกดึงขึ้นไปให้สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินและทำให้เกิดชั้นดินที่อิ่มน้ำเหนือระดับน้ำใต้ดินขึ้น ชั้นดินที่อิ่มน้ำในลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า Capillary Fringe ความสูงของ Capillary Fringe จะเป็นสัดส่วนผกผันกับรัศมีของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน ดังนั้นในดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวจึงมีชั้นดินที่อิ่มน้ำเหนือระดับน้ำใต้ดินค่อนข้างสูง การระบายน้ำในดินที่มีเนื้อละเอียดจึงต้องคำนึงถึงชั้นดินที่อิ่มน้ำดังกล่าวนี้ด้วย

## ลักษณะของปัญหาการระบายน้ำใต้ดิน

การที่ต้องมีการระบายน้ำใต้ดินนั้นเนื่องมาจากสาเหตุหลายอย่างด้วยกัน เช่น พื้นที่ราบมักจะมีการระบายน้ำไม่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าดินชั้นล่างน้ำซึมผ่านได้ยาก อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่บางแห่งที่ต้องการการระบายน้ำไม่มีสาเหตุที่เห็นได้ชัดว่า ตรงจุดที่มีการไหลซึมของน้ำมาจากที่อื่น หรือมีระดับน้ำใต้ดินสูงเกินไปนั้นเนื่องมาจากลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เลย การที่พื้นที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงอาจเป็นได้ทั้งเพราะว่าดินยอมให้น้ำไหลผ่านได้ยากหรือง่าย ไม่ว่าพื้นที่นั้นจะราบหรือมีความลาดเท และไม่ว่าจะอยู่ในเขตชุ่มชื้นหรือแห้งแล้ง

ด้วยเหตุผลดังกล่าวแล้ว จึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะแบ่งลักษณะของปัญหาการระบายน้ำใต้ดินออกตามแหล่งที่มาของน้ำ ลักษณะการไหลเข้ามาและผ่านพื้นที่ออกไป การจำแนกปัญหาตามวิธีดังกล่าวนี้จะช่วยให้สามารถตัดสินใจได้ง่ายขึ้นว่าควรจะใช้วิธีระบายน้ำแบบใด ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างของปัญหาการระบายน้ำใต้ดินที่สำคัญ ๆ คือ

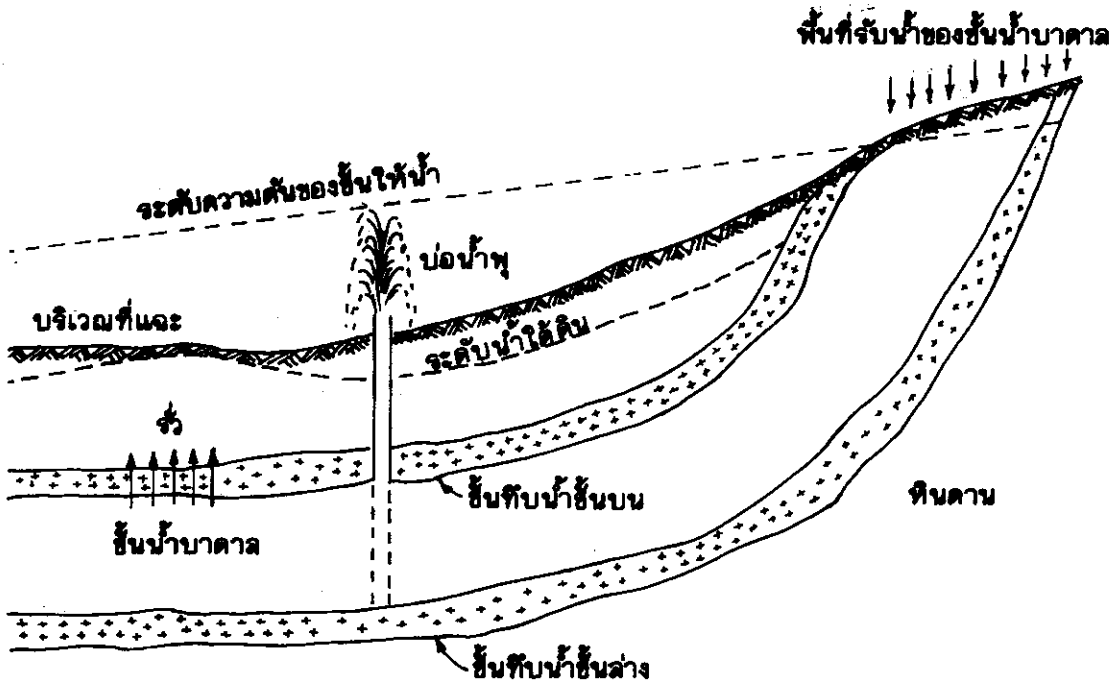
1. น้ำใต้ดินของที่ราบในหุบเขา (Basin - type free - water table) พื้นที่ในหุบเขาหรือบนที่ราบที่กว้างมาก ๆ จะมีน้ำใต้ดินขังอยู่ตั้งแต่ชั้นดินดานหรือดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากขึ้นมา โดยปกติแล้วความลาดเทของระดับน้ำใต้ดินจะมีทิศทางตามความลาดของผิวดินและค่อนข้างราบ และจะมีการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ไปสู่ลำธารหรือทางน้ำที่ไหลออกไปจากหุบเขา น้ำดังกล่าวนี้ส่วนใหญ่มาจากฝนที่ตกในพื้นที่และจากน้ำชลประทานที่ให้แก่พืชมากเกินไป ระดับน้ำใต้ดินมักจะสูงขึ้นในฤดูฝนและลดลงในฤดูร้อน ถ้าในน้ำหรืออินมีเกลืออยู่เป็นปริมาณมาก มันอาจจะขึ้นมาสะสมบนผิวดินโดยการซึมขึ้นมากับน้ำที่ขึ้นมาระเหยบนผิวดินได้

การระบายน้ำออกจากพื้นที่ที่มีลักษณะดังกล่าวนี้ควรจะใช้วิธีระบายน้ำแบบลดระดับ (Relief Drain) เพราะการไหลของน้ำใต้ดินช้ามาก สำหรับบริเวณเชิงเขาซึ่งระดับน้ำใต้ดินมีความลาดเทมากและไหลค่อนข้างเร็ว การระบายเพื่อลดระดับมักจะไม่ค่อยได้ผล จึงควรใช้วิธีระบายโดยการสกัดกั้น (Interception Drain) แทน

ถ้าหากดินชั้นล่างโปร่งมากและน้ำใต้ดินมีคุณภาพดี การลดระดับน้ำใต้ดินโดยใช้บ่อตื้น (Gravity Well) อาจจะเหมาะกว่าแบบอื่น เพราะจะได้ประโยชน์ทั้งลดระดับน้ำใต้ดินและได้น้ำมาใช้ทำการชลประทานด้วย

**2. น้ำใต้ดินที่รั่วมาจากชั้นน้ำบาดาล** (Water table over an artesian aquifer)ในพื้นที่บางแห่งที่มีระดับน้ำใต้ดินสูงนั้น อาจจะเนื่องมาจากการไหลซึมของน้ำจากชั้นน้ำบาดาล (Artesian or Confined Aquifer) ชั้นน้ำบาดาลนี้ส่วนใหญ่จะอยู่ลึกและน้ำมีความกดดันสูงมาก ถ้าเจาะบ่อลงไปถึงชั้นน้ำบาดาลแล้วระดับน้ำในบ่ออาจจะขึ้นมาอยู่สูงกว่าหรือต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินก็ได้ พื้นที่ที่เกิดปัญหาการระบายน้ำแบบนี้ระดับน้ำในบ่อจากชั้นน้ำบาดาลอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินมาก และชั้นดินดานส่วนบนของชั้นน้ำบาดาลมีรอยร้าวหรือรั่ว น้ำจากชั้นน้ำบาดาลก็จะไหลซึมขึ้นมา และถ้าหากน้ำมีความกดดันมากก็อาจจะไหลซึมขึ้นมาถึงผิวดินได้ ลักษณะของปัญหาเช่นที่ว่านี้แสดงไว้ในรูปที่ 11.7

การระบายน้ำใต้ดินที่เกิดจากสาเหตุดังกล่าวทำได้ยากกว่ากรณีแรก ทั้งนี้เนื่องจากว่าจะมีน้ำไหลมาเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลาและไม่สามารถควบคุมปริมาณได้ด้วย การที่จะลดระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่เช่นนี้จะต้องวางท่อ

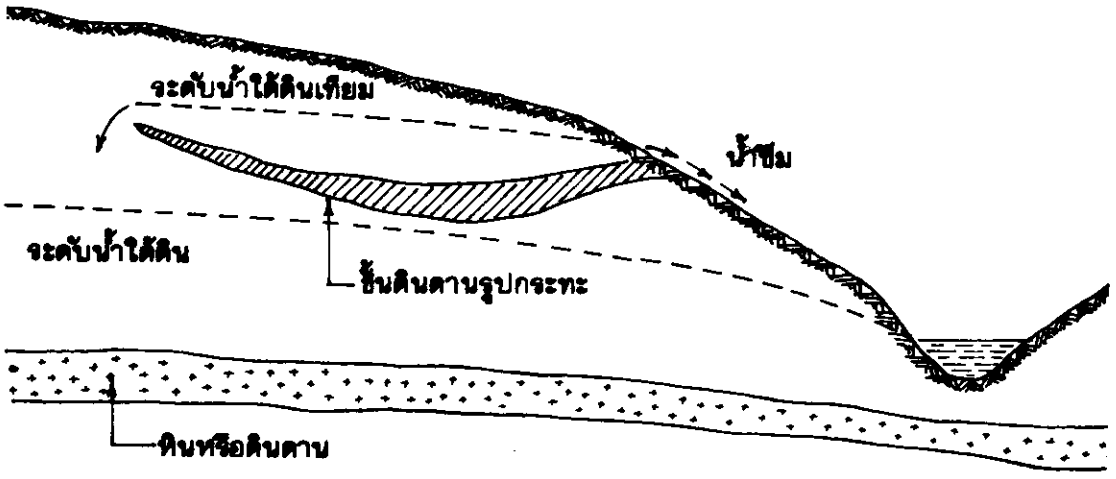



**รูปที่ 11.7 ลักษณะการรั่วซึมของน้ำจากชั้นน้ำบาดาล**

ระบายน้ำให้ลึกและถี่มาก ถ้าหากน้ำมีความกดดันมาก ก็จะต้องเจาะบ่อสูบน้ำจากชั้นน้ำบาดาลเพื่อช่วยลดความกดดันให้น้อยลงด้วย การระบายน้ำจากพื้นที่เช่นนี้ส่วนใหญ่จะต้องลงทุนมากจนไม่คุ้มกับประโยชน์ที่จะได้รับ

ถ้าน้ำที่ซึมขึ้นมานั้นไม่มากนักและเป็นบริเวณเล็ก ๆ การระบายน้ำก็อาจจะทำโดยการติดตั้งท่อระบายน้ำให้ลึกและถี่ในบริเวณดังกล่าว และอาจจะต้องใช้ระบบสกัดกั้น (Interception Drain) วางรอบ ๆ เพื่อช่วยระบายน้ำที่เหลือจากท่อระบายเพื่อลดระดับ (Relief Drain) ไม่ให้ไหลซึมออกทางข้างด้วย

3. ระดับน้ำใต้ดินเทียม (Perched - water table) ในดินที่มีการเรียงตัวเป็นชั้น ๆ อาจจะมีชั้นดินซึ่งมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่ำแผ่อยู่ในเขตรากและอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ชั้นดินดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดระดับน้ำใต้ดินอีกระดับหนึ่งซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินที่แท้จริง ระดับน้ำใต้ดินดังกล่าวนี้เรียกว่าระดับน้ำใต้ดินเทียม (Perched - water table) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11.8 การระบายน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะเช่นนี้มักจะใช้วิธีระบายเพื่อลดระดับ (Relief drain) แต่ถ้าน้ำที่ก่อให้เกิดปัญหานั้นไหลมาจากที่อื่นก็อาจจะใช้ระบบระบายแบบสกัดกั้น (Interception drain) ประกอบด้วย

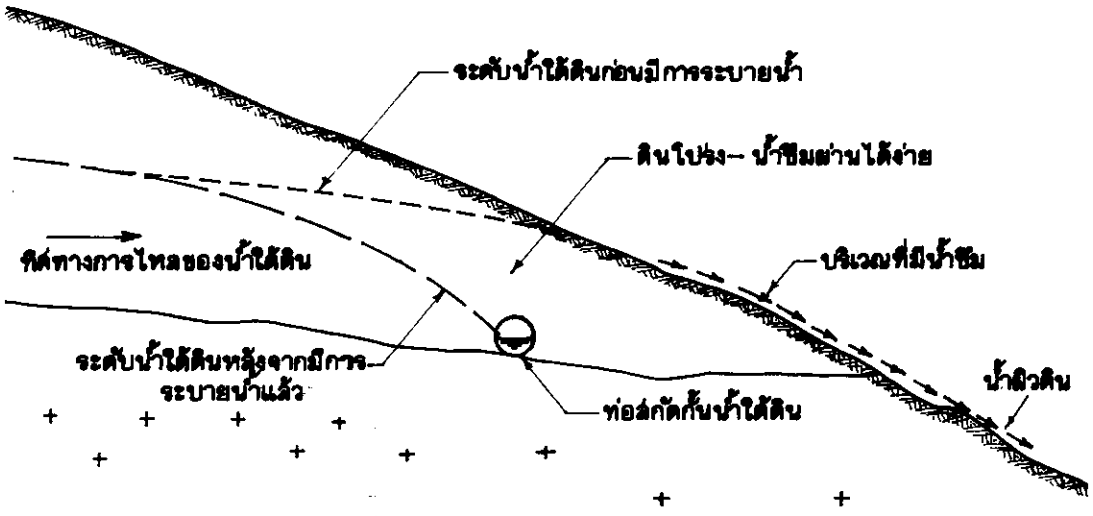



**รูปที่ 11.8 ลักษณะของระดับน้ำใต้ดินเทียม**
**( PERCHED WATER TABLE )**

โดยหลักการแล้ว น้ำในชั้นดินตอนบนนี้อาจจะระบายโดยการเจาะชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากให้น้ำไหลลงสู่ระดับน้ำใต้ดินที่แท้จริง หรือป้องกันมิให้เกิดขึ้นโดยการป้องกันการรั่วซึมจากคลองส่งน้ำ ปรับปรุงการชลประทานให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือจัดให้มีการระบายน้ำผิวดินให้เพียงพอ เป็นต้น

4. ปัญหาการไหลของน้ำใต้ดินในทางราบ (Lateral ground - water flow problems) การระบายน้ำที่จัดให้อยู่ในหัวข้อนี้ก็คือปัญหาที่เกิดจากการไหลของน้ำใต้ดินในทางราบในเขตรากหรือเข้าไปสู่เขตรากพืช ลักษณะการไหลดังกล่าวนี้เป็นผลเนื่องมาจากการเรียงตัวของชั้นดิน

ในดินที่มีการเรียงตัวเป็นชั้น ๆ บางครั้งชั้นดินที่อยู่ติดกันมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ต่างกันเป็นร้อยหรือพันเท่า ดังนั้นการไหลของน้ำจึงถูกจำกัดอยู่แต่ในชั้นที่มีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ง่ายแล้วก่อให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำขึ้น ตัวอย่างเช่นในบริเวณเชิงเขา เราอาจจะเห็นน้ำซึมออกมาตรงบริเวณชั้นดินที่อยู่เหนือชั้นหินมาโผล่บนผิวดินดังแสดงไว้ในรูปที่ 11.9 การแก้ปัญหาเช่นนี้ขึ้นอยู่กับความลึก ทิศทาง และความลาดเทของชั้นหินหรือดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ตามปกติแล้วจะใช้คูหรือท่อระบายสกัดกั้นมิให้น้ำไหลมาถึงเขตราก




**รูปที่ 11.9 ลักษณะของปัญหาการไหลของน้ำใต้ดินในทางราบ**
**(LATERAL GROUND – WATER FLOW PROBLEM)**

การรั่วซึมจากคลองชลประทานก็อาจก่อให้เกิดปัญหาเช่นเดียวกัน การแก้ปัญหานี้อาจจะทำได้โดยการติดตั้งระบบระบายน้ำแบบสกัดกั้นที่เชิงของลาดคันดิน ซึ่งจะช่วยสกัดกั้นไม่ให้น้ำไหลซึมต่อไปได้ อย่างไรก็ตามถ้าหากระดับน้ำในคลองสูงกว่าระดับดินมากและทางระบายน้ำอยู่ใกล้กับคลองส่งน้ำก็อาจจะทำให้เกิดการกัดเซาะอย่างรุนแรงจนทำให้คันคลองพังได้

## ระบบระบายน้ำใต้ดิน

ระบบระบายน้ำใต้ดินหมายถึงทางระบายน้ำต่าง ๆ ที่จัดวางให้ทำหน้าที่ระบายน้ำใต้ดินออกไปสู่ที่ทิ้งน้ำ เนื่องจากว่าทางระบายน้ำที่นิยมใช้ระบายน้ำใต้ดินส่วนใหญ่เป็นแบบท่อ ระบบระบายน้ำใต้ดินที่พูดกันทั่ว ๆ ไปจึงหมายถึงการจัดวางท่อระบายน้ำในลักษณะต่าง ๆ ให้เหมาะกับภูมิประเทศและแหล่งน้ำที่ต้องการระบาย ระบบระบายน้ำใต้ดินที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปมีอยู่ 5 แบบ คือ

1. ระบบท่อขนาน (Gridiron or Parallel System)
2. ระบบก้างปลา (Herringbone System)

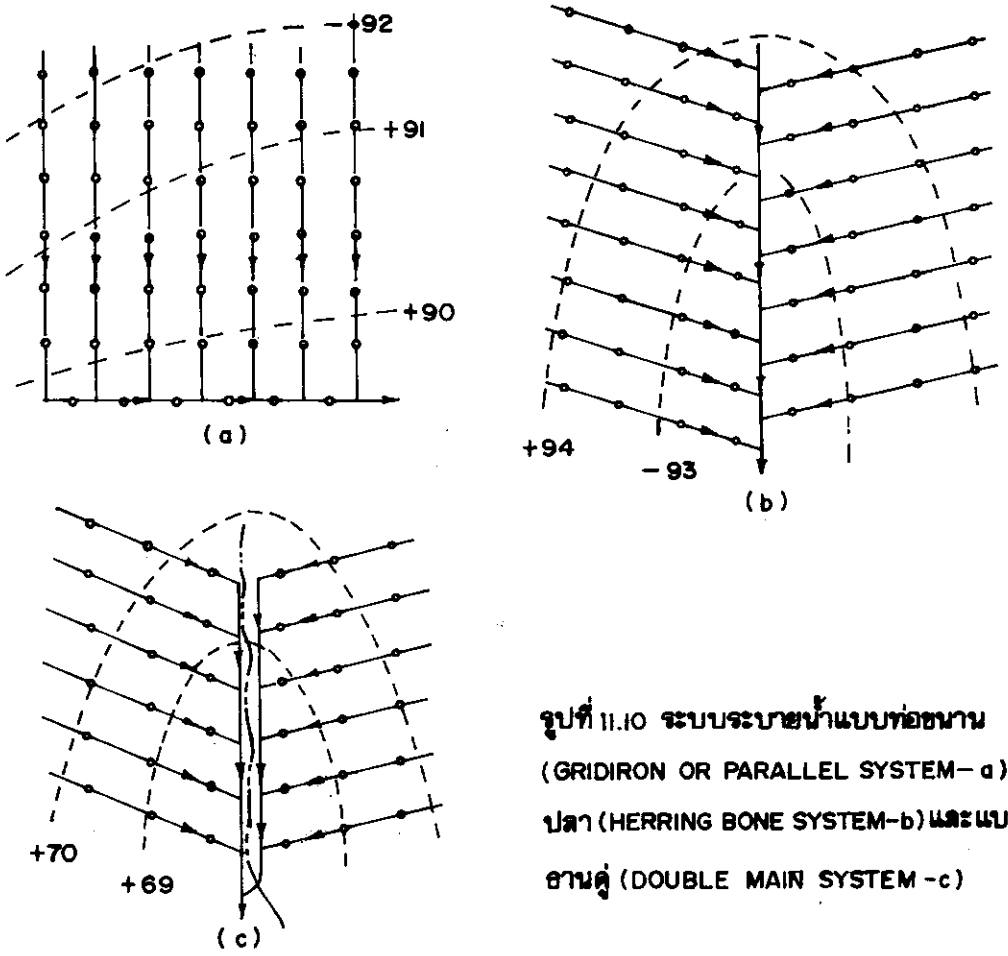
3. ระบบท่อประธานคู่ (Double Main System)

4. ระบบไร้รูปแบบ (Random System)

5. ระบบสกัดกั้น (Interception System)

ในพื้นที่แปลงหนึ่ง ๆ อาจจะใช้ระบบแบบใดแบบหนึ่งหรือหลายแบบผสมกันก็ได้ ทั้งนี้ย่อมขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ แหล่งและทิศทางการไหลของน้ำที่ต้องการระบาย

1. ระบบท่อขนาน (Gridiron or Parallel System รูปที่ 11.10 a) ระบบระบายน้ำแบบนี้ประกอบขึ้นด้วยท่อระบายน้ำที่วางขนานกันเป็นระยะ ๆ และตั้งฉากกับท่อประธาน (Main tile) ซึ่งทำหน้าที่รับน้ำจากท่อระบายน้ำซึ่งจะมีอยู่เพียงด้านใดด้านหนึ่งของท่อประธานไปสู่ที่ทิ้งน้ำ (Outlet) ระบบระบายน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับควบคุมระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ราบที่เป็นรูปสี่เหลี่ยม และเนื้อดินสม่ำเสมอ

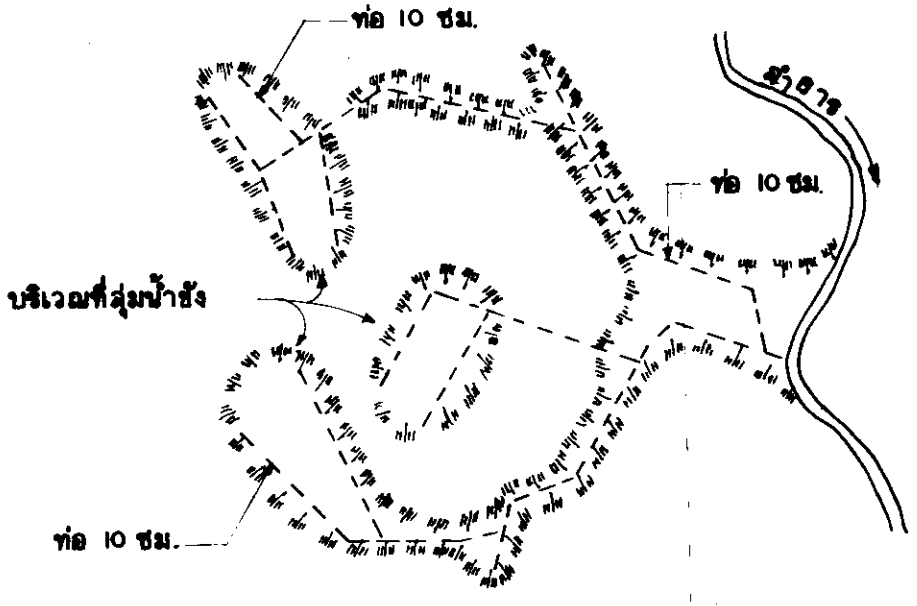



**รูปที่ 11.10 ระบบระบายน้ำแบบท่อขนาน (GRIDIRON OR PARALLEL SYSTEM– a), แบบก้างปลา (HERRING BONE SYSTEM-b) และแบบท่อประธานคู่ (DOUBLE MAIN SYSTEM -c)**

**2. ระบบก้างปลา (Herringbone System รูปที่ 11.10b )** ระบบระบายน้ำแบบนี้ประกอบขึ้นด้วยท่อระบายน้ำที่วางขนานกันเป็นระยะเช่นเดียวกันกับแบบแรก แต่จะทำมุมและต่อเข้ากับท่อประธาน (Main tile) ทั้งสองด้านในรูปลักษณะคล้ายก้างปลา ระบบระบายน้ำแบบนี้เหมาะสำหรับควบคุมระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ที่ท่อประธานหรือรองประธาน (Submain tile) ต้องวางอยู่ในแนวร่องระบายน้ำธรรมชาติตื้น ๆ ซึ่งพื้นที่ลาดมาหาทั้งสองด้าน หรืออาจจะใช้ผสมกับระบบระบายน้ำแบบอื่นก็ได้

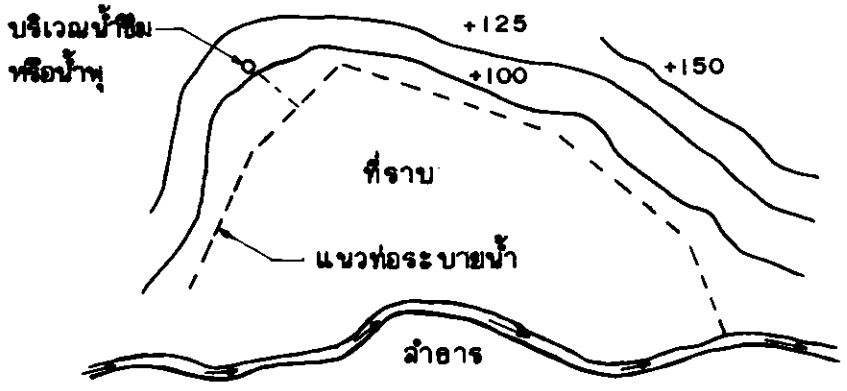
**3. ระบบท่อประธานคู่ (Double Main System รูปที่ 11.10c)** ระบบระบายน้ำแบบนี้ดัดแปลงมาจากสองแบบแรก กล่าวคือเมื่อต้องวางท่อประธานในแนวร่องระบายน้ำธรรมชาติซึ่งลึกหรือเป็นทางน้ำอยู่แล้ว ทำให้ต้องแบ่งพื้นที่ที่ต้องระบายน้ำออกเป็นสองแปลงและมีท่อประธานสองท่ออยู่บนแต่ละฝั่งของทางน้ำ ความจริงการมีท่อประธานสองท่อนี้นอกจากจะช่วยให้การวางระบบระบายน้ำทำได้สะดวกกว่า เนื่องจากระดับดินบนสองฝั่งของทางน้ำอาจแตกต่างกันมากแล้ว ถ้าหากมีการไหลซึมของน้ำจากทางน้ำนั้นเข้ามาในพื้นที่ ท่อประธานก็จะทำหน้าที่สกัดกั้นน้ำเหล่านี้ไว้ด้วย

**4. ระบบไร้รูปแบบ (Random System รูปที่ 11.11)** ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้สำหรับพื้นที่สูง ๆ ต่ำ ๆ และมีที่ลุ่มน้ำขังเป็นแห่ง ๆ ซึ่งไม่ต้องการระบบระบายน้ำที่มีทางระบายน้ำวางขนานกันเป็นระยะ ๆ คลุมทั้งพื้นที่ ระบบระบายน้ำแบบนี้ค่อนข้างประหยัดเพราะจะมีแต่ท่อประธานเชื่อมต่อบริเวณที่ต้องการระบายน้ำแต่ละจุด และมีท่อระบายน้ำเฉพาะในบริเวณที่ลุ่มเหล่านี้เท่านั้น ถ้าบริเวณที่ต้องการระบายน้ำแต่ละจุดเป็นพื้นที่กว้างใหญ่ ก็อาจจะต้องจัดท่อระบายน้ำในจุดนั้นเป็นแบบระบบท่อขนานหรือก้างปลา แล้วแต่กรณี




**รูปที่ 11.11 ระบบระบายน้ำแบบไร้รูปแบบ (RANDOM SYSTEM)**

5. ระบบสกัดกั้น (Interception System) ระบบระบายน้ำแบบนี้ใช้สกัดกั้นการไหลซึมของน้ำซึ่งไหลในทางราบเหนือชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากที่โผล่ขึ้นมาหรือวางอยู่ใกล้กับผิวดิน และทำให้มีน้ำซึมออกมาจากบริเวณดังกล่าว การระบายน้ำในพื้นที่ที่มีลักษณะเช่นนี้จะทำโดยการวางท่อระบายน้ำบนชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากตอนบนของบริเวณที่มีน้ำซึมในแนวขนานกับแนวที่มีน้ำซึมออกมา และมีความลาดเทไปสู่ที่ทิ้งน้ำ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 11.12




**รูปที่ 11.12 ระบบระบายน้ำแบบสกัดกั้น (INTERCEPTION SYSTEM)**

## ความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำ

ความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญที่จะคอยควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ในการควบคุมน้ำใต้ดินให้อยู่ที่ระดับใดระดับหนึ่ง เราอาจจะเลือกวางท่อระบายน้ำในระดับที่ไม่ลึกนักแต่ระยะระหว่างท่ออยู่ใกล้กัน หรือวางท่อให้ไกลออกไปแต่อยู่ในระดับลึกมากขึ้นก็ได้

เนื่องจากว่า ระดับน้ำใต้ดินที่จุดกึ่งกลางระหว่างท่อระบายน้ำจะอยู่สูงกว่าจุดอื่น ๆ ระดับน้ำใต้ดินที่ต้องการควบคุมจึงต้องพิจารณาที่จุดนี้ นอกจากนั้นจะต้องพิจารณาองค์ประกอบอย่างอื่นด้วย เช่น ปริมาณเกลือในดินและในน้ำ ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ของดิน ความลึกของชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ความลึกของที่ทิ้งน้ำ ตลอดจนความสามารถของเครื่องมือที่จะทำงานในระดับความลึกที่ต้องการนั้นด้วย

ในดินที่เกิดจากการผุกร่อนของหินแร่ต่าง ๆ (Mineral Soil) ซึ่งมีความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้สม่ำเสมอตลอดความลึกของชั้นดิน ความลึกของท่อระบายน้ำจะอยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 2.50 เมตร ถ้าหากมีชั้นดินที่น้ำซึมผ่านได้ยากอยู่ ท่อระบายน้ำควรจะวางอยู่เหนือหรือบนชั้นดินดังกล่าว แต่ถ้าจำเป็นต้องวางต่ำกว่าระดับนี้ หลังจากวางท่อระบายน้ำเสร็จแล้วควรจะกลบด้วยดินที่น้ำซึมผ่านได้ง่ายกว่า

ระยะระหว่างท่อระบายน้ำนอกจากจะขึ้นอยู่กับความลึกแล้วยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่น ๆ เช่นเดียวกันในเขตชุ่มชื้นระยะระหว่างท่อระบายน้ำจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 50 เมตร และอาจจะใช้ได้ถึง 100 เมตรในดินที่น้ำซึมผ่านได้สูงมาก

สำหรับการคำนวณหาความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำนั้นจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ แต่ค่าดังกล่าวสำหรับดินชนิดต่าง ๆ อาจดูได้จากตารางที่ 11.1

ตารางที่ 11.1 ค่าเฉลี่ยของความลึกและระยะระหว่างท่อระบายน้ำสำหรับดินชนิดต่าง ๆ

| ดิน | ความสามารถให้น้ำซึมผ่านได้ | | ระยะระหว่างท่อระบายน้ำ เมตร | ความลึก เมตร |
|---|---|---|---|---|
| | ระดับความเร็ว | มม./ชม. | | |
| ดินเหนียว | ช้ามาก | < 2 | 10 — 15 | 0.90 — 1.10 |
| ดินร่วนปนดินเหนียว | ช้า | 2 — 5 | 12 — 20 | 0.90 — 1.10 |
| ดินร่วนโดยทั่ว ๆ ไป | ค่อนข้างช้า | 5 — 20 | 20 — 30 | 0.90 — 1.20 |
| ดินร่วนปนดินทรายละเอียด | ปานกลาง | 20 — 60 | 30 — 35 | 1.20 — 1.40 |
| ดินร่วนปนทราย | ค่อนข้างเร็ว | 60 — 120 | 30 — 60 | 1.20 — 1.50 |
| ดินที่เกิดจากการเน่าผุของพืชและมูลสัตว์ | เร็ว | 120 — 240 | 30 — 90 | 1.20 — 1.50 |
| ดินชลประทาน | ไม่แน่นอน | — | 45 — 180 | 1.50 — 2.50 |

# บทที่ 12

## โครงการชลประทาน และหลักการพิจารณาวางโครงการ

### โครงการชลประทาน

โครงการชลประทาน หมายถึงหน่วยงานและสิ่งก่อสร้างที่จัดทำขึ้นเพื่อส่งน้ำไปใช้ทำการเพาะปลูก และระบายน้ำที่เหลือใช้หรือไม่ต้องการออกไปไม่ให้เป็นอันตรายแก่การเพาะปลูกนั้น

โครงการชลประทานทุกโครงการจะต้องมีองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 5 อย่างด้วยกัน คือ

ก. แหล่งน้ำ

ข. พื้นที่ดินและพืช

ค. หัวงานของโครงการ

ง. ระบบส่งน้ำ

จ. ระบบระบายน้ำ

นอกเหนือจากการจัดหาน้ำเพื่อการเพาะปลูกแล้ว บางโครงการอาจจะมีกิจการอย่างอื่นเสริมเข้ามาอีก เช่น การเก็บกักรักษาน้ำ การป้องกันอุทกภัย ซึ่งเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกโดยตรง หรือกิจการอื่นที่เสริมเข้าไปเพื่อให้สามารถใช้สิ่งที่ได้ก่อสร้างขึ้นแล้วให้ได้ประโยชน์มากยิ่งขึ้น เช่น การใช้คลองส่งน้ำเป็นเส้นทางคมนาคม การใช้น้ำที่มีระดับสูงพอผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น กิจการที่เสริมเข้าไปเช่นนี้ไม่ถือว่าเป็นองค์ประกอบของโครงการชลประทาน

**1. แหล่งน้ำ** โครงการชลประทานทุกโครงการ จำเป็นต้องอาศัยน้ำจากแหล่งใดแหล่งหนึ่งมาจัดส่งไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูก โดยน้ำจากแหล่งนั้นจะต้องมีปริมาณมากพอและมีความแน่นอนในการพัฒนาเอามาใช้ได้ แหล่งน้ำที่นำมาใช้ในโครงการชลประทานส่วนใหญ่เป็นน้ำท่าจากแม่น้ำลำธารตามธรรมชาติ และถ้าหากปริมาณที่ไหลมามีความผันแปรมาก กล่าวคือ ในฤดูน้ำหลากมีน้ำไหลมามากเกินความต้องการ ส่วนในฤดูแล้งก็ไม่พอใช้ ในกรณีเช่นนี้ถ้าหากมีภูมิประเทศที่เหมาะสมก็อาจจะสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำไว้ แล้วระบายออกมาให้พอเหมาะกับความต้องการใช้น้ำของพืชที่ระยะเวลาต่าง ๆ ก็จะเป็นแหล่งน้ำที่ดี เพราะมีปริมาณมากและมีความแน่นอนในการนำเอาไปใช้ได้

ในพื้นที่เพาะปลูกบางแห่งอาจจะมีแหล่งน้ำใต้ดินที่มีคุณภาพดีและมีปริมาณมากพออยู่ในระดับที่ไม่ลึกนัก ก็สามารถพัฒนาขึ้นมาใช้เป็นแหล่งน้ำที่ดีได้ แต่เนื่องจากว่าค่าลงทุนและค่าใช้จ่ายประจำของน้ำจากแหล่งนี้แพงกว่าน้ำท่ามาก ปัจจุบันประเทศไทยจึงยังไม่นิยมนำน้ำใต้ดินมาใช้ในการเพาะปลูก

ด้วยเหตุว่า ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำเป็นเครื่องชี้ถึงขนาดของพื้นที่ที่จะได้รับประโยชน์จากโครงการชลประทานโดยตรง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทราบว่าน้ำจากแหล่งน้ำที่มีอยู่นั้น จะสามารถนำมาใช้ในช่วงระยะเวลา

ต่าง ๆ ได้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใด จึงต้องมีการสำรวจโดยการวัดปริมาณน้ำที่ไหลผ่านบริเวณที่จะสร้างหัวงานของโครงการ และเนื่องจากว่าปริมาณน้ำฝนเกี่ยวข้องโดยตรงกับปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำที่จะต้องส่งไปใช้ทำการเพาะปลูก ดังนั้นจึงต้องมีการวัดปริมาณน้ำฝนด้วย สำหรับแหล่งน้ำใต้ดินนั้นก็จำเป็นต้องมีการสำรวจอัตราและปริมาณที่จะสามารถสูบขึ้นมาใช้ได้อย่างปลอดภัยด้วยเช่นกัน

**2. พื้นที่ดินและพืช** พื้นที่ดินในที่นี้หมายถึงพื้นที่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ว่าจะได้รับประโยชน์จากโครงการชลประทานนั้น โดยการมีระบบส่งน้ำจากแหล่งน้ำแผ่กระจายครอบคลุมไปถึง พื้นที่ดังกล่าวนี้จะกำหนดได้โดยพิจารณาจากแหล่งน้ำที่มีอยู่ ความต้องการน้ำของพืชที่ปลูก ลักษณะภูมิประเทศของโครงการ และองค์ประกอบอย่างอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณน้ำฝนในฤดูการเพาะปลูก ประสิทธิภาพของโครงการชลประทาน เป็นต้น

โดยแท้จริงแล้วในขอบเขตของพื้นที่ที่กำหนดไว้นั้น จะมีพื้นที่ที่ไม่สามารถได้รับประโยชน์อยู่ด้วยเนื่องจากสภาพภูมิประเทศไม่เหมาะสม หรือไม่ต้องการน้ำชลประทานเพราะว่าเป็นบริเวณที่อยู่อาศัย หรือเป็นเส้นทางคมนาคม เป็นต้น ดังนั้น เพื่อความสะดวกพื้นที่ดินในเขตโครงการชลประทานจึงแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

ก. **พื้นที่โครงการ (Command Area)** หมายถึงพื้นที่ทั้งหมดที่อยู่ภายในเขตโครงการนั้น ซึ่งถ้าระบบส่งน้ำเป็นคลอง ขอบเขตของพื้นที่โครงการจะกำหนดโดยแนวร่องระบายน้ำธรรมชาติ แนวคลองส่งน้ำสายใหญ่และคลองซอย หรือทั้งสองอย่างร่วมกัน

พื้นที่โครงการนี้รวมถึงบริเวณที่ไม่สามารถส่งน้ำให้ได้เนื่องจากเป็นที่ดอน คือผิวดินอยู่สูงกว่าระดับน้ำในระบบส่งน้ำของบริเวณนั้น หรือเป็นพื้นที่อยู่อาศัย เส้นทางคมนาคม หนองน้ำ เป็นต้น

ข. **พื้นที่รับน้ำชลประทาน (Irrigable Area)** หมายถึงพื้นที่ที่สามารถรับน้ำจากระบบส่งน้ำของโครงการชลประทานไปใช้ได้ ในกรณีที่ระบบส่งน้ำเป็นคลอง ก็เป็นพื้นที่ที่เปิดรับน้ำจากคลองเข้าแปลงได้โดยอาศัยแรงดึงดูดของโลก โดยทั่ว ๆ ไปพื้นที่รับน้ำชลประทานจะมีค่าอยู่ระหว่าง 80 ถึง 90 เปอร์เซนต์ของพื้นที่โครงการ พื้นที่รับน้ำนี้เกี่ยวข้องโดยตรงกับการกำหนดขนาดของอาคารชลประทาน และเป็นพื้นที่ที่ต้องใช้ในการคำนวณปริมาณน้ำที่จะต้องหามาใช้ในโครงการ

สำหรับพืชที่ปลูกในเขตโครงการชลประทานนั้นจะต้องกำหนดให้ได้ว่าเป็นพืชอะไร ปลูกในบริเวณใดเป็นเนื้อที่เท่าใด จากเดือนใดถึงเดือนใด เพื่อจะได้พิจารณากำหนดปริมาณน้ำและช่วงเวลาที่ต้องการในบริเวณต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะมีผลไปถึงการกำหนดขนาดของระบบส่งน้ำอีกด้วย

ตามปกติถ้าหากมีน้ำมากพอเช่นในเขตโครงการชลประทาน เกษตรกรไทยนิยมปลูกข้าวในฤดูฝนและพืชไร่ในฤดูแล้ง บางแห่งนิยมทำนา 2 ครั้ง

**3. หัวงานของโครงการ (Headwork)** หมายถึงอาคารที่สร้างขึ้นในลำน้ำ สำหรับทดน้ำให้มีระดับสูงขึ้นพอที่จะไหลเข้าไปในคลองส่งน้ำได้สะดวก และหมายความรวมถึงอาคารประกอบอื่น ๆ ในบริเวณเดียวกันที่ทำหน้าที่ควบคุมบังคับน้ำ หรือแก้ไขข้อขัดข้องอันเกิดจากการมีอาคารมาขวางกั้นทางน้ำนั้น ตามปกติที่หัวงานของโครงการชลประทานจะประกอบด้วยอาคารต่าง ๆ 3 ประเภทคือ (1) อาคารทดน้ำ (2) อาคารประกอบ

อื่น ๆ และ (3) ประตูระบายปากคลองส่งน้ำ

อาคารทดน้ำของโครงการชลประทานมี 3 แบบ คือ อาจจะเป็นฝาย (Weir) เขื่อนระบายน้ำ (Barrage or Diversion Dam) หรือเขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage Dam) อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว

ฝาย (Weir) ก็คือทำนบเตี้ย ๆ ที่สร้างขวางกั้นตลอดความกว้างของทางน้ำ เพื่อให้ทำหน้าที่ยกระดับน้ำที่ไหลมามากบ้างน้อยบางตามธรรมชาติ ให้สูงขึ้นจนสามารถไหลเข้าคลองหรือคูส่งน้ำได้ตามที่ต้องการ น้ำที่เหลือก็จะไหลข้ามสันฝายไป นอกจากนั้นฝายจะเก็บกักน้ำไว้ในลำน้ำด้านหน้าฝายได้บ้างเล็กน้อย ดังรูปที่ 12.1

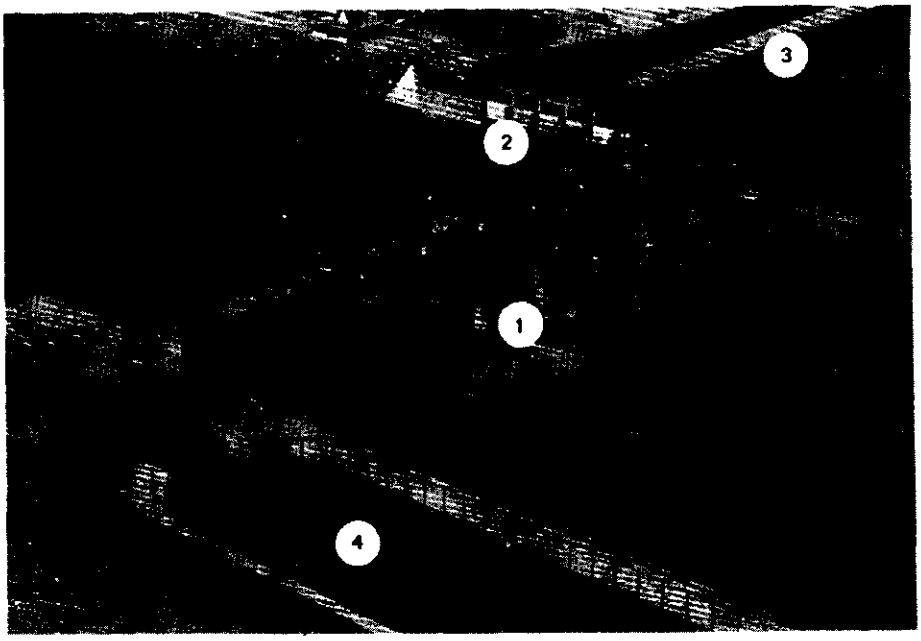
**รูปที่ 12.1 อาคารทดน้ำแบบฝาย**

ตามปกติเมื่อสร้างฝายขึ้นแล้วก็จะเป็นสิ่งกีดขวางทางน้ำอย่างถาวร ในกรณีที่มีน้ำไหลมามากระดับน้ำทางด้านเหนือฝายอาจจะเอ่อขึ้นมาสูงมากจนเกิดอุทกภัยขึ้นได้ ดังนั้นจึงนิยมสร้างขึ้นในบริเวณภูเขาหรือตอนบนของทุ่งราบซึ่งมีผู้อยู่อาศัยน้อย ท้องน้ำมีความชันมากจนเกิดน้ำหลากได้อย่างรวดเร็ว และมีท่อนไม้และสวะลอยมามาก สิ่งเหล่านี้จะไหลข้ามสันฝายไปได้โดยไม่ต้องมีคนคอยดูแล

ฝายเป็นอาคารทดน้ำที่สร้างได้ง่ายและมีราคาถูก นิยมสร้างในลำน้ำขนาดเล็ก ข้อเสียของฝายก็คือไม่สามารถควบคุมระดับน้ำทางด้านเหนือฝายได้ เมื่อมีน้ำไหลมาน้อยน้ำอาจจะไหลเข้าคลองไม่เต็มที่เพราะมีระดับไม่สูงพอ

เขื่อนระบายน้ำ (Diversion Dam)เป็นอาคารที่สร้างปิดกั้นลำน้ำ เพื่อทดน้ำให้มีระดับสูงขึ้นจนน้ำไหลเข้าคลองได้ และสามารถเก็บกักน้ำไว้ในลำน้ำได้เช่นเดียวกับฝาย แต่จะสามารถควบคุมระดับน้ำที่ทดหรือเก็บกักไว้ให้สูงต่ำได้ตามต้องการ และสามารถระบายน้ำให้ผ่านอาคารไปได้อย่างเต็มที่ในฤดูน้ำหลาก

เขื่อนระบายน้ำจะมีลักษณะเป็นช่อง ๆ โดยแบ่งด้วยตอม่อสำหรับให้น้ำไหลผ่านไปได้ตลอดความยาว



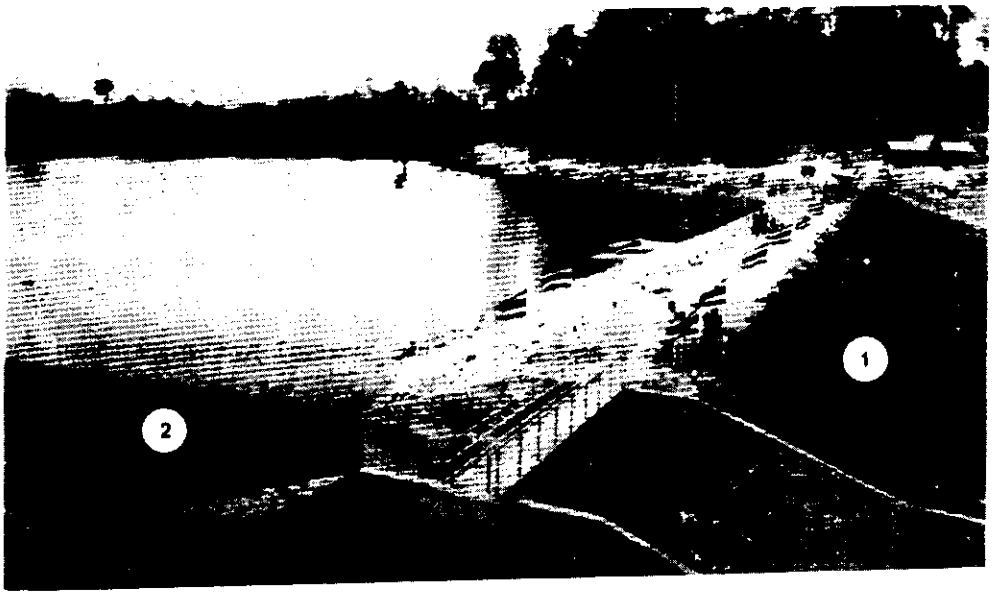

**รูปที่ 12.2 เขื่อนวชิราลงกรณซึ่งเป็นอาคารทดน้ำแบบเขื่อนระบายน้ำ ในรูปจะเห็น (1) เขื่อนระบายน้ำ (2) ประตูระบายปากคลองลาดใหญ่ (3) คลองส่งน้ำลาดใหญ่ฝั่งซ้าย (4) ประตูน้ำ**

ของตัวอาคาร ในช่องระหว่างตอม่อมีสิ่งปิดกั้นไว้ เช่น ท่อนไม้เหลี่ยม บานไม้กระดาน หรือบานเหล็ก ซึ่งอาจยกขึ้นให้น้ำไหลลอดไปทางท้ายน้ำได้มากน้อยตามต้องการ ดังรูปที่ 12. 2

เขื่อนระบายน้ำนั้นเหมาะสำหรับใช้ทดน้ำให้สูงกว่าท้องน้ำมาก ๆ แต่เป็นงานที่มีราคาแพงจึงนิยมใช้น้อยกว่าฝาย ส่วนใหญ่จะสร้างในบริเวณทุ่งราบ เขื่อนระบายน้ำนอกจากจะสร้างขึ้นเพื่อทดน้ำหรือเก็บกักน้ำดังกล่าวแล้ว ในบริเวณทุ่งราบภาคกลางตอนล่างยังก่อสร้างอาคารที่มีลักษณะเช่นเดียวกันแต่เล็กกว่า และเรียกว่าประตูระบายน้ำ เพื่อใช้รับน้ำเข้าทุ่งเมื่อระดับน้ำในแม่น้ำสูงขึ้น แล้วปิดเก็บกักไว้เมื่อระดับน้ำภายนอกลดลง ใช้ควบคุมระบายน้ำออกและป้องกันน้ำเค็มในบริเวณชายทะเลอีกด้วย

เขื่อนเก็บกักน้ำ (Storage Dam) หมายถึงเขื่อนดิน หิน หรือคอนกรีตที่ทำการก่อสร้างปิดกั้นลำน้ำธรรมชาติระหว่างหุบเขาหรือลูกเนิน เพื่อทำหน้าที่เก็บกักน้ำไว้ทางด้านเหนือน้ำระหว่างหุบเขาหรือลูกเนินนั้น แหล่งน้ำที่ถูกเขื่อนเก็บกักไว้นี้เรียกว่า อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

น้ำในแม่น้ำลำธารธรรมชาติโดยทั่วไปมักจะมีปริมาณไม่ค่อยแน่นอน โดยจะผันแปรไปตามปริมาณฝนที่ตกในลุ่มน้ำ กล่าวคือ ในฤดูฝนจะมีน้ำไหลมามากจนเกินความต้องการ แต่ในฤดูแล้งจะมีน้ำเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้น โครงการชลประทานที่อาศัยน้ำที่ไหลมาตามธรรมชาติโดยตรงจึงไม่ค่อยจะได้ผลนัก ด้วยเหตุนี้จึงนิยมรวบรวมปริมาณน้ำที่ไหลมามากในฤดูฝนไว้โดยไม่ปล่อยให้ไหลผ่านเลยไปโดยเปล่าประโยชน์ ทำให้เกิดเป็นแหล่งน้ำถาวรสำหรับใช้ในการเพาะปลูกได้ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง




**รูปที่ 12.3 อ่างเก็บน้ำ น้ำทรง ในรูปจะเห็น (1) เขื่อนหรือทำนบดิน (2) ทางระบายน้ำล้น**

อาคารทดน้ำประเภทเขื่อนเก็บกักน้ำนี้ นิยมใช้ในภูมิประเทศที่เป็นภูเขาเตี้ย ๆ ติดต่อกับทุ่งราบ เช่น โครงการชลประทานส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขื่อนเก็บน้ำขนาดใหญ่ซึ่งอยู่ห่างไกลจากพื้นที่เพาะปลูกออกไปโดยไม่ระบบส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรง เช่น เขื่อนภูมิพล เขื่อนศรีนครินทร์ ไม่ถือว่าเป็นอาคารทดน้ำ แต่จะถือว่าเป็นแหล่งน้ำถาวรของโครงการชลประทานที่อยู่ใต้ลงมาในลำน้ำเดียวกัน ซึ่งมีเขื่อนเจ้าพระยา และเขื่อนวชิราลงกรณ์เป็นอาคารทดน้ำ เป็นต้น

สำหรับอาคารประกอบที่หัวงานนั้น ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของอาคารทดน้ำและสภาพแวดล้อมของลำน้ำนั้น ๆ เช่นถ้าอาคารทดน้ำเป็นฝายก็อาจจะมีประตูระบายทราย ซึ่งทำหน้าที่กำจัดตะกอนทรายที่มาตกจมหน้าประตูระบายปากคลองส่งน้ำให้ไหลออกไปทางด้านท้ายน้ำ เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนทรายเข้าไปตกจมในคลองส่งน้ำจนเกิดการตื้นเขินอย่างรวดเร็ว นอกจากนั้นก็อาจมี บันไดปลา ซึ่งเป็นรางน้ำที่ออกแบบให้ความเร็วของน้ำในรางลดลงจนปลาสามารถว่ายทวนน้ำขึ้นไปวางไข่ด้านเหนือน้ำของฝายหรือประตูระบายน้ำได้ ทางล่องซุง เป็นอาคารมีลักษณะเป็นร่องน้ำแคบ ๆ ลาดชันน้อยกว่าตัวฝายเพื่อให้ซุงล่องไปได้โดยไม่เป็นอันตรายต่อตัวฝาย

ในกรณีที่อาคารทดน้ำเป็นประตูระบายน้ำหรือเขื่อนระบายน้ำในทางน้ำที่เป็นเส้นทางคมนาคมด้วย ก็จำเป็นต้องมี ประตูเรือสัญจร หรือ ประตูน้ำ เพื่อให้เรือแพได้สัญจรผ่านหัวงานนั้นไปได้

สำหรับอาคารทดน้ำที่เป็นเขื่อนเก็บกักน้ำ อาคารประกอบก็มี ทางระบายน้ำล้น (Spillway) ซึ่งทำหน้าที่ระบายน้ำที่ไหลลงมามากจนอ่างเก็บน้ำรับไว้ไม่ได้ทิ้งไปยังลำน้าด้านท้ายเขื่อน เพื่อป้องกันมิให้น้ำไหลล้นข้ามเขื่อนจนเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงขึ้น นอกจากนั้นก็มี ทางระบายน้ำฉุกเฉิน (Emergency Spillway) ซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับทางระบายน้ำล้น แต่จะมีน้ำไหลผ่านทางระบายน้ำฉุกเฉินก็ต่อเมื่อมีน้ำไหลเข้ามามากเกินกว่าทางระบายน้ำล้นจะระบายออกไปได้ทัน จึงต้องให้ไหลออกทางทางระบายน้ำฉุกเฉินบ้าง

เมื่อได้ยกระดับน้ำให้สูงขึ้นกว่าปกติด้วยอาคารทดน้ำแล้ว ก็จำเป็นจะต้องมี ประตูระบายปากคลองส่งน้ำ (Head Regulator) คอยควบคุมน้ำให้ไหลเข้าคลองตามปริมาณที่ต้องการ ปกติแล้วปากคลองส่งน้ำจะเริ่มต้นที่จุดเหนือที่ตั้งฝายหรือเขื่อนระบายน้ำ เพราะเป็นจุดที่สามารถควบคุมระดับน้ำได้ดีกว่าที่อื่น ถ้าเป็นคลองส่งน้ำขนาดใหญ่ ประตูระบายปากคลองส่งน้ำก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับประตูระบายน้ำ ถ้าเป็นคลองขนาดเล็ก หรือคลองที่รับน้ำจากอ่างเก็บน้ำ อาคารที่ปากคลองอาจเป็นท่อระบายน้ำ ซึ่งมีประตูควบคุมปริมาณน้ำที่มีลักษณะแตกต่างออกไป

4. **ระบบส่งน้ำ** (Conveyance and Distribution System) หมายถึงทางน้ำที่จัดสร้างขึ้นเพื่อนำน้ำจากแหล่งน้ำให้ไหลไปสู่พื้นที่เพาะปลูก องค์ประกอบของโครงการชลประทานนี้ยังหมายความรวมถึงอาคารบังคับน้ำต่าง ๆ ในระบบ ที่จำเป็นต้องมีไว้สำหรับควบคุมบังคับให้น้ำไหลไปยังพื้นที่ที่ต้องการใช้น้ำได้ตามความต้องการ ระบบส่งน้ำนี้อาจจะเป็นทางน้ำเปิดหรือคลองส่งน้ำทั้งหมด หรือเป็นท่อทั้งหมด หรือผสมกันทั้งที่เป็นคลองและเป็นท่อตามความเหมาะสม สำหรับประเทศไทย ระบบส่งน้ำเกือบทั้งหมดเป็นแบบคลองส่งน้ำ ระบบส่งน้ำซึ่งเป็นคลองได้อธิบายไว้อย่างละเอียดแล้วในบทที่ 9

5. **ระบบระบายน้ำ** (Drainage System) หมายถึง ทางน้ำที่จัดสร้างขึ้นเพื่อกำจัดน้ำที่มากเกินพอในเขตชลประทานออกไป เพื่อให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช และการปฏิบัติงานด้านเกษตรกรรม

ระบบระบายน้ำเป็นองค์ประกอบของโครงการชลประทานที่มีความสำคัญไม่ยิ่งหย่อนไปกว่าองค์ประกอบอย่างอื่น แต่เท่าที่ผ่านมามิได้ถือว่าเป็นองค์ประกอบที่จำเป็นจนกระทั่งทำให้เกิดปัญหาเรื่องการระบายน้ำ และการเสื่อมโทรมของที่ดินมากมาย อย่างไรก็ตาม ระบบระบายน้ำจะต้องพิจารณาควบคู่ไปกับระบบส่งน้ำเสมอ เพราะอย่างน้อยจะต้องมีน้ำเหลือใช้จากการให้แก่พืชที่ต้องระบายทิ้งไปอยู่เป็นประจำ

**รูปที่ 12.4 คูระบายน้ำในเขตจัดรูปที่ดิน**

# การพิจารณาวางโครงการชลประทาน

ก่อนที่จะมีการก่อสร้างโครงการชลประทานขึ้นมาได้นั้น จำเป็นต้องมีการศึกษาพิจารณาความเหมาะสมเสียก่อน ว่าถ้ามีโครงการแล้ว โครงการนั้นจะให้ประโยชน์คุ้มกับเงินค่าลงทุนหรือบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้หรือไม่ การศึกษาพิจารณาวางโครงการดังกล่าวนี้จำเป็นต้องอาศัยสถิติข้อมูลต่าง ๆ ทั้งที่เป็นสถิติที่เก็บรวบรวมไว้และจากการออกไปสำรวจตรวจสอบกันจริง ๆ ในสนาม

เท่าที่ผ่านมาในอดีต การเปิดโครงการชลประทานขึ้นมาใหม่โดยกรมชลประทานนั้น มีเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่พอจะแบ่งแยกออกจากกันได้เป็น 2 ลักษณะด้วยกัน คือ โครงการที่หวังผลในแง่เศรษฐกิจโดยการเพิ่มผลผลิตเป็นหลัก และโครงการที่สนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนในชนบทให้มีความเป็นอยู่ดีขึ้น โครงการประเภทแรกนั้นส่วนมากเป็นโครงการขนาดใหญ่ อยู่ในทำเลที่มีปัจจัยการผลิตดี ราษฎรไม่ค่อยลำบากยากแค้นเพราะได้ผลผลิตทางการเกษตรดีอยู่แล้ว แต่รัฐบาลสร้างโครงการชลประทานขึ้นมาเพื่อให้ได้ผลผลิตมากขึ้นและมีความแน่นอนพอที่จะส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศได้ โครงการที่จัดอยู่ในลักษณะนี้ เช่น โครงการเจ้าพระยาใหญ่ โครงการแม่กลองใหญ่ และโครงการขนาดใหญ่อื่น ๆ เป็นต้น

สำหรับโครงการที่สร้างขึ้นเพื่อสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนในชนบทนั้นมักจะอยู่ในเขตที่แห้งแล้ง อยู่ไกลจากแหล่งน้ำขนาดใหญ่ ทำการเพาะปลูกไม่ค่อยได้ผลเพราะต้องอาศัยน้ำฝนเพียงอย่างเดียว ประชาชนส่วนใหญ่มีฐานะยากจน ดังนั้น จึงสร้างโครงการขึ้นเพื่อช่วยให้ชาวไร่ชาวนาสามารถเพาะปลูกได้อย่างน้อยปีละครั้งและมีน้ำสำหรับอุปโภคบริโภคตลอดปี บางโครงการสร้างขึ้นเพื่อเสริมความมั่นคงของชาติโดยหวังเพียงให้ราษฎรมีที่ทำกินมากกว่าวัตถุประสงค์อย่างอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตแทรกซึมของฝ่ายตรงกันข้าม โครงการที่จัดอยู่ในประเภทนี้ส่วนมากเป็นโครงการขนาดเล็กและอยู่กระจัดกระจายทั่วไป ถ้าพิจารณาผลประโยชน์ที่ได้รับโดยตรงในแง่เศรษฐกิจแล้วส่วนใหญ่จะไม่คุ้มกับค่าลงทุน แต่จำเป็นต้องมีเพื่อลดความเหลื่อมล้ำทางเศรษฐกิจและสังคมระหว่างชาวชนบทด้วยกัน เพราะถ้าจะคำนึงถึงแต่ผลตอบแทนในแง่ของการลงทุนเพียงอย่างเดียวแล้ว ก็จะต้องเลือกสร้างแต่ในเขตที่มีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์ ที่ดินและปัจจัยการผลิตอื่นดีอยู่แล้ว ผลผลิตที่ค่อนข้างดีอยู่ก่อนจะดียิ่งขึ้น ส่วนชาวไร่ชาวนาที่อยู่ในบริเวณที่มีความเหมาะสมน้อยกว่าก็จะไม่ได้รับการสนับสนุน ทำให้เกิดช่องว่างทางเศรษฐกิจและสังคมระหว่างชาวชนบทด้วยกันมากยิ่งขึ้น จนในที่สุดอาจเป็นอันตรายต่อความมั่นคงของประเทศได้

โดยหลักการแล้วการศึกษาเพื่อพิจารณาวางโครงการชลประทาน ก่อนที่จะมีการออกแบบและดำเนินการก่อสร้างนั้น อาจแบ่งออกได้เป็นสองระดับ คือการศึกษาเบื้องต้น (Reconnaissance Investigations) และการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (Feasibility Investigations)

**1. การศึกษาเบื้องต้น** สำหรับการศึกษาเบื้องต้นนั้น ถ้าเป็นโครงการขนาดใหญ่ที่ต้องใช้เงินลงทุนมาก ๆ ก็เป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะเป็นการศึกษาอย่างคร่าว ๆ โดยใช้สถิติข้อมูลที่มีอยู่แล้วร่วมกับการประมาณค่าข้อมูลที่มีไม่ครบ รวมทั้งการออกไปสำรวจดูภูมิประเทศและสถานที่ตั้งของโครงการและหัวงานโดยใช้ระยะเวลาสั้น ๆ ประกอบกับประสบการณ์และความชำนาญของวิศวกรผู้ทำการศึกษาก็พอจะบอกได้ว่า ควรจะมีการศึกษาหา

รายละเอียดเพิ่มเติมเพื่อหาความเป็นไปได้ของโครงการหรือไม่ หรือควรจะระงับโครงการเอาไว้ก่อนเนื่องจากมีความไม่เหมาะสมอยู่หลายประการที่ยังเป็นปัญหาอยู่ การศึกษาเบื้องต้นของโครงการขนาดใหญ่จะช่วยให้ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายลงได้ เพราะจะเป็นการเลือกศึกษาเฉพาะจุดที่สำคัญ ๆ เท่านั้น หัวข้อที่พิจารณาก็ซ้ำกันแต่จะจำกัดเฉพาะบางเรื่องและสั้นกว่าการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

สำหรับโครงการชลประทานขนาดเล็กที่สร้างขึ้นเพื่อสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของประชาชนนั้น การศึกษาเบื้องต้นอาจจะไม่มากไปกว่าการพิจารณาปัญหาและความจำเป็นในการเปิดโครงการใหม่ขึ้น และการออกไปพิจารณาดูความเหมาะสมทางด้านเทคนิคในสนาม จากนั้นก็ข้ามไปในระดับการสำรวจและรวบรวมข้อมูลเพื่อออกแบบเลย ไม่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ หรือจะมีก็แต่เพียงหาค่าลงทุนต่อไร่หรือต่อจำนวนครอบครัวของผู้ได้รับประโยชน์เท่านั้น

2. **การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ** การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการชลประทานนั้นเป็นการศึกษาพิจารณาในรายละเอียดเพิ่มเติมจากการศึกษาเบื้องต้น โดยมีการกำหนดรายละเอียดในแง่ต่าง ๆ มากพอที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการออกแบบ ก่อสร้าง และคำนวณค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ รวมทั้งในการส่งน้ำและบำรุงรักษา ตลอดจนผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการลงทุนนั้น เพื่อให้ผู้มีอำนาจใช้เป็นข้อมูลสำหรับตัดสินใจว่าควรจะดำเนินการก่อสร้างโครงการชลประทานนั้นหรือไม่ ในกรณีที่เป็นโครงการที่ต้องใช้แหล่งเงินจากต่างประเทศ รายงานการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการนี้ เป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องใช้ประกอบการเสนอขอความช่วยเหลือด้วย

สถิติข้อมูลต่าง ๆ ที่จะต้องรวบรวม และใช้เป็นหลักในการพิจารณาวางโครงการชลประทานนั้น อาจแบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ได้รวม 6 หัวข้อด้วยกันคือ

ก. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่โครงการ
ข. ปัญหาและความจำเป็นในการสร้างโครงการ
ค. ลักษณะของพื้นที่ดินและพืช
ง. แหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้
จ. ค่าลงทุนและบำรุงรักษา
ฉ. ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ลักษณะทั่วไปของพื้นที่โครงการ เป็นสถิติข้อมูลต่าง ๆ ที่แสดงลักษณะที่สำคัญทางกายภาพของพื้นที่โครงการ เป็นต้นว่าสถานที่ตั้ง ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่ว ๆ ไป สภาพภูมิอากาศ ชุมชนและจำนวนประชากรในท้องถิ่น อาชีพและรายได้หลัก สถานการณ์ทางเศรษฐกิจและสังคมที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน สิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่รัฐได้ลงทุนไว้ให้แล้ว เช่น การคมนาคม การศึกษา สาธารณสุข เป็นต้น นอกจากนั้นควรจะแสดงแหล่งทรัพยากรธรรมชาติและสถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ที่มีอยู่ในบริเวณนั้นด้วย

2. ปัญหาและความจำเป็นในการสร้างโครงการ ความต้องการที่จะให้มีโครงการชลประทานนั้น ถ้าเป็นโครงการขนาดใหญ่ก็มักจะเป็นการริเริ่มของรัฐบาลที่ต้องการเพิ่มผลผลิตให้มากขึ้น สำหรับโครงการขนาดเล็กหรือขนาดกลางนั้นมักจะเป็นการริเริ่มจากเจ้าหน้าที่ในท้องถิ่นหรือจากราษฎรเอง อย่างไรก็ตาม การพิจารณาว่าสมควรจะสร้างหรือไม่ย่อมจะต้องพิจารณาถึงสภาพทางเศรษฐกิจและสังคมที่เป็นอยู่ ว่าในบริเวณที่จะเปิดโครงการชลประทานขึ้นมาใหม่นั้นมีจำนวนพลเมืองเท่าใด ส่วนใหญ่มีอาชีพอะไร ผลผลิตทางการเกษตรในปัจจุบันเป็นอย่างไร การพิจารณาในแง่ต่าง ๆ เหล่านี้ต้องทำอย่างละเอียด เพราะถ้าหากว่าในบริเวณนั้นยังมีผู้อาศัยอยู่น้อย ถ้าเปิดโครงการแล้วจำเป็นต้องอพยพประชาชนจากที่อื่นเข้ามาทำกิน หรือประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพอื่นที่ดีกว่าอยู่แล้ว หรือมีฐานะทางเศรษฐกิจดีเพราะได้ผลผลิตดีและพอช่วยตัวเองได้บ้างแล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องเปิดโครงการชลประทานขึ้นมาอีก ควรไปริเริ่มโครงการอื่นที่มีความจำเป็นเร่งด่วนกว่าเสียก่อน ดังนี้เป็นต้น

โครงการชลประทานบางโครงการเมื่อเปิดขึ้นแล้วทำให้มีปัญหาอย่างอื่นตามมา เช่นทำให้เกิดน้ำท่วมพื้นที่เพาะปลูกเป็นจำนวนมากพอ ๆ กับพื้นที่ที่จะได้รับประโยชน์ หรือท่วมชุมชนที่อยู่กันอย่างหนาแน่น สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ แหล่งทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญ หรือพื้นที่โครงการอาจจะรุกล้ำเข้าไปในเขตป่าสงวนเป็นต้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องนำเข้ามาพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะเปิดโครงการขึ้นหรือไม่เป็นอันดับแรกแล้วจึงพิจารณาถึงอย่างอื่น ๆ ต่อไป

3. ลักษณะของพื้นที่ดินและพืช โครงการชลประทานที่จะประสบผลสำเร็จนั้นจะต้องตั้งอยู่บนพื้นดินที่มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก ดังนั้น การศึกษาลักษณะของพื้นที่และดินจึงเป็นส่วนสำคัญในการพิจารณาความเหมาะสมของการเปิดโครงการขึ้นมาใหม่ สิ่งที่จะต้องนำมาพิจารณาในข้อนี้อาจแบ่งออกได้เป็น 4 อย่างด้วยกันคือ

ก. ลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่

ข. ลักษณะของเนื้อดินและความอุดมสมบูรณ์ของดิน

ค. พืชที่เหมาะกับโครงการ

ง. ลักษณะการใช้ที่ดิน

ลักษณะความสูงต่ำของพื้นที่ในเขตโครงการ อาจดูได้จากแผนที่ภูมิประเทศซึ่งได้จากการทำแผนที่ระดับในเขตโครงการ เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ประกอบการพิจารณาวางแนวคลองส่งน้ำ กำหนดลักษณะของอาคารควบคุมน้ำในคลอง และกำหนดเขตพื้นที่ของโครงการ เพื่อให้มีรายละเอียดมากพอต่อการใช้งาน แผนที่ดังกล่าวควรมีขนาดไม่เล็กกว่า 1 : 10,000 และมีเส้นแสดงชั้นความสูงทุก 1 เมตร หรือน้อยกว่า

พื้นที่ชลประทานที่ดีควรจะเรียบและมีความลาดเทสม่ำเสมอแต่ไม่แบนราบหรือชันมากจนเกินไป เพราะพื้นที่ที่แบนราบจะมีปัญหาเรื่องการระบายน้ำ ส่วนพื้นที่ที่มีความลาดเทชันเกินไปก็จะมีปัญหาเรื่องการกัดเซาะ (Erosion) ในขณะให้น้ำหรือฝนตก พื้นที่ที่เหมาะสมควรมีความลาดเทหลักอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 5 เปอร์เซนต์ พื้นที่ที่สูง ๆ ต่ำ ๆ ย่อมจะทำให้การให้น้ำไม่มีประสิทธิภาพ หรือทำให้ต้องมีการปรับพื้นที่ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายแพงมาก

ลักษณะของเนื้อดินมีผลต่อการอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ วิธีการให้น้ำที่จะเลือกใช้ได้ และการระบายน้ำ ดินที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกมากที่สุดคือดินที่มีเนื้อดินขนาดปานกลาง เช่น ดินร่วน (Loam) ดินร่วนปนดินเหนียว (Clay Loam) ดินร่วนปนตะกอนทราย (Silt Loam) ซึ่งมีคุณสมบัติอุ้มน้ำไว้ได้มาก ยอมให้พืชดูดเอาไปใช้ได้ง่าย มีการระบายน้ำและถ่ายเทอากาศได้ดี แต่ถ้าเป็นพื้นที่ทำนาควรจะเป็นดินเหนียวหรือดินที่มีอนุภาคดินเหนียวอยู่มาก เพราะมิฉะนั้นแล้วจะมีการรั่วซึมในแปลงนาสูงมาก

พื้นที่เพาะปลูกที่ดีควรมีชั้นดินที่ดีและลึกไม่น้อยกว่าความลึกปกติของรากพืชที่จะปลูก มีการระบายน้ำดี มีระดับน้ำใต้ดินต่ำ ไม่เป็นดินเปรี้ยว (Saline soil) หรือดินเค็ม (Alkaline soil) มีความอุดมสมบูรณ์สูง และผิวดินไม่ถูกกัดเซาะพัง ทลายได้ง่าย

คุณสมบัติและความอุดมสมบูรณ์ของดินนี้จะมีผลไปถึงการเลือกชนิดของพืชที่ปลูก ตลอดจนปริมาณน้ำที่ต้องการใช้ในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ซึ่งจะเกี่ยวข้องไปถึงการออกแบบและกำหนดขนาดของคลองส่งน้ำและอาคารควบคุมน้ำในคลองด้วย นอกจากนั้น ลักษณะเนื้อดินยังจะมีผลต่อการรั่วซึมของน้ำในคลอง เช่นถ้าหากเป็นดินทรายมีการรั่วซึมมากก็อาจจำเป็นต้องดาดคลอง ซึ่งจะทำให้ค่าลงทุนสูงเพิ่มขึ้นอีก

พืชที่เหมาะแก่การเพาะปลูกในโครงการนั้นอาจพิจารณาได้จากคุณสมบัติและความอุดมสมบูรณ์ของดิน สภาพลมฟ้าอากาศของพื้นที่ ตลอดจนความนิยมของเกษตรกรในแถบนั้น

ในการพิจารณาวางโครงการนั้น ผู้พิจารณาจำเป็นจะต้องทราบชนิด ขนาดของพื้นที่ บริเวณที่จะปลูก และแผนการปลูก (Cropping Pattern) ของพืชแต่ละชนิด เพราะข้อมูลเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ในการประเมินความต้องการน้ำในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ และใช้ในการออกแบบระบบส่งน้ำด้วย

สถิติข้อมูลด้านผลผลิตต่อไร่ก่อนมีโครงการชลประทานนั้น จำเป็นต้องรวบรวมไว้เปรียบเทียบกับที่คาดว่าจะได้รับหลังจากจากมีโครงการชลประทานเพื่อการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ว่า การลงทุนสร้างโครงการชลประทานขึ้นมาใหม่นั้นจะให้ผลคุ้มค่าหรือไม่

ในแง่ของลักษณะการใช้ที่ดินนั้น สิ่งที่เกษตรกรปฏิบัติกันอยู่ก่อนมีโครงการชลประทานมักจะเป็นการปลูกพืชปีละครั้ง โดยเริ่มต้นเมื่อมีฝนตกลงมาจนทำให้ดินมีความชุ่มชื้นมากพอที่จะไถพรวนดินได้ ไม่มีกำหนดเวลาเริ่มต้นที่แน่นอน แต่เมื่อมีโครงการชลประทานขึ้นแล้วจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงให้มีกำหนดเวลาค่อนข้างแน่นอนขึ้นตามความเหมาะสม เพราะว่าแผนการปลูกพืชที่กำหนดขึ้นมาใหม่นั้นจะช่วยทำให้ใช้แหล่งน้ำที่มีอยู่อย่างจำกัดมาทำการเพาะปลูกได้พื้นที่มากขึ้น นอกจากนั้น บางโครงการมีแหล่งน้ำอุดมสมบูรณ์ก็อาจจะเปิดโอกาสให้ปลูกพืชได้ถึง 3 ครั้ง การประเมินผลประโยชน์ที่จะได้รับจากโครงการก็จะประเมินตามขีดความสามารถสูงสุดที่กล่าวนี้

อย่างไรก็ตาม มักปรากฏเสมอว่ากสิกรยังไม่ยอมเปลี่ยนแผนการปลูกพืชถึงแม้ว่าจะมีโครงการชลประทานแล้วก็ตาม ดังนั้น ผลประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการชลประทานที่เป็นจริงจึงต่ำกว่าเป้าหมายที่คาดคะเนไว้

ในแง่ของพืชที่ปลูกก็เช่นเดียวกัน เช่นกำหนดไว้ว่าควรจะปลูกพืชชนิดที่ให้ผลตอบแทนสูง มีระยะเวลา

การปลูกพอเหมาะที่จะทำให้สามารถปลูกพืชได้ 2 ครั้ง แต่กสิกรกลับไปปลูกพืชอย่างอื่นที่เคยปลูกอยู่เป็นประจำซึ่งมีอายุเก็บเกี่ยวนานกว่า ก็จะทำให้เสียจังหวะในการใช้น้ำที่มีมาตามธรรมชาติจนไม่สามารถปลูกพืชครั้งที่สองได้ เป็นต้น

การพิจารณาวางโครงการชลประทานจะต้องคำนึงถึงข้อเท็จจริงเหล่านี้ด้วย และถ้าเป็นไปได้ควรมีโครงการแนะนำส่งเสริมชาวไร่ชาวนา เช่นมีแปลงสาธิตการใช้น้ำรวมอยู่ในโครงการด้วย เพื่อให้การใช้ที่ดินเป็นไปตามแผนที่วางไว้ได้เร็วขึ้น

4. แหล่งน้ำที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ การพิจารณาในข้อนี้จะต้องคำนึงถึงหลักการของการชลประทานที่ว่า สร้างขึ้นเพื่อส่งน้ำไปช่วยเหลือการเพาะปลูกในช่วงที่ขาดฝน ดังนั้นถ้าบริเวณใดมีฝนในปริมาณที่มากพอและมีช่วงการตกสม่ำเสมอกันดีแล้วก็ไม่จำเป็นต้องมีโครงการชลประทาน แต่ลักษณะดังกล่าวนี้เกิดขึ้นได้ยาก ส่วนใหญ่มักจะมากหรือน้อยเกินไป หรือทิ้งช่วงไปนานจนทำให้การเพาะปลูกได้รับความเสียหาย ดังนั้น การพิจารณาเรื่องแหล่งน้ำจึงต้องพิจารณาทั้งน้ำฝนและน้ำจากแหล่งอื่นที่อาจนำเข้ามาเสริมน้ำฝนประกอบกัน โดยไม่จำเป็นว่าจะต้องอาศัยน้ำจากแหล่งเดียวเสมอไป

ฝนที่ตกในฤดูการเพาะปลูกนั้นจะไม่เป็นประโยชน์ต่อพืชทั้งหมด ส่วนที่เป็นประโยชน์ซึ่งเรียกว่าฝนใช้การ (Effective Rainfall) นั้นเป็นส่วนเฉพาะที่พืชเอาไปใช้ได้โดยการเก็บกักไว้ในเขตรากหรือชังอยู่ในแปลงนาในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อพืช คือเป็นส่วนที่ทดแทนความต้องการน้ำชลประทานที่ไร่นาได้นั่นเอง สัดส่วนของฝนที่ใช้การได้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น อัตราและปริมาณที่ฝนตก ลักษณะของผิวดิน ความชื้นเดิมก่อนฝนตก ความสามารถอุ้มน้ำของดิน ชนิดและอายุของพืชที่ปลูก ตลอดจนวิธีการให้น้ำที่ใช้อยู่ เป็นต้น รายละเอียดในการประมาณค่าฝนใช้การได้กล่าวไว้ในบทที่ 8 แล้ว

นอกเหนือจากฝนที่ตกลงในพื้นที่เพาะปลูกแล้ว ปริมาณน้ำฝนที่ตกในลุ่มน้ำย่อมจะมีผลถึงปริมาณน้ำท่าที่จะนำมาใช้ทำการชลประทานได้โดยตรง ดังนั้น ถ้าได้มีการหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าในช่วงระยะเวลาต่าง ๆ ของลุ่มน้ำเอาไว้แล้ว ก็จะสามารถใช้ความสัมพันธ์ดังกล่าวร่วมกับสถิติปริมาณน้ำฝนซึ่งมักจะมีสถิติยาวนานกว่า มาคำนวณปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่จะนำเอามาใช้โดยมีระดับความเชื่อถือได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมให้

อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้โดยวิธีดังกล่าวข้างต้นย่อมเชื่อถือได้น้อยกว่าสถิติน้ำท่าที่ได้จากการวัดโดยตรงถ้าสถิตินั้นยาวนานพอ สถิติน้ำท่าควรจะเป็นสถิติที่ได้จากการวัดไว้เป็นรายวันติดต่อกัน โดยมีระยะเวลานานพอที่จะแสดงลักษณะเฉพาะที่สำคัญด้านอัตราและปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำเมื่อมีฝนตกในระดับต่าง ๆ กัน ซึ่งโดยปกติสถิติดังกล่าวนี้ไม่ควรจะสั้นกว่า 5 ปี และถ้าสถิติยิ่งยาวนานขึ้นเท่าใด ความถูกต้องในการประมาณปริมาณน้ำท่าก็จะยิ่งถูกต้องเชื่อถือได้มากขึ้นเท่านั้น

ในการพิจารณาปริมาณน้ำท่าที่จะนำมาใช้ได้นั้น ควรจะได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงภายในลุ่มน้ำที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตด้วย เป็นต้นว่า การขยายพื้นที่ทำกินเข้าไปในต้นน้ำลำธารซึ่งจะทำให้มีการใช้น้ำทางด้านเหนือน้ำมากขึ้น และมีน้ำไหลลงมาน้อยลง หรือการตัดไม้ทำลายป่าทำให้การไหลบ่าของน้ำรุนแรงกว่าเดิม

เป็นต้น นอกจากนั้นควรจะได้คำนึงถึงความต้องการน้ำในกิจการอื่น เช่น เพื่อการประปา เพื่อการคมนาคมทางน้ำ ฯลฯ ซึ่งต้องใช้น้ำจากแหล่งเดียวกันด้วย

ในกรณีที่น้ำที่จะนำมาใช้ในการชลประทานเป็นแหล่งน้ำใต้ดิน ก็จำเป็นต้องมีการศึกษาถึงปริมาณที่จะนำมาใช้ได้อย่างปลอดภัยด้วยเช่นเดียวกัน การเจาะบ่อทดสอบอาจจะได้ข้อมูลเบื้องต้นของอัตราที่จะสามารถสูบขึ้นมาใช้ได้ถ้าเป็นโครงการระยะสั้น แต่ถ้าต้องการทราบอัตราการสูบที่ปลอดภัยในระยะยาวแล้วจำเป็นต้องมีการศึกษาอย่างละเอียดถึงคุณสมบัติของชั้นน้ำ (Aquifer) ที่สูบขึ้นมา รวมทั้งลักษณะทางธรณีวิทยา ปริมาณและลักษณะการไหลของน้ำเข้ามาสู่ชั้นน้ำดังกล่าวด้วย

นอกจากปริมาณที่จะนำเอามาใช้ได้แล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงคุณภาพที่อาจจะมีผลต่อการเพาะปลูก อายุการใช้งานและการบำรุงรักษาโครงการด้วย สิ่งที่จะต้องนำเข้ามาประกอบการพิจารณาเช่น ความเข้มข้นของสารละลายเกลือ หรือสิ่งเป็นพิษที่ติดมากับน้ำ ปริมาณและขนาดของตะกอนที่ไหลรวมมากับน้ำ เป็นต้น

5. ค่าลงทุนและบำรุงรักษา หมายถึงค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ในอันที่จะทำให้เกิดโครงการชลประทานนั้นขึ้นมาและใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งเอาไว้ ค่าใช้จ่ายดังกล่าวนี้อาจจะแยกเป็นค่าลงทุน และค่าบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษา สำหรับค่าลงทุนนั้นยังอาจจะแบ่งออกได้เป็น (ก) ค่าใช้จ่ายในการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งนับตั้งแต่ค่าใช้จ่ายในการสำรวจภูมิประเทศ สำรวจทางอุทกวิทยา สำรวจทางธรณีวิทยา สำรวจการใช้ที่ดินและความเหมาะสมของดินต่อการปลูกพืชชนิดต่าง ๆ ตลอดจนการศึกษาหาความเป็นไปได้ของโครงการ (ข) ค่าใช้จ่ายในการวางโครงการ ออกแบบรายละเอียดสิ่งก่อสร้างทุกอย่างที่จำเป็นต้องมี และค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบงานออกแบบนั้น (ค) ค่าก่อสร้างและควบคุมงาน (ง) ค่าจัดซื้อหรือเวนคืนที่ดิน (จ) ค่าใช้จ่ายในการอพยพชุมชนและสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกให้ใหม่ (ฉ) ค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่เพื่อให้สามารถดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของโครงการอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับค่าบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษานั้นจะประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายประจำที่จะต้องใช้ในการดำเนินการ เช่น เงินเดือนและค่าจ้าง ค่าใช้สอย ค่าวัสดุ ค่าเครื่องมือเครื่องใช้ต่าง ๆ ทั้งในสำนักงานและในการซ่อมแซมบำรุงรักษาโครงการ และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องใช้เป็นประจำทุก ๆ ปี

ค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นนี้ จำเป็นจะต้องประเมินให้ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด เพราะเป็นข้อมูลที่สำคัญอันหนึ่งที่จะใช้ในการตัดสินใจว่าควรจะสร้างโครงการชลประทานขึ้นมาหรือไม่ และถ้าได้รับอนุมัติให้สร้างได้แต่ประเมินราคาไว้น้อยไปก็จะเป็นปัญหาในขณะก่อสร้างได้

เพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างโครงการชลประทานหลาย ๆ โครงการ ค่าลงทุนและบำรุงรักษาอาจจะบอกเป็นจำนวนเงินต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ เช่น 3,000 บาทต่อไร่ ก็พอจะบอกได้อย่างคร่าว ๆ ว่าโครงการที่เสนอขอมานั้นแพงเกินไปหรือไม่ เพราะโดยปกติแล้วผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการมีโครงการชลประทานนั้นไม่ต่างกันมาก และถ้าเห็นว่าแพงกว่าปกติก็อาจจะต้องระงับโครงการนั้นไว้ก่อนก็ได้

**6. ผลประโยชน์ที่จะได้รับ** ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการมีโครงการชลประทานนั้นมีทั้งผลประโยชน์โดยตรง และผลประโยชน์ทางอ้อม

ผลประโยชน์โดยตรงหมายถึงรายได้เป็นจำนวนเงินที่เพิ่มขึ้นจากเดิมอันเป็นผลเนื่องมาจากการมีโครงการชลประทานนั้น ในกรณีที่เป็นโครงการของรัฐบาล ผลประโยชน์โดยตรงที่เพิ่มขึ้นอาจเป็นค่าน้ำ ค่าภาษีอากรที่ดินในเขตโครงการซึ่งเก็บสูงขึ้นได้เนื่องจากที่ดินมีราคาสูงขึ้น ถ้าเป็นโครงการที่เอกชนสร้างขึ้นเองอาจเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลผลิตได้มากขึ้น ราคาที่ดินอาจสูงขึ้นเนื่องจากมีการชลประทานแล้ว เป็นต้น

สำหรับผลประโยชน์ทางอ้อมนั้นเป็นสิ่งที่แน่ใจว่าเกิดขึ้นจากการมีโครงการชลประทาน แต่ไม่สามารถประเมินออกมาเป็นตัวเงินได้แน่นอน เช่น การมีโครงการชลประทานช่วยให้ชาวไร่ชาวนามีความเป็นอยู่ดีขึ้น เป็นการสร้างงานในชนบทให้ประชาชนมีงานทำ มีที่อยู่เป็นหลักแหล่ง ทำให้เกิดความสงบสุขขึ้นในชุมชนนั้น โครงการบางโครงการที่สร้างขึ้นอาจเป็นแหล่งพักผ่อนหย่อนใจของประชาชน เป็นแหล่งเพาะและขยายพันธุ์ปลาที่จะเป็นแหล่งอาหารโปรตีนของประชาชนในบริเวณนั้น เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ไม่สามารถประมาณค่าออกมาเป็นตัวเงินได้ โดยปกติแล้วผลประโยชน์ทางอ้อมนี้ใช้พิจารณาเฉพาะโครงการของรัฐบาลเท่านั้น

เนื่องจากว่าในปัจจุบันนี้ยังไม่มีการเก็บค่าน้ำ ดังนั้นผลประโยชน์ที่ได้รับโดยตรงจากโครงการชลประทานนั้นจึงมีน้อยมากจนอาจเห็นไปว่าไม่คุ้มกับการลงทุน แต่ถ้าพิจารณาให้รอบคอบแล้วจะเห็นว่า โครงการชลประทานเกือบทุกโครงการให้ประโยชน์ทางอ้อมเป็นมูลค่ามหาศาล สำหรับโครงการของรัฐบาล ผลประโยชน์ที่จะได้รับจากการมีโครงการชลประทานโดยตรงจึงมิใช่เป็นสิ่งที่จะใช้ในการตัดสินใจอนุมัติโครงการเสมอไป

# บรรณานุกรม


1. American Association For Vocational Instruction Material, Planning for an Irrigation System, American Association for Vocational Instruction Material, Engineering Center, Athens, Georigia 1971.
2. Booher, L.J., Surface Irrigation, F.A.O., Rome, 1967.
3. Boonyatharokul, Wiboon. Irrigation Scheduling Soil Moisture Stress Model. Ph.D Dissertation. Agricultural and Chemical Engineering Department, Colorado State University, Colorado. 1979.
4. Bos, M.G. (Editor). Discharge Measurement Structures. International Institute for Land Reclaimation and Improvement, Wageningen, The Netherlands. 1967.
5. Chang, Jen - Hu, Climate and Agriculture, An Ecological Survey, Aldine Publishing Company, Chicago, 1968.
6. Doorenbos, J. and W.O. Pruitt. Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, 1977.
7. Hagan R.M., H.R. Haise and T.W. Edminster, Agronomy Nomograph No. 11, Irrigation of Agricultural Lands, American Society of Agronomy, 1967.
8. Houston, C.E., Drainage of Irrigated Land, Circular 504 (Revised), Division of Agricultural Sciences, University of California, 1967.
9. Israelsen, O.W. and V.E. Hansen, Irrigation Principles and Practices, Third Edition, John Wiley and Sons, Inc 1967.
10. Luthin J.N., Drainage Engineering. John Wiley and Sons, Inc. 1966.
11. Pair, C.H. and others, Sprinkler Irrigation, Third Edition, Sprinkler Irrigation Association, Washington D.C. 1969.
12. Palayasoot, Pitoon, Estimation of Pan Evaporation and Potential Evapotranspiration of Rice in the Central Plain of Thailand by Using Various Formulas based on Climatological Data. M.S. Thesis, Department of Irrigation Engineering, Utah State University,1965
13. Richey C.B.ed., Agricultural Engineers' Hanbook, McGraw Hill Book Co., 1961
14. Rose, C.W. Agricultural Physics, Pergamon Press.1966.
15. Schwab, G.O. and others, Soil and Water Conservation Engineering, Second Edition, John Wiley and Sons, Inc. 1966.
16. Soil Conservation Service, U.S. Department of Agriculture, SCS National Engineering

Handbook, Section 15:

Chapter 1 Soil - Plant - Water Relationships,

Chapter 3 Planning Farm Irrigation System, and

Chapter 11 Sprinkler Irrigation

17. Soil Conservation Service, USDA, Drainage of Agricultural Land, Water Information Center, Inc., New York, 1973.

18. U.S. Bureau of Reclaimation. Water Measurement Manual. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 1967.

19. U.S. Department of Agriculture. Soil, The 1957 Yearbook of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.

20. U.S Department of Agriculture, Water, The Yearbook of Agriculture, 1955, U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 1955.

21. กรมอุตุนิยมวิทยา สถิติภูมิอากาศของประเทศไทยในคาบ 25 ปี (พ.ศ. 2494 - 2518) กรมอุตินิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม มกราคม 2520

22. ไพฑูรย์ พะลายะสุต คำแนะนำวิธีส่งน้ำแบบหมุนเวียน เอกสารวิศวกรรมเกษตร ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยขอนแก่น กรกฎาคม 2518

23. วิบูลย์ บุญยธโรกุล การหา Potential Evaporation ในประเทศไทยโดยสูตรซึ่งใช้ข้อมูลภูมิอากาศ วิทยาสารเกษตรศาสตร์ ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, 2518

24. วิบูลย์ บุญยธโรกุล ถังวัดการใช้น้ำของพืช เอกสารสำหรับเสนอในการประชุมทางวิชาการวันเกษตรแห่งชาติครั้งที่18 ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน มกราคม 2523

25. อรุณ อินทรปาลิต เอกสารประกอบการสอน วิชาการวางแผนและออกแบบระบบส่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (โรเนียว)

# ภาคผนวก

## ตารางสำหรับใช้คำนวณ Evapotranspiration

ตาราง A - 1 ค่าของ $i = (\frac{T}{5})^{1.514}$ สำหรับใช้ในสูตรของ Thornthwaite

ตาราง A - 2 ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่มีแสงแดดสำหรับซีกโลกเหนือบอกเป็นจำนวนเท่าของ 12 ชั่วโมง ในเดือนต่าง ๆ ซึ่งคิดว่ามี 30 วัน ($L_d$)สำหรับใช้ในสูตรของ Thornthwaite

ตาราง A - 3 เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันในเดือนต่าง ๆ ของปี (p) สำหรับซีกโลกเหนือตั้งแต่เส้นรุ้ง 0 ถึง 30 องศาเหนือ

ตาราง A - 4 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชตลอดฤดูการเพาะปลูก (K) สำหรับใช้ในสูตรของ Blaney - Criddle

ตาราง A - 5 รังสีอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่สำหรับซีกโลกเหนือ เทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำที่ 20° C เป็น มม./วัน

ตาราง A - 6 ค่าของ $\frac{\Delta}{\Delta \gamma}$ สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

ตาราง A - 7 ค่าของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีผิวสีดำสนิท $\sigma T^4$ เทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม/วัน

ตาราง A - 8 ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็น มิลิบาร์

ตาราง A - 1 $i = (\frac{T}{5})^{1.514}$ สำหรับใช้ในสูตรของ Thornthwaite

| T°C | ทศนิยมของอุณหภูมิ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 |
| 0 | | | .01 | .01 | .02 | .03 | .04 | .05 | .06 | .07 |
| 1 | .09 | .10 | .12 | .13 | .15 | .16 | .18 | .20 | .21 | .23 |
| 2 | .25 | .27 | .29 | .31 | .33 | .35 | .37 | .39 | .42 | .44 |
| 3 | .46 | .48 | .51 | .53 | .56 | .58 | .61 | .63 | .66 | .69 |
| 4 | .71 | .74 | .77 | .80 | .82 | .85 | .88 | .91 | .94 | .97 |
| 5 | 1.00 | 1.03 | 1.06 | 1.09 | 1.12 | 1.16 | 1.19 | 1.22 | 1.25 | 1.29 |
| 6 | 1.32 | 1.35 | 1.39 | 1.42 | 1.45 | 1.49 | 1.52 | 1.56 | 1.59 | 1.63 |
| 7 | 1.66 | 1.70 | 1.74 | 1.77 | 1.81 | 1.85 | 1.89 | 1.92 | 1.96 | 2.00 |
| 8 | 2.04 | 2.12 | 2.15 | 2.19 | 2.23 | 2.27 | 2.31 | 2.35 | 2.35 | 2.39 |
| 9 | 2.44 | 2.48 | 2.52 | 2.56 | 2.60 | 2.64 | 2.69 | 2.73 | 2.77 | 2.81 |
| 10 | 2.86 | 2.90 | 2.94 | 2.99 | 3.03 | 3.08 | 3.12 | 3.16 | 3.21 | 2.25 |
| 11 | 3.30 | 3.34 | 3.39 | 3.44 | 3.48 | 3.53 | 3.58 | 3.62 | 3.67 | 3.72 |
| 12 | 3.76 | 3.81 | 3.86 | 3.91 | 3.96 | 4.00 | 4.05 | 4.10 | 4.15 | 4.20 |
| 13 | 4.25 | 4.30 | 4.35 | 4.40 | 4.45 | 4.50 | 4.55 | 4.60 | 4.65 | 4.70 |
| 14 | 4.75 | 4.81 | 4.86 | 4.91 | 4.96 | 5.01 | 5.07 | 5.12 | 5.17 | 5.22 |
| 15 | 5.28 | 5.33 | 5.38 | 5.44 | 5.49 | 5.55 | 5.60 | 5.65 | 5.71 | 5.76 |
| 16 | 5.82 | 5.87 | 5.93 | 5.98 | 6.04 | 6.10 | 6.15 | 6.21 | 6.26 | 6.32 |
| 17 | 6.38 | 6.44 | 6.49 | 6.55 | 6.61 | 6.66 | 6.72 | 6.78 | 6.84 | 6.90 |
| 18 | 6.95 | 7.01 | 7.07 | 7.13 | 7.19 | 7.25 | 7.31 | 7.37 | 7.43 | 7.49 |
| 19 | 7.55 | 7.61 | 7.67 | 7.73 | 7.79 | 7.85 | 7.91 | 7.97 | 8.03 | 8.10 |
| 20 | 8.16 | 8.22 | 8.28 | 8.34 | 8.41 | 8.47 | 8.53 | 8.59 | 8.66 | 8.72 |
| 21 | 8.78 | 8.85 | 8.91 | 8.97 | 9.04 | 9.10 | 9.17 | 9.23 | 9.29 | 9.36 |
| 22 | 9.42 | 9.49 | 9.55 | 9.62 | 9.68 | 9.75 | 9.82 | 9.88 | 9.95 | 10.01 |
| 23 | 10.08 | 10.15 | 10.21 | 10.28 | 10.35 | 10.41 | 10.48 | 10.55 | 10.62 | 10.68 |
| 24 | 10.75 | 10.82 | 10.89 | 10.95 | 11.02 | 11.09 | 11.16 | 11.23 | 11.30 | 11.37 |
| 25 | 11.44 | 11.50 | 11.57 | 11.64 | 11.71 | 11.78 | 11.85 | 11.92 | 11.99 | 12.06 |
| 26 | 12.13 | 12.21 | 12.28 | 12.35 | 12.42 | 12.49 | 12.56 | 12.63 | 12.70 | 12.78 |
| 27 | 12.85 | 12.92 | 12.99 | 13.07 | 13.14 | 13.21 | 13.28 | 13.36 | 13.43 | 13.50 |
| 28 | 13.58 | 13.65 | 13.72 | 13.80 | 13.87 | 13.94 | 14.02 | 14.09 | 14.17 | 14.24 |
| 29 | 14.32 | 14.39 | 14.47 | 14.54 | 14.62 | 14.69 | 14.77 | 14.84 | 14.92 | 14.99 |
| 30 | 15.07 | 15.15 | 15.22 | 15.30 | 15.38 | 15.45 | 15.53 | 15.61 | 15.68 | 15.76 |
| 31 | 15.84 | 15.92 | 15.99 | 16.07 | 16.15 | 16.23 | 16.30 | 16.38 | 16.46 | 16.54 |
| 32 | 16.62 | 16.70 | 16.78 | 16.85 | 16.93 | 17.01 | 17.09 | 17.17 | 17.25 | 17.33 |
| 33 | 17.41 | 17.49 | 17.57 | 17.65 | 17.73 | 17.81 | 17.89 | 17.97 | 18.05 | 18.13 |
| 34 | 18.22 | 18.30 | 18.38 | 18.46 | 18.54 | 18.62 | 18.70 | 18.79 | 18.87 | 18.95 |
| 35 | 19.03 | 19.11 | 19.20 | 19.28 | 19.36 | 19.45 | 19.53 | 19.61 | 19.69 | 19.78 |
| 36 | 19.86 | 19.95 | 20.03 | 20.11 | 20.20 | 20.28 | 20.36 | 20.45 | 20.53 | 20.62 |
| 37 | 20.70 | 20.79 | 20.87 | 20.96 | 21.04 | 21.13 | 21.21 | 21.30 | 21.38 | 21.47 |
| 38 | 21.56 | 21.64 | 21.73 | 21.81 | 21.90 | 21.99 | 22.07 | 22.16 | 22.25 | 22.33 |
| 39 | 22.42 | 22.51 | 22.59 | 22.68 | 22.77 | 22.86 | 22.95 | 23.03 | 23.12 | 23.21 |
| 40 | 23.30 | | | | | | | | | |

ตาราง A - 2 ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาที่มีแสงแดดสำหรับซีกโลกเหนือ บอกเป็นจำนวนเท่าของ 12 ชั่วโมง ในเดือนต่าง ๆ ซึ่งคิดว่ามี 30 วัน

| เส้นรุ้ง | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย | พ.ค | มิ.ย | ก.ค | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1.04 | .94 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.04 | 1.01 | 1.04 | 1.01 | 1.04 |
| 5 | 1.02 | .93 | 1.03 | 1.02 | 1.06 | 1.03 | 1.06 | 1.05 | 1.01 | 1.03 | .99 | 1.02 |
| 10 | 1.00 | .91 | 1.03 | 1.03 | 1.08 | 1.06 | 1.08 | 1.07 | 1.02 | 1.02 | .98 | .99 |
| 15 | .97 | .91 | 1.03 | 1.04 | 1.11 | 1.08 | 1.12 | 1.08 | 1.02 | 1.01 | .95 | .97 |
| 20 | .95 | .90 | 1.03 | 1.05 | 1.13 | 1.11 | 1.14 | 1.11 | 1.02 | 1.00 | .93 | .94 |
| 25 | .93 | .89 | 1.03 | 1.06 | 1.15 | 1.14 | 1.17 | 1.12 | 1.02 | .99 | .91 | .91 |
| 26 | .92 | .88 | 1.03 | 1.06 | 1.15 | 1.15 | 1.17 | 1.12 | 1.02 | .99 | .91 | .91 |
| 27 | .92 | .88 | 1.03 | 1.07 | 1.16 | 1.15 | 1.18 | 1.13 | 1.02 | .99 | .90 | .90 |
| 28 | .91 | .88 | 1.03 | 1.07 | 1.16 | 1.16 | 1.18 | 1.13 | 1.02 | .98 | .90 | .90 |
| 29 | .91 | .87 | 1.03 | 1.07 | 1.17 | 1.16 | 1.19 | 1.13 | 1.03 | .98 | .90 | .89 |
| 30 | .90 | .87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.17 | 1.20 | 1.14 | 1.03 | .98 | .89 | .88 |
| 31 | .90 | .87 | 1.03 | 1.08 | 1.18 | 1.18 | 1.20 | 1.14 | 1.03 | .98 | .89 | .88 |
| 32 | .89 | .86 | 1.03 | 1.08 | 1.19 | 1.19 | 1.21 | 1.15 | 1.03 | .98 | .88 | .87 |
| 33 | .88 | .86 | 1.03 | 1.09 | 1.19 | 1.20 | 1.22 | 1.15 | 1.03 | .97 | .88 | .86 |
| 34 | .88 | .85 | 1.03 | 1.09 | 1.20 | 1.20 | 1.22 | 1.16 | 1.03 | .97 | .87 | .86 |
| 35 | .87 | .85 | 1.03 | 1.09 | 1.21 | 1.21 | 1.23 | 1.16 | 1.03 | .97 | .86 | .85 |
| 36 | .87 | .85 | 1.03 | 1.10 | 1.21 | 1.22 | 1.24 | 1.16 | 1.03 | .97 | .86 | .84 |
| 37 | .86 | .84 | 1.03 | 1.10 | 1.22 | 1.23 | 1.25 | 1.17 | 1.03 | .97 | .85 | .83 |
| 38 | .85 | .84 | 1.03 | 1.10 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.17 | 1.04 | .96 | .84 | .83 |
| 39 | .85 | .84 | 1.03 | 1.11 | 1.23 | 1.24 | 1.26 | 1.18 | 1.04 | .96 | .84 | .82 |
| 40 | .84 | .83 | 1.03 | 1.11 | 1.24 | 1.25 | 1.27 | 1.18 | 1.04 | .96 | .83 | .81 |
| 41 | .83 | .83 | 1.03 | 1.11 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.19 | 1.04 | .96 | .82 | .80 |
| 42 | .82 | .83 | 1.03 | 1.12 | 1.26 | 1.27 | 1.28 | 1.19 | 1.04 | .95 | .82 | .79 |
| 43 | .81 | .82 | 1.02 | 1.12 | 1.26 | 1.28 | 1.29 | 1.20 | 1.04 | .95 | .81 | .77 |
| 44 | .81 | .82 | 1.02 | 1.13 | 1.27 | 1.29 | 1.30 | 1.20 | 1.04 | .95 | .80 | .76 |
| 45 | .80 | .81 | 1.02 | 1.13 | 1.28 | 1.29 | 1.31 | 1.21 | 1.04 | .94 | .79 | .75 |
| 46 | .79 | .81 | 1.02 | 1.13 | 1.29 | 1.31 | 1.32 | 1.22 | 1.04 | .94 | .79 | .74 |
| 47 | .77 | .80 | 1.02 | 1.14 | 1.30 | 1.32 | 1.33 | 1.22 | 1.04 | .93 | .78 | .73 |
| 48 | .76 | .80 | 1.02 | 1.14 | 1.31 | 1.33 | 1.34 | 1.23 | 1.05 | .93 | .77 | .72 |
| 49 | .75 | .79 | 1.02 | 1.14 | 1.32 | 1.34 | 1.35 | 1.24 | 1.05 | .93 | .76 | .71 |
| 50 | .74 | .78 | 1.02 | 1.15 | 1.33 | 1.36 | 1.37 | 1.25 | 1.06 | .92 | .76 | .70 |

ตาราง A - 3 เปอร์เซนต์ของชั่วโมงกลางวันในเดือนต่าง ๆ ของปี (p) สำหรับซีกโลกเหนือตั้งแต่เส้นรุ้ง 0 ถึง 30 องศาเหนือ

| เส้นรุ้ง | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 30° | 7.31 | 7.02 | 8.37 | 8.71 | 9.54 | 9.49 | 9.67 | 9.21 | 8.33 | 7.99 | 7.20 | 7.16 |
| 29° | 7.35 | 7.05 | 8.37 | 8.69 | 9.50 | 9.44 | 9.62 | 9.19 | 8.33 | 8.00 | 7.24 | 7.22 |
| 28° | 7.40 | 7.07 | 8.37 | 8.67 | 9.46 | 9.39 | 9.58 | 9.17 | 8.32 | 8.02 | 7.28 | 7.27 |
| 27° | 7.44 | 7.10 | 8.38 | 8.66 | 9.41 | 9.34 | 9.53 | 9.14 | 8.32 | 8.04 | 7.32 | 7.32 |
| 26° | 7.49 | 7.12 | 8.38 | 8.64 | 9.37 | 9.29 | 9.49 | 9.11 | 8.32 | 8.06 | 7.36 | 7.37 |
| 25° | 7.54 | 7.14 | 8.39 | 8.62 | 9.33 | 9.24 | 9.45 | 9.08 | 8.31 | 8.08 | 7.40 | 7.42 |
| 24° | 7.58 | 7.16 | 8.39 | 8.60 | 9.30 | 9.19 | 9.40 | 9.06 | 8.31 | 8.10 | 7.44 | 7.47 |
| 23° | 7.62 | 7.19 | 8.40 | 8.58 | 9.26 | 9.15 | 9.36 | 9.04 | 8.30 | 8.12 | 7.47 | 7.51 |
| 22° | 7.67 | 7.21 | 8.40 | 8.56 | 9.22 | 9.11 | 9.32 | 9.01 | 8.30 | 8.13 | 7.51 | 7.56 |
| 21° | 7.71 | 7.24 | 8.41 | 8.55 | 9.18 | 9.06 | 9.28 | 8.98 | 8.29 | 8.15 | 7.55 | 7.60 |
| 20° | 7.75 | 7.26 | 8.41 | 8.53 | 9.15 | 9.02 | 9.24 | 8.95 | 8.29 | 8.17 | 7.58 | 7.65 |
| 19° | 7.79 | 7.28 | 8.41 | 8.51 | 9.12 | 8.97 | 9.20 | 8.93 | 8.29 | 8.19 | 7.61 | 7.70 |
| 18° | 7.83 | 7.31 | 8.41 | 8.50 | 9.08 | 8.93 | 9.16 | 8.90 | 8.29 | 8.20 | 7.65 | 7.74 |
| 17° | 7.87 | 7.33 | 8.42 | 8.48 | 9.04 | 8.89 | 9.12 | 8.88 | 8.28 | 8.22 | 7.68 | 7.79 |
| 16° | 7.91 | 7.35 | 8.42 | 8.47 | 9.01 | 8.85 | 9.08 | 8.85 | 8.28 | 8.23 | 7.72 | 7.83 |
| 15° | 7.94 | 7.37 | 8.43 | 8.45 | 8.98 | 8.81 | 9.04 | 8.83 | 8.27 | 8.25 | 7.75 | 7.88 |
| 14° | 7.98 | 7.39 | 8.43 | 8.43 | 8.94 | 8.77 | 9.00 | 8.80 | 8.27 | 8.27 | 7.79 | 7.93 |
| 13° | 8.02 | 7.41 | 8.43 | 8.42 | 8.91 | 8.73 | 8.96 | 8.78 | 8.26 | 8.29 | 7.82 | 7.97 |
| 12° | 8.06 | 7.43 | 8.44 | 8.40 | 8.87 | 8.69 | 8.92 | 8.76 | 8.26 | 8.31 | 7.85 | 8.01 |
| 11° | 8.10 | 7.45 | 8.44 | 8.39 | 8.84 | 8.65 | 8.88 | 8.73 | 8.26 | 8.33 | 7.88 | 8.05 |
| 10° | 8.14 | 7.47 | 8.45 | 8.37 | 8.81 | 8.61 | 8.85 | 8.71 | 8.25 | 8.34 | 7.91 | 8.09 |
| 9° | 8.18 | 7.49 | 8.45 | 8.35 | 8.77 | 8.57 | 8.81 | 8.68 | 8.25 | 8.36 | 7.95 | 8.14 |
| 8° | 8.21 | 7.51 | 8.45 | 8.34 | 8.74 | 8.53 | 8.78 | 8.66 | 8.25 | 8.37 | 7.98 | 8.18 |
| 7° | 8.25 | 7.53 | 8.46 | 8.32 | 8.71 | 8.49 | 8.74 | 8.64 | 8.25 | 8.38 | 8.01 | 8.22 |
| 6° | 8.28 | 7.55 | 8.46 | 8.31 | 8.68 | 8.45 | 8.71 | 8.62 | 8.24 | 8.40 | 8.04 | 8.26 |
| 5° | 8.32 | 7.58 | 8.47 | 8.29 | 8.65 | 8.41 | 8.67 | 8.60 | 8.24 | 8.41 | 8.07 | 8.30 |
| 4° | 8.36 | 7.59 | 8.47 | 8.28 | 8.62 | 8.37 | 8.64 | 8.57 | 8.23 | 8.43 | 8.10 | 8.34 |
| 3° | 8.40 | 7.61 | 8.48 | 8.26 | 8.58 | 8.33 | 8.60 | 8.55 | 8.23 | 8.45 | 8.13 | 8.38 |
| 2° | 8.43 | 7.63 | 8.49 | 8.25 | 8.55 | 8.29 | 8.57 | 8.53 | 8.22 | 8.46 | 8.16 | 8.42 |
| 1° | 8.47 | 7.65 | 8.49 | 8.23 | 8.52 | 8.25 | 8.53 | 8.51 | 8.22 | 8.48 | 8.19 | 8.46 |
| 0° | 8.50 | 7.67 | 8.49 | 8.22 | 8.49 | 8.22 | 8.50 | 8.49 | 8.21 | 8.49 | 8.22 | 8.50 |

ตาราง A - 4 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชตลอดฤดูการเพาะปลูก (K) สำหรับใช้ในสูตรของ Blaney - Criddle

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

1/ อายุการเพาะปลูกส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับพันธุ์และฤดูที่ปลูก พืชชนิดเดียวกันถ้าปลูกในฤดูหนาวจะมีอายุการปลูกมากกว่าปลูกในฤดูร้อน

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

ตาราง A - 5 รังสีอาทิตย์ที่จะได้รับบนผิวโลกเมื่อไม่มีบรรยากาศปกคลุมอยู่สำหรับซีกโลกเหนือเทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำที่ 20° C เป็น มม./วัน

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

ตาราง A - 6 ค่าของ $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$ สำหรับอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

| T°C | ทศนิยมของอุณหภูมิ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 |
| 0 | .398 | .402 | .405 | .408 | .412 |
| 1 | .415 | .418 | .422 | .425 | .428 |
| 2 | .431 | .435 | .438 | .441 | .444 |
| 3 | .447 | .451 | .454 | .457 | .460 |
| 4 | .463 | .466 | .470 | .473 | .476 |
| 5 | .479 | .482 | .485 | .488 | .491 |
| 6 | .494 | .497 | .500 | .503 | .506 |
| 7 | .509 | .512 | .515 | .518 | .521 |
| 8 | .524 | .527 | .530 | .533 | .536 |
| 9 | .539 | .541 | .544 | .547 | .550 |
| 10 | .553 | .556 | .558 | .561 | .564 |
| 11 | .567 | .570 | .572 | .575 | .578 |
| 12 | .580 | .583 | .586 | .589 | .591 |
| 13 | .594 | .597 | .599 | .602 | .604 |
| 14 | .607 | .610 | .612 | .615 | .617 |
| 15 | .620 | .622 | .625 | .627 | .630 |
| 16 | .632 | .635 | .637 | .640 | .642 |
| 17 | .645 | .647 | .650 | .652 | .654 |
| 18 | .657 | .659 | .662 | .664 | .666 |
| 19 | .669 | .671 | .673 | .676 | .678 |
| 20 | .680 | .682 | .685 | .687 | .689 |
| 21 | .691 | .694 | .696 | .698 | .700 |
| 22 | .702 | .705 | .707 | .709 | .711 |
| 23 | .713 | .715 | .717 | .719 | .721 |
| 24 | .723 | .726 | .728 | .730 | .732 |
| 25 | .734 | .736 | .738 | .740 | .742 |
| 26 | .743 | .745 | .747 | .749 | .751 |
| 27 | .753 | .755 | .757 | .759 | .761 |
| 28 | .762 | .764 | .766 | .768 | .770 |
| 29 | .771 | .773 | .775 | .777 | .779 |
| 30 | .780 | .782 | .784 | .785 | .787 |
| 31 | .789 | .790 | .792 | .794 | .795 |
| 32 | .797 | .799 | .800 | .802 | .803 |
| 33 | .805 | .807 | .808 | .810 | .811 |
| 34 | .813 | .814 | .816 | .817 | .819 |
| 35 | .820 | .822 | .823 | .824 | .826 |
| 36 | .827 | .829 | .830 | .831 | .833 |
| 37 | .834 | .835 | 837 | .838 | .839 |
| 38 | .841 | .842 | .843 | .845 | .846 |
| 39 | .847 | .848 | .850 | .851 | .852 |
| 40 | .853 | .854 | .855 | .857 | .858 |
| 41 | .859 | .860 | .861 | .862 | .863 |
| 42 | .864 | .866 | .867 | .868 | .869 |
| 43 | .870 | .871 | .872 | .873 | .874 |
| 44 | .875 | .876 | .877 | .878 | .878 |
| 45 | .879 | .880 | .881 | .882 | .883 |
| 46 | .884 | .885 | .885 | .886 | .887 |
| 47 | .888 | .889 | .890 | .890 | .891 |
| 48 | .892 | .893 | .893 | .894 | .895 |
| 49 | .895 | .896 | .897 | .897 | .898 |
| 50 | .899 | | | | |

ตาราง A - 7 ค่าของการแผ่รังสีจากวัตถุที่มีผิวดำสนิท $\sigma T^4$ เทียบเป็นอัตราการระเหยของน้ำ เป็น มม./วัน

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

ตาราง A - 8 ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็น มิลิบาร์

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

ตาราง A - 8 (ต่อ) ความดันไอน้ำอิ่มตัวเหนือผิวน้ำ เป็น มิลิบาร์

| T°C | ทศนิยมของอุณหภูมิ | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | .0 | .1 | .2 | .3 | .4 | .5 | .6 | .7 | .8 | .9 |
| 25 | 31.67 | 31.86 | 32.05 | 32.24 | 32.43 | 32.63 | 32.82 | 33.02 | 33.21 | 33.41 |
| 26 | 33.61 | 33.81 | 34.01 | 34.21 | 34.41 | 34.61 | 34.82 | 35.02 | 35.23 | 35.44 |
| 27 | 35.65 | 35.86 | 36.07 | 36.28 | 36.49 | 36.71 | 36.92 | 37.14 | 37.36 | 37.58 |
| 28 | 37.80 | 38.02 | 38.24 | 38.46 | 38.69 | 38.91 | 39.14 | 39.36 | 39.56 | 39.82 |
| 29 | 40.05 | 40.29 | 40.52 | 40.75 | 40.99 | 41.23 | 41.47 | 41.70 | 41.94 | 42.19 |
| 30 | 42.43 | 42.67 | 42.92 | 43.17 | 43.41 | 43.66 | 43.91 | 44.16 | 44.42 | 44.67 |
| 31 | 44.93 | 45.18 | 45.44 | 45.70 | 45.96 | 46.22 | 46.49 | 46.75 | 47.02 | 47.28 |
| 32 | 47.55 | 47.82 | 48.09 | 48.36 | 48.64 | 48.91 | 49.19 | 49.47 | 49.74 | 50.02 |
| 33 | 50.31 | 50.59 | 50.87 | 51.16 | 51.45 | 51.74 | 52.03 | 52.32 | 52.61 | 52.90 |
| 34 | 53.20 | 53.50 | 53.80 | 54.10 | 54.40 | 54.70 | 55.00 | 55.31 | 55.62 | 55.93 |
| 35 | 56.24 | 56.55 | 56.86 | 57.18 | 57.49 | 57.81 | 58.13 | 58.45 | 58.77 | 59.10 |
| 36 | 59.42 | 59.75 | 60.08 | 60.41 | 60.74 | 61.07 | 61.41 | 61.74 | 62.08 | 62.42 |
| 37 | 62.76 | 63.10 | 63.45 | 63.80 | 64.14 | 64.49 | 64.84 | 65.20 | 65.55 | 65.91 |
| 38 | 66.26 | 66.62 | 66.98 | 67.35 | 67.71 | 68.08 | 68.45 | 68.81 | 69.19 | 69.56 |
| 39 | 69.93 | 70.31 | 70.69 | 71.07 | 71.45 | 71.83 | 72.22 | 72.60 | 72.99 | 73.38 |
| 40 | 73.78 | 74.17 | 74.57 | 74.97 | 75.36 | 75.77 | 76.17 | 76.57 | 76.98 | 77.39 |
| 41 | 77.80 | 78.21 | 78.63 | 79.05 | 79.46 | 79.88 | 80.31 | 80.73 | 81.16 | 81.58 |
| 42 | 82.01 | 82.45 | 82.88 | 83.32 | 83.75 | 84.19 | 84.64 | 85.08 | 85.52 | 85.97 |
| 43 | 86.42 | 86.87 | 87.33 | 87.78 | 88.24 | 88.70 | 89.16 | 89.63 | 90.09 | 90.56 |
| 44 | 91.03 | 91.51 | 91.98 | 92.46 | 92.94 | 93.42 | 93.90 | 94.39 | 94.87 | 95.36 |
| 45 | 95.85 | 96.35 | 96.84 | 97.34 | 97.84 | 98.35 | 98.85 | 99.36 | 99.87 | 100.38 |
| 46 | 100.89 | 101.41 | 101.93 | 102.45 | 102.97 | 103.50 | 104.03 | 104.56 | 105.09 | 105.62 |
| 47 | 106.16 | 106.70 | 107.24 | 107.78 | 108.33 | 108.88 | 109.43 | 109.98 | 110.54 | 111.10 |
| 48 | 111.66 | 112.22 | 112.79 | 113.36 | 113.93 | 114.50 | 115.07 | 115.65 | 116.23 | 116.81 |
| 49 | 117.40 | 117.99 | 118.58 | 119.17 | 119.77 | 120.37 | 120.97 | 121.57 | 122.18 | 122.79 |
| 50 | 123.40 | 124.01 | 124.63 | 125.25 | 125.87 | 126.49 | 127.12 | 127.75 | 128.38 | 129.01 |