สำนักหอสมุดกลาง ... สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา

CANAL STRUCTURES MODEL OF FARM IRRIGATION SYSTEMS

นาย ชัยรัตน์ โพธิ์ดี
นางสาว ทิพย์วัล บุญวงศ์
นาย เทพประสิทธิ์ มาศมาลัย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 82975
วัน,เดือน,ปี 30 ก.ค. 2551

b 11958601
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา

CANAL STRUCTURES MODEL OF FARM IRRIGATION SYSTEMS

โดย

นาย ชัยรัตน์ โพธิ์ดี

นางสาว ทิพย์วัล บุญวงศ์

นาย เทพประสิทธิ์ มาศมาลัย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา

Canal Structures Model of Farm Irrigation Systems

ผู้จัดทำ

1. นาย ชัยรัตน์ โพธิ์ดี รหัส 48015524
2. นางสาว ทิพย์วัล บุญวงศ์ รหัส 48015530
3. นาย เทพประสิทธิ์ มาศมาลัย รหัส 48015531

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. วีระชัย ลิ้มพรชัยเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา

ชัยรัตน์ โพธิ์ดี 48015524
ทิพย์วัล บุญวงศ์ 48015530
เทพประสิทธิ์ มาศมาลัย 48015531
ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ. วีรชัย ลิ้มพรชัยเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา โดยได้ทำการสร้างรางน้ำคอนกรีต รูปทรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู มีความกว้างพื้นท้องน้ำ 0.25 เมตร มีความลาดเอียงด้านข้าง 4:1 ยาว 47 เมตร มีประตูปิด – เปิดน้ำแบบบานเลื่อนขนาด 0.25 x 0.25 เมตร จำนวน 2 บาน ติดตั้งที่ด้านเหนือและด้านท้ายของรางน้ำ ฝายวัดน้ำสามเหลี่ยม 90 องศา รางวัดน้ำแบบพาร์แชลขนาด 3 นิ้ว และฝายวัดน้ำสี่เหลี่ยมคางหมูสันฝายกว้าง 0.15 เมตร ติดตั้งเรียงลำดับกันในรางวัดน้ำ ทำการส่งน้ำเข้ารางโดยเปิดประตูน้ำที่ระดับ ต่ำสุด ปานกลาง และสูงสุด เพื่อให้น้ำไหลผ่านเครื่องมือวัดน้ำทั้งสามชนิด โดยที่ใช้ Current Meter ในการปรับแก้เพื่อให้ได้ค่าการวัดน้ำที่ถูกต้อง

จากข้อมูลการทดลองซึ่งทำการเปิดประตูน้ำที่ระดับต่ำสุด (7 ซม.) ปานกลาง (14 ซม.) และสูงสุด (21 ซม.) วัดอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยที่ไหลผ่านฝายสามเหลี่ยมมีค่าเท่ากับ 1.472 ลิตร/วินาที มีค่าอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยโดยใช้ Current Meter วัดเท่ากับ 1.422 ลิตร/วินาที วัดอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยที่ไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลมีค่าเท่ากับ 0.0016 ลูกบาศก์เมตร/วินาที มีค่าอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยโดยใช้ Flow Meter วัดเท่ากับ 0.0015 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และวัดอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยที่ไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าเท่ากับ 8.649 ลิตร/วินาที มีอัตราการไหลของน้ำเฉลี่ยโดยใช้ Flow Meter วัดเท่ากับ 8.640 ลิตร/วินาที จากผลการทดลอง ทำให้สามารถใช้ชุดจำลองอาคารในคลองดังกล่าวประกอบการเรียนการสอนระบบชลประทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Canal Structures Model of Farm Irrigation Systems

Chairat Phodee 48015524

Tippawan Punvong 48015530

Tepprasit Masmalai 48015531

Asst.Prof.Dr Songvoot Sangchan advisor

Asst.Prof. Weerachai Limpornchaijareon advisor

Abstract

This project aimed to design and construct canal structures model of farm irrigation systems. The trapezoidal concrete channel was constructed with bottom width 0.25 m., side slope 4:1 and 47 m. long. Two slide gates 0.25 x 0.25 m. were installed at upstream and downstream. v-notch weir, parshall flume 3 inches and trapezoidal weir which crest length 0.15 m were installed in the channel, respectively. The water delivered at minimum, middle, and maximum levels to 3 devices and using current meter for calibration.

From the experimental data, by opening water gate at the minimum(7 cm), middle (14 cm) and maximum (21 cm) levels. The average flow rate measured by V-notch was 1.472 liter/sec, the average flow rate by using current meter was 1.422 m^3/sec. The average discharge measured by Parshall flume was 0.0016 liter/sec, the average discharge by using current meter was 0.0015 m^3/sec and the average flow rate measured by Trapezoidal Weir was 8.649 liter/s, and the average flow rate by using current meter was 8.640 liter/sec. From the results of experiment, the canal structures model can be used for studying irrigation system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่อาจเสร็จได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงเพราะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ก็คือ ผศ.ดร. ทรงวุฒิ แสงจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

ขอขอบพระคุณ เพื่อนๆ พี่ น้อง เจ้าหน้า และคณาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาวิศวกรรมเกษตร ที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้ในการให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านจนทำให้โครงงานนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ชัยรัตน์ โพธิ์ดี
ทิพวัลย์ บุญวงศ์
เทพประสิทธิ์ มาศมาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ระบบชลประทานในระดับไร่นา(Irrigation Farming System)	3
2.1.1 อาคารของคลองส่งน้ำ	4
2.1.2 กระบวนการไหลของลำน้ำในลำน้ำ	5
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของน้ำในลำน้ำ	7
2.3 ส่วนประกอบของน้ำไหลในลำธาร	7
2.3.1 น้ำไหลหน้าผิวดิน	7
2.3.2 น้ำไหลภายในดิน	8
2.3.3 น้ำที่ซึมจากผิวดิน	8
2.4 การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ	8
2.5 การวัดปริมาณน้ำท่า	9
2.6 ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี	11
2.7 หลักการออกแบบการสร้างฝาย	11
2.8 การสร้างฝายสามเหลี่ยม	13
2.9 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)	15
2.10 สร้างรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้าที่
2.10.1 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	18
2.11 ประตูเปิด-ปิดน้ำ	20
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	22
3.1 การจัดหาสถานที่	22
3.2 วัดขนาดของพื้นที่	22
3.3 วัสดุทำคลองชลประทาน	23
3.4 การขุดดิน	23
3.5 การตัดรางน้ำเพื่อนำมาเป็นคลองจำลอง	24
3.6 การปรับระดับดิน	25
3.7 การสร้างฝาย	26
3.7.1 การสร้างฝายสามเหลี่ยม	27
3.7.2 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)	28
3.8 สร้างรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	29
3.9 ประตูเปิด-ปิดน้ำ	30
บทที่ 4 การทดสอบและผลการทดสอบ	31
4.1 การวัดอัตราการไหลของน้ำ (Discharge Measurement)	31
4.2 รางวัดน้ำ	32
4.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ(Current Velocity Meters)	33
4.4 วัสดุอุปกรณ์	34
4.5 วิธีการทดลอง	34
4.6 ผลการทดลอง และการคำนวณ	35
4.6.1 โดยฝายวัดน้ำแบบสามเหลี่ยม	35
4.6.2 โดยฝายวัดน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู	37
4.6.3 โดยรางวัดน้ำพาร์แชล	39
บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์	42
5.1 บทสรุป	43
5.2 วิจารณ์	43
เอกสารอ้างอิง	44
ภาคผนวก ก	45
ภาคผนวก ข	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 2.1อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยม(V-notch Weir) 14

ตารางที่ 2.2 อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู(Trapezoidal Weir) 16

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จาก Flow Meter 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1 การชลประทานระบบไร่นา	3
รูปที่ 2.2 ภาพตัดการสร้างฝายวัดน้ำ	12
รูปที่ 2.3 ฝายแบบต่าง ๆ	12
รูปที่ 2.4 ฝายสามเหลี่ยม (TRIANGULAR OR V-NOTCH WEIR)	13
รูปที่ 2.5 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)	15
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	17
รูปที่ 2.7 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	19
รูปที่ 2.8 ประตูเปิด-ปิดน้ำ	21
รูปที่ 3.1 สถานที่ที่ใช้วางชุดจำลองอาคารชลประทานในระดับไร่นา	22
รูปที่ 3.2 กระเบื้องที่นำมาทำคลองชลประทาน	23
รูปที่ 3.3 (a) ใช้รถแทรกเตอร์ขุด (b) รอยผานหัวหมู	24
รูปที่ 3.4 การขุดโดยใช้จอบ	24
รูปที่ 3.5 กระเบื้องที่นำมาทำคลองชลประทาน	25
รูปที่ 3.6 การปรับดิน	25
รูปที่ 3.7 รูปตัดตามแนวยาวของทางน้ำเพื่อแสดงการติดตั้งฝาย และหลักวัดระดับน้ำสำหรับอ่านค่าเฮด (H)	26
รูปที่ 3.8 โครงฝายสามเหลี่ยม (TRIANGULAR OR V-NOTCH WEIR)	27
รูปที่ 3.9 การเจียรสันฝายให้ได้มุม 30 องศา	27
รูปที่ 3.10 โครงฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)	28
รูปที่ 3.11 ทำการเจียรให้ได้มุม 45 องศา	28
รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	29
รูปที่ 3.13 แบบโครงสร้างรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	30
รูปที่ 3.14 ประตูเปิด-ปิดน้ำ	30
รูปที่ 4.1 ฝายวัดน้ำแบบสามเหลี่ยม	31
รูปที่ 4.2 ฝายวัดน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู	32
รูปที่ 4.3 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume)	33
รูปที่ 4.4 การวัดด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

โดยเหตุที่น้ำเป็นปัจจัยจำเป็นยิ่งต่อการเพาะปลูก ในฤดูฝนเราจะพบพืชน้อยใหญ่มีการเจริญงอกงามดี เพราะว่าพืชได้รับน้ำจากฝนมีปริมาณมากเพียงพอตามที่พืชต้องการ เมื่อฝนไม่ตกหรือในฤดูแล้ง พืชขาดน้ำจะเหี่ยวเฉาและไม่เจริญงอกงามตามที่ควร ซึ่งเป็นเหตุให้ผลผลิตลดลง ดังเป็นที่ทราบกันดีแล้ว เราจึงจำเป็นต้องจัดหาน้ำให้กับต้นไม้หรือพืชที่ปลูกในเวลาที่ฝนไม่ตก เมื่อสามารถกระทำได้เสมอ หรือทำการชลประทานให้

จึงกล่าวได้ว่าในบรรดางานพัฒนาแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อนำน้ำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในกิจการด้านต่างๆ นั้น งานพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการชลประทานจัดว่าเป็นงานที่มีความสำคัญและมีประโยชน์มากด้านหนึ่งในการช่วยให้เกษตรกรสามารถทำการเพาะปลูกให้ได้ผลผลิตเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยให้เกษตรกรอันเป็นประชากรส่วนใหญ่ของประเทศได้มีหลักประกันในเรื่องน้ำสำหรับทำการเพาะปลูกอย่างไม่ขาดแคลน

ในปัจจุบันยังมีพื้นที่เพาะปลูกอีกเป็นจำนวนมากที่ต้องอาศัยน้ำฝนและน้ำจากแม่น้ำลำธารเป็นหลัก เพราะยังไม่มีงานด้านชลประทานเข้าไปช่วยเหลือพื้นที่เพาะปลูกดังกล่าว ซึ่งอาศัยน้ำธรรมชาติแต่เพียงอย่างเดียวในการเพาะปลูกจะทำให้พืชไม่อาจได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอตามที่พืชต้องการได้ กล่าวคือ ปีใดมีฝนตกเฉลี่ยดีตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ก็จะทำให้การเพาะปลูกในปีนั้นได้รับผลดีตามไปด้วย แต่ถ้าหากปีใดมีฝนตกน้อยหรือไม่มีฝนตกในเวลาที่พืชต้องการ ก็จะทำให้การเพาะปลูกในปีนั้นได้รับความเสียหายหรือไม่ได้รับผลผลิตดีเท่าที่ควร จึงเป็นเหตุให้เกษตรกรจำนวนมากที่ไม่มีพื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการชลประทานต้องได้รับความเดือดร้อนในเวลาไม่มีน้ำสำหรับทำนาและปลูกพืชไร่อยู่เสมอเกือบทุกปี

1.2 วัตถุประสงค์

1. ทำการศึกษาอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา
2. ออกแบบและสร้างชุดจำลองอาคารในคลองที่ใช้ในระบบชลประทานระดับไร่นาได้แก่ ประตูน้ำ ฝายวัดน้ำ และรางวัดน้ำ
3. เพื่อสามารถใช้ชุดจำลองอาคารในคลอง ในการประกอบการเรียนการสอนระบบชลประทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ศึกษา ออกแบบ และสร้างชุดจำลองอาคารในคลองในระบบชลประทานในระดับไร่นา

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นาที่สามารถใช้เป็นชุดทดลองประกอบการเรียนการสอนระบบชลประทาน

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและหาข้อมูล
2. ออกแบบโครงสร้าง
3. จัดหาวัสดุอุปกรณ์
4. เริ่มทำโครงงาน
5. ทดสอบอาคารวัดน้ำ
6. ปรับปรุงแก้ไข
7. สรุปผลและเขียนรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบชลประทานในระดับไร่นา (Irrigation Farming System)

ระบบชลประทานระดับไร่นามีหน้าที่และความมุ่งหมายที่สำคัญคือทำหน้าที่กระจายน้ำที่ส่งจากคลองส่งน้ำไปสู่พื้นที่เพาะปลูกให้สะดวกรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพควบคุมการส่งน้ำเข้าไปยังแปลงเพาะปลูกตามความต้องการในการทำเกษตร ดังนั้นระบบชลประทานระดับไร่นาจึงควรมีอาคารในคลองที่จำเป็น ได้แก่ ประตูปิด-เปิดน้ำ อุปกรณ์จ่ายน้ำ เครื่องมือวัดน้ำ

เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่เพาะปลูก และเกษตรกรผู้ทำการเพาะปลูกโดยตรง อาคารควบคุมน้ำต่างๆของระบบนี้ แม้จะมีขนาดเล็กแต่มีเป็นจำนวนมากและแผ่กระจายไปถึงแปลงเพาะปลูกของเกษตรกร โดยทั่วไปแล้วกลุ่มเกษตรกรที่ได้ประโยชน์จะต้องรับผิดชอบในการควบคุมการทำงานของระบบกันเอง ฉะนั้นการออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในระบบชลประทานในไร่นา ควรที่จะต้องคำนึงถึงผู้ใช้นั่นก็คือเกษตรกร จึงควรออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย สะดวก และมีประสิทธิภาพสูงสุด

รูปที่ 2.1 ระบบชลประทานในระดับไร่นา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 อาคารของคลองส่งน้ำ

นอกจากคลองส่งน้ำของโครงการชลประทาน ซึ่งได้แก่ คลองส่งน้ำสายใหญ่ คลองซอย และคลองแยกซอยแล้ว ตามคลองส่งน้ำทุกสายยังจะต้องสร้างอาคารประเภทต่าง ๆ เป็นแห่ง ๆ แล้วแต่ความเหมาะสม เพื่อให้ระบบส่งน้ำสามารถส่งน้ำไปให้กับพื้นที่เพาะปลูกตลอดคลองในเขตโครงการชลประทานที่ต้องการได้ อาคารของคลองส่งน้ำมีหลายประเภทหลายลักษณะ และมีหน้าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะกล่าวถึงเฉพาะสำหรับอาคารที่สำคัญ ๆ เท่านั้น ดังต่อไปนี้

*1. **ประตูหรือท่อปากคลองซอยและคลองแยกซอย*** ที่ต้นคลองซอยซึ่งแยกออกจากคลองส่งน้ำสายใหญ่ และคลองแยกซอยซึ่งแยกออกจากคลองซอย จะต้องสร้างอาคารไว้สำหรับควบคุมน้ำให้ไหลเข้าคลองส่งน้ำตามจำนวนที่ต้องการ หากคลองซอยหรือคลองแยกซอยมีขนาดใหญ่และต้องส่งน้ำไปตามคลองจำนวนมาก ก็จะนิยมสร้างอาคารควบคุมน้ำซึ่งจะมีรูปร่างเหมือนกับประตูปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ส่วนคลองซอยหรือคลองแยกซอยที่มีขนาดเล็ก ก็จะนิยมสร้างอาคารที่คลองเหล่านั้นเป็นแบบท่อ โดยที่ปากทางเข้าของท่อจะติดตั้งบานประตูไว้สำหรับควบคุมปริมาณน้ำที่จะไหลผ่านท่อด้วย

*2. **ท่อเชื่อม*** เป็นท่อที่สร้างเชื่อมระหว่างคลองส่งน้ำสำหรับนำน้ำจากคลองส่งน้ำที่อยู่ทางฝั่งหนึ่งของลำน้ำธรรมชาติ หรือถนน ให้ไหลไปในท่อที่ฝังลอดใต้ลำน้ำหรือถนนไปยังคลองส่งน้ำที่อยู่ทางฝั่งหนึ่ง ท่อเชื่อมส่วนใหญ่จะสร้างเป็นท่อคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จะมีรูปร่างกลมหรือสี่เหลี่ยม และจะสร้างเป็นแพวเดียวหรือหลายแถวนั้น ก็ต้องให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่จะให้ไหลผ่านท่อ

*3. **สะพานน้ำ*** เป็นทางน้ำสำหรับนำน้ำจากคลองส่งน้ำที่อยู่ทางด้านหนึ่งของลำน้ำธรรมชาติ ที่ลุ่ม หรือลาดเชิงเขา ข้ามไปหาคลองส่งน้ำที่อยู่อีกทางด้านหนึ่ง สะพานน้ำจะมีลักษณะเป็นรางน้ำเปิดธรรมดา หรือรางน้ำปิดแบบท่อ โดยวางอยู่บนตอม่อ หรือฐานรองรับทอดข้ามลำน้ำธรรมชาติ ที่ลุ่ม หรือวางไปตามลาดเชิงเขา ปากทางเข้าและปากทางออกของสะพานน้ำจะเชื่อมกับคลองส่งน้ำ ซึ่งเมื่อน้ำไหลออกจากสะพานน้ำแล้วก็จะไหลต่อไปในคลองส่งน้ำได้ตามปกติ

*4. **น้ำตก*** เนื่องด้วยคลองส่งน้ำบางสายอาจจะมีแนวไปตามสภาพภูมิประเทศ ซึ่งผิวดินตามธรรมชาติมีความลาดเทมากกว่าความลาดเทของคลองส่งน้ำที่กำหนดไว้ จึงจำเป็นต้องลดระดับท้องคลองส่งน้ำให้ต่ำลงในแนวดิ่งบ้างเป็นแห่ง ๆ ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ ที่แนวคลองส่งน้ำผ่านในบริเวณที่คลองส่งน้ำเปลี่ยนระดับต่ำลงนี้ จำเป็นต้องมีอาคารสำหรับบังคับน้ำที่ไหลมาตามคลองส่งน้ำที่อยู่ในแนวบนให้ไหลตกลงมาที่อาคารตอนล่างเสียก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้คลองส่งน้ำที่อยู่ในแนวล่างต้องชำรุดเสียหายเนื่องจากความแรงของน้ำที่ไหลตกลงมานั้น โดยเรียกอาคารดังกล่าวนี้ว่า "น้ำตก"

*5. **รางเท*** เป็นอาคารสำหรับนำน้ำจากคลองส่งน้ำที่อยู่ในแนวบนให้ลงมายังคลองส่งน้ำที่อยู่ในแนวล่างเหมือนกับน้ำตก แต่แตกต่างกันที่รางเทนั้นจะมีน้ำไหลมาตามรางหรือท่อ ซึ่งวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลาดเอียงไปตามสภาพภูมิประเทศ เป็นระยะทางไกลจึงจะถึงอ่างรับน้ำและคลองส่งน้ำที่อยู่ในแนวล่างนั้น

6. อาคารอัดน้ำ การส่งน้ำออกจากคลองส่งน้ำไปให้พื้นที่เพาะปลูกเป็นระยะ ๆ ตลอดแนวที่คลองส่งน้ำผ่าน จะทำให้ปริมาณน้ำไหลในคลองเหลือน้อยลง และเป็นเหตุให้ระดับน้ำในคลองส่งน้ำต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ตามไปด้วย ซึ่งอาจทำให้การส่งน้ำให้กับพื้นที่เพาะปลูกต่อไปไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร จึงจำเป็นต้องมีการควบคุมระดับน้ำในคลองส่งน้ำให้สูงอยู่เสมอด้วยอาคารอัดน้ำ เพื่อทำหน้าที่ทดอัดน้ำในคลองให้สูงเป็นช่วง ๆ ไป โดยที่ไม่ว่าน้ำในคลองจะมีปริมาณมากหรือน้อยเพียงไร ก็จะต้องถูกทดอัดให้มีระดับสูงจนสามารถส่งน้ำได้ดีทุกเวลาที่ต้องการ อาคารอัดน้ำในคลองส่งน้ำจึงมีหน้าที่เหมือนกับอาคารทดน้ำจากแหล่งน้ำที่ต้นน้ำของโครงการชลประทาน จะต่างกันที่อาคารอัดน้ำในคลองนั้นมักมีขนาดเล็กกว่า และจะสร้างให้มีขนาดที่สามารถระบายน้ำปริมาณสูงสุดของคลองส่งน้ำได้เท่านั้น

7. ท่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก เป็นอาคารซึ่งสร้างที่คลองส่งน้ำ ทำหน้าที่จ่ายน้ำและควบคุมน้ำที่จะส่งออกจากท่อสร้างไปให้พื้นที่เพาะปลูก ตลอดแนวคลองส่งน้ำจะมีท่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกที่สร้างไว้เป็นระยะ ๆ ตามตำแหน่ง ซึ่งสามารถส่งน้ำออกไปได้สะดวกและทั่วถึง ท่อส่งน้ำแต่ละแห่งจะสามารถส่งน้ำชลประทานให้กับพื้นที่เพาะปลูกได้จำนวนหนึ่ง ซึ่งพื้นที่เพาะปลูกที่ท่อส่งน้ำทุกแห่งส่งไปให้ได้ จะเป็นพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมดที่คลองส่งน้ำนั้น ๆ ควบคุมอยู่

8. ท่อระบายน้ำลอดใต้คลองส่งน้ำ ในกรณีที่คลองส่งน้ำตัดผ่านร่องน้ำขนาดเล็กและบริเวณพื้นที่ เช่น ที่ลุ่ม ซึ่งมีน้ำไหลมาตามธรรมชาติน้อย มักจะนิยมสร้างอาคารแบบท่อเพื่อระบายน้ำให้ลอดใต้ท้องคลองส่งน้ำไป โดยไม่สร้างท่อเชื่อมระหว่างคลองส่งน้ำลอดใต้ร่องน้ำหรือที่ลุ่มเนื่องจากมีราคาแพงกว่า

2.1.2 กระบวนการไหลของน้ำในลำน้ำ

น้ำในลำน้ำเกิดขึ้นได้จาก "runoff process" กล่าวคือเมื่อฝนตกลงสู่พื้นผิวโลก ซึ่งเรียกว่า "gross rainfall" ต้นไม้อาคารบ้านเรือน และสิ่งปกคลุมดินจะรองรับไว้ กระบวนการ "interception process" คือ กิ่ง ใบ ดอก ผล และส่วนอื่นๆ จะซับน้ำเอาไว้ชั้นหนึ่งก่อน หลังจากเปียกชุ่มแล้ว น้ำเหล่านี้จะไหลลงมาตามลำต้นของต้นไม้ เรียกว่า "stemflow" ส่วนที่เหลือจะหยดลงสู่ดินในลักษณะของ dripping เรียกว่า "throughfall" อย่างไรก็ตาม อาจมี gross rainfall บางส่วนที่ตกลงสู่ดินโดยตรงก็อาจเรียกว่า "througnfall" ได้เช่นกัน ทั้งน้ำฝนที่เป็น throughfall และ streamflow ซึ่งเป็นน้ำที่จะลงสู่ดิน โดยตรงนี้ รวมกันเรียกว่า "net rainfall" ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ในประเทศไทยได้ทำไว้บ้างแล้ว สำหรับไม้ขนาดใหญ่ เช่น ป่าสัก ป่าเต็ง-รัง ป่าดินแล้ง และป่าดิบเขา ค่าเฉลี่ยของ interception ทั้งสี่ป่านี้มีค่าประมาณ 6-30 เปอร์เซ็นต์ throughfall 70-94 เปอร์เซ็นต์ และ stemflow 0.01-1.0 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำฝน มีข้อสังเกตว่า net rainfall นั้น มิใช่เป็นน้ำที่จะซึมลงสู่ดินทั้งหมด แต่อาจมีบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระเหยสู่อากาศบ้างแต่น้อย มักไม่นิยมคิดกัน และบางส่วนจะถูก กิ่ง ดอก และผล ที่เรียกว่า "litter" ที่ผิวหน้าดินดูดซับเอาไว้ชั้นหนึ่งก่อนส่วนที่เป็น net rainfall จริง ๆ จึงมีน้อยไปบ้าง อย่างไรก็ตาม เมื่อ net rainfall ถึงผิวหน้าดินแล้ว น้ำจะซึมผ่านผิวหน้าดินด้วยกระบวนการ infiltration กระบวนการนี้จะเกิดอย่างรวมเร็ว ถ้าดินมีรูพรุนขนาดใหญ่และแห้ง แต่ถ้ามีรูพรุนขนาดเล็กน้ำจะซึมผ่านผิวหน้าดินช้า เมื่อน้ำซึมผ่านผิวหน้าดินแล้ว จะมีกระบวนการซึมซาบลงสู่ดินชั้นล่าง เรียกว่ากระบวนการ percolation น้ำจากกระบวนการนี้อาจถูกเก็บไว้ในดิน หรือซึมลงดินหรือบริเวณที่เก็บน้ำใต้ดินหรืออาจจะค่อย ๆ ซึมผ่านผิวดินไหลลงสู่ลำธารอีกทอดหนึ่งก็ได้

น้ำในลำน้ำหรือ streamflow ที่เกิดขึ้นจากการที่ดินมี infiltration ช้ากว่าอัตราการตกของน้ำฝน ทำให้น้ำเอ่อผิวหน้าดินชั่วคราว เรียกว่า "depression storage" เมื่อมีปริมาณมากพอก็จะไหลตามผิวหน้าดิน เรียกกว่า "surface flow" หรือ overland flow แล้วจึงลงสู่ลำธารหรือลำน้ำ เป็น streamflow น้ำในลำน้ำนี้อาจเป็นน้ำที่ไหลซึมตามด้านข้างใต้ผิวดิน (lateral movement) ก็อาจเป็นได้ ซึ่งมักพบเสมอว่าท้องที่บางแห่ง เช่น ป่าดินเขาธรรมชาติ ซึ่งไม่ปรากฏว่ามี Surface runoff แต่มีน้ำไหลผ่านในลำธารตลอดปี ทั้งนี้เป็นผลมาจากการระบายน้ำของดินในลักษณะ lateral flow นั้นเอง

จะเห็นได้ว่าน้ำในลำธารเป็นตัวการสำคัญที่สามารถแสดงให้เห็นถึงสภาวะของลุ่มน้ำได้ กล่าวคือถ้าสภาพของลุ่มน้ำเลว มี infiltration ช้า มักจะปรากฏให้เห็นว่าหลังจากฝนตกเพียงเล็กน้อยจะมีน้ำในลำธารขึ้นสูง และเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าลุ่มน้ำมีสภาพดี มีรูพรุนและสิ่งปกคลุมดินดีแล้ว อาจมีน้ำไหลในลำธารมากขึ้น แต่จะค่อย ๆ ขึ้น มีข้อสังเกตว่าดินของลุ่มน้ำที่ไม่มีสิ่งปกคลุม อาจจะเป็นดินที่ร่วนซุนมีรูพรุนมากก็ตาม แต่โอกาสจะเกิด surface runoff และการขึ้นอย่างรวดเร็วของน้ำในลำธาร มักจะเกิดขึ้นเห็นทันตามอย่างง่ายดาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฝนตกแบบ thunderstorm เพราะเม็ดดินจะแตกกระจายด้วยแรงตกกระทบของเม็ดฝน คลายเป็นเม็ดดินขนาดเล็ก (small particles) เม็ดดินเหล่านี้จะแตกกระจาย (Splash)ไปตามแรงกระทบของเม็ดฝน และจะอุดรูดินตามผิวหน้าดิน ทำให้ infiltration ลดลง เกิด surface runoff ไหลลงสู่ลำธาร ถ้าลุ่มน้ำมีความลาดชันมาก surface runoff จะมีมากและรุนแรงจนอาจทำให้เกิด gully erosion ได้อีกด้วย

ลำธารที่มีน้ำไหลตลอดปีทั้ง ๆ ที่ฝนไม่ตก โดยเฉพาะอย่างยิ่งฤดูแล้งนั้น เกิดขึ้นได้เพราะน้ำซึมออกจากดินอย่างค่อย ๆ เป็นคอยไป กล่าวคือ เมื่อเม็ดดินอุ้มน้ำจนอิ่มตัวแล้ว น้ำในดินจะถูกแรงดึงดูดของโลก (gravity) กับแรงดึงดูดกันเองระหว่างโมเลกุลของน้ำ (cohesion) เอาชนะแรงดินดูดน้ำ (capillary force) ทำให้เกิดการดึงน้ำออกจากดินลงสู่ลำธารอย่างต่อเนื่อง จนปรากฏให้เห็นว่ามีน้ำไหลอยู่ในลำธารตลอดเวลาอีกประการหนึ่งก็คือคุณสมบัติของน้ำนั้น จะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำเหนียวแน่นด้วย H-bond จึงไม่พบว่าการไหลของน้ำมีการขนาดเป็นตอน ๆ เหมือนเช่นที่ก้นหินตกเขาและแตกกระจายไปตามทิศทางต่าง ๆ ซึ่งทั้งนี้แล้วแต่น้ำหนักและแรงกระทำ แต่ในกรณีการไหลของน้ำนั้นจะเห็นได้ชัดในฤดูฝน เพราะนอกจากกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นแล้ว ยังมีการซึมได้ของน้ำมาช่วยอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการไหลของน้ำในลำน้ำ

ดังได้กล่าวไว้บ้างแล้วในเรื่อง runoff process ว่าปัจจัยที่จะควบคุมปริมาณการไหลของน้ำในลำธารณนั้นมีหลายประการ แต่พอที่จะรวบรวมได้มีสองประการใหญ่ ๆ ประการแรกได้แก่ ลักษณะภูมิอากาศ อันประกอบด้วยชนิดของฝน ความหนักเบา (intensity) และเวลาที่ฝนตก (duration) ซึ่งมีผลต่อการไหลของน้ำที่เป็น surface runoff อันจะทำให้น้ำในลำน้ำขึ้นหรือลงเป็นไปในรูปใดรูปหนึ่ง นอกจากนี้ยังเกี่ยวกับการกระจายของน้ำฝนที่จะตกคลุมพื้นที่ ซึ่งความจริงแล้วจะขึ้นอยู่กับชนิดฝนที่ตกลงมา ด้วยทิศทางของฝนที่ตก อาจมีผลทำให้เกิดลักษณะที่ผิดแผกแตกต่างกันของ streamflow ได้ ถึงแม้จะมีฝนตกหนักเท่าไรก็ตามที่ ปริมาณน้ำฝนที่ตกในวันก่อน ๆ และถูกเก็บไว้ในดินจนทำให้ดินมีความชื้นอยู่มากหรือน้อย ซึ่งเรียกว่า "antece dent rainfall" นี้ จะทำให้มีผลต่อการซึมได้ของน้ำลงสู่ดินมากหรือน้อยต่างกันอีกด้วย และทำให้มีผลต่อ streamflow ได้อีกเช่นกัน การระเหยน้ำจากลุ่มน้ำก็จะมีผลต่อการที่น้ำในลำธาร กล่าวคือถ้ามีการระเหยมากแล้ว streamflow จะเคลื่อนย้าย และในทำนองเดียวกัน กระบวนการ transpiration ก็มีผลดังกล่าวเช่นกัน จึงมักพบเสมอว่า ลุ่มน้ำป่าสักซึ่งใช้น้ำมากจะไม่มี streamflow ในฤดูแล้ง

ประการที่สอง คือ ลักษณะภูมิประเทศ (physiographic factors) อันได้แก่ ขนาดของพื้นที่ รูปร่าง และความสูง ความลาดชัน ด้านลาดชัน และระบบหรือแบบของลำธาร ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทต้นแล้วนั้น มีอิทธิพลต่อการไหลของน้ำในลำธารอย่างมาก ลำธารจะมีน้ำไหลมากหรือน้อยหลังจากฝนตก ขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง ความสูง และด้านลาด ในของลุ่มน้ำด้วย ส่วนการเกิด streamflow จะมากหรือน้อย เร็วหรือช้า จะขึ้นอยู่กับความลาดชัน และระบบการระบายน้ำ

2.3 ส่วนประกอบของน้ำไหลในลำธาร

น้ำในลำธารนั้นเกิดจากน้ำฝน ถ้าพิจารณาน้ำฝนที่จะให้เป็นน้ำในลำธาร โดยเริ่มจากจุดที่น้ำถึงพื้นดินจนกระทั่งน้ำที่ไหลในลำธารแล้ว สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะการไหลผ่าน 3 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ น้ำไหลหน้าผิวดิน หรือ overland flow น้ำไหลภายในดิน หรือ interflow และน้ำไหลใต้ดิน หรือ groundwater flow ซึ่งอาจอธิบายโดยละเอียดแต่ลักษณะได้ คือ

2.3.1 น้ำไหลหน้าผิวดิน

เป็นน้ำในส่วนที่เหลือจากการซึมของดินแล้ว จะรวมตัวกันอยู่ชั่วคราวตามหน้าผิวดินอันเป็นลักษณะของ depression ต่อไปก็จะไหลลงสู่ที่ต่ำด้วยทางน้ำเล็ก ๆ หรือ rivulets ทางน้ำเหล่านี้จะมีมากมาย อาจจะสั้นหรือยาวบ้าง ใหญ่บ้างเล็กบ้าง แล้วแต่ว่าสมบัติของดินผิวจะเป็นอย่างไร ที่สุดน้ำที่ไหลหน้าผิวดินก็จะไหลลงสู่ลำธารเป็นน้ำในลำธาร น้ำที่ไหลไปตามผิวหน้าดินจากที่สูงสู่ที่ต่ำนี้เรียกว่า " น้ำไหลหน้าผิวดิน" หรือ surface flow อย่างไรก็ตาม น้ำไหลหน้าผิวดินจะมีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำในลำธารโดยตรง กล่าวคือ ถ้ามีน้ำไหลหน้าผิวดินมากจะทำให้น้ำในลำธารไหลมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 น้ำไหลภายในดิน

เป็นน้ำฝนที่ซึมลงสู่ดินชั้นล่างจนกระทั่งถึงลำน้ำ หรือ stream channel ซึ่งเป็นสถานที่กักน้ำชั่วคราว เรียกว่า " น้ำไหลภายในดิน" ภาษอังกฤษเรียกว่า interflow หรือ subsurface folw เป็นน้ำที่มีการเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ และมักเป็นการเคลื่อนที่แบบด้านข้าง สาเหตุที่ทำให้เกิดน้ำแบบนี้ได้ อาจจะเกิดจาการที่ดินตอนล่าง มีลักษณะที่มีชั้นหินกั้น หรือมีพวกแผ่นดินแข็ง (hardpan) ทำให้น้ำที่ซึมจากผิวดินซึมลงสู่ดินตอนล่างได้ยาก หรือไม่ได้เลย จึงทำให้แปรสภาพเป็นน้ำไหลไปทางด้านข้าง ลักษณะฝนที่มีความหนักเบาปานกลางอาจจะทำให้เกิดน้ำไหลด้านข้างได้มากก็ได้ นักอุตุนิยมวิทยากล่าวไว้ว่า น้ำที่ไหลตามด้านข้างนี้จะมีผลทำให้อัตราการไหลของน้ำในลำธารสูงขึ้นได้เช่นเดียวกับน้ำไหลหน้าผิวดิน

2.3.3 น้ำที่ซึมจากผิวดิน

น้ำที่ซึมจากผิวดิน หรือดินตอนล่างตามแนวตั้งนั้น สุดท้ายจะไปสู่น้ำใต้ดิน หรือ groundwater บางครั้งก็เรียกว่า baseflow หรือ dry-weather flow ที่เรียกเช่นนี้ เพราะน้ำใต้ดินเป็นส่วนที่จะค่อย ๆ หล่อเลี้ยงลำธารให้มีน้ำไหลตลอดปี ไม่ว่าจะเป็นฤดูฝนหรือฤดูแล้ง ถ้าระดับน้ำใต้ดินอยู่ระดับเดียวกับระดับน้ำในลำธารแล้ว การไหลของน้ำในลำธารก็จะมีตลอดเวลา ลำธารลักษณะนี้เรียกว่าลำธารแบบ effluent เป็นลำธารที่ด้านข้างทั้งสองฝั่งให้การซึมน้ำอย่างดี โดยธรรมชาติแล้วการให้น้ำในลำธารจากน้ำใต้ดินนั้น ไม่สามารถจะให้ระดับน้ำในลำธารขึ้นลงอย่างรวดเร็ว ดังเช่นน้ำไหลบ่าหน้าดิน เพราะจากการไหลของน้ำใต้ดินช้ามาก ลำธารที่มีคนให้การซึมน้ำช้า เป็นลำธารแบบที่เรียกว่า influent คือมีน้ำซึมทางด้านข้างได้แก่ ลำธารช้า มักพบว่า เวลามีน้ำบ่าแล้วลำธารประเภทนี้มักไม่ให้การซึมน้ำด้านข้างเลย

พื้นที่บางแห่งอาจมีน้ำใต้ดิน ประเภทที่เรียกว่า Perched groundwater คือ เป็นน้ำใต้ดินที่มีขอบเขตจัดกัดเกิดขึ้น โดยบังเอิญที่ภายในดินมีแอ่งน้ำขังอยู่ ในเวลาที่น้ำใต้ดินประเภทนี้มีมากก็จะช่วยหล่อเลี้ยงลำธรได้ ครั้นไม่มีลำธารแห้งไป ลำธารประเภทนี้ เรียกว่า insulated น้ำในลำธารทั้ง 3 ลักษณะนั้น เป็นการยากที่มาประยุกต์ใช้ในภาคปฏิบัติ เพราะเป็นน้ำที่แยกแยะออให้เห็นไม่เด่นชัน เพื่อให้ง่ายขึ้นนักอุทกวิทยาจึงได้แบ่งน้ำในลำธาร โดยถือหลักการเช่นเดียวกับน้ำทั้ง 3 ลักษณะ ที่กล่าวมาแล้ว ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ " ไดเร็ครันออฟ" (direct runoff หรือ storm runoff) อันเป็นน้ำที่ไหลสู่ลำธารที่เกิดจากน้ำไหลบ่าหน้าผิวดินและน้ำไหลภายในดินหรือเป็นส่วนประกอบของน้ำในลำธารระหว่าง surface flow ร่วม interflow อีกประเภทหนึ่งไหลใต้ดิน (baseflow)

2.4 การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ

โดยปกติแล้วการวัดน้ำในระบบส่งน้ำจะเริ่มต้นทันทีที่จุดส่งน้ำเข้าระบบซึ่งอาจจะเป็นประตูระบายปากคลอง หรือท่อระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ หลังจากนั้นก็วัดทุกจุดย่อยที่มีระบบย่อยแตกแขนงออกไป เช่น ปากคลองซอย เป็นต้น และทุก ๆ จุดหลังท่อส่งน้ำเข้านา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่วัดอัตราการไหลของน้ำมีมากมายหลายแบบ แต่เนื่องจากว่าส่วนใหญ่แล้วความลาดเทของผิวน้ำในคลองค่อนข้างราบ เครื่องมือที่ใช้จึงไม่ควรก่อให้เกิดการเสียพลังงานหรือเสียเฮด (Head) โดยทั่วไปจึงนิยมใช้รางวัดน้ำ เช่นรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) หรือรางวัดน้ำแบบไม่มีคอ (Cut-Throat Flume) เป็นต้น

2.5 การวัดปริมาณน้ำท่า

การวัดน้ำท่าหรือน้ำในลำธารมีหลายวิธี แตกต่างกันไป แต่ทุกวิธีก็ใช้หลักการของ Bernoulli eguation ทั้งนั้น เช่น Weir หรือ เขื่อนวัดน้ำมีหลายรูปแบบ เช่น แบบ v.notch แบบ rectangular และแบบ Cipolletti ดังรูป 2.3

สูตรอุปกรณ์วัดน้ำ

ฝายสามเหลี่ยม (TRIANGULAR OR V-NOTCH WEIR) $Q = 0.0138\ H^{5/2}$

ฝายสามเหลี่ยม (TRIANGULAR OR V-NOTCH WEIR) $Q = 0.01859LH^{3/2}$

รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (PARSHALL FLUME) $Q = 0.0138\ Ha^{5/2}$

เมื่อ Q = Discharge in m^3/s

H = Head of water in meters

B = Width of weir crest in meters

L = ความยาวของสันฝาย

ค่าของ Q มีหน่วยเป็น cm/s และ H มีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งเป็นความสูงของน้ำที่ปาก weir

ทฤษฎีการไหลของ (Bernoulli eguation) โดยการวัดอัตราการไหลและการควบคุมการไหลโดยทำนบ (Flow Measurement and Control by a Weir)

Weir คือทำนบที่ขวางการไหลในท่อที่เปิดไว้โดยให้น้ำส่วนหนึ่งล้นผ่านสันทำนบไปได้ทำนบในลักษณะเช่นนี้มีความสำคัญในทางปฏิบัติ เพราะสามารถใช้เป็นเขื่อนกักเก็บน้ำในแม่น้ำลำคลองเพื่อเก็บไว้ใช้ในฤดูแล้ง อัตราการไหลของท่อน้ำเปิดที่ไหลผ่านสันทำนบในลักษณะนี้สามารถหาได้จากการวัดความสูงของน้ำเหนือสันเขื่อน แล้วนำไปเทียบกับข้อมูลอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองในหุ่นจำลองขนาดเล็กซึ่งมีความเสมือนกับการไหลจริง

การไหลทางด้นน้ำเป็นการไหลแบบใต้วิกฤต และเร่งตัวมาเป็นการไหลแบบวิฤตบริเวณสันทำนบ ก่อนที่จะไหลตกลงไปทางปลายน้ำด้วยความเร็วเหลือวิกฤต โดยพุ่งเป็นลำออกไปเรียกว่า nappe ลำน้ำที่พุ่งออกมานี้ส่วนใหญ่จะมีโพรงอากาศอยู่ด้านล่าง (ventilated nappe) ซึ่งทำได้ง่ายต่อการสร้างสมการปฏิสัมพันธ์ทางวิศวกรรม (engineering correlation) หากไม่มีโพรงอากาศนี้การไหลทั่สนทำนบจะเปลี่ยนตามเงื่อนไขทางปลายน้ำทำให้ยากต่อการสร้างสมการปฏิสัมพันธ์ทางวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมประสิทธิ์อัตราการไหลจากการทดลอง (Experimental Discharge Coefficients)

ทฤษฎีการไหลผ่านสันทำนบได้ให้รูปแบบสมการที่จะทำการทดลองได้อย่างดีมาก แต่ค่าคงตัวที่ได้นั้นจะถูกต้องแม่นยำมากขึ้นหากทดลองวัดเอาจากการทดลองเสียใหม่ว่า

$$q = C_d\sqrt{gH} \quad \text{หรือ} \quad Q = C_d b\sqrt{gH}$$

โดยสูตรแรกเป็นอัตราการไหลต่อหน่วยความกว้างสัน และสูตรหลังเป็นการไหลตลอดแนวสัน (ที่มีความกว้างตั้งฉากกับหน้ากระดาษ = b) ตัวสัญลักษณ์ C_d ที่ปรากฏในสมการคือ ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหล (discharge coefficient) ที่จะต้องทำการวัดหาค่าเอาจากการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีรูปแบบเหมือนกับสมการเชิงทฤษฎีทุกประการยกเว้นเปลี่ยนตัวเลข (ค่าคงตัว) เป็นตัวสัญลักษณ์ C_d

ได้มีการทดลองหา C_d ของการไหลประเภทนี้โดยวิศวกรรมหลายท่านในอดีต แต่ละท่านก็ได้นำเสนอผลงานของตนไว้ในเอกสารวิจัยจำนวนมาก สมการปฏิสัมพันธ์ที่ขอแนะนำเนื่องจากมีความถูกต้องสูงคือสมการของ P. Ackers [34] ดังนี้

ทำนบแบบสันคม:

$$C_d = 0.564+0.0846\frac{H}{Y} \qquad (\text{เหมาะสำหรับ } \frac{H}{Y} \leq 2 \text{ เท่านั้น})$$

ถ้าเป็นกรณีของทำนบสันหนาแบบขอบสันคม (sharp-nosed, broad weir หรือ rectangular weir) อัตราการไหลอาจขึ้นอยู่กับความสูงของทำนบด้วย อย่างไรก็ดี ในช่วงความสูงทำนบและความยาวสันในช่วงหนึ่ง ค่า C_d ค่อนข้างคงตัว

$$C_d \text{ ขอบสันคม: } C_d = 0.462 \qquad \text{ในช่วง } 0.08 < \frac{H}{Y} < 0.33;\ 0.22 < \frac{H}{Y} < 0.56$$

ซึ่งถูกต้องดีเฉพาะในช่วง $\frac{H}{Y}$ ที่กำหนด (จากการทดลอง) เท่านั้น หากนอกช่วงนี้ค่า C_d จะมีความถูกต้องน้อยลงและมีความกวัดแกว่ง จึงต้องมีสมการปฏิสัมพันธ์ที่ยุ่งยากมากกว่านี้ และดังที่ได้เกริ่นความไว้แต่แรกแล้วว่าในทางปฏิบัติจริงที่ต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงนั้น ต้องทำการทดลองเพื่อหาค่า C_d โดยนิยมทำการทดลองในหุ่นจำลองการไหลขนาดเล็กเท่านั้น

เพื่อความเข้าใจที่กว้างขวางและหลากหลายยิ่งขึ้น หากปลิ้นสมการอัตราการไหลออกมาจะได้ว่า

$$C_d = \frac{q}{\sqrt{gH3/2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี

เครื่องมือวัดน้ำที่จะกล่าวถึงในที่นี้ถือว่าเป็นเครื่องมือวัดน้ำที่จะใช้ในระบบส่งน้ำขนาดเล็กและใช้ในไร่นา ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปอัตราการไหลจะมีค่าไม่เกินประมาณ 500 ลิตรต่อวินาที เครื่องมือวัดน้ำในคลองส่งน้ำที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1. เนื่องจากความลาดเทตามแนวยาวของคลองส่วนใหญ่จะแบนราบ ดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือวัดน้ำที่มีความต้านทานต่อการไหลน้อย หรืออีกในหนึ่งมีการเสียเฮด (Heat) น้อย นอกจากนั้น เศษวัชพืชหรือสิ่งที่ลอยมากับน้ำควรจะไหลออกไปได้โดยไม่ก่อให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น
2. ถ้าเป็นไปได้ควรจะทำหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือการวัดน้ำได้ด้วย เช่นช่วยควบคุมระดับน้ำในคลองทำหน้าที่เป็นประตูน้ำด้วย เช่น อาคารวัดน้ำแบบ CHO เป็นต้น
3. จะต้องใช้ง่าย แผ่นสเกล (Scale) ที่อ่านค่าเฮด (Head) ควรติดอยู่กับที่ สามารถมองเห็นได้ชัดเจนและอ่านง่าย ควรมีตารางที่บอกอัตราการไหลได้ทันทีจากค่าเฮดที่อ่านได้
4. ให้ความละเอียดถูกต้องดีพอสมควรตลอดช่วงการวัดตั้งแต่ส่งน้ำด้วยอัตราต่ำสุดถึงสูงสุด
5. จะต้องมั่นคงแข็งแรง ติดตั้งและใช้งานง่าย ไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก และมีราคาไม่แพง

2.7 หลักการออกแบบการสร้างฝาย

เนื่องจากว่าการวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านฝาย นั้นมิใช้การวัดอัตราการไหลโดยตรง แต่เป็นการวัดความลึกของน้ำเหนือฝายหรือเฮด (Head) แล้วไปแทนค่าในสูตร หรือนำไปเปิดตารางอัตราการไหลที่มีผู้จัดทำไว้แล้ว ตารางดังกล่าวนี้คำนวณโดยสูตรซึ่งได้จากการทดลองวัดการไหลผ่านฝายที่มีลักษณะเฉพาะและติดตั้งในลักษณะที่กำหนดไว้ ดังนั้น ถ้าจะให้ฝายที่ติดตั้งในสนามวัดได้ละเอียดถูกต้องตามสูตรหรือตารางก็จะต้องติดตั้งตามกฎเกณฑ์ที่กำหนดไว้เช่นเดียวกัน ลักษณะเฉพาะของฝายและหลักเกณฑ์ทั่ว ๆ ไปในการติดตั้งฝายวัดน้ำมีดังต่อไปนี้ คือ

1. ผนังด้านเหนือน้ำของฝายจะต้องเรียบ อยู่ในแนวดิ่ง และตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของนั้น
2. แผ่นโลหะสันฝายซึ่งติดอยู่กับตัวฝายต้องเรียบเป็นผืนเดียวกับผนังด้านหน้า สันฝายจะต้องตรง
3. การลบมุมท้ายน้ำของสันฝายจะต้องไม่เกิน 45 องศาจากผิวหน้าของแผ่นสันฝายแต่ถ้าเป็นฝายสามเหลี่ยมมุมดังกล่าวไม่ควรเกิน 30 องศา ไม่ควรใช้สันฝายที่มีคมมากเพราะดูแลยาก
4. ความสูงจากก้นคลองหรือทางน้ำถึงจุดต่ำสุดของสันฝายจะต้องไม่น้องกว่าสองเท่าของความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝายหรือเฮด (Head) และต้องไม่น้องกว่า 25 เซนติเมตร ถ้าเป็นไปได้ควรยกสันฝายให้สูงไว้ เพื่อให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ (Free Fiow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จะต้องมีอากาศผ่านเข้าใต้ผืนน้ำที่ไหลข้ามสันฝายได้ เพื่อให้น้ำที่ไหลผ่านสัมผัสกับสันฝายด้านมุมฉากซึ่งไม่ได้ลบเหลี่ยมเพียงด้านเดียวเท่านั้น ถ้าอากาศผ่านไม่ได้อาจเกิดสุญญากาศใต้ผิวน้ำ ทำให้การวัดผิดพลาด

6. การวัดเฮด หรือความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝาย จะต้องวัดด้านเหนือน้ำที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากสันฝายออกมาไม่น้องกว่าสี่เท่าของเฮดสูงสุดของการวัดนั้น

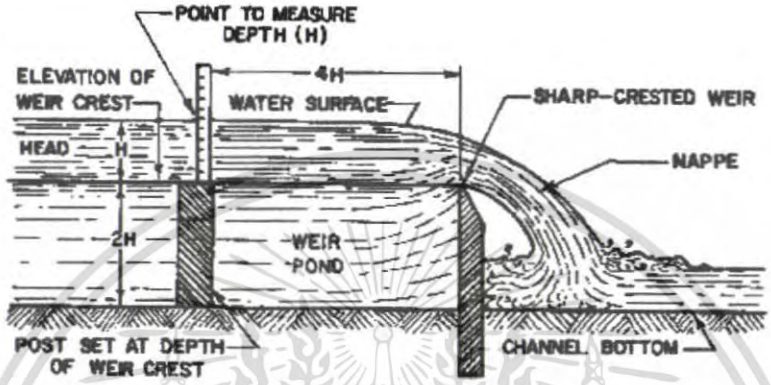


FIGURE 1.—PROFILE OF A SHARP-CRESTED WEIR

รูปที่ 2.2 ภาพตัดการสร้างฝายวัดน้ำ

รูปที่ 2.3 ฝายแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

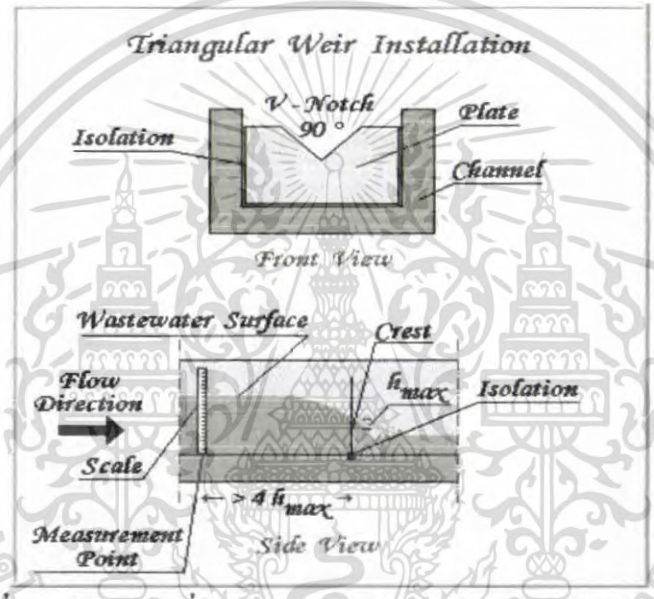
2.8 การสร้างฝายสามเหลี่ยม

เป็นฝายประเภทบีบข้าง (Contracted) ที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยสันฝายทั้งสองข้างทำมุม 45 องศากับแนวดิ่ง

อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยมคำนวณได้โดยสมการ

$$Q = 0.0138H^{5/2}$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายที่มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ H เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือยอดสามเหลี่ยมของสันฝายเป็นเซนติเมตร อัตราการไหลสำหรับเฮดขนาดต่าง ๆ อาจดูได้ที่ตาราง 2.1



รูปที่ 2.4 ฝายสามเหลี่ยม (TRIANGULAR OR V-NOTCH WEIR)

ฝายสามเหลี่ยมเป็นฝายวัดอัตราการไหลของน้ำที่ให้ความละเอียดถูกต้องดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอัตราการไหลน้อย ๆ ฝายชนิดนี้เป็นฝายประเภทบีบข้าง ดังนั้นสันฝายจะต้องอยู่ห่างจากตลิ่งและจุดปลายยอดของสามเหลี่ยมจะต้องสูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่า2เท่าของเฮด เนื่องจากว่าฝายสามเหลี่ยมนี้ไม่มีสันฝายในแนวราบ ดังนั้น เฮดจึงต้องมากกว่าฝายแบบอื่นเมื่ออัตราการไหลเท่า ๆ กัน การมีเฮดมากนี้จะช่วยให้น้ำไหลผ่านสันฝายอย่างอิสระ ไม่ลู่ติดกับสันฝาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

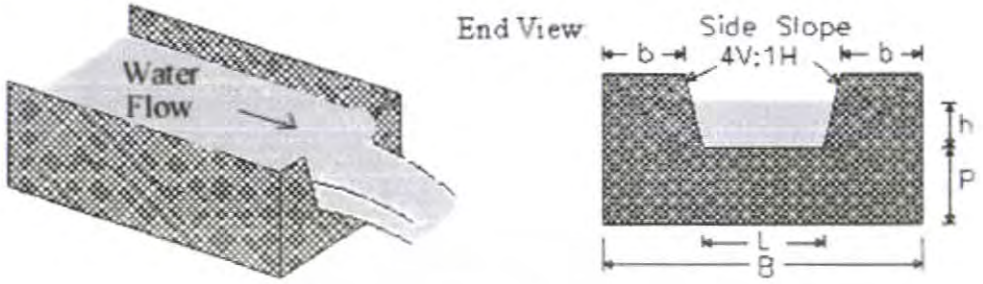
ตารางที่ 2.1 อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยม(V-notch Weir) ซึ่งคำนวณโดยสมการ $Q=0.0138H^{5/2}$

H(cm)	Q (L/sec)	H(cm)	Q(L/sec)	H(cm)	Q(L/sec)
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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)

เป็นฝายประเภทบีบข้างที่ช่องเปิดน้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สันฝายด้านล่างอยู่ในแนวระดับราบ สันฝายด้านน้ำไหลออกโดยมีความลาดเทด้านราบ 1 ส่วน ด้านตั้ง 4 ส่วน



รูปที่ 2.5 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูเมื่อไม่คิดเฮดความเร็ว (Velocity Head) ซึ่งใช้เมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายน้อยกว่า 0.30 เมตรต่อวินาที คือ

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

และเมื่อความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายมากกว่า 0.30 เมตร/วินาที ควรใช้สูตร

$Q = 0.01859L(H + 1.5h)^{3/2}$

สัญลักษณ์ Q เป็นอัตราการไหลผ่านฝายมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที L เป็นความยาวของสันฝายเป็นเวนติเมตร H เป็นเฮดความลึกของน้ำเหนือสันฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตร h เป็นเฮดความเร็วเป็นเซนติเมตร

ข้อจำกัดในการใช้ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู

1. สันฝายด้านข้างและด้านล่างจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำและตลิ่งไม่น้องกว่า2เท่าของเฮด
2. ฝายชนิดนี้ให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน ½ ของความยาวของสันฝาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู(Trapezoidal Weir) ที่มีความยาวของสันฝายขนาดต่างๆ เมื่อคำนวณโดยสมการ $Q=0.01859\ LH^{3/2}$

H(cm)	ความยาวของสันฝาย L (cm)									
	0.25	0.50	0.75	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
	อัตราการไหล Q (L/sec)									
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	158	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	54.76	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	98.5	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	1096	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

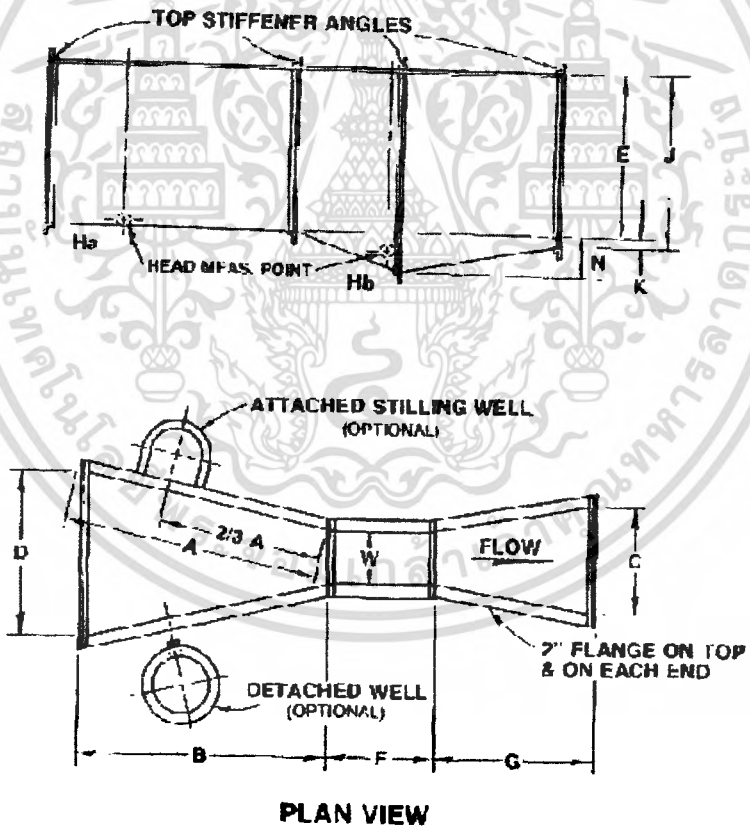
2.10 สร้างรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

ส่วนสำคัญสามส่วนด้วยกันคือ

1. ทางผายเข้า (Converging Section) เป็นทางที่ผนังของรางซึ่งอยู่ในแนวดิ่งเริ่มบีบตัวจากกำแพงปีกซึ่งกางเต็มความกว้างของทางน้ำให้แคบเข้า พื้นของรางส่วนนี้อยู่ในแนวราบแต่อยู่สูงกว่าพื้นของส่วนอื่น

2..ส่วนคอ (Throat Section) เป็นส่วนที่แคบที่สุดซึ่งผนังของรางบีบเข้ามาเป็นแนวขนานกัน ความกว้าง ของส่วนคอนี้จะเท่ากันตลอด แต่พื้นรางจะลาดลงต่ำกว่าพื้นของทางผายเข้า ความกว้างของส่วนคอเป็นค่าที่ใช้บอกขนาดของรางวัดน้ำแบบนี้

3. ทางผายออก (Diverging Section) เป็นส่วนที่ผายออกจากส่วนคอออกไปพบกำแพงปีกด้านท้ายน้ำซึ่งจะผายออกไปเท่ากับความกว้างของทางน้ำตามเดิม ระดับพื้นของส่วนนี้จะลาดจากส่วนคอขึ้นไปหาระดับพื้นท้องน้ำ แต่ปลายของส่วนนี้ยังคงอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นของทางผายเข้า



PLAN VIEW

รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

82975

รางวัดน้ำแบบพาแชลได้ออกแบบไว้มีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้วจนถึง 50 ฟุตรวม 22 ขนาด สัดส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำขนาดต่างๆและช่วงอัตราการไหลเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) แสดงไว้ในตาราง

เนื่องจากว่ามิติต่างๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล ทั้ง 22 ขนาด ไม่เป็นสัดส่วนทางชลศาสตร์ซึ่งกันและกัน ดังนั้น มิติต่างๆที่ให้ไว้จึงมิอาจเปลี่ยนให้เป็น ระบบเมตริกที่เป็นตัวเลขลงตัวได้ เพราะค่าสัมประสิทธิ์ของสูตรแต่ละขนาดทั้ง 22 ขนาดนั้นเป็นสูตรรางเฉพาะของรางนั้นๆ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนไปด้วยเพราะค่าที่ผิดพลาดจะเกินที่กำหนดไว้

2.10.1 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

การไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลมี 2 ลักษณะ คือ 1.การไหลแบบอิสระ (Free Flow) 2.การไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) ลักษณะของน้ำในการไหลทั้ง 2 แบบแสดงไว้ดังรูป กล่าวคือเส้นระดับผิวน้ำเส้นบนในส่วนผายออกของรางเป็นลักษณะของการไหลใต้ผิวน้ำ และเส้นล่างเป็นการไหลแบบอิสระ

อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลจะขึ้นอยู่กับเฮดหรือความลึกของราง ความลึกดังกล่าวจะวัดตอนที่น้ำอยู่นิ่ง เฮดที่วัดทั้ง 2 จุด แทนด้วยสัญลักษณ์ H_a และ H_b ตามลำดับ

ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำ

ก. ข้อดี

1. สามารถวัดอัตราการไหลได้ละเอียดถูกต้องดี มีหลายแบบที่สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานได้ นอกจากนั้น บางแบบยังสามารถขยายความยาวของสันฝายให้พอเหมาะกับอัตราการไหลได้

2. ออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และใช้งานง่าย อาจสร้างให้เป็นอาคารวัดน้ำแบบถาวร หรือเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ ได้ทั้งสองอย่าง

3. เศษวัสดุที่ลอยมากับน้ำไหลผ่านไปได้ ไม่ทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำ

4. มีความคงทนแข็งแรงพอสมควร ไม่มีชิ้นส่วนที่ต้องดูแลรักษาเป็นพิเศษ

ข. ข้อเสีย

1. ต้องให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ (Free Flow) ดังนั้นจะต้องการเฮดมากจนบางครั้งไม่อาจใช้ในพื้นที่หรือระบบส่งน้ำที่ราบมาก ๆ

2. อาจจะมีกรวด ทราย หรือเศษวัสดุถูกพัดพามาตกจมหน้าฝาย ทำให้ระดับพื้นท้องน้ำสูงขึ้นจนทำให้สันฝายอยู่สูงกว่าท้องน้ำน้อยกว่าสองเท่าของเฮด ค่าที่วัดได้ก็จะน้อยกว่าที่ไหลผ่านจริง

3. ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะพื้นท้องน้ำและตลิ่งท้ายฝายด้วย

4. อาจมีน้ำไหลลอดใต้ฝายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการเบื้องต้นของรางวัดน้ำ

ทฤษฎีทางชลศาสตร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบรางวัดน้ำก็คือ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำขณะไหลเข้ามาในรางเพิ่มขึ้นโดยการบีบทางน้ำให้แคบเข้า จนกระทั่งได้ความเร็ววิกฤต (Critical Velocity) หรือเร็วกว่าที่บริเวณส่วนที่แคบที่สุด แล้วผายออกจนกระทั่งการไหลเป็นไปอย่างปกติอีกครั้ง ตามหลักการข้างต้น อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะคำนวณได้โดยสมการ

$$Q = KH^n$$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำ K เป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของราง และจุดที่ทำการวัดเฮดหรือความลึกของน้ำในราง H เป็นเฮด หรือความลึกของน้ำเหนือพื้นรางวัดน้ำ

ถ้าพื้นรางมีหลายระดับก็วัดจากพื้นที่อยู่สูงที่สุด และ n เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของรางเช่นเดียวกันกับค่า K ค่า n และ K ของรางวัดน้ำชนิดต่าง ๆ

รูปที่ 2.7 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

ตัวอย่าง

ต้องการใช้รางวัดน้ำแบบพาร์แชลวัดอัตราการไหลในคลอง สมมุติอัตราการไหลต่ำสุดและสูงสุดอยู่ในช่วง 5 ถึง 300 ลิตรต่อวินาที จงหาขนาดของรางวัดน้ำที่ใช้ได้และสูตรสำหรับการคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำนั้น ถ้าเป็นการไหลแบบอิสระ(Free Flow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ

จากตารงที่ 10.5 อัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 300 ลิตร ต่อวินาที ขนาดของรางจะต้องไม่เล็กกว่า 1 ฟุต เมื่อพิจารณาอัตราการไหลต่ำสุด รางวัดที่อัตราการไหลต่ำสุดได้ 5 ลิตรต่อวินาที จะต้องไม่โตกว่า 1 ฟุต 6 นิ้ว

ดังนั้นรางวัดน้ำแบบพาร์แชลใช้ได้คือ ขนาด 1 ฟุต และขนาด 1ฟุต 6 นิ้ว

ขนาด 1ฟุต $Q = 0.6909\ H^{1.522}$

ขนาด 1.5 ฟุต $Q = 1.056\ H^{1.538}$

ในเมื่อ Q เป็นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และ H_a เป็นเฮดที่วัดทางผายเข้าเป็นเมตร

ตัวอย่าง

จงหาอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลที่เลือกไว้ในตัวอย่างที่ 10.9 ถ้าเฮดทางเข้าเท่ากับ 50 เซนติเมตรเท่ากันทั้งสองขนาด และเป็นการไหลแบบอิสระ

วิธีทำ

H_a = 50 เซนติเมตร = 0.50 เมตร

ถ้าเป็นรางขนาด1 ฟุต

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

ถ้าเป็นรางขนาด 1.5 ฟุต

$$Q = 1.056\ H^{1.538}$$
$$= 1.056\ (0.5)^{1.538}$$
$$= 0.3636 \text{ ม.}^3\text{/ วินาที}$$
$$= 363.6 \text{ ลิตร/วินาที}$$

2.11 ประตูเปิด-ปิดน้ำ

ประตูเปิด-ปิดน้ำเป็นอาคารชลประทานชนิดหนึ่งซึ่งสร้างไว้ในคลองส่งน้ำทุกประเภท เช่น คลองสายใหญ่ คลองซอย และคลองแยกซอย มีหน้าที่บังคับระดับน้ำเหนือน้ำของประตูระบายน้ำ เพราะทำหน้าที่บังคับและควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองตลอดเวลา

ตามหลักการส่งน้ำถือว่าคลองส่งน้ำเป็นคลองที่ส่งให้กับพืชโดยตรงให้แก่พื้นที่เพาะปลูกโดยตรงจึงมีความสำคัญกับวิธีการใช้น้ำมาก

ประตูเปิด-ปิดน้ำมีหน้าที่ 3 ประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ทำหน้าที่ระบายน้ำและยังสามารถบังคับให้ปริมาณน้ำสูงถึงระดับน้ำใช้การเต็มที่ได้ตามต้องการ

(2) ระบายน้ำที่เหลือใช้ในคลองทิ้งลงสู่ทางระบายน้ำธรรมชาติที่ปลายคลองส่งน้ำ

(3) ป้องกันไม่ให้น้ำในทางระบายน้ำธรรมชาติไหลย้อนมาในคลองส่งน้ำในเวลาที่ระดับน้ำในทางระบายน้ำธรรมชาติสูงกว่าระดับน้ำใช้การเต็มที่ในคลองส่งน้ำ

รูปที่ 2.8 ประตูเปิด-ปิดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

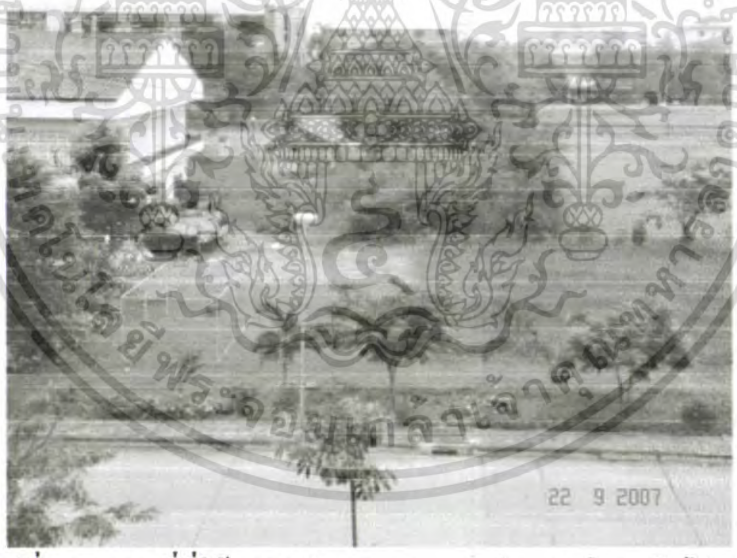
การออกแบบและการสร้าง

การออกแบบและการสร้างชุดจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

1. ส่วนคลองชลประทาน
   - จัดหาสถานที่และวัสดุทำคลองชลประทาน
2. ส่วนชุดจำลองอาคาร
   - การออกแบบอาคารจำลอง
   - การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ฯลฯ

3.1 การจัดหาสถานที่

จัดหาสถานที่ที่จะใช้สร้างคลองชลประทานเพื่อที่จะใช้สร้างชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นาโดยได้สถานที่ที่ในแปลงส่วนหน้าภาควิชาวิศวกรรมเกษตร



รูปที่ 3.1 สถานที่ที่ใช้วางชุดจำลองอาคารชลประทานในระดับไร่นา

3.2 วัดขนาดของพื้นที่

ทำการวัดขนาดของพื้นที่ในส่วนที่จะสร้างคลองชลประทานขึ้นมาโดยได้ขนาดของคลองชลประทานซึ่งมีความยาวทั้งหมด 50 เมตร โดยความกว้างของรางโดยวัดส่วนของขอบด้านบนของฝั่งหนึ่งไปยังอีกฝั่งหนึ่งได้ความยาว 80 เซนติเมตรส่วนความกว้างของขอบด้านล่างได้ 38 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วัสดุทำคลองชลประทาน

รางที่ใช้คือกระเบื้องลอนอย่างหนานำมาตัดลอนส่วนกลางออกแล้วนำมาประกอบเข้ากันเป็นรางจะได้ขนาดพอดีกับที่ได้กำหนดไว้ตัวรางที่ออกมานั้นจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูส่วนรายต่อนั้นจะใช้ปูนซีเมนต์เป็นตัวประสานเพื่อไม่ให้มีน้ำซึมออกจากรางน้ำ เพื่อให้ประสิทธิภาพการวัดอัตราการไหลของน้ำที่ออกมาไม่คลาดเคลื่อน

รูปที่ 3.2 กระเบื้องที่นำมาทำคลองชลประทาน

3.4 การขุดดิน

ทำการขุดดิน โดยการใช้เครื่องมือขุดดินและใช้รถแทร็กเตอร์ซึ่งนำมาพ่วงติดกับผานหัวหมูทำการเปิดหน้าดินเพื่อทำให้การขุดทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากดินที่ขุดเป็นดินผสมหินลูกรัง

(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(b)

รูปที่ 3.3 (a) ใช้รถแทรกเตอร์ขุด

(b) รอยผานหัวหมู

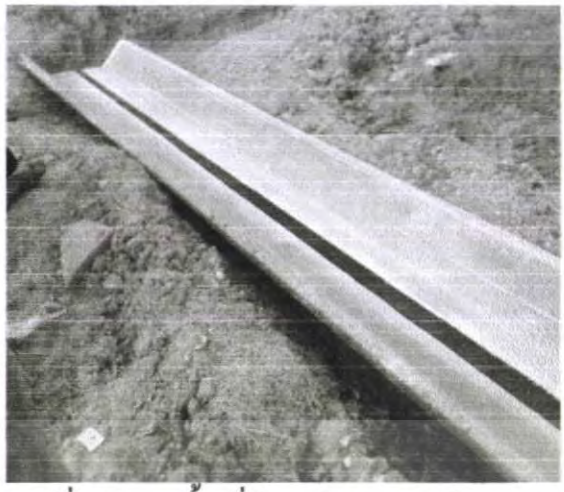
หลังจากที่ใช้แทรกเตอร์ต่อพวงผานหัวหมู เพื่อเป็นการเบิกร่องแล้วก็จะใช้จอบขุดให้ได้ขนาดตามขนาดของรางที่กำหนดไว้

รูปที่ 3.4 การขุดโดยใช้จอบ

3.5 การตัดรางน้ำเพื่อนำมาเป็นคลองจำลอง

ทำการตัดรางที่จะที่จะใช้ทำเป็นรางน้ำโดยใช้รางทั้งหมดจำนวน 10 แผ่น โดยความยาวต่อแผ่นประมาณแผ่นละ 5 เมตร ซึ่งเลือกใช้กระเบื้องมุงหลังคาขนาดใหญ่เพราะว่าเป็นวัสดุที่ทนน้ำและราคาค่อนข้างถูก เมื่อเทียบกับวัสดุทั่วไปที่นำมาใช้ในการทำคลองทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 กระเบื้องที่นำมาทำคลองชลประทาน

3.6 การปรับระดับดิน

ทำการปรับระดับดินให้ได้ตามแบบที่ได้กำหนดเอาไว้โดยโดยการส่องกล้องวัดระดับแล้วใช้ทรายเป็นตัวปรับระดับให้ได้ความลาดชันเนื่องจากทรายมีความแน่นและสามารถปรับได้ง่ายกว่า

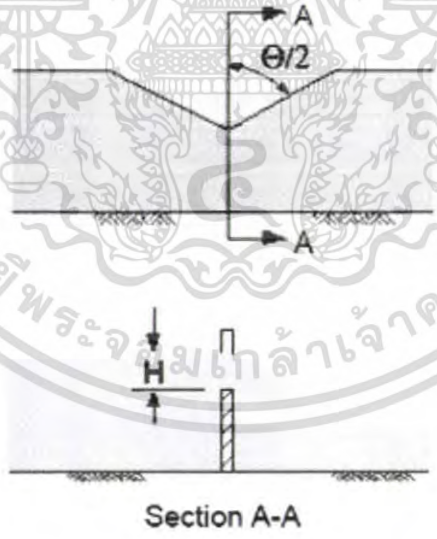
รูปที่ 3.6 การปรับดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การสร้างฝาย

ลักษณะเฉพาะของฝายและหลักเกณฑ์ทั่ว ๆ ไปในการติดตั้งฝายวัดน้ำมีดังต่อไปนี้ คือ

1. ผนังด้านเหนือน้ำของฝายจะต้องเรียบ อยู่ในแนวดิ่ง และตั้งฉากกับแนวศูนย์กลางของน้ำ
2. แผ่นโลหะสันฝายซึ่งติดอยู่กับตัวฝายต้องเรียบเป็นผืนเดียวกับผนังด้านหน้า สันฝายจะต้องตรงและเรียบ
3. สันฝายจะต้องวางให้ได้ระดับหรือมุมมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้
4. การลบมุมท้ายน้ำของสันฝายจะต้องไม่เกิน 45 องศาจากผิวหน้าของแผ่นสันฝายแต่ถ้าเป็นฝายสามเหลี่ยมมุมดังกล่าวไม่ควรเกิน 30 องศา ไม่ควรใช้สันฝายที่มีคมมากเพราะดูแลยาก
5. ความสูงจากก้นคลองหรือทางน้ำถึงจุดต่ำสุดของสันฝายจะต้องไม่น้องกว่าสองเท่าของความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝายหรือเฮด (Head) และต้องไม่น้องกว่า 25 เซนติเมตร ถ้าเป็นไปได้ควรยกสันฝายให้สูงไว้ เพื่อให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ (Free Flow)
6. จะต้องมีอากาศผ่านเข้าใต้ผืนน้ำที่ไหลข้ามสันฝายได้ เพื่อให้น้ำที่ไหลผ่านสัมผัสกับสันฝายด้านมุมฉากซึ่งไม่ได้ลบเหลี่ยมเพียงด้านเดียวเท่านั้น ถ้าอากาศผ่านไม่ได้อาจเกิดสุญญากาศใต้ผิวน้ำ ทำให้การวัดผิดพลาด
7. การวัดเฮด หรือความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝาย จะต้องวัดด้านเหนือน้ำที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากสันฝายออกมาไม่น้องกว่าสี่เท่าของเฮดสูงสุดของการวัดนั้น ดังในรูปที่ 3.7



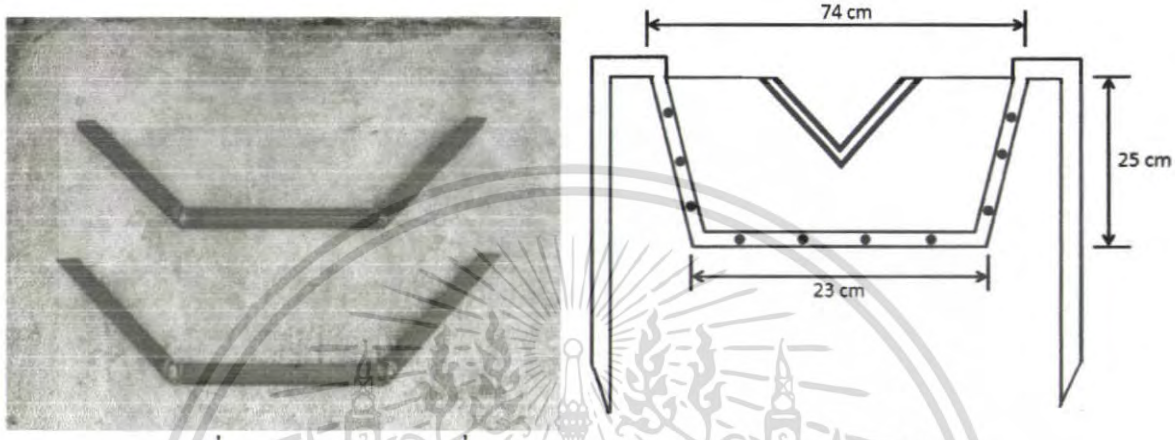
รูปที่ 3.7 รูปตัดตามแนวยาวของทางน้ำเพื่อแสดงการติดตั้งฝาย และหลักวัดระดับน้ำสำหรับอ่านค่าเฮด (H)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.1 การสร้างฝายสามเหลี่ยม

เป็นฝายประเภทบีบข้าง (Contracted) ที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยสันฝายทั้งสองข้างทำมุม 45 องศากับแนวดิ่ง

วัสดุที่นำมาใช้ในการทำโครงของฝายสามเหลี่ยมก็คือเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว นำมาเชื่อมให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อให้เป็นลักษณะเดียวกับรางน้ำ



รูปที่ 3.8 โครงฝายสามเหลี่ยม (TRIANGULAR OR V-NOTCH WEIR)

ส่วนสันฝายที่ต้องทำมุม 30 องศานั้นจะนำเหล็กแผ่นขนาดความหนา 2 มม. กว้าง 1 ซม.มาทำการเจียรให้ได้มุม 30 องศา

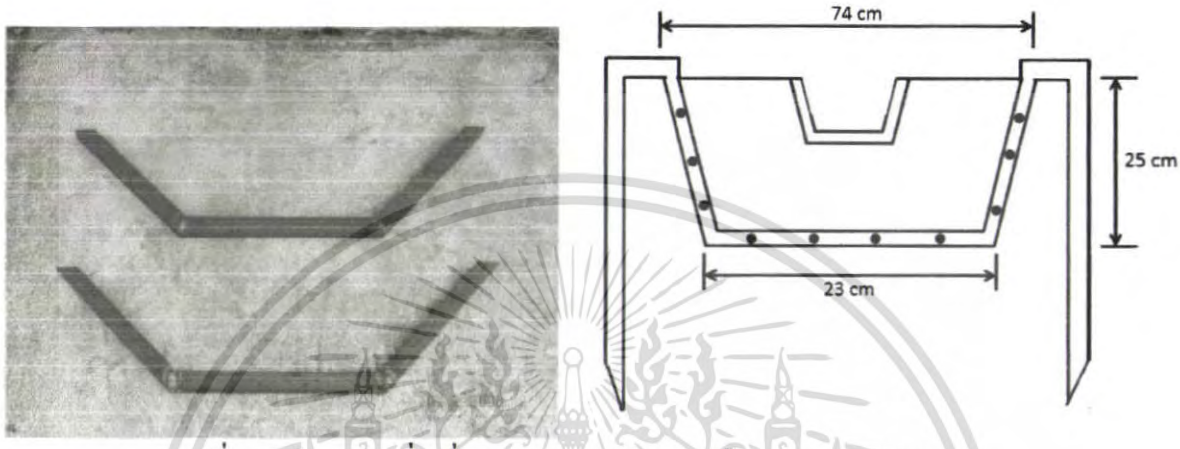
รูปที่ 3.9 การเจียรสันฝายให้ได้มุม 30 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.2 ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)

เป็นฝายประเภทบีบข้างที่ช่องเปิดน้ำไหลผ่านเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู สันฝายด้านล่างอยู่ในแนวระดับราบ สันฝายด้านน้ำไหลออกโดยมีความลาดเทด้านราบ 1 ส่วน ด้านตั้ง 4 ส่วน

วัสดุที่นำมาใช้ทำโครงก็จะเป็นวัสดุตัวเดียวกับฝายสามเหลี่ยมก็คือเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว นำมาเชื่อมเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมู



รูปที่ 3.10 โครงฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Cipollrtti หรือ Trapezoidal Weir)

ส่วนสันฝายของสี่เหลี่ยมคางหมูจะต้องทำมุม 45 องศา โดยใช้เหล็กเส้นขนาดความหนา 2 มม. กว้าง 1 ซม.มาทำการเจียรให้ได้มุม 45 องศา

รูปที่ 3.11 ทำการเจียรให้ได้มุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดในการใช้ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู

1. สันฝายด้านข้างและด้านล่างจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำและตลิ่งไม่น้องกว่า2เท่าของเฮด
2. ฝายชนิดนี้ให้ความละเอียดถูกต้องในการวัดดีเมื่อเฮดไม่น้อยกว่า 6 เซนติเมตรและไม่เกิน ½ ของความยาวของสันฝาย

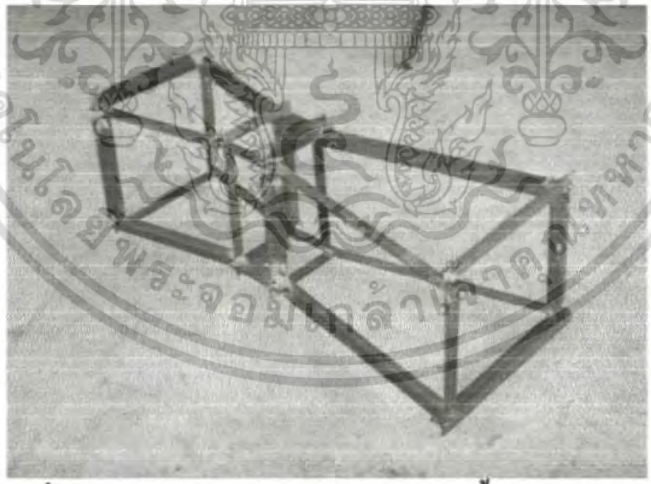
3.8 สร้างรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

ส่วนสำคัญสามส่วนด้วยกันคือ

1. ทางผายเข้า (Converging Section) เป็นทางที่ผนังของรางซึ่งอยู่ในแนวดิ่งเริ่มบีบตัวจากกำแพงปีกซึ่งกางเต็มความกว้างของทางน้ำให้แคบเข้า พื้นของรางส่วนนี้อยู่ในแนวราบแต่อยู่สูงกว่าพื้นของส่วนอื่น

2.ส่วนคอ (Throat Section) เป็นส่วนที่แคบที่สุดซึ่งผนังของรางบีบเข้ามาเป็นแนวขนานกัน ความกว้าง ของส่วนคอนี้จะเท่ากันตลอด แต่พื้นรางจะลาดลงต่ำกว่าพื้นของทางผายเข้า ความกว้างของส่วนคอเป็นค่าที่ใช้บอกขนาดของรางวัดน้ำแบบนี้

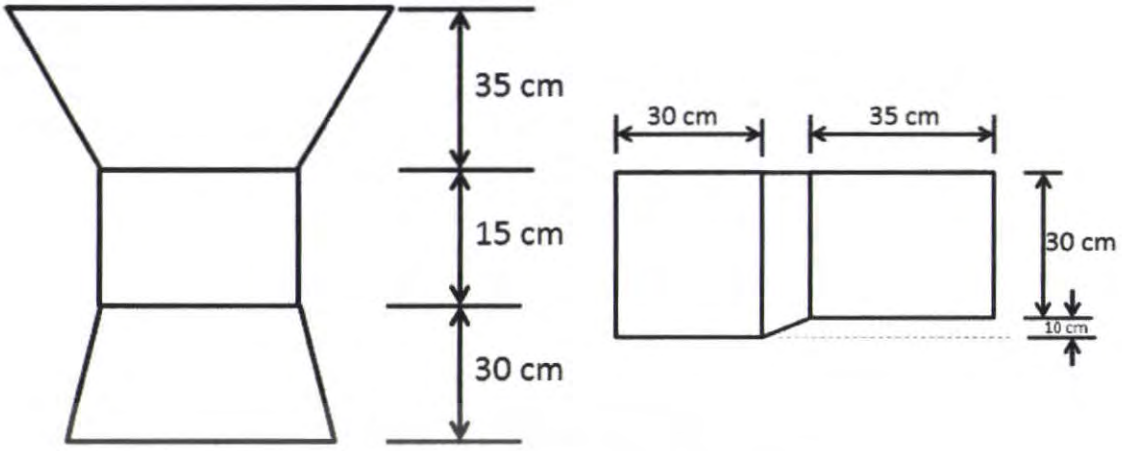
3. ทางผายออก (Diverging Section) เป็นส่วนที่ผายออกจากส่วนคอออกไปพบกำแพงปีกด้านท้ายน้ำซึ่งจะผายออกไปเท่ากับความกว้างของทางน้ำตามเดิม ระดับพื้นของส่วนนี้จะลาดจากส่วนคอขึ้นไปหาระดับพื้นท้องน้ำ แต่ปลายของส่วนนี้ยังคงอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นของทางผายเข้า



รูปที่ 3.12 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

รางวัดน้ำแบบพาแชลได้ออกแบบไว้มีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้วจนถึง 50 ฟุตรวม 22 ขนาด สัดส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำขนาดต่างๆและช่วงอัตราการไหลเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) แสดงไว้ในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



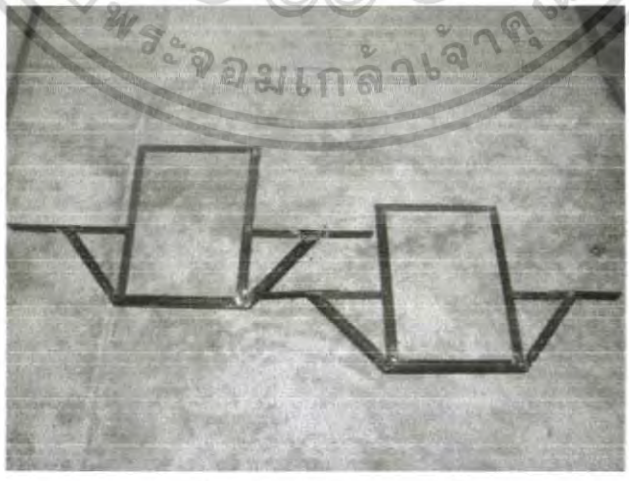
รูปที่ 3.13 แบบโครงสร้างรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

การไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชลมี 2 ลักษณะ คือ 1.การไหลแบบอิสระ (Free Flow) 2.การไหลใต้ผิวน้ำ (Submerged Flow) ลักษณะของน้ำในการไหลทั้ง 2 แบบแสดงไว้ดังรูป กล่าวคือ เส้นระดับผิวน้ำเส้นบนในส่วนผายออกของรางเป็นลักษณะของการไหลใต้ผิวน้ำ และเส้นล่างเป็นการไหลแบบอิสระ

3.9 ประตูเปิด-ปิดน้ำ

ประตูเปิด-ปิดน้ำโครงสร้างทำจากเหล็กฉากขนาด 1 นิ้ว นำมาเชื่อมดังรูปที่ 3.14 แล้วนำแผ่นอะคริลิคขนาด 4 มม. มาทำเป็นตัวบานประตูเลื่อนขึ้น-ลง โดยใช้เกลียวขนาด ½ นิ้ว มาเชื่อมติดโครงด้านบนต่อกับด้ามหมุน เพื่อให้ประตูสามารถเลื่อนขึ้น-ลงได้



รูปที่ 3.14 ประตูเปิด-ปิดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 การวัดอัตราการไหลของน้ำ (Discharge Measurement)

เพื่อให้สามารถวัดอัตราการไหลในทางน้ำเปิด โดยอาศัยวิธีต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย การใช้ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู การใช้ Par Shall Flume การใช้ฝายสามเหลี่ยม และการใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(Current Velocity Meters)

ฝายวัดน้ำเป็นอาคารที่สร้างขึ้นกั้นขวางทางน้ำเพื่อให้น้ำไหลล้นข้ามผ่านช่องเปิดที่ทำไว้ตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลข้ามสัมพันธ์กับความลึกของน้ำเหนือระดับสันฝาย เป็นกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว ฝายวัดน้ำที่ใช้กันทั่วไปเป็นฝายสันคม (Sharp Crested) ปาดสันให้คมด้วยการลบมุม 30 องศา สำหรับฝายเหลี่ยม และ 45 องศา สำหรับฝายสี่เหลี่ยมผืนผ้าและคางหมู

รูปที่ 4.1 ฝายวัดน้ำแบบสามเหลี่ยม

อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยมคำนวณได้จากสมการ

$$Q = 0.0138\ H^{5/2}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลผ่านฝายสามเหลี่ยม มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที

H = เฮด (Head) หรือความลึกของผิวน้ำเหนือสันฝาย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 ฝายวัดน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมูคำนวณได้จากสมการ

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

เมื่อ Q = อัตราการไหลผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที

H = เฮด (Head) หรือความลึกของผิวน้ำเหนือสันฝาย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

L = ความยาวของสันฝาย มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

4.2 รางวัดน้ำ

รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume) ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในทางเปิด ประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ

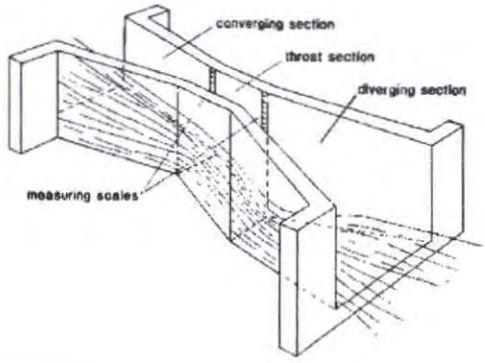
1.ทางผายเข้า เป็นทางเข้าที่ผนังของรางซึ่งอยู่ในแนวดิ่งเริ่มบีบตัวจากกำแพงปีกเข้าให้แคบลง พื้นของรางในส่วนนี้อยู่ในแนวราบแต่สูงกว่าพื้นของส่วนอื่น

2.ส่วนคอ เป็นส่วนที่แคบที่สุดพื้นรางจะลาดลงต่ำกว่าพื้นของส่วนอื่น

3.ทางผายออก เป็นส่วนที่ผายออกจากคอไปจนเท่าทางเดิม พื้นยังคงเท่าทางลาดลงและต่ำกว่าพื้นทางผายเข้า

อัตราการไหลแบบอิสระผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume) อัตราการไหลผ่านจะขึ้นอยู่กับขนาดหรือความกว้างของส่วนคอ สำหรับรางวัดน้ำแบบ Par Shall Flume ขนาด 3 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume)

อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume) คำนวณได้จากสมการ

$$Q = 0.0138\ Ha^{5/2}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

Ha = เฮด (Head) หรือความลึกของน้ำเหนือพื้นรางวัดน้ำ

4.3 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ(Current Velocity Meters)

เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ ยี่ห้อ SWOFER รุ่น 3000 สามารถคำนวณ เก็บ และประมวลผลข้อมูล ความเร็วกระแสน้ำ การระบายน้ำ เพื่อประเมินสถานการณ์ในภาคสนาม รุ่น 3000 สามารถวัดได้ทั้งหน่วย ฟุตต่อวินาทีหรือเมตรต่อวินาที มีmode การทำงานทั้งสิ้น 4 mode คือ

- CALIBRATION MODE นี้ใช้ในการปรับเทียบในภาคสนามโดยการลาก PROP ผ่านลำน้ำที่รู้ระยะทาง ซึ่ง รุ่น 3000 จะทำการนับจำนวน pulses PROP PITCH จะทำการคำนวณ

- COUNT (COUNT REVOLUTIONS) MODE ใช้ในการนับจำนวนรอบที่หมุนของ prop ในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งจำนวนรอบที่หมุนนี้จะแปรผันตาม ขนาดของ prop และ rotor assemblies ซึ่ง mode นี้จะใช้กับ USGS Price Type AA และ Pygmy meters หรือ Swoffer optic retrofit (model 2200) sensor

- VELOCITY MODE ใช้ในการคำนวณ ความเร็วของกระแสน้ำที่ไหลผ่าน sensor

- DISCHARGE MODE ใช้ในการคำนวณอัตราการระบายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 การวัดด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ

4.4 วัสดุอุปกรณ์

1. ทางเปิดน้ำพร้อมเครื่องสูบ ชั้นกรองลดความปั่นป่วนของน้ำ ฝายสามเหลี่ยม ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู
2. Par Shall Flume ขนาด 3 นิ้ว
3. เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(Current Velocity Meters)
4. ตลับเมตร หรือไม้บรรทัด
5. อาการน้ำตกทดน้ำ

4.5 วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องสูบน้ำ รอจนกระทั่งระดับน้ำอยู่ในสภาพคงที่
2. ปรับระดับน้ำเหนือประตูน้ำโดยการเปิดประตูน้ำ 3 ระดับ คือ ต่ำสุด7 ซม. ปานกลาง 14 ซม. สูงสุด 21ซม. ตามลำดับ
3. นำเครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ มาวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำหลังประตูน้ำทั้ง 3 ระดับน้ำ
4. ทำการบันทึกค่า Head ของแต่ละอุปกรณ์ โดยบันทึกค่าทั้ง 3 ระดับน้ำ แต่ละระดับทำการทดลองซ้ำกัน 3 ครั้ง
5. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4 แต่เปลี่ยนระดับน้ำเหนือฝายสามเหลี่ยมให้แตกต่างจากระดับเดิม แล้วบันทึกผล
6. นำค่าที่ได้ทั้งมาคำนวณอัตราการไหลของน้ำ
7. เปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำโดยวิธีต่างๆ
8. สรุปผล และวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ผลการทดลอง และการคำนวณ

ระดับน้ำหลังรางน้ำที่ได้เปิดประตู 3 ช่องระดับ

เปิดประตูน้ำ	ระดับความสูงในแต่ละระดับ(cm)
ต่ำสุด	7
ปานกลาง	14
สูงสุด	21

4.6.1 โดยฝายวัดน้ำแบบสามเหลี่ยม

ระดับน้ำต่ำสุด

ครั้งที่	H (เซนติเมตร)
1	4.9
2	5
3	5.2
H เฉลี่ย	5.3

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามเหลี่ยม (Q)

จากสมการ $Q = 0.0138\ H^{5/2}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.0138\ (4.9)^{5/2}$

$Q = 0.733$ liter / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.0138\ (5)^{5/2}$

$Q = 0.771$ liter / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.0138\ (5.2)^{5/2}$

$Q = 0.851$ liter / sec

Q เฉลี่ย $= 0.785$ liter / sec

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร $Q = A.V$

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.009 m/s

$Q = (824.5\ cm^2)x(0.009\ m/s)$

$Q = 0.742$ liter / sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับน้ำปานกลาง

ครั้งที่	H (เซนติเมตร)
1	6.3
2	5.8
3	6
H เฉลี่ย	6.03

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามเหลี่ยม (Q)

จากสมการ $Q = 0.0138\ H^{5/2}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.0138\ (6.3)^{5/2}$

$Q = 1.375$ liter / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.0138\ (5.8)^{5/2}$

$Q = 1.118$ liter / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.0138\ (6)^{5/2}$

$Q = 1.217$ liter / sec

Q เฉลี่ย $= 1.236$ liter / sec

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร $Q = A.V$

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.014 m/s

$Q = (873\ cm^2)x(0.014\ m/s)$

$Q = 1.222$ liter / sec

ระดับน้ำสูงสุด

ครั้งที่	H (เซนติเมตร)
1	7.7
2	7.9
3	8
H เฉลี่ย	7.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสามเหลี่ยม (Q)

จากสมการ $Q = 0.0138\ H^{5/2}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.0138\ (7.7)^{5/2}$

$Q = 2.271$ liter / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.0138\ (7.9)^{5/2}$

$Q = 2.421$ liter / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.0138\ (8)^{5/2}$

$Q = 2.498$ liter / sec

Q เฉลี่ย $= 2.396$ liter / sec

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร $Q = A.V$

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.024 m/s

$Q = (960.3\ cm^2)x(0.024\ m/s)$

$Q = 2.304$ liter / sec

4.6.2 โดยฝายวัดน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

ระดับน้ำต่ำสุด

ครั้งที่	H (เซนติเมตร)
1	3.5
2	3.2
3	3.6
H เฉลี่ย	3.4

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Q)

จากสมการ $Q = 0.01859LH^{3/2}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(3.5)^{3/2}$

$Q = 7.072$ liter / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(3.2)^{3/2}$

$Q = 6.182$ liter / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(3.6)^{3/2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q = 7.377 liter / sec

Q เฉลี่ย = 6.877 liter / sec

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร Q = A.V

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.086 m/s

Q = (795.4 cm^2)x(0.086 m/s)

Q = 6.840 liter / sec

ระดับน้ำปานกลาง

ครั้งที่	H (เซนติเมตร)
1	3.9
2	4
3	4
H เฉลี่ย	3.9

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Q)

จากสมการ $Q = 0.01859LH^{3/2}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(3.9)^{3/2}$

Q = 8.318 liter / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(4)^{3/2}$

Q = 8.640 liter / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(4)^{3/2}$

Q = 8.640 liter / sec

Q เฉลี่ย = 8.532 liter / sec

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร Q = A.V

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.104 m/s

Q = (819.6 cm^2)x(0.104 m/s)

Q = 8.523 liter / sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับน้ำสูงสุด

ครั้งที่	H (เซนติเมตร)
1	4.5
2	4.6
3	4.6
H เฉลี่ย	4.5

อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (Q)

จากสมการ $Q = 0.01859LH^{3/2}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(4.5)^{3/2}$

$Q = 10.309$ liter / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(4.6)^{3/2}$

$Q = 10.655$ liter / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.01859\ (15)x(4.6)^{3/2}$

$Q = 10.655$ liter / sec

Q เฉลี่ย $= 10.539$ liter / sec

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร Q = A.V

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 12.428 m/s

Q = (848.7 cm^2)x(12.428 m/s)

Q = 10.547 liter / sec

4.6.3 โดยรางวัดน้ำพาร์แชล

ระดับน้ำต่ำสุด

ครั้งที่	Ha (เมตร)
1	0.045
2	0.046
3	0.045
Ha เฉลี่ย	0.045

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume) (Q)

จากสมการ $Q = 0.177\ Ha^{1.55}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.045)^{1.55}$

$Q = 0.001$ m^3 / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.046)^{1.55}$

$Q = 0.001$ m^3 / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.045)^{1.55}$

$Q = 0.001$ m^3 / sec

Q เฉลี่ย $= 0.001$ m^3 / sec

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร $Q = A.V$

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.065 m/s

$Q = (0.065\ m^2)x(0.015\ m/s)$

$Q = 0.0009\ m^3 / sec$

ระดับน้ำปานกลาง

ครั้งที่	Ha (เมตร)
1	0.055
2	0.055
3	0.054
Ha เฉลี่ย	0.055

อัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume) (Q)

จากสมการ $Q = 0.177\ Ha^{1.55}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.055)^{1.55}$

$Q = 0.002$ m^3 / sec

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.055)^{1.55}$

$Q = 0.002$ m^3 / sec

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.054)^{1.55}$

$Q = 0.002$ m^3 / sec

Q เฉลี่ย $= 0.002$ m^3 / sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร Q = A.V

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.028 m/s

$Q = (0.070\ m^2)x(\ 0.028m/s)$

$Q = 0.0019\ m^3 / sec$

ระดับน้ำสูงสุด

ครั้งที่	Ha (เมตร)
1	0.066
2	0.064
3	0.065
Ha เฉลี่ย	0.065

อัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Par Shall Flume) (Q)

จากสมการ $Q = 0.177\ Ha^{1.55}$

ครั้งที่ 1 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.066)^{1.55}$

$Q = 0.003\ m^3 / sec$

ครั้งที่ 2 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.064)^{1.55}$

$Q = 0.002\ m^3 / sec$

ครั้งที่ 3 แทนค่า $Q = 0.177\ (0.065)^{1.55}$

$Q = 0.003\ m^3 / sec$

Q เฉลี่ย $= 0.002\ m^3 / sec$

ค่า Q โดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของกระแสน้ำ(ใช้ VELOCITY MODE)

จากสูตร Q = A.V

A = พื้นที่หน้าตัดน้ำในรางน้ำ(1/2 X ผลบวกด้านคู่ขนาน X สูง)

V = ค่าที่อ่านได้จาก Flow Meter เท่ากับ 0.026 m/s

$Q = (0.075\ m^2)x(\ 0.026m/s)$

$Q = 0.0019\ m^3 / sec$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 บทสรุป

การออกแบบและการสร้างชุดจำลองอาคารในคลองชลประทานของระบบชลประทานในระดับไร่นา โดยได้ทำการสร้างรางน้ำคอนกรีตรูปทรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู มีความกว้างพื้นท้องน้ำ 0.25 เมตร มีความลาดเอียงด้านข้าง 1:4 ยาว 47 เมตร โดยมีประตูปิด-เปิดน้ำแบบบานเลื่อนขนาด 0.25x0.25 เมตร ติดตั้งไว้ที่ทางด้านเหนือ และด้านท้ายของรางน้ำ ภายในรางติดตั้งเครื่องมืออัตราการไหลของน้ำในราง 3 ชนิด ห่างกัน 6 เมตร ได้แก่ ฝายวัดน้ำสามเหลี่ยม 90 องศา รางวัดน้ำแบบพาร์แชล และฝายวัดน้ำสี่เหลี่ยมคางหมูสันฝายกว้าง 0.15 เมตร ได้ทำการทดลองปล่อยน้ำเข้ารางน้ำ โดยเปิดประตูน้ำ 3 ระดับได้แก่ ต่ำสุด ปานกลาง และสูงสุด โดยที่แต่ละระดับได้ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องมือวัดน้ำ แต่ละชนิด 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของน้ำ ในการทดลองได้ใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำ (Current Meter) ทำการวัดค่าอัตราการไหลของน้ำในราง เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ และปรับแก้ค่าอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านเครื่องมือวัดน้ำทั้ง 3 ชนิด ดังผลสรุปการทดลองในตาราง

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จาก Flow Meter

ระดับน้ำ	อัตราการไหล (Q)					
	ฝายสามเหลี่ยม (liter/sec)		รางวัดน้ำพาร์แชล (m^3 / sec)		ฝายสี่เหลี่ยมคางหมู (liter/sec)	
	ค่าที่ได้จากทดลอง	ค่าที่ได้จาก Flow Meter	ค่าที่ได้จากทดลอง	ค่าที่ได้จาก Flow Meter	ค่าที่ได้จากทดลอง	ค่าที่ได้จาก Flow Meter
ต่ำสุด	0.785	0.742	0.001	0.0009	6.877	6.840
ปานกลาง	1.236	1.222	0.002	0.0019	8.532	8.532
สูงสุด	2.396	2.304	0.002	0.0019	10.539	10.549
Qเฉลี่ย	1.472	1.422	0.0016	0.0015	8.649	8.640

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิจารณ์

1. อาจจะมีกรวด ทราย หรือเศษวัสดุถูกพัดพามาตกจมหน้าฝาย ทำให้ระดับพื้นท้องน้ำสูงขึ้นจนทำให้สันฝายอยู่สูงกว่าท้องน้ำน้อยกว่าสองเท่าของเฮด ค่าที่วัดได้ก็จะน้อยกว่าที่ไหลผ่านจริง

2. อาคารวัดน้ำทุกตัวมีข้อจำกัดที่ต่างกัน ค่าเฮดที่วัดได้ของอุปกรณ์แต่ละตัวอาจมีผลต่างกันบ้างเล็กน้อย

3. เนื่องจากความลาดเทตามแนวยาวของคลองจะแบนราบ ในบางครั้งจะมีเศษวัชพืชหรือสิ่งที่ลอยมากับน้ำ ทำให้เกิดการสูญเสียเฮดก่อนถึงอาคารวัดน้ำ

4. การมองแผ่นสเกล (scale) ที่อ่านค่าเฮด (Head) อาจมีการคลาดเคลื่อนเพราะว่าใช้สายตามองและอาจมีเศษฝุ่นหรือวัชพืชลอยมาทำให้ดูได้ยาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมส่งเสริมการเกษตร. (2535). ชลประทาน. เอกสารวิชาการชุดพืชศาสตร์(crop manual).
2. การุณย์ สีตะธนี และคณะ. (2547). การออกแบบและการพัฒนาระบบชลประทาน. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเกษตร, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
3. กิตติ วงพิเชษฐ์ และคณะ. (2545). อาคารวัดน้ำในระบบชลประทานไร่นา วารสารวิชาการเกษตร, 20(1).
4. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550). คลองส่งน้ำ, ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร. เข้าถึงได้จาก http://www.oae.go.th.
5. กรมวิชาการเกษตร. (2545). ไร่นา. ข้อมูลการเกษตร. เข้าถึงได้จาก http://www.moac.go.th

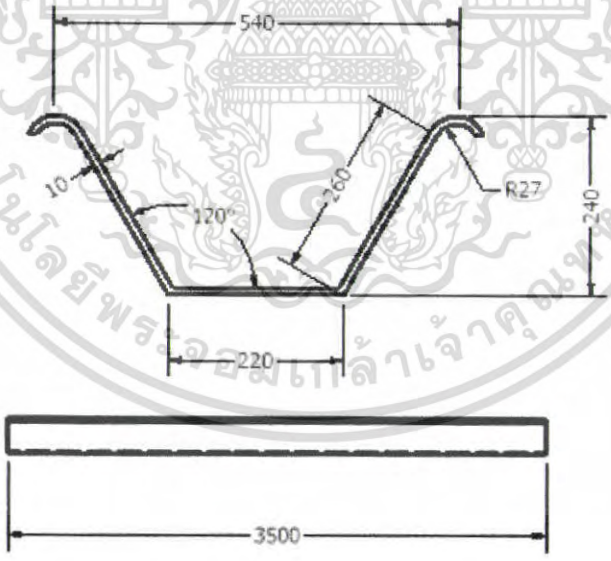
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

แบบชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา

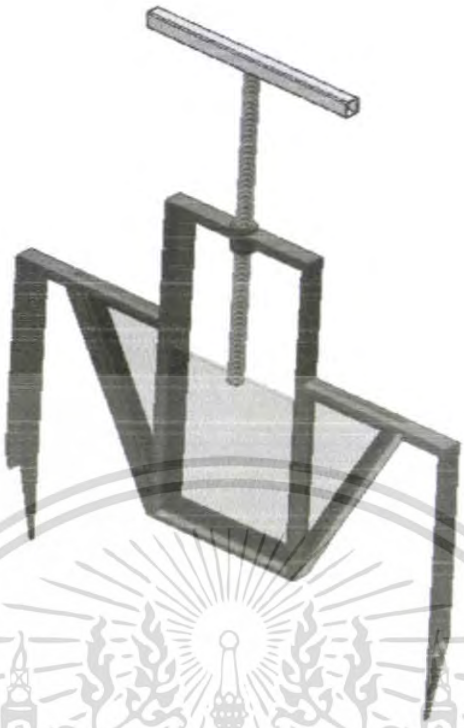
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 1 คลองจำลอง

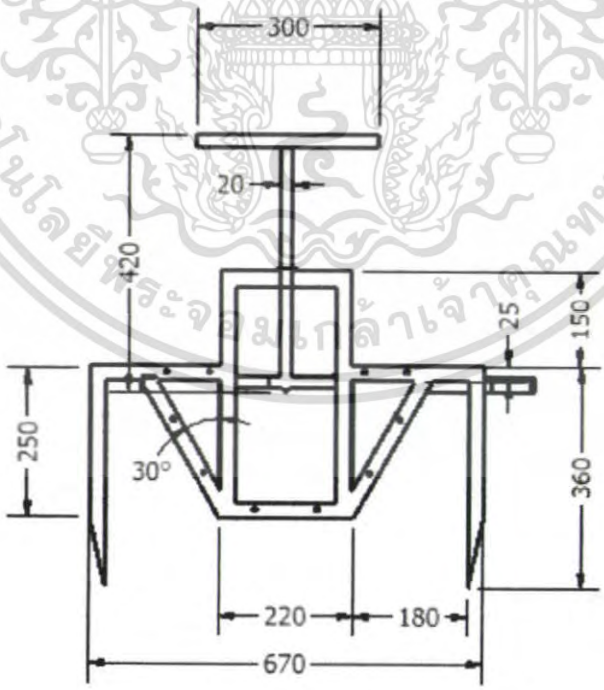


ภาพผนวกที่ 2 ภาพฉายชุดคลองจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



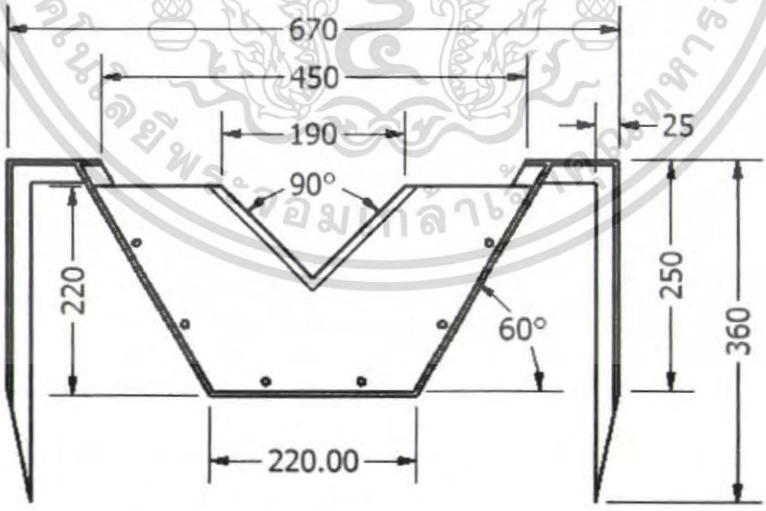
ภาพผนวกที่ 3 ประตูปิด-เปิดน้ำ



ภาพผนวกที่ 4 ภาพฉายประตูปิด-เปิดน้ำ

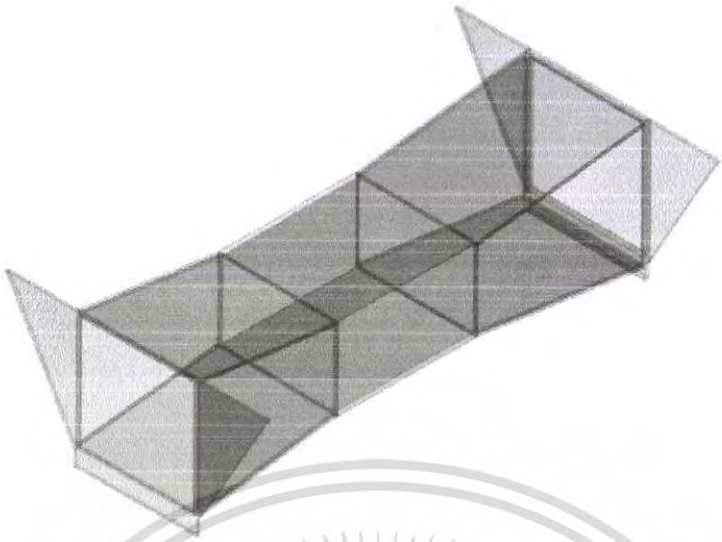
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 5 ฝายวัดน้ำแบบสามเหลี่ยม

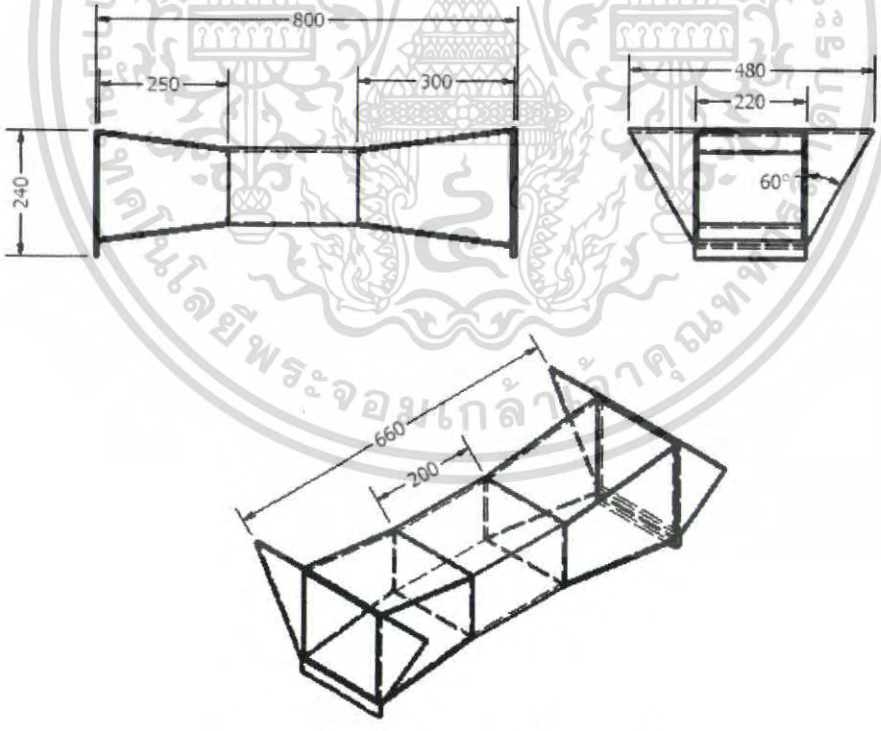


ภาพผนวกที่ 6 ภาพฉายฝายวัดน้ำแบบสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



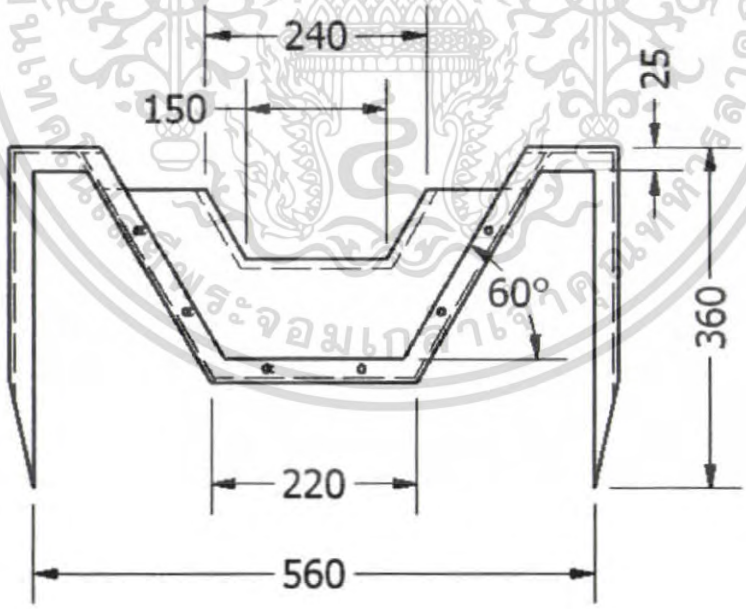
ภาพผนวกที่ 7 รางวัดน้ำพาร์แชล



ภาพผนวกที่ 8 ภาพฉายรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 9 ฝายวัดน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู



ภาพผนวกที่ 10 ภาพฉายฝายวัดน้ำแบบสี่เหลี่ยมคางหมู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

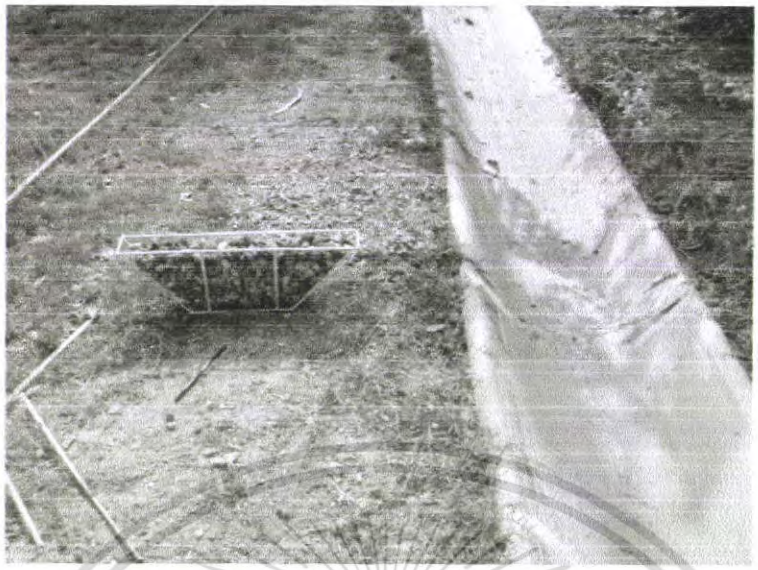
ภาพผนวกที่ 11 ชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ภาพการติดตั้งชุดจำลองอาคารในคลองของระบบชลประทานระดับไร่นา

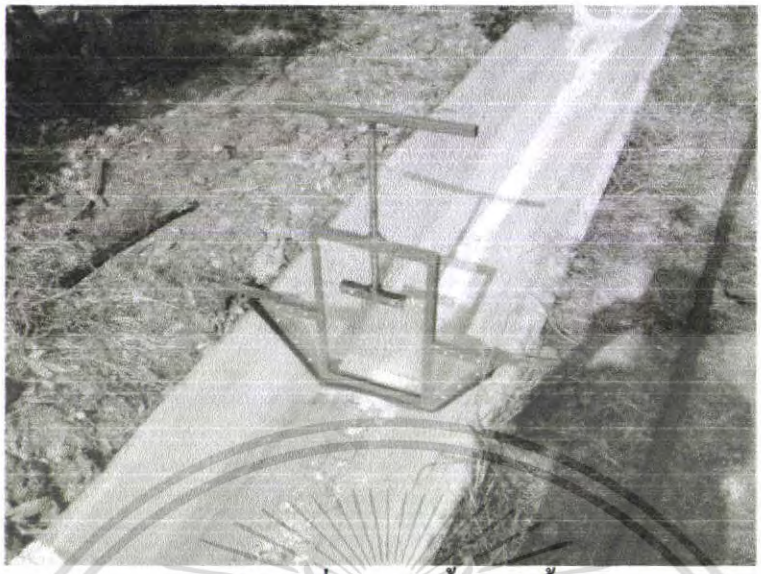
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 1 การติดตั้งรางวัดน้ำ

ภาพผนวกที่ 2 การติดตั้งแท็งก์น้ำขนาด 300 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพผนวกที่ 3 การติดตั้งประตูน้ำ

ภาพผนวกที่ 4 การติดตั้งฝายวัดน้ำสามเหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวกที่ 5 การติดตั้งฝายสี่เหลี่ยมคางหมู

ภาพผนวกที่ 6 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้