



โครงการการเปรียบเทียบหาค่าคงที่ของอุปกรณ์วัดน้ำในงานชลประทาน  
A PROJECT FOR CHARACTERISATION OF FLOW MEASURING  
EQUIPMENT IN IRRIGATION WORKS

โดย

1. นาย ธีระชัย อุดมสถาปนธ์ รหัส 36014197
2. นาย สุรศักดิ์ ชาลีออน รหัส 36014514
3. นาย อนันต์เดช จันทศรี รหัส 36014538

อาจารย์ที่ปรึกษา

1. อาจารย์ภัทรภรณ์ เมฆพฤษวงศ
2. อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์
3. อาจารย์ปรีชาพันธ์ ศรีแก้ว

วัน เดือน ปี.....	29 ก.พ. 2541
เลขทะเบียน.....	0.38.06.6...
เลขเรียกหนังสือ.....	T 39.046.5 ๖๖๓๓

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกลเกษตร  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

ปริญญาบัตรปีการศึกษา 2539

ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
เรื่อง โครงการการปรับเทียบค่าคงที่ของอุปกรณ์วัดน้ำในงานชลประทาน  
ผู้จัดทำ

1. นายธีระชัย อุดมสถาปนธ์ รหัส 36014197

2. นายสุรศักดิ์ ชาลีอ่อน รหัส 36014514

3. นายอนันต์เดช จันทร์ศรี รหัส 36014538



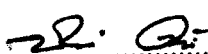
.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ภัทรภรณ์ เมฆพุกขาวงศ์ )



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์ )



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( อาจารย์ปรีชานันท์ ศรีแก้ว )

## โครงการการเปรียบเทียบค่าคงที่ของอุปกรณ์วัดน้ำในงานชลประทาน

1. นายธีระชัย อุดมสถาพันธ์

2. นายสุรศักดิ์ ชาลีอ่อน

3. นายอนันต์เดช จันทศรี

1. อาจารย์ภัทรภรณ์ เมฆพฤกษาวงศ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

2. อาจารย์ทรงวุฒิ แสงจันทร์

อาจารย์ที่ปรึกษา

3. อาจารย์ปรีชานันท์ ศรีแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539

### บทคัดย่อ

ในปริยญาณิพนธ์ฉบับนี้ ได้ศึกษาและจัดสร้างเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในช่องทางเปิด คือ " Parshall Flume " และ " V-Notch Weir " โดยการวัดค่า Head และวัดอัตราการไหลจริงที่ได้จากการชั่งน้ำหนักแล้วนำมาคำนวณหาค่าคงที่ C กับ N จากสมการ  $Q=CH^N$  จากการทดลองสำหรับ Parshall Flume ได้สมการสำหรับวัดอัตราการไหล  $Q = 0.1749H^{1.53}$  สำหรับ V-Notch Weir ได้สมการสำหรับวัดอัตราการไหล  $Q = 0.01349H^{2.5}$

**A PROJECT FOR CHARACTERISATION OF FLOW MEASURING  
EQUIPMENT IN IRRIGATION WORKS**

MR. TEERACHAI UDOMSATAPHAN

MR. SURASAK CHALEEON

MR. ANANDESH CHANSRI

ADVISOR

PATRAPORN MEKPRUKSAVONG

SONGVOOT SANGCHAN

PRECHARNAN SRIKAEW

1996

**Abstract**

This thesis concerns a study and construction of a project for flow measurement using " Parshall Flume " and " V-Notch Weir ". In the study , the value of H and real flow rate are measurement and used in the formulation  $Q = CH^n$  to obtain the constant C and n from experiment , the formulation for calculating flow rate by using Parshall Flume is  $Q = 0.01749H^{1.53}$  , and that by using V- Notch Weir is  $Q = 0.01349H^{2.5}$

# สารบัญ

หน้า

สารบัญ

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทที่ 1 บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

บทที่ 2 การตรวจเอกสาร

2.1 Open-Channel Flow

2.2 Energy ของการไหลใน Open-Channel

2.3 Specific Energy

2.4 การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ

2.5 ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี

2.6 ฝ่ายวัดน้ำ

2.7 การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝ่ายวัดน้ำ

2.8 ชนิดของฝ่ายวัดน้ำ

2.9 หลักการเบื้องต้นของรางวัดน้ำ

2.10 การวัดน้ำแบบพาร์แชล

2.11 ลักษณะการไหลผ่าน Parshall Flume

2.12 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์แชล

2.13 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาร์แชลเพื่อการไหลเป็นแบบอิสระ

1

1

2

2

3

3

6

6

7

8

8

9

10

12

12

16

16

	หน้า
2.14ข้อกำหนดในการติดตั้งและการใช้งานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	18
2.15ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล	18
<b>บทที่ 3 การออกแบบอุปกรณ์และการทดลอง</b>	<b>20</b>
3.1การออกแบบรางน้ำไหล	20
3.2Parshall Flume	20
3.3V-Notch Weir	21
3.4เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	21
3.5วิธีการทดลอง	22
3.6การคำนวณ	22
3.7ผลการทดลอง	23
<b>บทที่ 4 บทวิจารณ์ และสรุป</b>	<b>27</b>
ภาคผนวก	28
กิตติกรรมประกาศ	37
เอกสารอ้างอิง	38



## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 depth - velocity relation ships for four regimes of open-channel flow	4
2 Energy ใน open-channel ที่มีการไหลเป็น gradually varied	6
3 Specific-energy curve	6
4 ลักษณะของสันฝายคม และการไหลผ่านสันฝายชนิดนี้	9
5 รูปตัดตามแนวยาวของทางน้ำเพื่อแสดงการติดตั้งฝายและหลักวัดระดับน้ำสำหรับอ่านค่าเสด	10
6 ฝายสามเหลี่ยม (Triangular Or V - Notch Weir)	10
7 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) สัดส่วนมาตรฐานที่ให้ไว้	14

## สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1 สัดส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำแบบพาร์เชล

15

( Parshall Flume ) และช่วงอัตราการไหลผ่าน

เมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ในการที่จะจัดสรรน้ำจากแหล่งน้ำที่มีอยู่ไปใช้ในการเพาะปลูกให้เกิดประโยชน์ในทางเศรษฐกิจอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นจะต้องทราบว่ามื่อน้ำต้นทุนอยู่มากน้อยเท่าใด จะได้รับเพิ่มขึ้นมาในช่วงระยะเวลาต่างๆเท่าใด จะต้องส่งออกไปให้แก่เกษตรกรผู้ใช้น้ำในช่วงใดบ้างและด้วยอัตราเท่าใด ทางด้านเกษตรกรเมื่อได้น้ำมาแล้วก็ต้องนำมาให้แก่พืชในปริมาณที่พอเหมาะกับความต้องการ และให้ด้วยอัตราที่พอเหมาะกับการให้น้ำ คุณสมบัติของดิน ลักษณะของภูมิประเทศ ฯลฯ

จะเห็นได้ว่า ถ้าจะใช้น้ำให้มีประสิทธิภาพแล้วจำเป็นต้องมีการวัดอัตราและปริมาณในทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการได้เพิ่มขึ้นมาหรือใช้ไป เพราะมิฉะนั้นแล้วจะไม่มีข้อมูลพอที่จะจัดสรรน้ำให้มีประสิทธิภาพได้ โดยหลักการแล้วการวัดน้ำชลประทานเป็นสิ่งจำเป็น เพราะข้อมูลนี้มีประโยชน์ต่อการจัดสรรน้ำและบริหารโครงการชลประทานหลายอย่างด้วยกัน กล่าวคือ

1. ทำให้ทราบถึงอัตราและปริมาณน้ำต้นทุนที่จะนำมาใช้ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแหล่งน้ำนั้นมีการใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์หลายอย่างร่วมกัน เช่น ปริมาณน้ำที่ไหลมาของลำน้ำสายหนึ่งอาจจะต้องแบ่งไว้สำหรับการอุปโภคบริโภค การคมนาคมทางน้ำ การควบคุมน้ำเค็มบริเวณปากอ่าว เหลือเท่าไรจึงเอาไปใช้ในการชลประทานได้ เป็นต้น
2. ทำให้สามารถส่งน้ำเข้าระบบส่งน้ำได้อย่างถูกต้องตามความต้องการ รวมทั้งสามารถจัดสรรน้ำให้แก่ เกษตรกรอย่างยุติธรรมด้วย
3. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของ คลอง กูส่งน้ำ ในช่วงตอนต่างๆ สำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงหรือแก้ไขระบบส่งน้ำให้ดีขึ้น
4. เมื่อมีการวัดการให้น้ำในแปลงเพาะปลูก ก็จะทำให้ทราบถึงอัตราและปริมาณที่ให้แก่พืช สำหรับเป็นแนวทางในการปรับปรุงการให้น้ำให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
5. เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการเก็บค่าน้ำจากผู้ใช้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ใช้เป็นเครื่องมือในการตัดสินใจ ข้อพิพาทเรื่องแก่งแย่งน้ำ หรือสิทธิในการใช้น้ำ

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาอัตราการไหลของน้ำโดย ขณะที่น้ำนั้นอยู่ในสถานะ steady flow
2. เพื่อทำการศึกษาหาอัตราการไหล (Q) โดยกระทำแบบตามความจริงซึ่งทำโดย นำน้ำมาหามวล โดยการชั่งน้ำหนักและทำการจับเวลาต่อที่เวลาต่างๆ กันแล้วนำมามวลกับ เวลาหารกันจะได้ค่า (Q) ตามต้องการ

3. เพื่อทดสอบอุปกรณ์ที่เรียกว่า Parshall Measuring Flume ว่าได้มาตรฐานในการออกแบบ หรือไม่อย่างไร

4. เพื่อทำการทดสอบอุปกรณ์ที่ต้องการนำมาปรับเทียบ (Calibrate) ว่าถูกต้องตามทฤษฎีที่กล่าวถึงหรือไม่

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ต้องการให้น้ำนั้นไหลอย่างคงตัวหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การไหลแบบ Steady Flow
2. ปรับหาค่าอัตราการไหล (Q) โดยใช้วาล์วเป็นตัวปรับค่า และมี Pump และ Motor เป็นตัวทำหน้าที่ส่งจ่ายน้ำ
3. ทำการทดสอบทั้งแบบ Free Flow และ Submerge Flow
4. มีระบบความปลอดภัยในการปรับค่าอัตราการไหล (Q) โดยใช้วาล์ว Safety Value เป็นตัวควบคุม

## บทที่ 2

### การตรวจเอกสาร

#### 2.1 Open Channel Flow

##### 2.1.1 สถานะของการไหล

สถานะหรือลักษณะของการไหลใน Open Channel ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกิดจากความหนืด และศูนย์กลางของโลกซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Inertial Force หรือ แรงตึงผิวของน้ำ

##### 2.1.2 ผลกระทบของความหนืด

อิทธิพลของความหนืดที่มีผลต่อสถานะของการไหลจะบอกได้ด้วยค่า

Reynolds Number ( $Re$ ) =  $VL/v$

โดย

$V$  = อัตราความเร็วของการไหล - ฟุตต่อวินาที

$L$  = Characteristic Length - ฟุต ซึ่งมีค่าเท่ากับ hydraulic radius ( $R=A/P$ )

เมื่อ

$A$  คือ พื้นที่การไหล

$P$  คือ เส้นขอบเปียก

$v$  = kinematic viscosity ของน้ำ - ฟุต<sup>2</sup>/วินาที ( $1.08 \times 10^{-5}$ ) =  $\mu/\rho$

เมื่อ

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ (lb/ft<sup>3</sup>)

$\mu$  = dynamic viscosity - slug /ฟุต-วินาที ( $2.09 \times 10^{-5}$ )

การไหลจะเป็นแบบ Laminar ถ้าค่า Reynolds Number มีค่าน้อยกว่า 500 และจะเป็น Turbulent ถ้าค่า Reynolds Number มีค่ามากกว่า 2000

##### 2.1.3 ผลกระทบของ gravity

ผลกระทบของ gravity ต่อสถานะของการไหลแทนได้ Inertial Force ต่อ gravity force อัตราส่วนอยู่ในรูป Froude number คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F = V/(gl)^{1/2}$$

V=อัตราความเร็วเฉลี่ยของการไหลเป็น ฟุตต่อวินาที

L=Characteristic length - ฟุต

สำหรับการไหลในทางน้ำเปิด

L = hydraulic Depth :  $D = A/T$  เมื่อ

A คือ พื้นที่การไหล

T คือ ความกว้างของผิวการไหล

ถ้า  $Fr = 1$  การไหลของน้ำจะเป็นแบบ Critical Flow

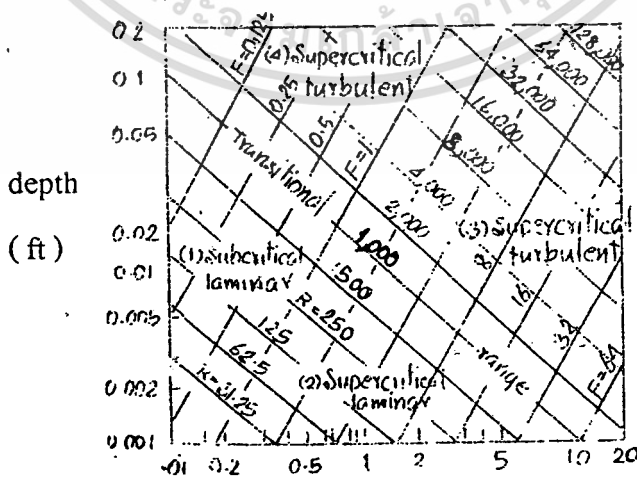
$Fr < 1$  การไหลของน้ำจะเป็นแบบ Subcritical Flow

$Fr > 1$  การไหลของน้ำจะเป็นแบบ Supercritical Flow

เมื่อพิจารณาถึงผลของ Viscosity และ Gravity ที่มีการไหลของน้ำใน Open Channel จะสามารถแบ่งการไหลของน้ำออกได้เป็น 4 แบบดังต่อไปนี้

1. Subcritical - Laminar  $Fr < 1$  และ  $Re < 500$
2. Supercritical- Laminar  $Fr > 1$  และ  $Re < 500$
3. Subcritical - Turbulent  $Fr < 1$  และ  $Re > 2000$
4. Supercritical - Turbulent  $Fr > 1$  และ  $Re > 2000$

ความสัมพันธ์ระหว่าง depth-velocity กับ flow regimes ทั้ง 4 ใน Open Channel Flow จะถูกแสดงไว้ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดง depth - velocity relationships for four regimes of open - channel flow

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.4 คำจำกัดความของส่วนต่างๆของทางน้ำคือ

-ความลึกของการไหล  $y$  (depth of flow) คือ ระยะทางในแนวดิ่งจากจุดต่ำสุดของรูปตัดของทางน้ำไปถึงผิวน้ำ

-ความลึกของการไหลของ รูปตัด  $d$ (depth of flow section) คือ ความลึกของการไหลที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหล หรือ ความสูงของรูปตัดที่มีน้ำอยู่

-ระดับ (stage) คือ ความสูง หรือ ระยะทางในแนวดิ่งจากผิวน้ำอิสระ ถึง เส้นสมมติ(datum)

-ความกว้างที่ผิวการไหล  $T$ (top width) คือ ความกว้างของรูปตัดทางน้ำที่ผิวน้ำอิสระ

-พื้นที่การไหล  $A$  (water area) เป็นพื้นที่รูปตัดการไหลซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการไหล

-เส้นขอบเปียก  $P$ (wetted perimeter) คือ ความยาวของเส้นที่ผิวน้ำสัมผัสกับทางน้ำและอยู่ระหว่างจุดตัดของทางน้ำกับผิวน้ำทั้งสองของรูปตัดที่ตั้งฉากกับการไหล

-hydraulic radius  $R$  คืออัตราส่วนของพื้นที่การไหลต่อเส้นขอบเปียก หรือ

$$R = \frac{A}{P}$$

-hydraulic depth  $D$  คืออัตราส่วนของพื้นที่การไหลต่อความกว้างที่ผิวการไหลหรือ

$$D = \frac{A}{T}$$

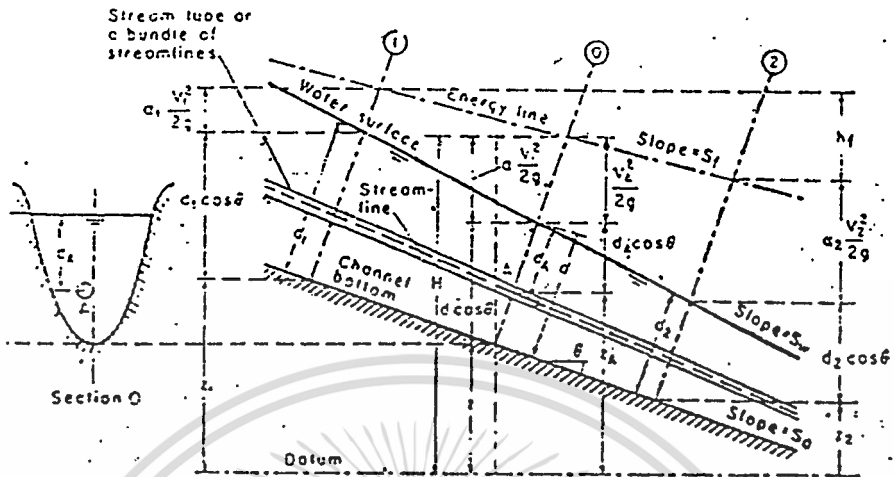
-section factor สำหรับคำนวณการไหล critical  $Z$  คือผลคูณของพื้นที่การไหล และ square root ของ hydraulic depth

$$Z = A D^{1/2} = A(A/T)^{1/2}$$

-section factor สำหรับคำนวณการไหล uniform  $AR^{2/3}$  คือ ผลคูณของพื้นที่การไหลและ hydraulic radius กำลังเศษสองส่วนสาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

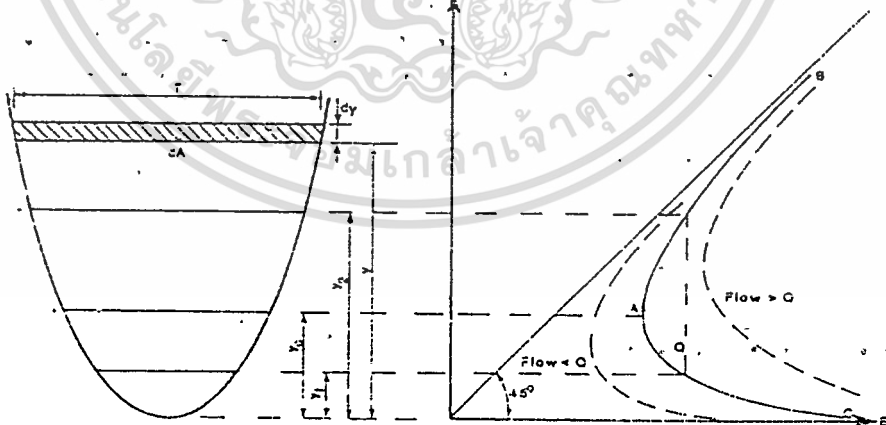
## 2.2 Energy ของการไหลใน Open-Channel



ภาพที่ 2 Energy ใน open-channel ที่มีการไหลเป็น gradually varied

## 2.3 Specific Energy

Specific Energy ในรูปตัดทางน้ำ คือ energy ต่อปอนด์ของน้ำมีรูปตัดของทางน้ำใดๆวัดจากก้นทางน้ำนั้น



ภาพที่ 3 Specific-energy curve

การพิจารณาจากภาพที่  $E = y + \frac{v^2}{2g}$

สมการแบ่งรูปแบบการไหล เป็น 3 แบบ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การไหล critical มีลักษณะสำคัญหลายประการ คือ

- 1) Specific energy น้อยที่สุดสำหรับปริมาณน้ำที่กำหนดให้
- 2) ปริมาณน้ำสูงสุดสำหรับ specific energy ที่กำหนดให้
- 3) specific force น้อยที่สุดสำหรับปริมาณน้ำที่กำหนดให้
- 4) Velocity head เท่ากับครึ่งหนึ่งของ Hydraulic depth สำหรับทางน้ำที่มีความลาดเทน้อย

5) Froude number มีค่าเท่ากับ 1

2. การไหล Subcritical มีลักษณะสำคัญหลายประการคือ

1) Specific energy เท่ากับการไหล Supercritical สำหรับ specific energy ที่กำหนด

2) ความลึกของการไหลสูงสุด สำหรับ specific energy ที่กำหนดให้

3) Froude number มีค่าน้อยกว่า 1

3. การไหล Supercritical มีลักษณะสำคัญหลายประการคือ

1) Specific energy มีค่าเท่ากับการไหล subcritical ที่ Specific energy ที่กำหนด

2) ความลึกของการไหลต่ำสุด สำหรับ specific energy ที่กำหนดให้

3) Froude number มีค่ามากกว่า 1

#### 2.4 การวัดน้ำในระบบคลองส่งน้ำ

โดยปกติแล้วการวัดน้ำในระบบส่งน้ำจะเริ่มต้นทันทีที่จุดส่งน้ำจากแหล่งน้ำเข้าระบบซึ่งอาจจะเป็นประตูระบายปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ หลังจากนั้นก็จะวัดทุกจุดที่มีระบบช่วยแตกแขนงออกไป เช่น ปากคลองซอย ปากคลองแยกซอย เป็นต้น และทุก ๆ จุดหลังส่งน้ำเข้ามา

เครื่องมือที่ใช้วัดอัตราการไหลของน้ำมีมากมายหลายแบบ แต่เนื่องจากว่าส่วนใหญ่แล้ว ความลาดเทของฝิวน้ำในคลองค่อนข้างราบ เครื่องมือที่ใช้จึงไม่ควรก่อให้เกิดการเสียพลังงานหรือเสียเฮด (Head) ในการไหลมากโดยทั่ว ๆ ไปจึงนิยมใช้รางวัดน้ำ เช่น รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) ทั้งนี้ยกเว้นบริเวณปากคลองซอย ซึ่งจำเป็นต้องมีอาคารปิด และ เปิดน้ำด้วย ในกรณีดังกล่าวนี้จะนิยมใช้อาคารวัดน้ำที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับต่างคงที่ (Constant Head Orifice) หรือ CHO ซึ่งทำหน้าที่ได้ทั้งวัดน้ำและปิด - เปิดน้ำแทน

## 2.5 ลักษณะของเครื่องมือวัดน้ำที่ดี

เครื่องมือวัดน้ำที่จะกล่าวถึงในที่นี้ถือว่าเป็นเครื่องมือวัดน้ำที่จะใช้ใน ระบบส่งน้ำขนาดเล็กและใช้ในไร่นา ซึ่งโดยทั่วไป อัตราการไหลจะมีค่าไม่เกิน ประมาณ 500 ลิตรต่อวินาที เครื่องมือวัดน้ำในคลองส่งน้ำที่ดีควรมีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1. เนื่องจากว่าความลาดเทตามแนวยาวของคลองส่วนใหญ่จะแบนราบ ดังนั้นจึง จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดน้ำที่มีความต้านทานต่อการไหลน้อย หรืออีกนัยหนึ่งมีการเสด น้อย นอกจากนั้น เศษวัชพืชหรือสิ่งที่ย่อยมากับน้ำควรจะสามารถไหลผ่านไปได้อย่างไม่ก่อกวนให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำเพิ่มขึ้น

2. ถ้าเป็นไปได้ควรจะทำหน้าที่อย่างอื่นนอกเหนือการวัดน้ำได้ด้วย เช่น ช่วยควบคุมระดับน้ำในคลองทำหน้าที่เป็นประตูน้ำด้วย เช่น อาคารวัดน้ำแบบ CHO เป็นต้น

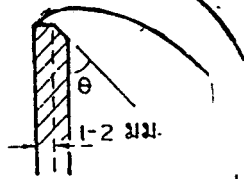
3. จะต้องใช้ง่าย แผ่นสเกล (Scale) ที่อ่านค่าเสดควรติดอยู่กับที่ สามารถมองเห็น ได้ชัดเจนและอ่านได้ง่าย ควรมีตารางที่บอกอัตราการไหลได้ทันทีจากค่าเสดที่อ่านได้

4. ให้ความละเอียดถูกต้องดีพอสมควรตลอดช่วงการวัดตั้งแต่ส่งน้ำด้วยอัตราต่ำสุดถึงสูงสุด

5. จะต้องมั่นคงแข็งแรง ติดตั้งและใช้งานง่าย ไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก และมีราคาไม่แพง

## 2.6 ฝ่ายวัดน้ำ

ฝ่ายวัดน้ำอาจจะให้คำจำกัดความได้ว่า เป็นอาคารที่สร้างขึ้นขวางกั้น ทางน้ำ เพื่อให้ให้น้ำไหลผ่านช่องเปิด ที่ทำไว้ตามมาตรฐานที่กำหนดเป็นแบบ Critical Flow ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลสัมพันธ์กับความลึกของน้ำเหนือระดับ สันฝายเป็นกฎเกณฑ์ที่แน่นอนตายตัว



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

$\theta \leq 30^\circ$  สำหรับฝายสามเหลี่ยม

ภาพที่ 4 ลักษณะของสันฝายคม และการไหลผ่านสันฝายชนิดนี้

ฝายวัดน้ำที่ใช้กันโดยทั่วไปเป็นฝายสันคม (Sharp Crested) ซึ่งทำจากเหล็กหรือโลหะแผ่นเรียบปาดสันให้คมด้วยการลบมุม 30 ถึง 45 องศากับหน้าของแผ่น จนความหนาของสันเหลือ 1 ถึง 2 มิลลิเมตรส่วนที่ลบมุมนี้จะติดตั้งไว้ทางคานท้ายน้ำ เพื่อให้แผ่นน้ำไหลข้ามไปได้โดยไม่ลู่ติดกับสันฝาย ลักษณะของสันฝายและการไหลผ่านสันฝายชนิดนี้แสดงไว้ในภาพที่ 4

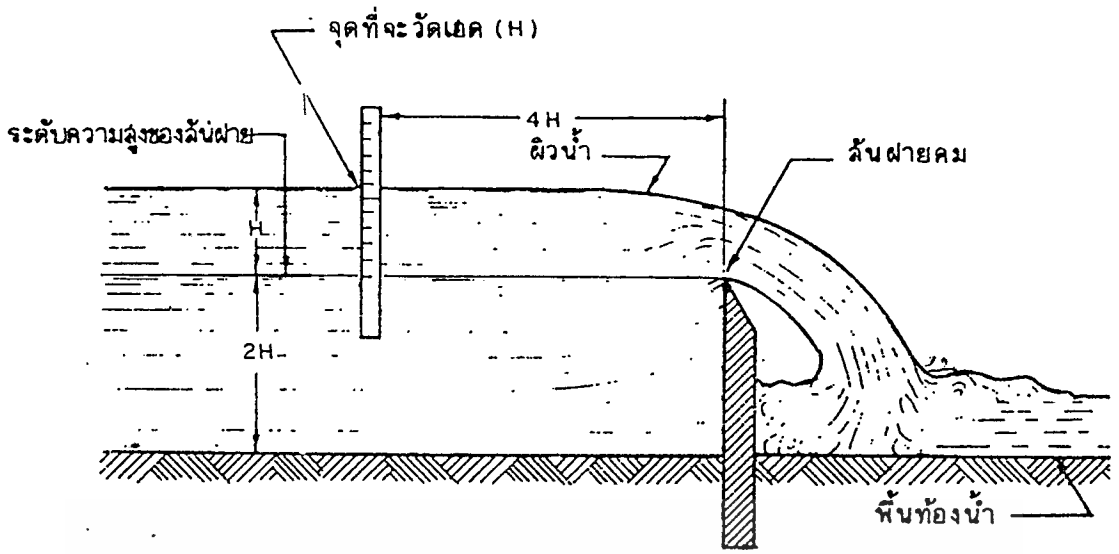
ฝายสันคมแบบมาตรฐานที่ใช้กันอยู่เรียกชื่อตามรูปร่างลักษณะของช่องเปิดที่น้ำไหลผ่าน เช่น เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมคางหมู และสามเหลี่ยม สำหรับฝายประเภทแรกคือสี่เหลี่ยมผืนผ้านั้นยังแบ่งออกเป็นแบบไม่บีบข้าง คือความยาวของสันฝายเท่ากับความกว้างของทางน้ำซึ่งเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าเช่นเดียวกัน และแบบบีบข้าง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

## 2.7 การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายวัดน้ำ

การคำนวณอัตราการไหลคำนวณจากสมการ  $Q = CH^n$

เมื่อ C, n คือ ค่าคงที่

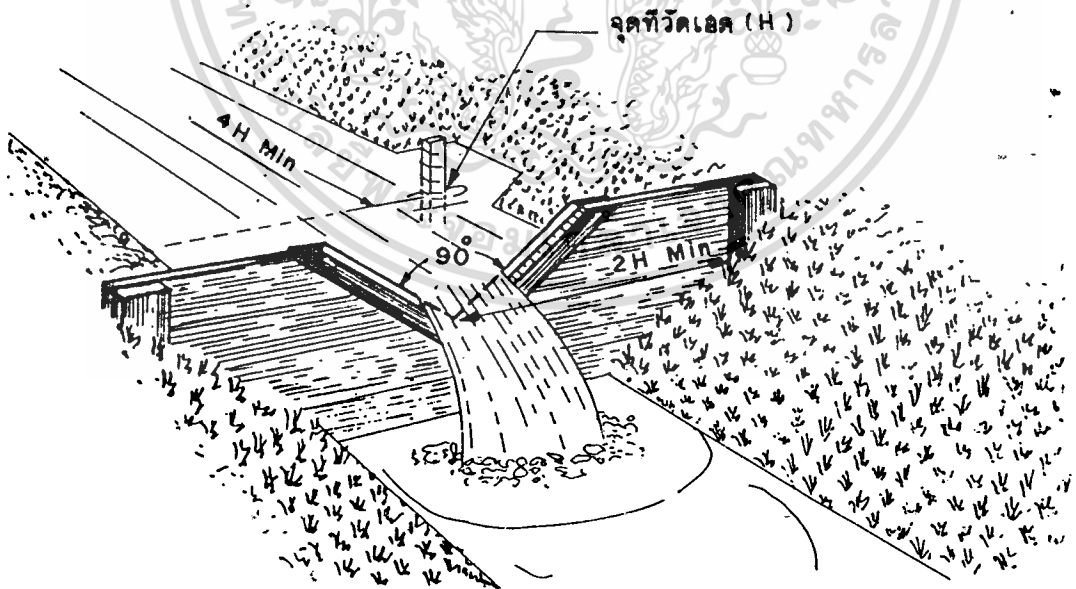
H คือ Head โดยการวัดเสดหรือความสูงของผิวน้ำเหนือสันฝาย จะต้องวัดทางคานเหนือน้ำที่จุดซึ่งอยู่ห่างจากสันฝายออกมาไม่น้อยกว่าสี่เท่าของเสดสูงสุดของการวัดนั้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 รูปตัดตามแนวยาวของทางน้ำเพื่อแสดงการติดตั้งฝายและหลักวัดระดับน้ำ สำหรับอ่านค่าเอค

## 2.8 ชนิดของฝายวัดน้ำ

2.8.1 ฝายสามเหลี่ยม (Triangular or V - notch Weir) เป็นฝายประเภทบีบข้าง (Contracted) ที่ช่องเปิดให้น้ำไหลผ่านเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก โดยสันฝายทั้งสองข้างทำมุม 45 องศา กับแนวตั้ง ดังแสดงไว้ในภาพที่



ภาพที่ 6 ฝายสามเหลี่ยม (Triangular Or V - Notch Weir)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝายสามเหลี่ยมเป็นฝายวัดอัตราการไหลของน้ำที่ให้ความละเอียดถูกต้องดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับอัตราการไหลน้อยๆ ฝายชนิดนี้เป็นฝายประเภทบีบข้าง ดังนั้นสันฝายจะต้องอยู่ห่างจากตลิ่ง และจุดปลายยอดของสามเหลี่ยมจะต้องอยู่สูงกว่าพื้นท้องน้ำไม่น้อยกว่าสองเท่าของเสด

เนื่องจากว่าฝายสามเหลี่ยมนี้ไม่มีสันฝายในแนวราบ ดังนั้น เสดจึงต้องมากกว่าฝายแบบอื่นเมื่ออัตราการไหลเท่าๆกัน การมีเสดมากนี้จะช่วยให้น้ำไหลผ่านสันฝายอิสระ ไม่ลู่ติดกับสันฝาย ทำให้วัดอัตราการไหลน้อยๆได้ถูกต้องกว่าแบบอื่น

## 2.8.2 ข้อดีและข้อเสียของฝายวัดน้ำ

### ข้อดี

1.สามารถวัดอัตราการไหลได้ละเอียดถูกต้องดี มีหลายแบบที่สามารถเลือกใช้ให้เหมาะกับงานได้นอกจากนั้น บางแบบยังสามารถขยายความยาวของสันฝายให้พอเหมาะกับอัตราการไหลได้

2.ออกแบบ สร้าง ติดตั้ง และใช้งานง่าย อาจสร้างให้เป็นอาคารวัดน้ำแบบถาวร หรือเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ ได้ทั้งสองอย่าง

3.เศษวัสดุที่ลอยมากับน้ำไหลผ่านไปได้ ไม่ทำให้เกิดการกีดขวางการไหลของน้ำ

4.มีความคงทนแข็งแรงพอสมควร ไม่มีชิ้นส่วนที่ต้องดูแลรักษาเป็นพิเศษ

### ข้อเสีย

1.ต้องให้น้ำไหลผ่านและตกลงมาอย่างอิสระ (Free Flow) ดังนั้นจะต้องการเสดมากจนบางครั้งไม่อาจใช้ในพื้นที่หรือระบบส่งน้ำที่ราบมากๆ

2.อาจจะมีกรวด ทวย หรือเศษวัสดุถูกพัดพามาตกจมหน้าฝาย ทำให้ระดับพื้นท้องน้ำสูงขึ้นจนทำให้สันฝายอยู่สูงกว่าท้องน้ำน้อยกว่าสองเท่าของเสด ค่าที่วัดได้ก็จะน้อยกว่าที่ไหลผ่านจริง

3.ต้องมีการป้องกันการกัดเซาะพื้นท้องน้ำและตลิ่งฝายด้วย

4.อาจมีน้ำไหลลอดใต้ฝายได้

## 2.9 หลักการเบื้องต้นของรางวัดน้ำ

รางวัดน้ำเป็นอาคารวัดน้ำที่สร้างขึ้นหรือติดตั้งไว้ในทางน้ำโดยแนวศูนย์กลางตามยาวของรางกับของทางน้ำทับกัน แต่ขนาดของรางน้ำจะถูกบีบให้แคบกว่าด้วยผนังของรางทั้งสองข้าง หรือด้วยการยกพื้นรางให้สูงขึ้นหรือทั้งสองอย่าง เพื่อให้อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความลึกของน้ำในรางนั้น

ทฤษฎีทางชลศาสตร์ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบรางวัดน้ำก็คือ ทำให้ความเร็วของกระแสน้ำขณะไหลเข้ามาในรางเพิ่มขึ้นโดยการบีบทางน้ำให้แคบเข้าจนกระทั่งได้ความเร็ววิกฤติ (Critical Velocity) หรือเร็วกว่าที่บริเวณส่วนที่แคบที่สุดแล้วผายออกจนกระทั่งการไหลเป็นไปอย่างปกติอีกครั้ง ตามหลักการข้างต้นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำจะคำนวณได้โดยสมการ

$$Q = CH^n$$

ในเมื่อ  $Q$  เป็นอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำ  $C$  เป็นสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของราง และจุดที่ทำการวัดหรือความลึกของน้ำในราง  $H$  เป็นเฮดหรือความลึกของน้ำเหนือพื้นรางวัดน้ำ ถ้าพื้นรางมีหลายระดับก็วัดจากพื้นที่อยู่สูงที่สุด และ  $n$  เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างลักษณะของรางเช่นเดียวกันกับค่า  $K$  ค่า  $n$  และ  $K$  ของรางวัดน้ำชนิดต่างๆ จะได้จากการทดลองวัดจริงตามสภาพการติดตั้งที่กำหนด

## 2.10 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล

รางวัดน้ำแบบพาร์แชล เป็นรางวัดน้ำที่ออกแบบโดย Mr. Ralph L. Parshall เพื่อใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด รูปร่างลักษณะของรางวัดน้ำแบบพาร์แชลซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 7 ประกอบด้วยส่วนสำคัญสามส่วนด้วยกันคือ

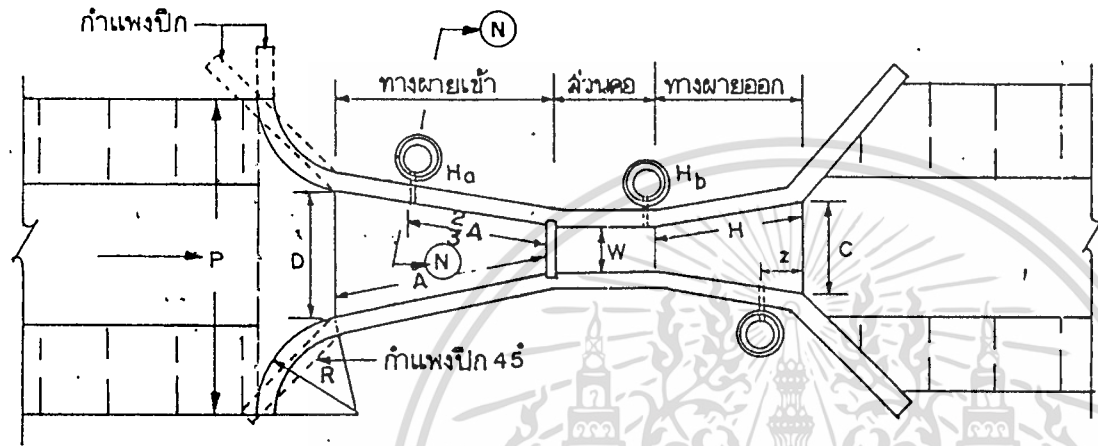
1. ทางผายเข้า (Converging Section) เป็นทางเข้าที่ผนังของรางซึ่งอยู่ในแนวโค้งเริ่มบีบตัวจากกำแพงปีกซึ่งกางเต็มความกว้างของทางน้ำให้แคบเข้า พื้นของรางส่วนนี้อยู่ในแนวราบแต่อยู่สูงกว่าพื้นของส่วนอื่น

2. ส่วนคอ (Throat Section) เป็นส่วนที่แคบที่สุดซึ่งผนังของรางบีบเข้ามาเป็นแนวขนานกัน ความกว้างของส่วนคอกนี้จะเท่ากันตลอด แต่พื้นรางจะลาดลงต่ำกว่าพื้นของทางผายเข้า ความกว้างของส่วนคอเป็นค่าที่ใช้บอกขนาดของรางวัดน้ำแบบนี้

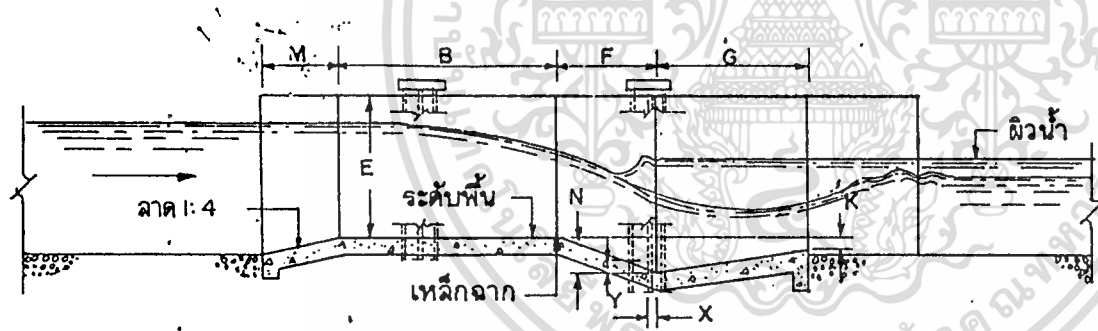
3. ทางผายออก (Diverging Section) เป็นส่วนที่ผายออกจากส่วนคอกออกไปพบกำแพงปีกด้านท้ายน้ำซึ่งจะผายออกไปเท่ากับความกว้างของทางน้ำตามเดิม ระดับพื้นของส่วนนี้จะลาดจากส่วนคอกขึ้นไปหาระดับพื้นท้องน้ำ แต่ปลายของส่วนนี้ยังคงอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นของทางผายเข้า

รางวัดแบบพาร์แชลที่ได้ออกแบบไว้ทั้งหมดมีขนาดตั้งแต่ 1 นิ้วจนถึง 50 ฟุต รวม 22 ขนาด สักส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำขนาดต่างๆ และช่วงอัตราการไหลเมื่อการไหลเป็นแบบอิสระ (Free Flow) แสดงไว้ในตารางที่ 1

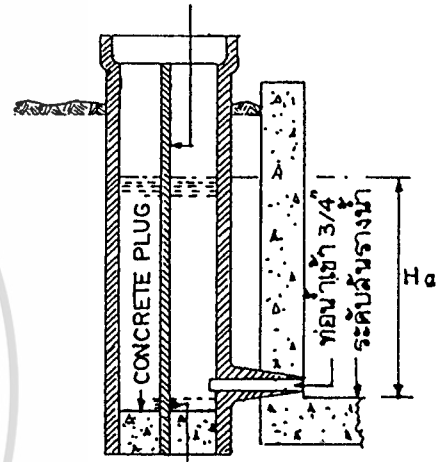
เนื่องจากว่ามีมิติต่างๆ ของรางวัดน้ำแบบพาร์แชลทั้ง 22 ขนาดนั้น ไม่เป็นส่วนหนึ่งของชลศาสตร์ (Hydraulic Scale) ซึ่งกันและกัน ดังนั้น มิติต่างๆ ที่ให้ไว้จึงไม่อาจเปลี่ยนให้เป็นระบบเมตริกที่เป็นเลขลงตัวได้ เพราะค่าสัมประสิทธิ์ในสูตรของแต่ละขนาดทั้ง 22 สูตร เป็นค่าเฉพาะของรางขนาดนั้นๆ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงขนาดก็จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์เปลี่ยนไปด้วย เช่น สำหรับรางวัดน้ำขนาด 1, 2 และ 3 นิ้ว ได้กำหนดไว้ว่าความกว้างของส่วนคอกจะผิดได้ไม่เกิน  $1/64$  นิ้ว หรือ 0.4 มิลลิเมตรเท่านั้น รางวัดน้ำขนาด 3 นิ้วไม่สามารถเปรียบเทียบมาเป็นขนาด 7.5 เซนติเมตร เพราะค่าความผิดพลาดจะมากเกินไป



รูปแปลน



รูปด้านข้าง



ADD WASHERS TO EXACT CREST ELEVATION

รูปตัด N-N

ภาพที่ 7 รางวัดน้ำแบบพาร์แชล (Parshall Flume) สักส่วนมาตรฐานที่ให้ไว้ดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนมาตรฐานของรางวัดน้ำแบบพาร์แชล (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 อัตรา/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	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	$\frac{1}{8}$	-	-	0	$\frac{5}{16}$	0	$\frac{1}{2}$	0	$\frac{1}{8}$	0.09	5.4		
	2	1	$4\frac{1}{8}$	0	$10\frac{7}{8}$	1	4		$5\frac{5}{16}$		$8\frac{13}{32}$		6-10		$4\frac{1}{2}$		10		$10\frac{1}{8}$		$\frac{7}{8}$	-	-		$\frac{11}{16}$	-	-		$\frac{5}{8}$		1		$\frac{1}{4}$	0.18	13.2		
	3	1	$6\frac{3}{8}$	1	$1\frac{1}{4}$	1	6		7		$10\frac{3}{16}$		$1-1\frac{1}{2}$		6		10		$1\frac{5}{32}$		1	-	-		$1\frac{1}{4}$	-	-		1		$1\frac{1}{2}$		$1\frac{1}{2}$	0.77	32.1		
0	8	2	$10\frac{1}{8}$	1	$4\frac{5}{16}$	2	0	1	$3\frac{1}{2}$	1	$3\frac{9}{16}$	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	$10\frac{9}{16}$	1	$11\frac{1}{8}$	2	10	1	3	1	$10\frac{1}{8}$	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		
	10	4	8	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	$4\frac{7}{8}$	2	6	3	$4\frac{1}{2}$	3	0	2	0	3	0	-	3	1	3		9	5	6	1	8	2	3	-	-	-	-	4.80	695		
	2	0	5	0	3	4	$4\frac{10}{16}$	3	0	3	$11\frac{1}{8}$	3	0	2	0	3	0	-	3	1	3		9	6	1	1	8	2	3	-	-	-	-	12.1	937		
	3	0	5	8	3	8	$5\frac{4}{8}$	4	0	5	$11\frac{1}{4}$	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	$5\frac{10}{16}$	5	0	6	$4\frac{1}{2}$	3	0	2	0	3	0	-	3	1	6		9	8	$10\frac{1}{4}$	2	0	2	3	-	-	-	-	35.8	1923		
	5	0	6	6	4	4	$6\frac{4}{8}$	6	0	7	$6\frac{1}{2}$	3	0	2	0	3	0	-	3	1	6		9	10	$12\frac{1}{4}$	2	0	2	3	-	-	-	-	44.1	2424		
	6	0	7	0	4	8	$6\frac{10}{16}$	7	0	8	$9\frac{1}{8}$	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	$7\frac{4}{4}$	8	0	9	$11\frac{1}{4}$	3	0	2	0	3	0	-	3	1	6		9	12	8	2	0	2	3	-	-	-	-	85.8	3438		
	8	0	8	0	5	4	$7\frac{10}{8}$	9	0	11	$11\frac{1}{2}$	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	$7\frac{1}{2}$	4	0	3	0	6	0	-	0	6	-	-	1	$11\frac{1}{2}$	-	-	-	-	-	0	9	1	0	-	0.16	8.28	
12	0	-	-	6	8	16	0	14	8	18	$4\frac{1}{2}$	5	0	3	0	8	0	-	0	6	-	-	1	$12\frac{1}{2}$	-	-	-	-	-	0	9	1	0	-	0.19	14.68	
15	0	-	-	7	8	25	0	18	4	25	0	6	0	4	0	10	0	-	0	9	-	-	1	$16\frac{1}{2}$	-	-	-	-	-	0	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	-	-	-	-	-	0	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	-	-	-	-	-	0	9	1	0	-	0.38	47.14	
30	0	-	-	12	8	28	0	34	8	40	$4\frac{1}{2}$	7	0	6	0	14	0	-	1	0	-	-	2	3	-	-	-	-	-	0	9	1	0	-	0.46	56.33	
40	0	-	-	18	0	27	0	45	4	50	$9\frac{1}{2}$	7	0	6	0	16	0	-	1	0	-	-	2	3	-	-	-	-	-	0	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	-	-	-	-	-	0	9	1	0	-	0.75	93.04	

- หมายเหตุ 1. ความคลาดเคลื่อนในขนาดของคอ (W) ที่ยอมให้ไม่เกิน  $\pm 1/64$  นิ้ว  
 2. ความคลาดเคลื่อนในขนาดของส่วนอื่น ไม่เกิน  $\pm 1/32$  นิ้ว  
 3. อัตราการไหลเมื่อขนาดต่ำกว่า 10 ฟุต มีหน่วยเป็น ลบ.ม./วินาที

## 2.11 ลักษณะการไหลผ่าน Parshall Flume

น้ำที่ไหลผ่าน Parshall Flume สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การไหลแบบอิสระ ( Free Flow Condition )

สูตรทั่วไปคือ

$$Q = K H_A^n$$

โดย K และ n เป็นค่าคงที่เฉพาะสำหรับ Parshall Flume การไหลแบบจม ( Submerged Flow Condition )

สูตรทั่วไปคือ

$$Q_s = Q - Q_E$$

โดย  $Q_s$  คือ อัตราการไหลผ่าน Flume โดยไหลแบบจม  
 $Q$  คือ อัตราการไหลผ่าน Flume โดยไหลแบบอิสระ  
 $Q_E$  คือ ค่าปรับแก้อัตราการไหลอันเนื่องจากการไหลแบบจม

## 2.12 อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์เชล

ลักษณะของผิวน้ำของการไหลทั้งแบบอิสระและแบบใต้ผิวน้ำ แสดงไว้ในรูปด้านข้างของภาพที่ กล่าวคือเส้นระดับผิวน้ำเส้นบนในส่วนผายออกของรางเป็นลักษณะของการไหลใต้ผิวน้ำ และเส้นระดับผิวน้ำเส้นล่างเป็นการไหลแบบอิสระ

อัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์เชลขึ้นอยู่กับเสดหรือความลึกของน้ำในราง ความลึกดังกล่าวนี้จะวัดในบ่อน้ำนิ่ง (Stilling Well) ซึ่งต่อกับทางผายเข้า และส่วนคอ เสดที่วัดได้ที่จุดทั้งสองนี้ใช้แทนด้วยสัญลักษณ์  $H_u$  และ  $H_b$  ตามลำดับ

2.12.1 เมื่อเป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow) โดยอัตราส่วน  $H_u / H_b$  ไม่เกินค่าที่กำหนดดังต่อไปนี้

ขนาดของรางวัดน้ำ	$H_a / H_b$
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 ช่วงการวัดเสดและอัตราการไหลสำหรับกรณี  
ที่การไหลเป็นแบบอิสระ ของรางวัดน้ำทั้ง 22 ขนาด อัตราการไหลสำหรับรางวัดน้ำ  
ขนาดไม่เกิน 9 นิ้ว และเป็นการไหลแบบอิสระซึ่งใช้สูตรมาตรฐานอาจเขียนเป็นสมการ  
ทั่วไปได้ดังนี้

$$Q = Ch_a^n$$

### 2.13 การติดตั้งรางวัดน้ำแบบพาราชเซลเพื่อการไหลเป็นแบบอิสระ

เนื่องจากว่า การวัดเสดและการคำนวณอัตราการไหลผ่านรางวัดน้ำเมื่อการไหล  
เป็นแบบอิสระนั้นสะดวกกว่าเมื่อเป็นการไหลใต้อันมาก ดังนั้น โดยปกติแล้วจะติด  
ตั้งให้การไหลผ่านเป็นแบบอิสระ วิธีการคำนวณเพื่อติดตั้งให้ดำเนินการดังนี้

คือ

1. ตรวจสอบให้แน่นอนว่า อัตราการไหลสูงสุด ( $Q_{max}$ ) ที่จะวัดนั้นเท่ากับเท่าไร
2. เมื่อมีน้ำไหลผ่านด้วยอัตราสูงสุด ระดับน้ำอยู่ที่ใด Free Board หรือเผื่อล้นใน  
คลองเท่าใด
3. เลือกขนาดของรางวัดน้ำที่จะใช้ได้ตามวิธีการ แล้วคำนวณ  $H_a$  เมื่ออัตราการ  
ไหลผ่านเท่ากับ  $Q_{max}$  และการไหลเป็นแบบอิสระ
4. คูณค่า  $H_b / H_a$  สูงสุดที่การไหลเป็นแบบอิสระเท่ากับเท่าไร คำนวณค่า  $H_b$  จาก  
อัตราส่วนที่ได้นี้

5.ติดตั้งรางวัดน้ำโดยให้พื้นของทางผายเข้าอยู่ต่ำจากผิวหน้าในคลองไม่เกิน  $H_b$  ดังนั้นระดับน้ำหน้ารางวัดน้ำจะสูงขึ้นกว่าเดิมเท่ากับ  $H_u - H_b$  เป็นอย่างน้อย

6.ตรวจสอบดูว่าระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้ ( $H_u - H_b$ ) จะทำให้น้ำล้นคลอง หรือเกินค่าเพื่อล้น (Free Board) หรือไม่ ถ้าเกินก็ให้ทดลองใช้รางวัดน้ำขนาดโตกว่าถัดมาจนกว่าจะได้ขนาดรางที่ต้องการ

## 2.14 ข้อกำหนดในการติดตั้งและการใช้งานของรางวัดน้ำแบบพาร์เซล

เพื่อให้การวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านรางวัดน้ำแบบพาร์เซลมีความละเอียดถูกต้องเชื่อถือได้ การสร้างติดตั้ง และใช้งานจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้คือ

1. สัดส่วนของรางวัดน้ำจะต้องตรงตามมาตรฐานที่ให้ไว้ อย่างเคร่งครัด
2. ช่วงอัตราการวัดควรอยู่ในขอบเขตที่ให้ไว้ของแต่ละขนาด
3. อัตราส่วน  $H_b / H_u$  สูงสุดที่ใช้งานจะต้องไม่มากกว่า 0.95
4. รางวัดน้ำจะต้องติดตั้งให้ไคร่ระดับทั้งตามแนวยาวและด้านขวาง
5. รางวัดน้ำแบบพาร์เซลออกแบบไว้สำหรับติดตั้งตามแนวยาวทางน้ำ โดยให้ศูนย์กลางตามแนวยาวของรางและของทางน้ำทับกัน ดังนั้นไม่ควรติดตั้งทำมุมใดๆกับทิศทางการไหลของน้ำ ยกเว้นแต่ว่ามีอุปกรณ์ช่วยทำให้ความเร็วของน้ำสม่ำเสมอจนถึงทางผายเข้าของราง

## 2.15 ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำแบบพาร์เซล

รางวัดน้ำแบบพาร์เซลเป็นรางวัดน้ำที่รู้จักกันดีและนิยมใช้กันมากแบบหนึ่ง ข้อดีและข้อเสียของรางวัดน้ำชนิดนี้มีดังต่อไปนี้คือ

ข้อดี

- 1) เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหลที่ให้ความละเอียดถูกต้องสูง
- 2) สามารถวัดอัตราการไหลได้โดยใช้ความต่างของเสดเพียงเล็กน้อย กล่าวคืออัตราส่วน  $H_b / H_u$  ที่อยู่ในเกณฑ์ที่วัดได้มากถึง 0.95
- 3) การไหลเป็นแบบอิสระก็ค่อนข้างมาก (0.50 สำหรับรางขนาดไม่เกิน 3 นิ้ว จนถึง 0.80 สำหรับรางขนาดโตกว่า 8 ฟุต) ต้องวัดเสดสองค่าคือ  $H_u$  และ  $H_b$  ต่อเมื่อเป็นการไหลแบบได้ผิวน้ำเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4) ไม่เป็นสิ่งกีดขวางตะกอนหรือเศษวัสดุที่ลอยมากับน้ำ

5) เมื่อวางตามแนวยาวของทางน้ำ ความละเอียดถูกต้องของการวัดจะไม่ขึ้นกับความเร็วน้ำในทางน้ำที่อยู่ในเกณฑ์ปกติ กล่าวคือ การไหลของน้ำหน้ารางไม้บ้นป่วน ซึ่งถ้าหากเป็นฝายวัดน้ำก็จะต้องพิจารณาความเร็วของกระแสน้ำหน้าฝายด้วย  
ขอเสีย

1) มีราคาแพงกว่าฝายวัดน้ำ

2) จะต้องสร้างและติดตั้งตามข้อกำหนดอย่างถูกต้องจึงจะให้ความละเอียดถูกต้องดี

3) ออกแบบไว้สำหรับติดตั้งตามแนวยาวของทางน้ำเท่านั้น ดังนั้น จะไม่เหมาะที่จะใช้คู่กับอาคารแบ่งน้ำเข้าแปลง หรือใช้เป็นอาคารส่งน้ำเข้าแปลงจากคลองส่งน้ำโดยตรง



### บทที่ 3

## การออกแบบอุปกรณ์และการทดลอง

### 3.1 การออกแบบรางน้ำไหล

มีส่วนประกอบดังนี้

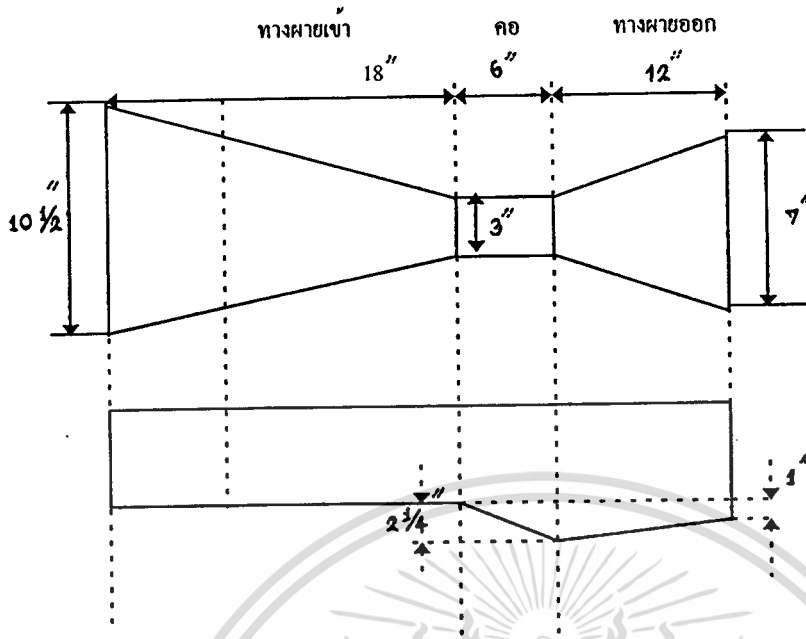
1. Pump Pentax ขนาด 1 Hp
2. อุปกรณ์ในการพักน้ำ
3. อุปกรณ์ลดความปั่นป่วน
4. โครงสร้างของฐานในการลดน้ำหนัก
5. อุปกรณ์รางน้ำไหล

### 3.2 Parshall Flume

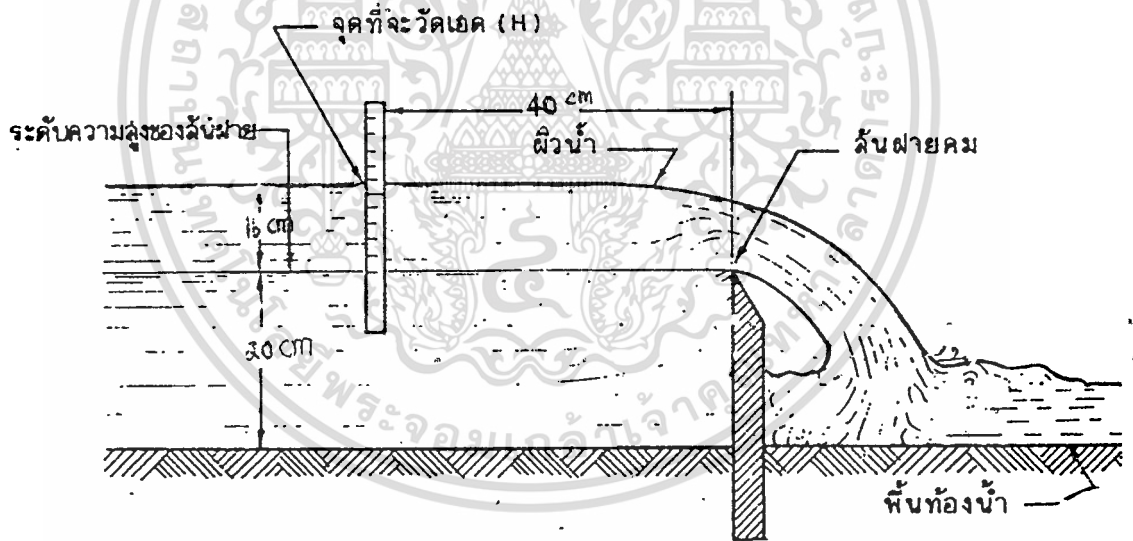
W	A	B	C	D	E	F	G	H	K	M	N	P	R	X	Y	Z
3	18	18	7	10	24	6	12	12	1	12	2	30	16	1	1	1/
	3/			1/				5/			1/	1/			1/	2
	8			2				32			4	4			2	

หน่วยเป็นนิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 3.3 V - Notch Weir



### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. Parshall Flume
2. รางน้ำรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
3. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำ
4. ไม้บรรทัด และ เทปวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 วิธีการทดลอง

1. วัดขนาดของ Parshall Flume โดยละเอียด
2. เปิด valve ให้น้ำไหลเข้ารางสี่เหลี่ยม โดยเปิดแต่ น้อยก่อน
3. รอจนระดับน้ำคงที่ อ่านค่า  $H_a$
4. ทำการวัดค่าความสูงของ H ที่ V - Notch Weir บันทึกค่าเอาไว้
5. เริ่มจับเวลา และนำน้ำที่ตวงได้ในช่วงเวลา เพื่อไปหา Q จริง
6. นำน้ำไปชั่งหามวลของน้ำ

### 3.6 การคำนวณ

3.6.1 หลักการหาค่าอัตราการไหลที่ V - Notch Weir ในการไหลแบบอิสระ

$$Q = C_1 H^N$$

นำมา take log

$$\log Q = \log C_1 H^N$$
$$\log Q = \log C_1 + \log H^N$$
$$\log Q = \log C_1 + N \log H$$

จากรูปนี้มองเป็นกราฟสมการเส้นตรง  $Y = mX + c$

ดังนั้น  $n \log H$  แทนด้วย  $mX \rightarrow \log Q$  แทนด้วย  $Y \rightarrow \log C$  แทนด้วย  $C$

$$Y = mX + c$$

3.6.2 หลักการหาค่าอัตราการไหลที่ Parshall - Flume ในการไหลแบบอิสระ

$$Q = C_2 H_a^{N_2}$$

นำมา Take Log

$$\log Q = \log C_2 H_a^{N_2}$$
$$\log Q = \log H_a^{N_2} + \log C_2$$

มองเป็นสมการเส้นตรง เช่นเดียวกัน

$$N \log H_a \text{ แทนด้วย } mX \rightarrow \log Q \text{ แทนด้วย } Y \rightarrow \log C \text{ แทนด้วย } C$$

### 3.7 ผลการทดลอง

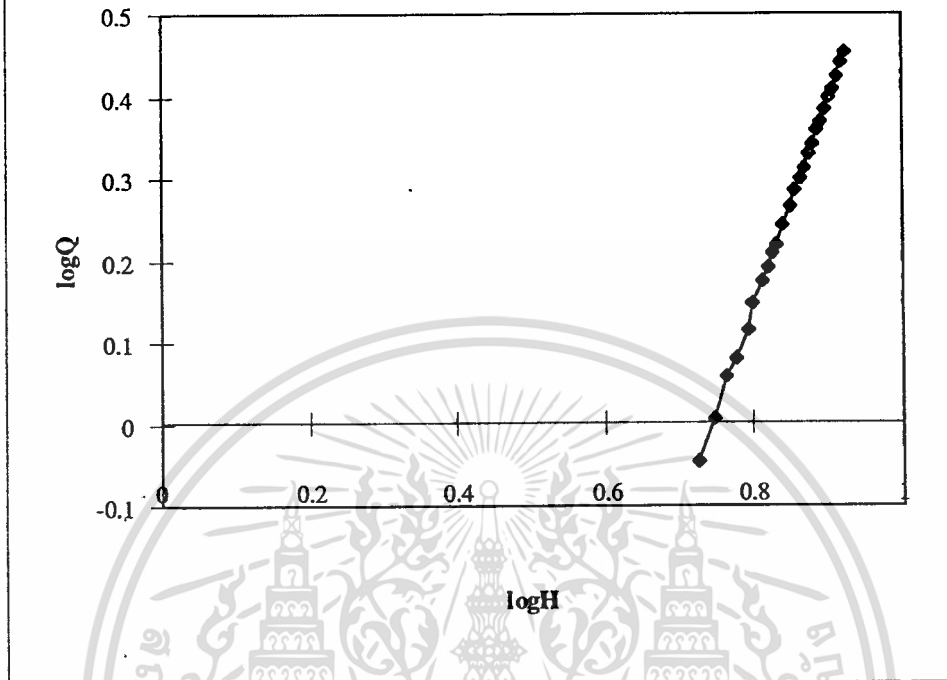
ครั้งที่	ระยะเวลา	มวลของน้ำที่ชั่งได้ (Kg)	อัตราการไหล(Q) (Kg/s)	ความสูงระดับน้ำใน	
	T(s)			V-Nocth Weir (H) (cm)	Parshall Flume (Ha) (cm)
1	3	2.7	0.9	5.3	2.8
2	3	3.05	1.016	5.6	3.1
3	3	3.43	1.143	5.8	3.3
4	3	3.62	1.206	6	3.5
5	3	3.9	1.3	6.2	3.6
6	3	4.2	1.4	6.3	3.8
7	3	4.5	1.493	6.5	4
8	3	4.67	1.556	6.6	4.1
9	3	4.85	1.616	6.7	4.2
10	3	4.97	1.656	6.8	4.3
11	3	5.23	1.75	6.9	4.4
12	3	5.53	1.843	7.1	4.6
13	3	5.8	1.933	7.2	4.7
14	3	5.97	1.99	7.3	4.75
15	3	6.15	2.05	7.4	4.8
16	3	6.42	2.14	7.5	5
17	3	6.58	2.193	7.6	5.1
18	3	6.85	2.283	7.7	5.2
19	3	7.03	2.343	7.8	5.3
20	3	7.25	2.416	7.9	5.4
21	3	7.5	2.5	8	5.5
22	3	7.7	2.567	8.1	5.6
23	3	7.95	2.65	8.2	5.7
24	3	8.27	2.757	8.3	5.8
25	3	8.52	2.84	8.4	6

นำค่าที่ได้แทนค่าในตาราง

ครั้งที่	Q (Kg/s)	logQ	H (cm)	logH	Ha (cm)	logHa
1	0.9	-0.045757491	5.3	0.72427587	2.8	0.447158031
2	1.016	0.006893708	5.6	0.748188027	3.1	0.491361694
3	1.143	0.05804623	5.8	0.763427994	3.3	0.51851394
4	1.206	0.081347308	6	0.77815125	3.5	0.544068044
5	1.3	0.113943352	6.2	0.792391689	3.6	0.556302501
6	1.4	0.146128036	6.3	0.799340549	3.8	0.579783597
7	1.493	0.174059808	6.5	0.812913357	4	0.602059991
8	1.556	0.192009593	6.6	0.819543936	4.1	0.612783857
9	1.616	0.208441356	6.7	0.826074803	4.2	0.62324929
10	1.656	0.219060332	6.8	0.832508913	4.3	0.633468456
11	1.75	0.243038049	6.9	0.838849091	4.4	0.643452676
12	1.843	0.265525335	7.1	0.851258349	4.6	0.662757832
13	1.933	0.286231854	7.2	0.857332496	4.7	0.672097858
14	1.99	0.298853076	7.3	0.86332286	4.75	0.67669361
15	2.05	0.311753861	7.4	0.86923172	4.8	0.681241237
16	2.14	0.330413773	7.5	0.875061263	5	0.698970004
17	2.193	0.341038632	7.6	0.880813592	5.1	0.707570176
18	2.283	0.358505911	7.7	0.886490725	5.2	0.716003344
19	2.343	0.369772289	7.8	0.892094603	5.3	0.72427587
20	2.416	0.38309693	7.9	0.897627091	5.4	0.73239376
21	2.5	0.397940009	8	0.903089987	5.5	0.740362689
22	2.567	0.409425869	8.1	0.908485019	5.6	0.748188027
23	2.65	0.423245874	8.2	0.913813852	5.7	0.755874856
24	2.757	0.444436766	8.3	0.919078092	5.8	0.763427994
25	2.84	0.45331834	8.4	0.924279286	6	0.77815125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง LogQ และ LogH  
( V-Notch Weir )

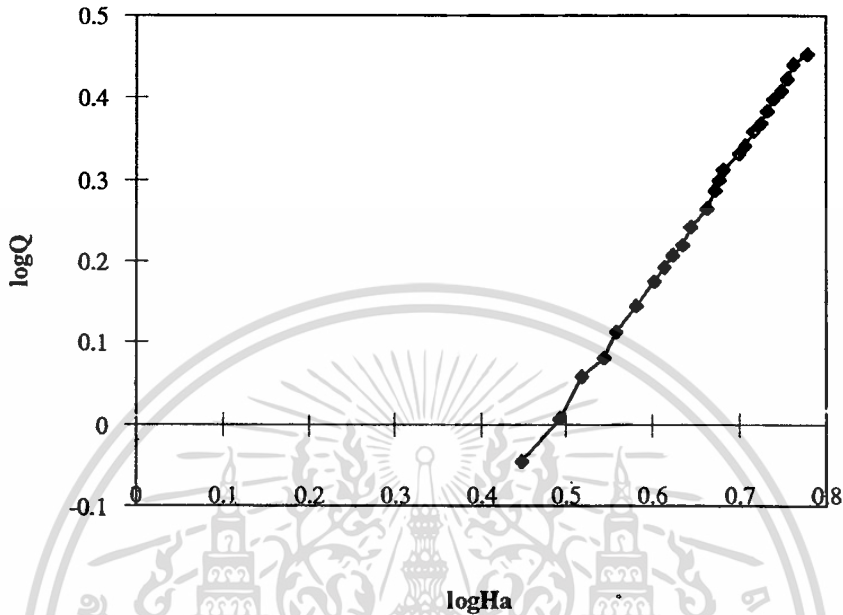


จากกราฟได้ค่า Slope(n) = 2.5  
 เนื่องจากเส้นกราฟตัดแกน  $\log G(\log H=0)$   
 จะได้ค่า  $\log C$  ประมาณ -1.87  
 แก่สมการหาค่า C ได้ = 0.01349  
 ได้สมการการไหลของ V-Notch Weir คือ

$$Q = 0.01349H^{2.5}$$

Correlation Coefficient ( r ) = 0.9253  
 ( r<sup>2</sup> ) = 0.8562

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log Q$  และ  $\log Ha$   
 ( Parshall Flume )



จากกราฟได้ค่า Slope(n) = 1.53

เนื่องจากเส้นกราฟตัดแกน  $\log G(\log Ha=0)$

จะได้ค่า  $\log C$  ประมาณ -0.757

แก้สมการหาค่า  $C$  ได้ = 0.1749

ได้สมการการไหลของ Parshall Flume คือ

$$Q = 0.1749Ha^{1.53}$$

Correlation Coefficient ( $r$ ) = 0.9171

$$(r^2) = 0.8411$$

## บทที่ 4

### บทวิจารณ์ และสรุป

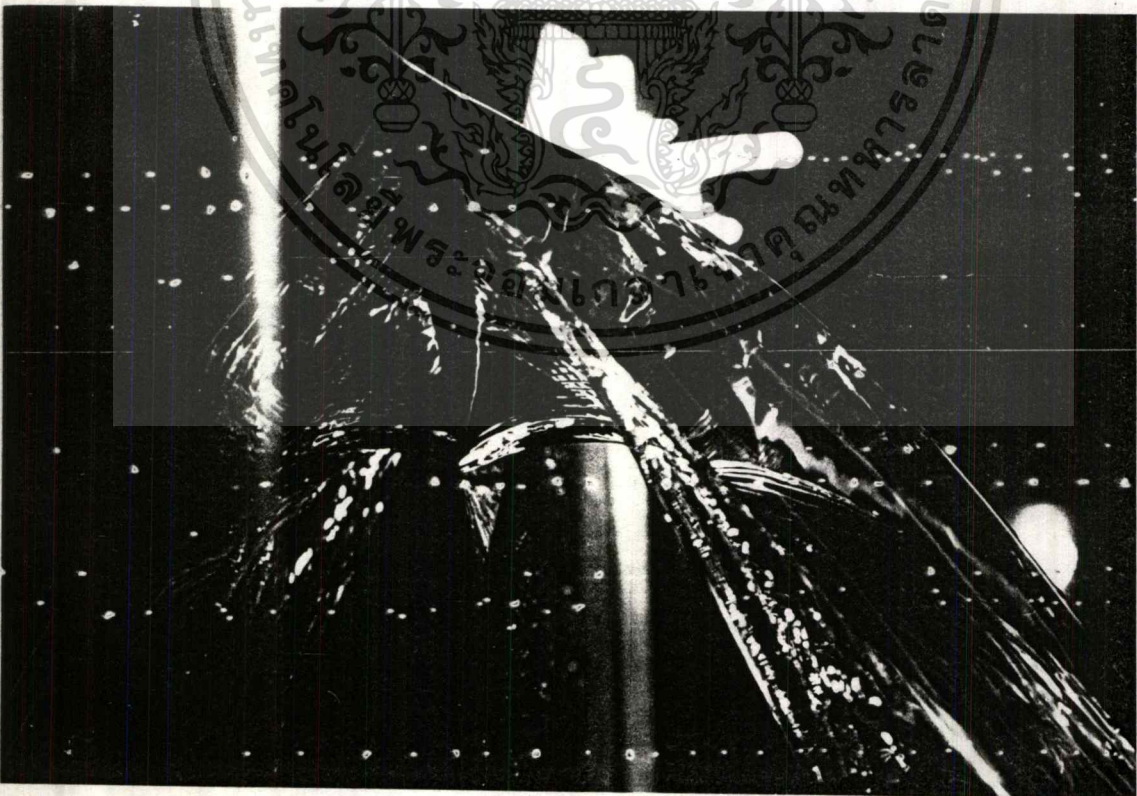
จากการทดลองเพื่อหาค่าคงที่  $C$  และ  $n$  ในสมการ คำนวณอัตราการไหล  $Q = CH^n$  ของ Parshall Flume และ V- Notch Weir ที่สร้างขึ้น พบว่าค่าคงที่ของ Parshall Flume  $C = 0.1749$  และ  $n = 1.53$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าของการทดลองที่ผ่านมา คือ  $C = 0.1771$  และ  $n = 1.55$  ส่วน V- Notch Weir ได้ค่าคงที่  $C = 0.01349$  และ  $n = 2.5$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าของการทดลองที่ผ่านมา คือ  $C = 0.0138$  และ  $n = 2.5$

อย่างไรก็ดีในการทดลองนี้หากต้องการทดสอบเพื่อให้เกิดความแม่นยำยิ่งขึ้นเราต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักที่ได้มาตรฐานกว่านี้ เนื่องจากในการทดลองมีการใช้ตาชั่งธรรมดาจึงได้ค่า  $Q$  ออกมาผิดพลาดเล็กน้อย ควรจะใช้ตาชั่งแบบดิจิทัล

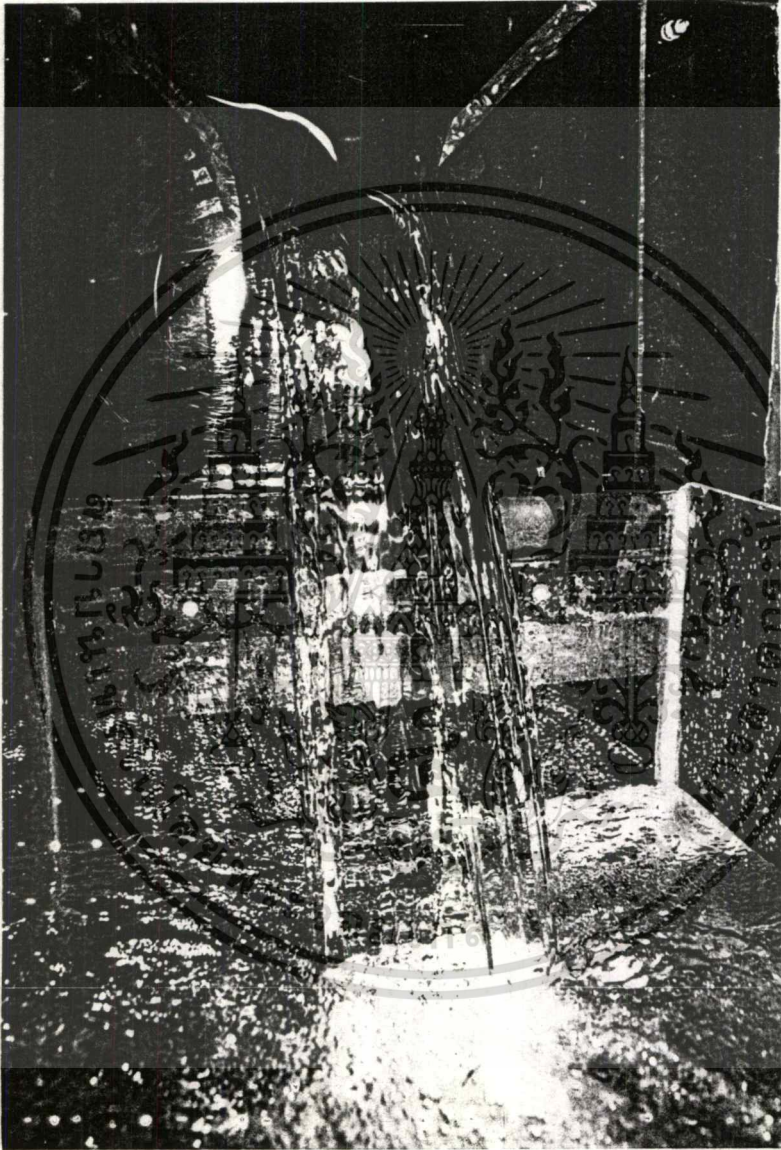


# ภาคผนวก

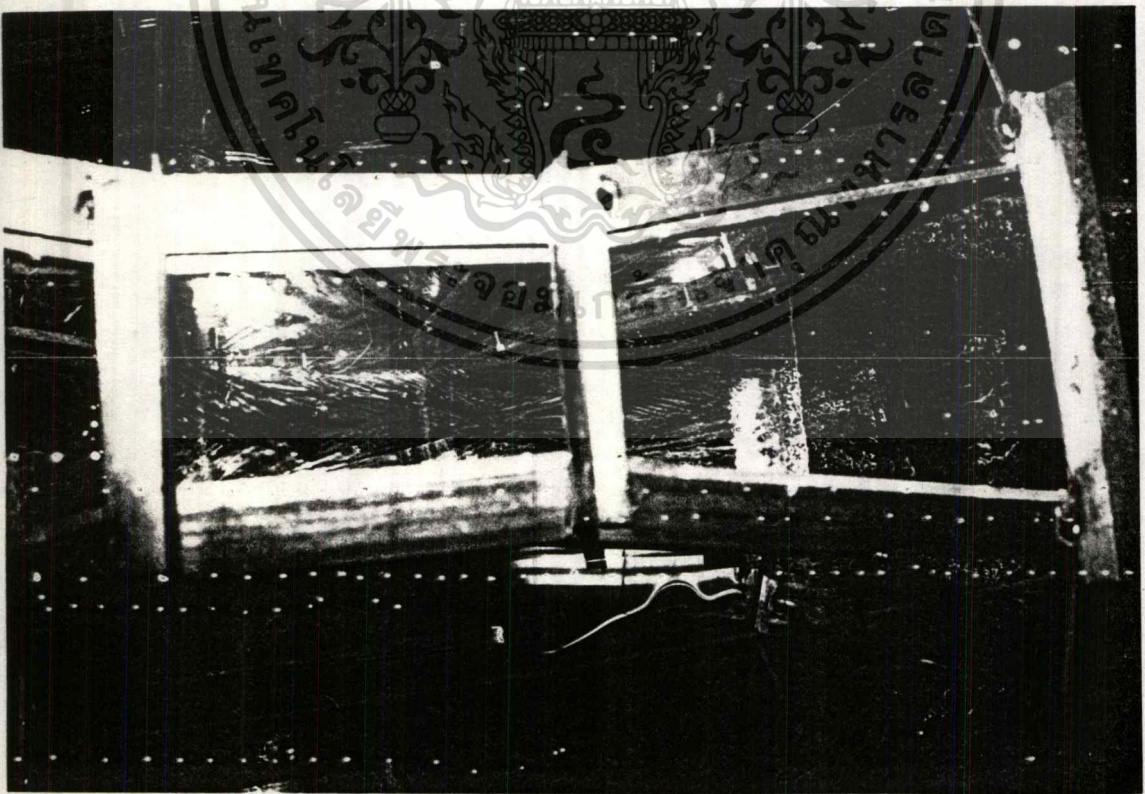
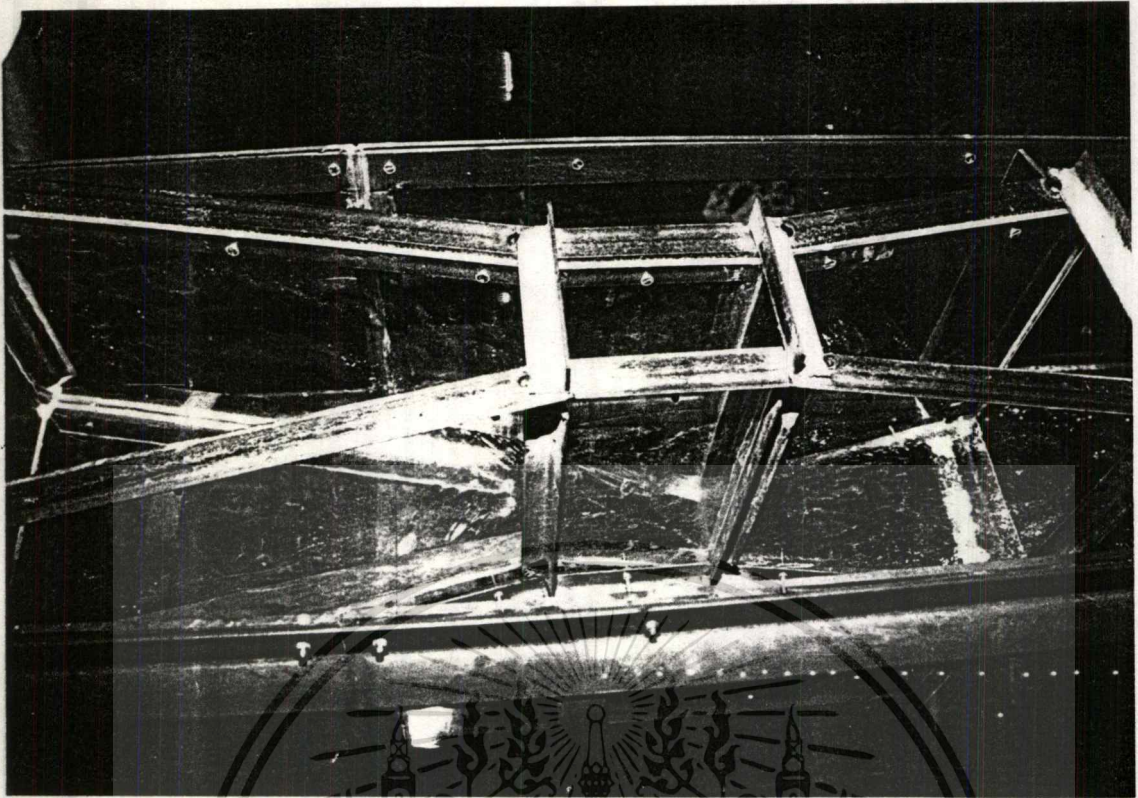
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



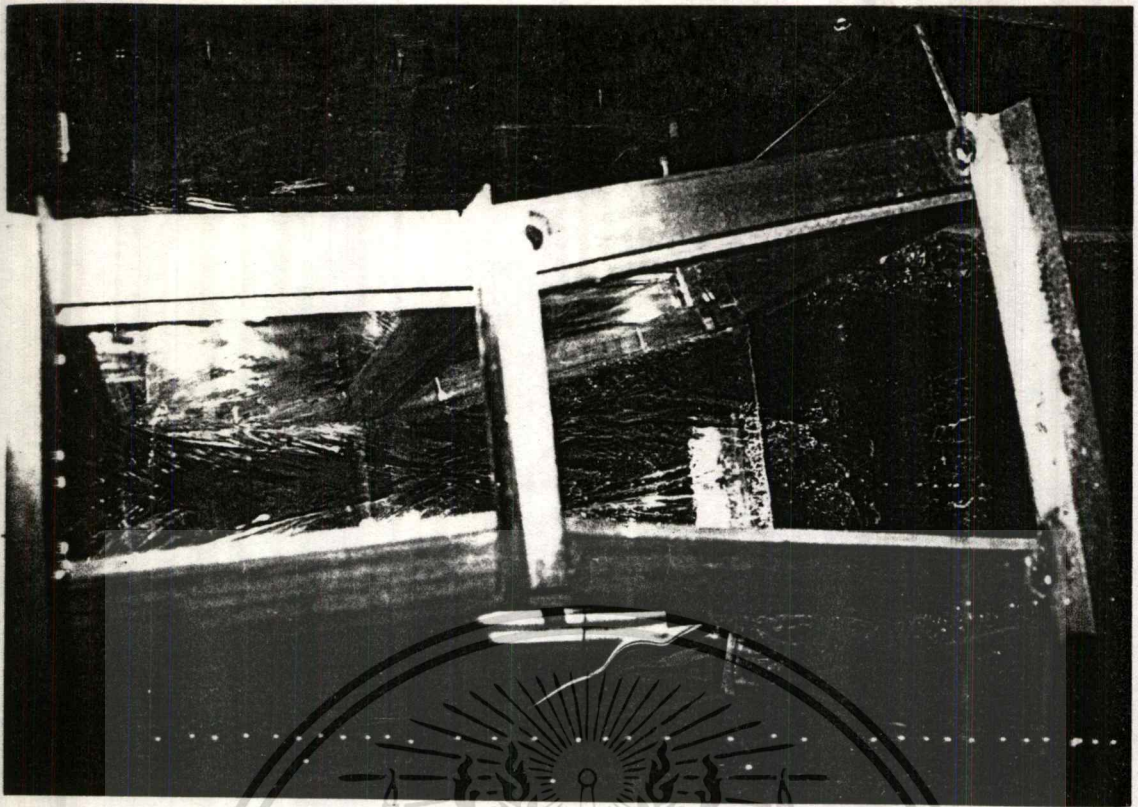
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



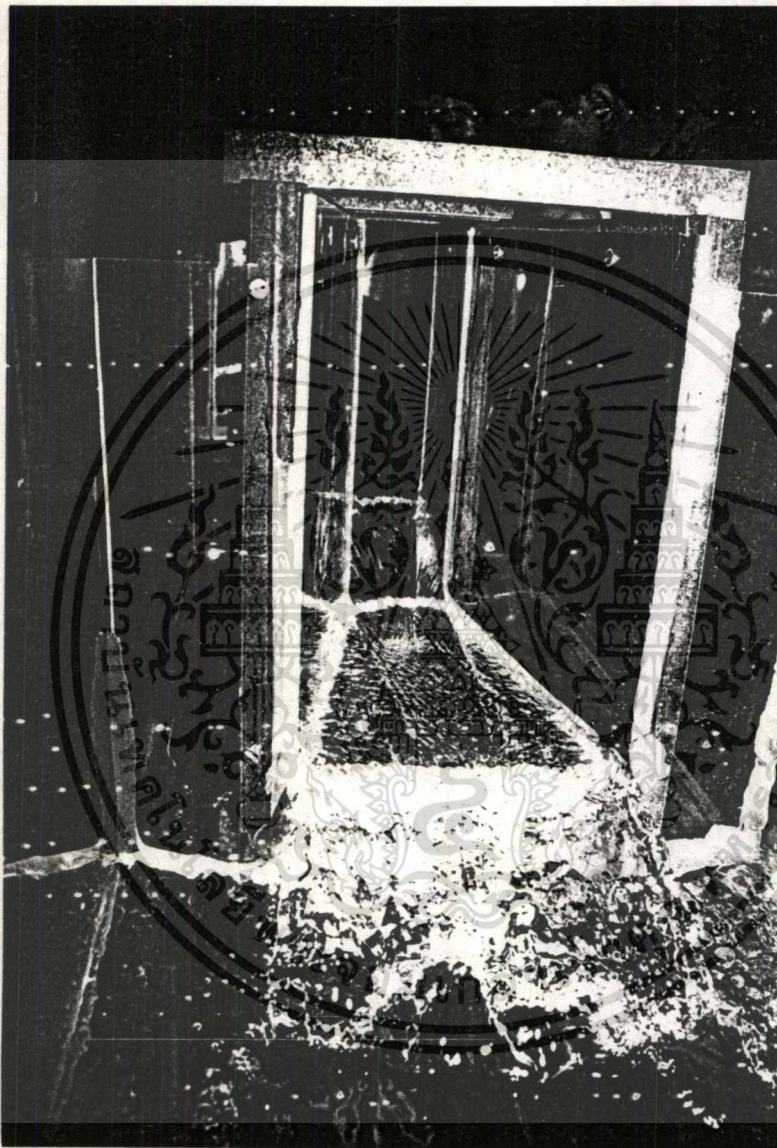
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



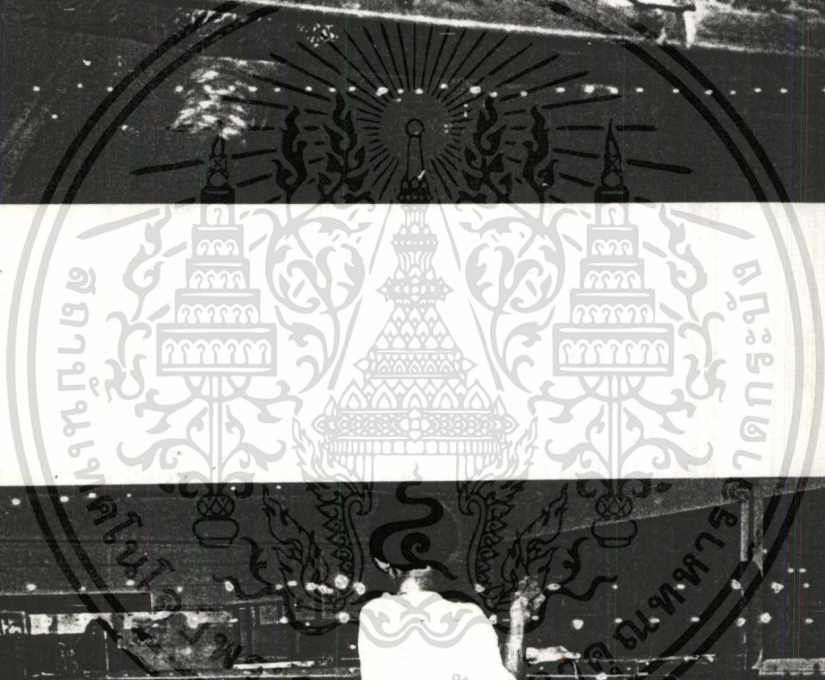
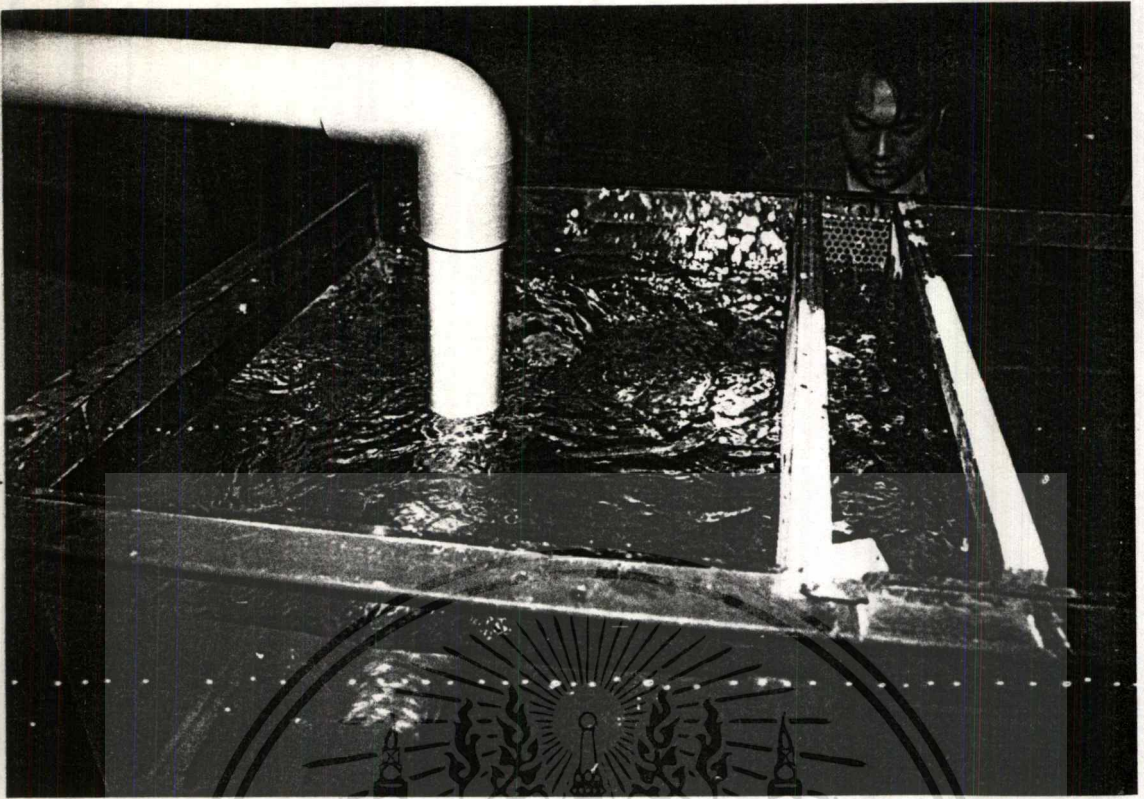
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



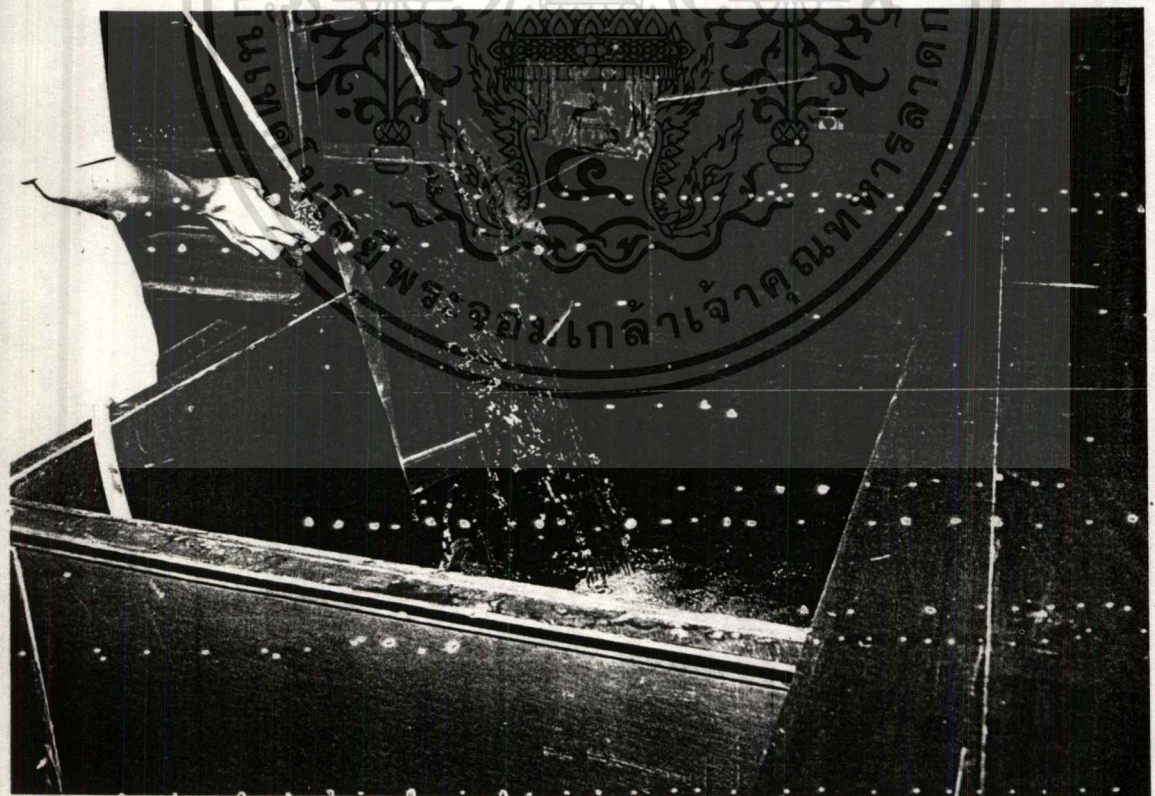
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



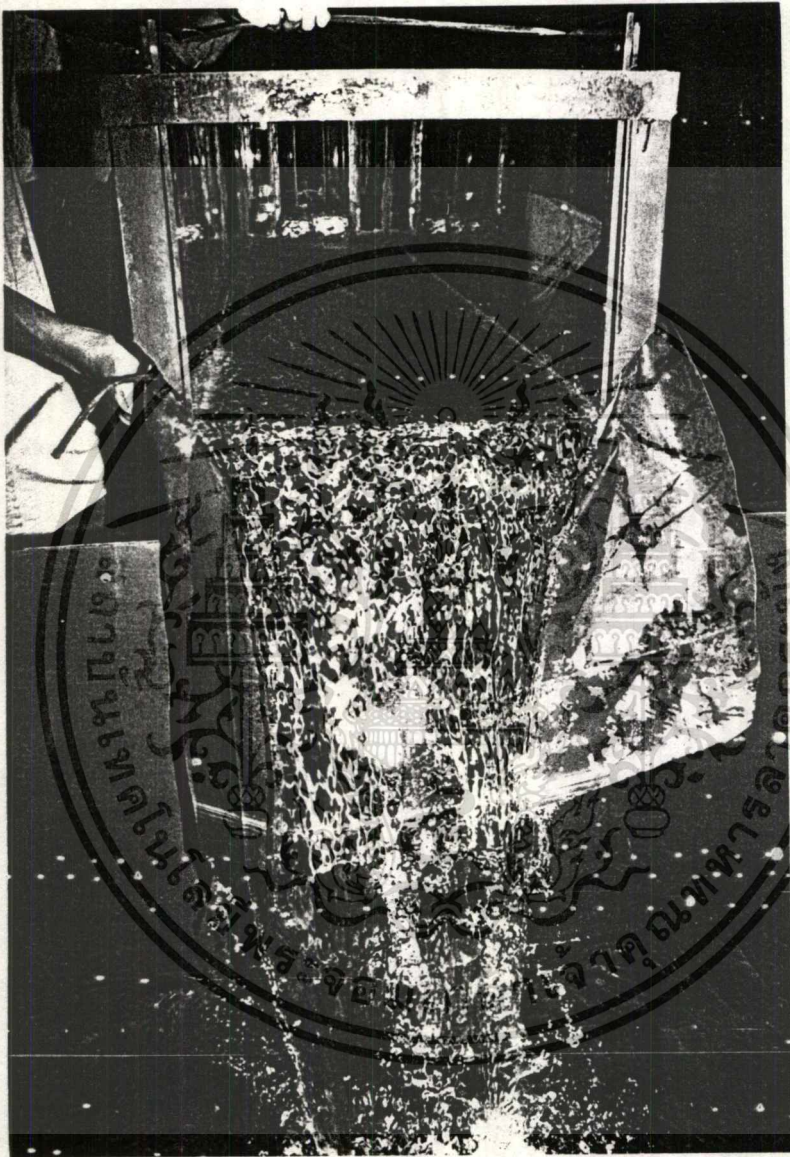
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารบนเอกสารทลงมนเวตาหรบการเงนเพอรการกช เเทนน เมอนูญเตเทเนเบเชยระเฮชนดานการค้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ที่มีส่วนช่วยให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อ.ทรงวุฒิ , อ.ปรีชานันท์ และ อ.ภัทรภรณ์ ที่เป็นที่ปรึกษา  
โครงการนี้

ขอขอบคุณ อ.จำลอง ( ภาควิชาเครื่องกล ) ในการอำนวยความสะดวกในการทำงาน

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์ให้ในการศึกษา

ขอขอบคุณพี่มณฑาที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาด้านงานฝีมือตลอดจนการให้ยืม  
เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ คุณกฤษฎิ์ (โก) , เอกชัย (พี่เอก), อำนวย (พี่เม้ง) และพี่เฟิร์ส ที่อำนวยความสะดวกด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้ความสนุกสนานและความบันเทิงเต็มรูปแบบ

ขอขอบคุณ นก, ออม ,เอ กับข้อความหวานๆที่ส่งมาให้กำลังใจ

ขอขอบคุณพี่ตึกที่อำนวยความสะดวกด้านเวลา

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และบุคคลผู้เป็นที่รักที่คอยให้กำลังใจในการทำโครงการ

## เอกสารอ้างอิง

- 1.ศ.ดร.ฉลอง เกิดพิทักษ์. “การไหลในท่อเปิด”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา  
ทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- 2.รศ.ดร.วิบูลย์ บุญชูโรกุล, “ป้้มและระบบสูบน้ำ”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา  
วิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- 3.รศ.ดร.วิบูลย์ บุญชูโรกุล, “หลักการชลประทาน” , คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,2526, หน้า 177-212
- 4.Rechard H. French, “Open-Channel Hydraulics”, McGRAWHILL  
INTERNATIONAL EDITIONS

