

การไหลของตะกอนผ่านฝายหยัก

นาย ไชติกร แดงประไพ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1500-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# SEDIMENT FLOW THROUGH LABYRINTH WEIR

Mr.Chotikorn Daengprapai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-53-1500-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การไหลของตะกอนผ่านฝายหยัก
โดย	นาย โชติกร แดงประไพ
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.เสรี จันทโรโยธา

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.เสรี จันทโรโยธา)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รักรวิชัย)

..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

นาย โชติกร แดงประไพ : การไหลของตะกอนผ่านฝายหยัก. (SEDIMENT FLOW THROUGH LABYRINTH WEIR) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.เสรี จันทโรยธา , 164 หน้า  
ISBN 974-53-1500-1

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์คือการหาประสิทธิภาพการระบายตะกอนผ่านฝายหยักที่มีการปรับปรุงรูปแบบหน้าฝาย และลักษณะการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ โดยพิจารณาผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากการกำหนดปัจจัยที่สำคัญสามประการคือ สภาพไหลของน้ำ อัตราการนำพาตะกอน และรูปแบบของฝาย การศึกษานี้ใช้แบบจำลองชลศาสตร์กายภาพ ประกอบด้วยรางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด กว้าง 0.6 ม. ยาว 18.0 ม. สูง 0.75 ม. เครื่องโรยทราย ระบบหมุนเวียนน้ำ และแบบจำลองฝายหยัก ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการทดลองทั้งหมด 21 ชุดการทดลอง โดยพิจารณาสภาพการไหลที่มีอัตราการนำพาตะกอนแตกต่างกัน 7 ค่าในช่วง 24-30 ลิตรต่อวินาที และฝายหยักรูปแปลนสี่เหลี่ยมคางหมูสูง 0.1 เมตร 3 รูปแบบได้แก่ แบบ A เป็นรูปแบบที่มีผนังของฝายตั้งตรง และไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย แบบ B เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันของผนังตัวฝาย และไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย และแบบ C เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันเฉพาะด้านหน้าตัวฝายและมีการยกระดับพื้นหน้าฝายเป็นระยะครึ่งหนึ่งของความสูงฝาย

จากผลการทดลองพบว่า การปรับปรุงรูปแบบของหน้าฝายของฝายหยักจากแบบ A ไปสู่แบบ B และ C นั้น ทำให้ประสิทธิภาพการไหลผ่านฝายเปลี่ยนแปลงไป ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) ของฝายทั้ง 3 แบบอยู่ในช่วง 0.45-0.65 โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) กับ อัตราส่วนของเสถียรภาพเหนือสันฝายต่อความสูงฝาย ( $H/P$ ) มีลักษณะแปรผกผันเหมือนกันทั้ง 3 รูปแบบฝาย คือค่า  $C_d$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า  $H/P$  ลดลง โดยฝาย A มีค่า  $H/P$  อยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6 ค่า  $C_d$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.65 ส่วนค่า  $H/P$  และ ค่า  $C_d$  ของฝาย B และ ฝาย C มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.65 และ 0.45 - 0.55 เหมือนกัน ค่า  $C_d$  ของฝาย B และ C มีค่ามากกว่าฝาย A ในช่วงของค่า  $H/P$  เพิ่มขึ้นจาก 0.65 ขึ้นไป ในขณะที่เมื่อค่า  $H/P$  ลดลงจากค่า 0.65 ลงไป ค่า  $C_d$  มีค่าน้อยกว่า ส่วนประสิทธิภาพการระบายตะกอนผ่านฝายของฝาย C หลังจากท้องน้ำเข้าสู่สมดุลง มีค่ามากกว่าฝาย A และ B ประมาณ 5%

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่อ.....  
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา .....2547.

# # 4470286121 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD : LABYRINTH WEIR / WEIR SEDIMENT TRAP / SEDIMENT TRANSPORT

CHOTIKORN DAENGPAPAI: SEDIMENT FLOW THROUGH LABYRINTH WEIR.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SEREE CHANYOTHA, Ph.D. 164 pp.

ISBN 974-53-1500-1

The objective of this study is to investigate the effects of the different upstream face patterns of the labyrinth weir on sediment flushing efficiency. The study was experimentally performed using the hydraulic physical models consisting of a rectangular sediment flume of 0.60 m. width, 18.0 m. length, 0.75 m. height, a variable speed sand feeder, a circulating water supply system and three different types of the labyrinth weir mode. The experiments were conducted at the Laboratory of Hydraulic and Coastal Model, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. The total number of experiments were 21 laboratory runs, including 7 sediment discharges, 4 water discharges, 2 channel bed slopes and 3 patterns of 0.1 m height trapezoidal labyrinth weir. The three types of the labyrinth weir with different upstream face patterns under this investigation were Type A weir which had the vertical upstream face slope, Type B weir which had the 45° upstream face slope labyrinth weir and Type C weir which had stepped entrance floor of half height of the weir height.

The study result indicated that modification of weir upstream face slope from Type A to Type B and Type C weirs affected the efficiency of water flow through the weir. Discharge coefficient ( $C_d$ ) of three types of the weir was in the range of 0.45-0.65. In addition, it has been found that the discharge coefficient ( $C_d$ ) decreased as the ratio of the total head above the weir to the weir height ( $H_t/P$ ) increased. The ratio of  $H_t/P$  of Type A weir was between 0.4-0.6 and the  $C_d$  was between 0.5-0.65 while Type B weir has  $H_t/P$  ratio 0.5-0.65 and the  $C_d$  was between 0.45-0.55 which was the same as Type C weir. The  $C_d$  of Type B and C weir was greater than of Type A weir for  $H_t/P$  equal to 0.65 and higher while the  $C_d$  of Type B and C weirs was less than of Type A for  $H_t/P$  less than 0.65. The efficiency of sediment flushing through Type C weir after the bed had reached the equilibrium condition was about 5% greater than Type A and B weirs.

Department..... Water Resources Engineering..... Student 's signature.....

Field of study..... Water Resources Engineering..... Advisor 's signature.....

Academic year..... 2004 .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอกราบขอบพระคุณประธานและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รัถวิชัย รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ท่านได้คอยช่วยเหลือแนะนำความรู้ในทุกๆ ด้าน ทั้งในด้านหลักวิชาการและการปฏิบัติ ที่ได้สละเวลาของท่านในการให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำที่ให้ความรู้ ประสิทธิ์ประสาทวิชาและปรัชญาในการดำเนินชีวิตการงานแก่ผู้เขียน

ขอกราบขอบพระคุณ คุณดุสิต นิมมานเหมินทร์ อดีต ผู้อำนวยการ ส่วนจัดสรรน้ำ สำนักชลประทานที่ 1 จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ความเข้าใจ และข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวกับฝ่ายหยักแก่ผู้เขียน

ขอขอบคุณภาควิชาแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวกในเรื่องสถานที่ เครื่องอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านและผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึงทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์นี้ และข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ทั้งหลายในฉบับนี้ ผู้เขียนขออ้อมรับไว้แต่ผู้เดียว

ความดีงามของวิทยานิพนธ์นี้ที่พึงมี ผู้เขียนขออุทิศให้แต่ มารดาผู้ล่วงลับไปแล้ว แต่ยังคงเป็นที่ยึดเหนี่ยวจิตใจของลูกเสมอมา บิดา ผู้เป็นแรงบันดาลใจให้ลูกได้มาถึงจุดนี้ และญาติผู้ใหญ่ทุกท่าน ที่คอยดูแลให้ความรัก ความอบอุ่น และกำลังใจแก่หลานคนนี้อย่างไม่ขาดช่วงวิกฤตของชีวิตมาได้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ .....	ช
สารบัญตาราง .....	ฌ
สารบัญรูป .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบข่ายการศึกษา .....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	3
บทที่ 2 หลักการและการศึกษาที่ผ่านมา .....	6
2.1 ประเภทของการนำพาตะกอน .....	6
2.2 สมการอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด .....	7
2.3 การคำนวณประสิทธิภาพการดักตะกอน .....	9
2.4 การคำนวณอัตราการไหลผ่านฝายหยัก.....	10
2.5 การศึกษาผ่านมา.....	13
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีทำการทดลอง .....	21
3.1 อุปกรณ์การทดลอง .....	21
3.2 วิธีทำการทดลอง .....	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง .....	31
4.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง.....	31
4.2 การนำเสนอผลการทดลอง.....	32
4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ในรางน้ำ.....	32
4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย .....	43

บทที่ 5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	52
5.1 วิเคราะห์สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝายหยัก.....	52
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำหน้าฝายกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำ..	58
5.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการดักตะกอน.....	64
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	71
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	71
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง .....	77
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก แบบจำลองชลศาสตร์ของฝายดักตะกอน .....	80
ภาคผนวก ข การเตรียมการก่อนการทดลอง.....	93
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง.....	103
ภาคผนวก ง ภาพประกอบการวิจัย.....	160
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	164



## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3-1	แสดงชื่อกรณีทดลอง และรายละเอียดของแต่ละกรณีทดลอง.....	30
ตารางที่ 4-1	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันห้องน้ำ 0.005.....	33
ตารางที่ 4-2	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันห้องน้ำ 0.005.....	34
ตารางที่ 4-3	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันห้องน้ำ 0.005.....	35
ตารางที่ 4-4	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันห้องน้ำ 0.005.....	36
ตารางที่ 4-5	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันห้องน้ำ 0.005.....	37
ตารางที่ 4-6	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันห้องน้ำ 0.005.....	38
ตารางที่ 4-7	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันห้องน้ำ 0.005.....	39

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1-1 ฝ่าย A เป็นรูปแบบที่มีผนังของฝ่ายตั้งตรงและไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝ่าย.....	4
รูปที่ 1-2 ฝ่าย B เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันของผนังตัวฝ่ายแต่ไม่มีอาคารด้านหน้าตัว ฝ่าย.....	4
รูปที่ 1-3 ฝ่าย C เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันเฉพาะด้านหน้าตัวฝ่ายรวมทั้งมีอาคาร ด้านหน้า.....	4
รูปที่ 1-4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	5
รูปที่ 2-1 การแบ่งประเภทของการนำพาตะกอน (ทวนทัน ,2543).....	7
รูปที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ (ทวนทัน ,2543).....	7
รูปที่ 2-3 ฟังก์ชันค่าปรับแก้ของ Einstein $I_1, I_2$ (Yang ,1996).....	11
รูปที่ 2-4 ค่าคงที่ประสิทธิผล $e_p$ (Yang ,1996).....	11
รูปที่ 2-5 ลักษณะและรายละเอียดของฝ่ายหยัก (Tullis และ Waldron ,1995).....	12
รูปที่ 2-6 ผลการศึกษาของ Hay และ Taylor (1970 ,อ้างถึงในปริญา ,2545).....	15
รูปที่ 2-7 ลักษณะแบบจำลอง และผลการศึกษาทางระบายน้ำล้นของเขื่อน Boardman (Cassidy และ Gardner ,1984).....	16
รูปที่ 2-8 ผลการศึกษาของ Tullis และ Waldron (1995) เพื่อนำไปใช้ในการทำ Spread sheet เพื่อคำนวณปริมาตรส่วนต่างๆของฝ่ายหยัก.....	17
รูปที่ 2-9 ลักษณะแบบจำลองฝ่ายน้ำล้น และผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความลาดเอียง ต่างๆ (ฝ่ายชลศาสตร์ กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน ,2537).....	18
รูปที่ 2-10 ลักษณะแบบจำลองฝ่ายหยัก และผลการทดลองเปรียบเทียบค่า LW ต่างๆ (ฝ่าย ชลศาสตร์ กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน ,2537).....	19
รูปที่ 2-11 ลักษณะแบบจำลองของฝ่ายหยักแบบต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบ อัตราการไหลของน้ำและตะกอน ผ่านฝายสันนกับฝายหยัก (ปริญา ,2545)....	20
รูปที่ 3-1 รางน้ำที่ใช้ในการทดลองโดยติดตั้งฝายห่างจากเครื่องโรยทรายประมาณ 7.0 เมตร.....	22
รูปที่ 3-2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ และระบบหมุนเวียนของน้ำ.....	23
รูปที่ 3-3 แบบจำลองฝายรูปแบบ A.....	24
รูปที่ 3-4 แบบจำลองฝายรูปแบบ B.....	24
รูปที่ 3-5 แบบจำลองฝายรูปแบบ C.....	24

รูปที่ 3-6	แสดงตำแหน่งจุดวัดระดับท้องน้ำเริ่มจากเครื่องโรยทรายเป็นตำแหน่งที่ 0.0 เมตร.	27
รูปที่ 3-7	แสดงตำแหน่งจุดวัดระดับท้องน้ำของฝายทั้ง 3 รูปแบบ.....	28
รูปที่ 4-1	รูปแบบการนำเสนอการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ที่เวลาต่างๆ.....	40
รูปที่ 4-2	รูปแบบการนำเสนอการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำบริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ.....	41
รูปที่ 4-3	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ของรูปแบบฝายต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตรวินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 ที่เวลา 2.00 hr และ $T_r$ .....	42
รูปที่ 4-4	แสดงการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ กรณี A-24-0.005.....	46
รูปที่ 4-5	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่จุดสมดุลงัดน้ำใหม่ บริเวณตัวฝายรูปแบบ A.....	47
รูปที่ 4-6	แสดงการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ กรณี B-24-0.005.....	48
รูปที่ 4-7	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่จุดสมดุลงัดน้ำใหม่ บริเวณตัวฝายรูปแบบ B.....	49
รูปที่ 4-8	แสดงการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ กรณี C-24-0.005.....	50
รูปที่ 4-9	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่จุดสมดุลงัดน้ำใหม่ บริเวณตัวฝายรูปแบบ C.....	51
รูปที่ 5-1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $H_r/P$ กับ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ของฝายรูปแบบต่างๆ.....	54
รูปที่ 5-2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $H_r/P$ กับ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ของฝายรูปแบบต่างๆ.....	55
รูปที่ 5-3	ช่วงข้อมูลอ้างอิงจากผลการศึกษาของ Tullis และ Waldron (1995).....	55
รูปที่ 5-4	ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การไหลกับอัตราส่วนของความสูงฝายกับระดับน้ำเหนือสันฝาย ของฝายสันโอ๊ก (U.S.Bureau of Reclamation,1960).....	56
รูปที่ 5-5	เกณฑ์การออกแบบฝายสันโอ๊กที่หน้าฝายลาดเอียงทำมุม $45^\circ$ (U.S.Army Corps of Engineers ,1965).....	57
รูปที่ 5-6	ความสัมพันธ์ของความเร็วหน้าฝาย A กับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำ.....	60
รูปที่ 5-7	ความสัมพันธ์ของความเร็วหน้าฝาย B กับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำ.....	61
รูปที่ 5-8	ความสัมพันธ์ของความเร็วหน้าฝาย C กับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำ.....	62
รูปที่ 5-9	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเร็วหน้าฝายกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำ.....	63

รูปที่ 5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอัตราการใช้กับอัตราการทำตะกอน กับ ประสิทธิภาพการดักตะกอน.....	66
รูปที่ 5-11 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลาของฝ่าย A	67
รูปที่ 5-12 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลาของฝ่าย B	68
รูปที่ 5-13 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลาของฝ่าย C	69
รูปที่ 5-14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลา ของทั้ง 3 รูปแบบฝ่าย.....	70
รูปที่ 5-15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการดักตะกอนต่อช่วงเวลา ของทั้ง 3 รูปแบบฝ่าย.....	70

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การก่อสร้างฝายทดน้ำ ในลำน้ำธรรมชาติ สิ่งที่สำคัญที่ต้องพิจารณานอกจากเพื่อเก็บกักและยกระดับน้ำให้สูงขึ้นแล้ว ยังจำเป็นต้องพิจารณา ความสามารถในการระบายน้ำในเวลา น้ำหลากด้วย เพราะถ้าฝายมีคุณสมบัติในการระบายน้ำไม่ดีพอ อาจเกิดปัญหาน้ำท่วมด้านเหนือฝายได้ ฝายหยักเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป ว่าสามารถให้อัตราการไหลของน้ำผ่านได้มากกว่าฝายสันแนวตรง ที่ความกว้างลำน้ำ ความสูงฝายและความลึกของน้ำที่ล้นข้ามฝายเท่ากัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ที่อัตราการไหลเท่ากัน ความลึกของน้ำเหนือฝายหยักพับไปมาจะมีระดับต่ำกว่าฝายสันแนวตรง ส่งผลให้ความเร็วกระแสน้ำด้านหน้าฝายสูงกว่ากรณีของฝายสันแนวตรง

อีกปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นกับฝายทดน้ำ คือปัญหาการตกจมของตะกอนทรายบริเวณด้านหน้าฝาย ซึ่งคุณสมบัติของฝายและอาคารประกอบเป็นส่วนหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการระบายของตะกอน โดยจะเห็นว่าแนวทางหนึ่งที่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว คือ การปรับรูปแบบของฝายที่มีคุณสมบัติในการระบายน้ำและตะกอนทรายได้มากกว่าฝายรูปแบบเดิมในสภาวะเดียวกัน ซึ่งหากได้มีการปรับปรุงความลาดชันด้านหน้าฝาย ร่วมกับการปรับปรุงลักษณะอาคารด้านหน้าฝายให้เหมาะสม อาจทำให้น้ำและตะกอนทรายไหลข้ามฝายไปได้มากขึ้น

การไหลของตะกอนผ่านฝายหรือประสิทธิภาพของการถ่ายเทตะกอนข้ามฝาย ขึ้นกับตัวแปรการไหลของน้ำ ลักษณะทางกายภาพของฝาย และคุณลักษณะของตะกอน ซึ่งความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆดังกล่าวมีความสลับซับซ้อนเกินกว่าที่สามารถจะอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าวในเชิงการวิเคราะห์ทางทฤษฎีได้ ดังนั้นการหาคำตอบจากปัญหาดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองทางกายภาพ เพื่อหาคำตอบดังกล่าว

#### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำและการเคลื่อนที่ของตะกอนผ่านฝายหยัก ที่มีรูปแบบของตัวฝาย แตกต่างกัน
- 2) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำตามระยะทาง เนื่องจากตัวแปรการไหล

และลักษณะทางกายภาพของฝาย

- 3) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของน้ำบริเวณตัวฝาย เนื่องจากตัวแปรการไหล และลักษณะทางกายภาพของฝาย
- 4) เพื่อหาความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการระบายตะกอนกับตัวแปรการไหล และลักษณะทางกายภาพของฝาย

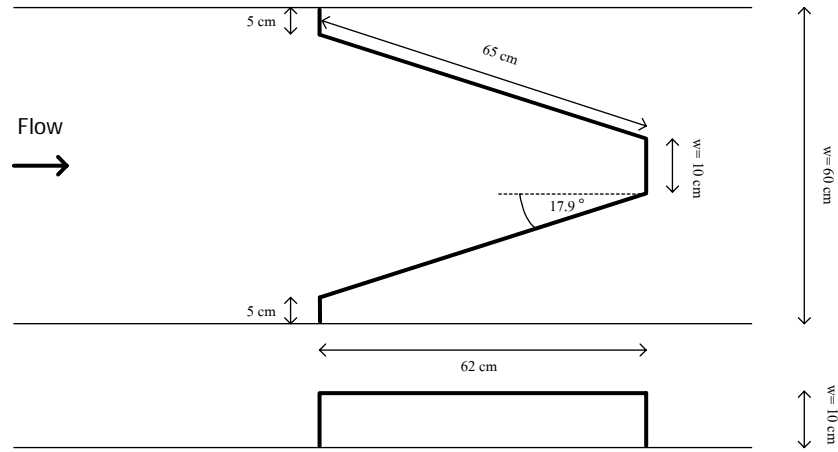
### 1.3 ขอบข่ายการศึกษา

ทำการศึกษาแบบจำลองทางกายภาพของฝายหยัก และนำมาทดลองในรางน้ำเปิดสี่เหลี่ยม (rectangular flume) ที่มีการติดตั้งเครื่องโรยทราย และมีระบบหมุนเวียนของน้ำ ซึ่งตั้งอยู่ในห้องปฏิบัติการชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีรายละเอียดและเงื่อนไขของการทดลองดังต่อไปนี้

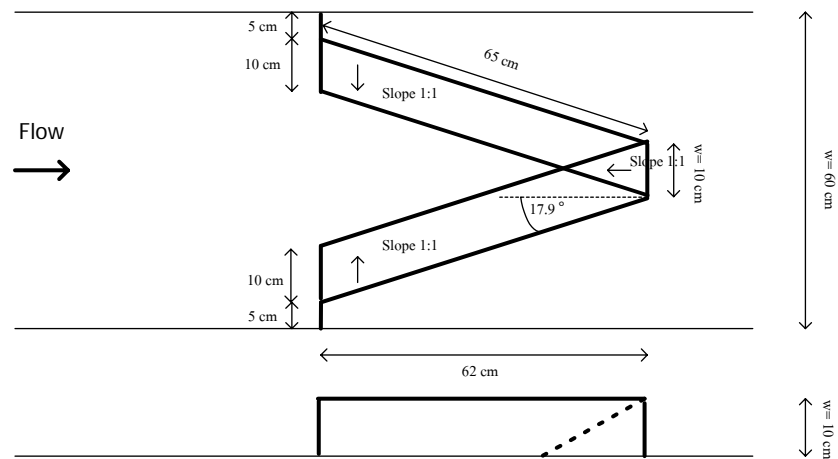
- 1) แบบจำลองฝายหยักที่มีความยาวสันฝายประมาณ 2.5 เท่าของความกว้างทางน้ำ สร้างด้วยแผ่นอะคริลิกใสหนา 1 ซม. ขนาดความกว้างเท่ากับรางทดลอง โดยมีลักษณะของตัวฝาย 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 1-1 ถึง 1-3
- 2) วัสดุท้องน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็น uniform sized sand ที่มีขนาด  $D_{50}$  ประมาณ 1.2 มม.
- 3) ทำการทดลองโดยปรับอัตราการไหลของน้ำ อัตราความลาดชันของท้องน้ำ และอัตราการไหลของตะกอนที่สอดคล้องกันทั้งหมด 7 ค่า
- 4) การไหลของน้ำเป็นการไหลต่ำกว่าวิกฤต (subcritical flow)
- 5) พิจารณาการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ (bed load transport) เท่านั้น
- 6) ให้หยุดการทดลองแต่ละกรณีเมื่อ สังเกตว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำน้อยลงจนแทบไม่มีนัยสำคัญ และให้สันนิษฐานว่าท้องน้ำได้เข้าสู่สมดุลใหม่แล้ว
- 7) มีจำนวนกรณีทดลองทั้งหมด  $3 \times 1 \times 7$  เท่ากับ 21 การทดลอง

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

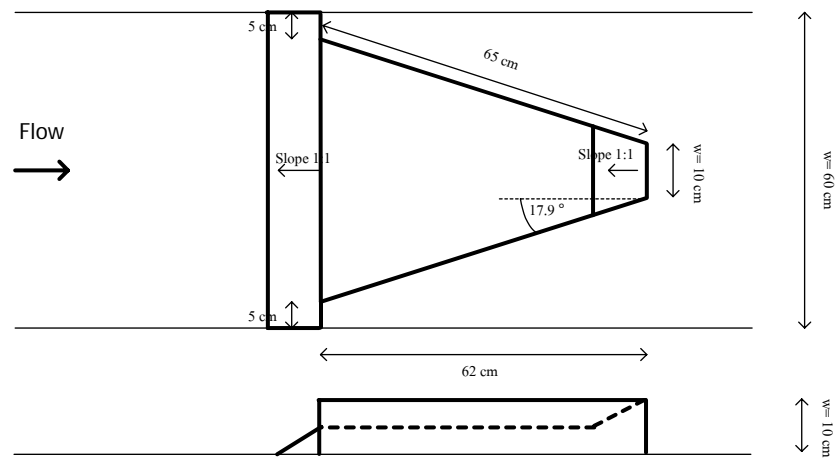
- 1) ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และสมมุติฐานต่างๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของน้ำ อัตราการนำพาตะกอน สัมประสิทธิ์อัตราการไหล ปริมาตรตะกอนที่ไหลผ่านฝาย
- 2) ศึกษารายงานการทดลองที่เกี่ยวข้อง และออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดเงื่อนไขและกรณีการทดลอง
- 3) ศึกษาการจัดสร้างแบบจำลองชลศาสตร์ทางกายภาพ และการใช้อุปกรณ์การทดลองเครื่องมือต่างๆ
- 4) ทำการทดลองในกรณีต่างๆ ที่กำหนดไว้พร้อมทั้งวัดค่าตัวแปรต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้
- 5) รวบรวมข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง เพื่อทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปร และจัดให้อยู่ในรูปแบบของกราฟชนิดต่างๆ
- 6) สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ



รูปที่ 1-1 ฝ่าย A เป็นรูปแบบที่มีผนังของฝ่ายตั้งตรงและไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย

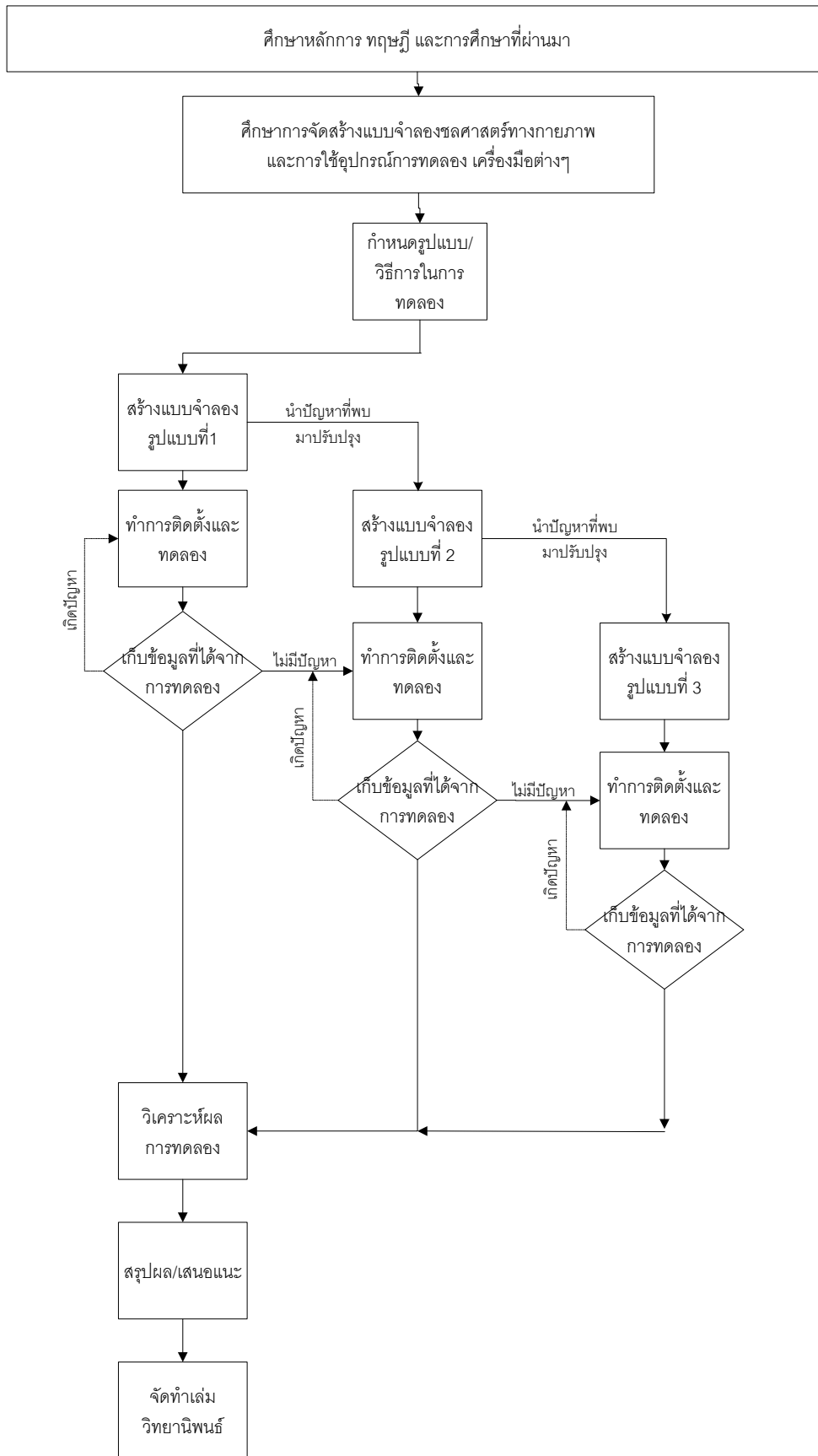


รูปที่ 1-2 ฝ่าย B เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันของผนังตัวฝายแต่ไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย



รูปที่ 1-3 ฝ่าย C เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันเฉพาะด้านหน้าตัวฝายรวมทั้งมีอาคารด้านหน้า





รูปที่ 1-4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

## บทที่ 2

### หลักการและการศึกษาที่ผ่านมา

#### 2.1 ประเภทของการนำพาตะกอน

ตะกอนแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ขึ้นอยู่กับวิธีการแบ่ง 2 วิธี ดังแสดงในรูปที่ 2-1 ได้ดังนี้

1. แบ่งตามชนิดของตะกอน (classification according to type of sediment)

1.1 ตะกอนวัสดุท้องน้ำ (bed Material load)

1.2 ตะกอนละเอียด (wash load)

2. แบ่งตามกลไกการเคลื่อนที่ (classification according to transport mechanism)

2.1 ตะกอนท้องน้ำ (bed load)

2.2 ตะกอนแขวนลอย (suspended load)

โดยที่ตะกอนแต่ละประเภทมีความหมายดังนี้

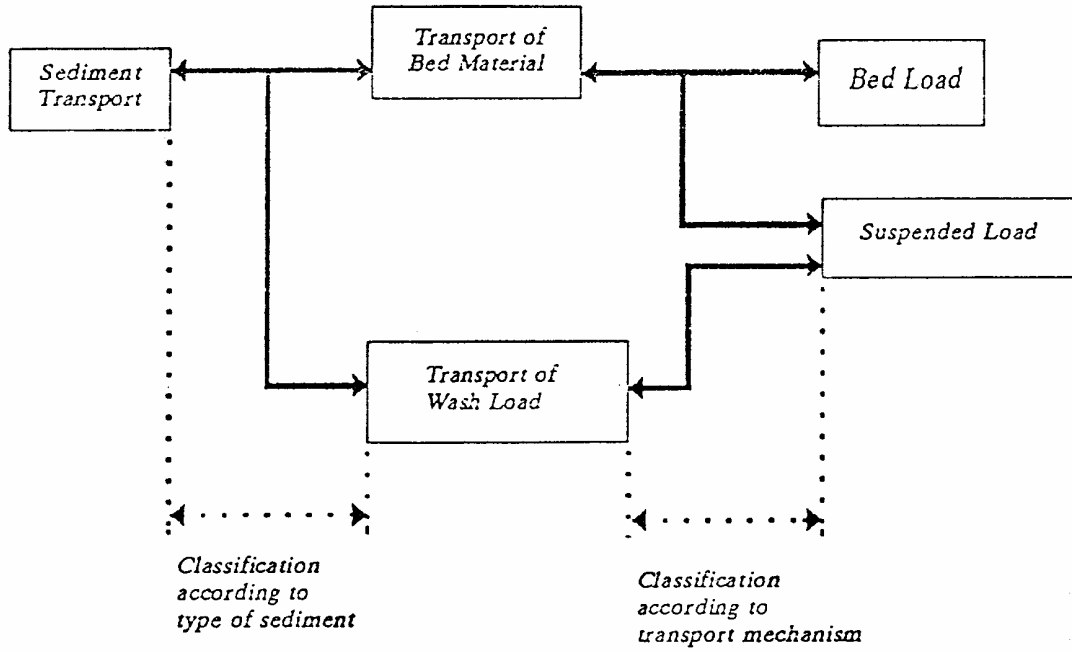
ก. ตะกอนท้องน้ำ เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนโดยการไถล กิ้ง หรือกระโดดไปมาระหว่างเนินของท้องน้ำที่มีรูปร่างเป็นริ้วคลื่น (ripple) หรือลอนคลื่น (dune) ดังแสดงในรูปที่ 2-2

ข. ตะกอนแขวนลอย เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนในลักษณะแขวนลอยอยู่ห่างจากท้องน้ำ เมื่อแรงโน้มถ่วงที่มีต่อน้ำหนักตะกอนสมดุลกับแรงดันขึ้นเนื่องจากความปั่นป่วนของการไหลรวมทั้งแรงลอยตัว

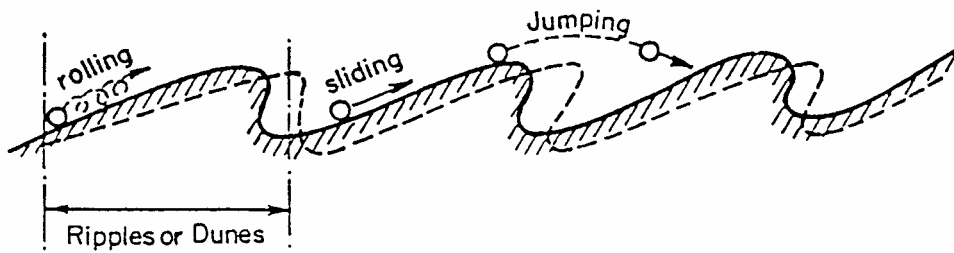
ค. ตะกอนละเอียด เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอนที่มีขนาดเล็ก (มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $D < 60\mu\text{m}$ ) เล็กกว่าวัสดุท้องน้ำและไม่ค่อยพบในท้องน้ำ มักมีการกระจายตัวสม่ำเสมอตลอดความลึก

ง. ตะกอนวัสดุท้องน้ำ เป็นผลรวมของตะกอนท้องน้ำและตะกอนแขวนลอยโดยยกเว้นตะกอนละเอียด ในการคำนวณการเคลื่อนที่ของอนุภาคตะกอน จะพิจารณาเฉพาะตะกอนวัสดุท้องน้ำ เนื่องจากตะกอนละเอียดจะไม่มีผลต่อการกัดเซาะหรือทับถม

ในความเป็นจริงตะกอนบางขนาดในบางเวลาอาจเคลื่อนที่แบบตะกอนท้องน้ำและในบางเวลาเคลื่อนที่แบบตะกอนแขวนลอย ดังนั้นการจำแนกลักษณะดังที่กล่าวมาจึงเป็นการจำแนกโดยประมาณเท่านั้น



รูปที่ 2-1 การแบ่งประเภทของการนำพาตะกอน (ทวนทัน ,2543)



รูปที่ 2-2 การเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ (ทวนทัน ,2543)

## 2.2 สมการอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด

ก่อนเริ่มต้นการทดลอง ต้องทำการคำนวณหาอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดที่สอดคล้องกับสภาพการไหลในแต่ละกรณีทดลอง ซึ่งในปัจจุบัน สูตรการคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดมีอยู่มากมายหลายสูตร แต่โดยทั่วไปแล้ว การคำนวณ จะคิดมาจาก 2 วิธี วิธีแรกคือคำนวณอัตราการนำพาตะกอนท้องน้ำ กับ ตะกอนแขวนลอยแยกกัน แล้วนำมารวมกันเพื่อให้ได้อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด ส่วนอีกวิธีจะคำนวณหาอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดโดยตรง โดยไม่มีการแบ่งเป็นตะกอนท้องน้ำ หรือตะกอนแขวนลอย โดยมีพื้นฐานมาจาก 2 หลักการหลักๆ ดังต่อไปนี้

### 2.2.1 หลักการของ EINSTEIN (1942,1950 อ้างถึงใน Yang ,1966)

คิดจากนำอัตราการนำพาตะกอนท้องน้ำ และอัตราการนำตะกอนแขวนลอยมารวมกัน เป็นอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด ดังแสดงในสมการที่ 2-1 โดยค่า  $I_1$  ,  $I_2$  หาได้จากรูปที่ 2-3

$$i_t q_t = i_{BW} q_{BW} (1 + P_E I_1 + I_2) \quad (2-1)$$

โดย  $i_t q_t$  = อัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดสำหรับขนาดตะกอนที่กำหนด  
 $i_{BW}$  = ขนาดตะกอนท้องน้ำแบ่งเป็น %  
 $q_{BW}$  = อัตราการนำพาตะกอนท้องน้ำต่อหนึ่งหน่วยความกว้างทางน้ำ  
 $P_E = 2.303 \log(30.2D/\Delta)$   
 $D$  = ความลึกการไหล  
 $\Delta$  = ความขรุขระท้องน้ำ  
 $I_1, I_2$  = ฟังก์ชันค่าปรับแก้ของ Einstein

แม้ว่าวิธีการคำนวณของ Einstein (1942,1950) จะมีความยุ่งยากซับซ้อนในการนำไปใช้นอกห้องทดลอง แต่ Einstein ก็ได้จุดประกายให้นักวิชาการได้เข้าใจถึงหลักการของการนำพาตะกอน ในภายหลังจึงได้มีการนำหลักการของ Einstein มาประยุกต์ และพัฒนาขึ้นเป็นสูตรคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดขึ้นอีกมากมาย เช่น วิธี Modified Einstein โดย Colby กับ Hembree (1955) และ Simons กับ Senturk (1977) และ วิธีของ Toffaleti (1969) เป็นต้น

## 2.2.2 หลักการกำลัง (Power Concept)

Bagnold (1966 อ้างถึงใน Yang ,1996) ได้พัฒนาสูตรคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมดจากหลักการกำลัง (Power Concept) โดยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราของพลังงานที่มีในระบบ กับอัตราของงานที่เกิดจากการนำพาตะกอน อธิบายได้ดังสมการที่ 2-2

$$\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} q_{bw} \tan \alpha = \tau V e_b \quad (2-2)$$

โดย  $\gamma_s$  กับ  $\gamma$  = น้ำหนักจำเพาะของตะกอนและน้ำตามลำดับ  
 $q_{bw}$  = อัตราการนำพาตะกอนท้องน้ำเป็นน้ำหนัก ต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง  
 $\tan \alpha$  = อัตราส่วนมุมของแรงเฉือน (ratio of tangential to normal shear force)  
 $\tau$  = แรงเฉือนที่กระทำต่อท้องน้ำ (shear force acting along bed)

$V$  = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล

$e_b$  = ค่าคงที่ประสิทธิผล (bedload efficiency coefficient) ดูได้จากรูปที่ 2-4

ส่วนความสัมพัทธ์ของพลังงานและงานที่กระทำโดยการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอย อธิบายได้ด้วยสมการที่ 2-3

$$\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} q_{sw} = (1 - e_b) e_s \frac{\bar{\mu}_s}{\omega} \tau V \quad (2-3)$$

โดย  $q_{sw}$  = อัตราการไหลของตะกอนแขวนลอยคิดเป็นน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยเวลาและความกว้าง

$\bar{\mu}_s$  = ความเร็วเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของตะกอน

$\omega$  = ความเร็วของการตกตะกอนแขวนลอย (fall velocity)

$e_s$  = ค่าคงที่ประสิทธิผล (suspended load efficiency coefficient)

จากสมการที่ 2-2 และ 2-3 เมื่อนำมารวมกัน และกำหนดให้  $\bar{\mu}_s = V$ ,  $(1 - e_b) e_s = 0.01$  ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการทดลองของ Bagnold จะได้ค่าการนำพาตะกอนทั้งหมดคิดเป็นน้ำหนักต่อหนึ่งหน่วยช่วงเวลาและความกว้าง ( $q_t$ , lb/s/ft) ดังแสดงในสมการที่ 2-4

$$q_t = q_{bw} + q_{sw} = \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} \tau V \left( \frac{e_b}{\tan \alpha} + 0.01 \frac{V}{\omega} \right) \quad (2-4)$$

ภายหลังได้มีนักวิชาการหลายท่าน นำหลักการดังกล่าวไปศึกษาประยุกต์ และพัฒนาขึ้นมาเป็นสูตรคำนวณอัตราการนำพาตะกอนอีกหลายวิธี เช่น วิธีของ Engelund กับ Hansen(1972), วิธีของ Ackers กับ White(1973), วิธีของ Yang(1972) เป็นต้น

## 2.3 การคำนวณประสิทธิผลการดักตะกอน

ประสิทธิภาพการดักตะกอน (Sediment trap efficiency)

$$\eta = \frac{\nabla_s (\text{deposit})}{\nabla_s (\text{inf low})} \quad (2-5)$$

โดย  $\nabla_s$  (deposit) = ปริมาตรตะกอนทับถมในลำน้ำหน้าฝายในช่วงเวลาดำหนด  
 คำนวณได้จากความแตกต่างของระดับท้องน้ำของเวลาเริ่มต้นและ  
 เวลาสิ้นสุดที่ตะกอนเต็มหน้าฝาย

$\nabla_s$  (inflow) = ปริมาตรตะกอนไหลเข้าลำน้ำหน้าฝายในช่วงเวลาดำหนด คำนวณ  
 ได้จากปริมาตรตะกอนทับถมในลำน้ำหน้าฝายในช่วงเวลาดำหนด  
 รวมกับปริมาตรของตะกอนที่ไหลผ่านฝายออกไป

## 2.4 สมการอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายหยัก

ฝายหยัก (labyrinth weir) เป็นฝายที่ออกแบบมาให้มีลักษณะพับไปมาเพื่อเพิ่มความยาว  
 ของสันฝาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถระบายน้ำผ่านฝายได้มากกว่าฝายสันมนธรรมดา  
 โดยความสามารถในการระบายน้ำจะขึ้นอยู่กับ เสดรวมเหนือสันฝาย (total head,  $H_t$ ) ความยาว  
 สันฝายประสิทธิผล (effective crest length) และสัมประสิทธิ์สันฝาย (crest coefficient) รูปที่ 2-  
 5 แสดงลักษณะและรายละเอียดของฝายหยัก สมการที่ใช้ในการคำนวณ เป็นสมการเดียวกับที่ใช้  
 ในฝายสันมน ดังแสดงไว้ในสมการที่ 2-6

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_e \sqrt{2g} H_t^{1.5} \quad (2-6)$$

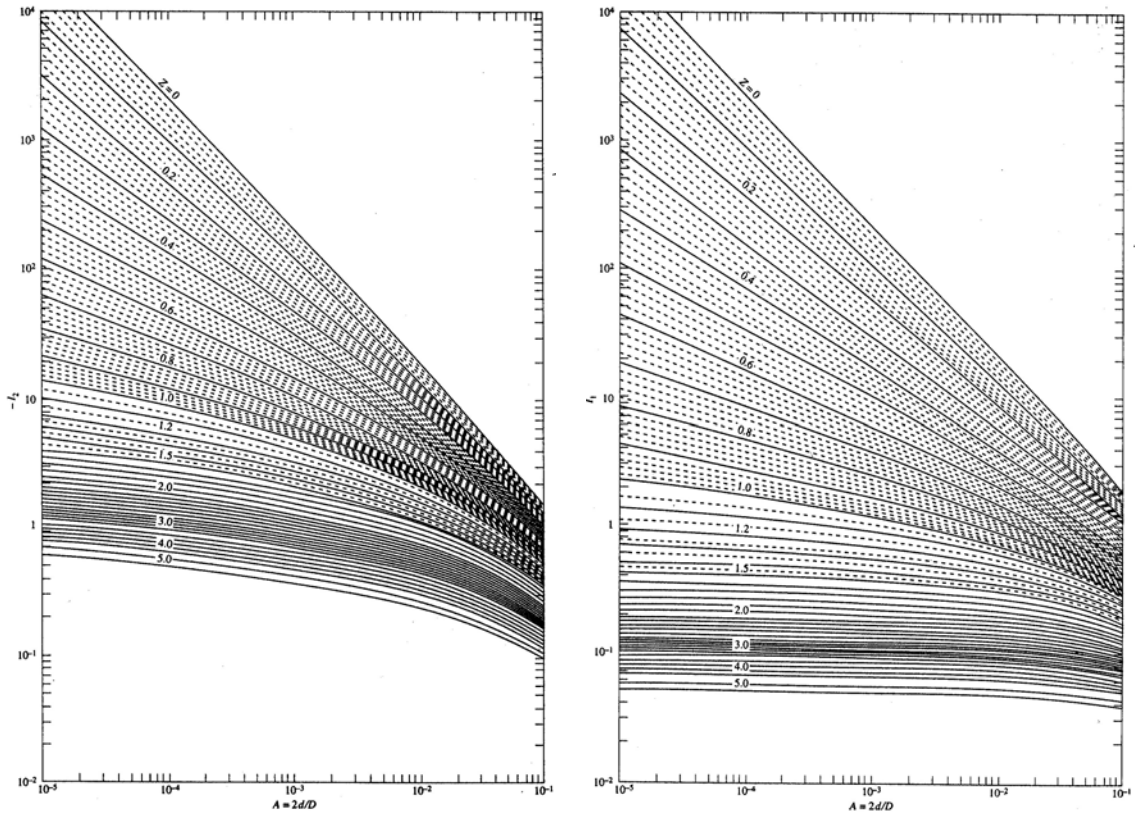
โดย  $Q$  = อัตราการไหล

$C_d$  = ค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำของฝาย

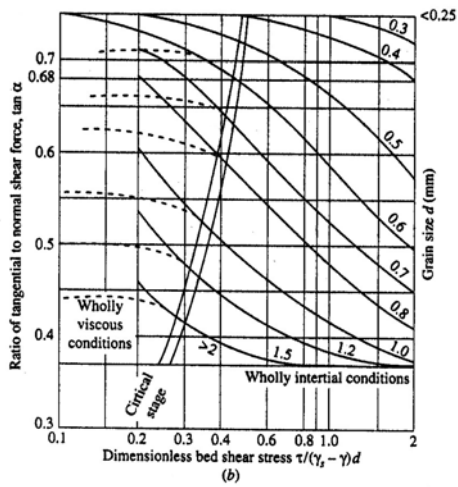
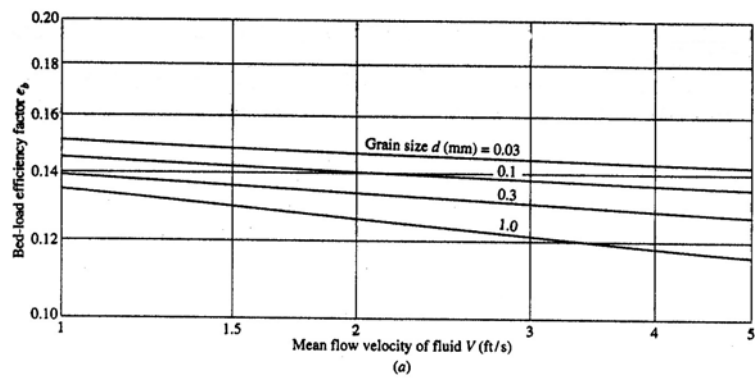
$g$  = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก

$L_e$  = ความยาวสันฝายประสิทธิผล

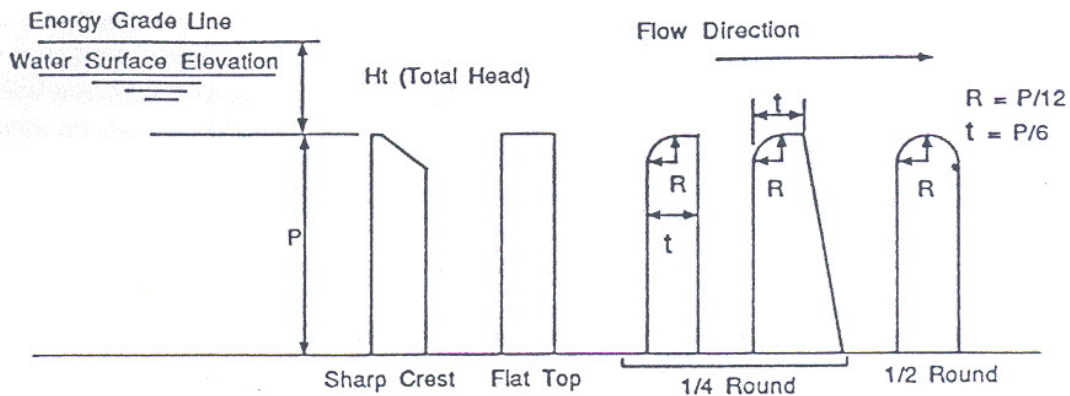
$H_t$  = เสดรวมเหนือสันฝาย



รูปที่ 2-3 ฟังก์ชันค่าปรับแก้ของ Einstein  $I_1, I_2$  (Yang, 1996)

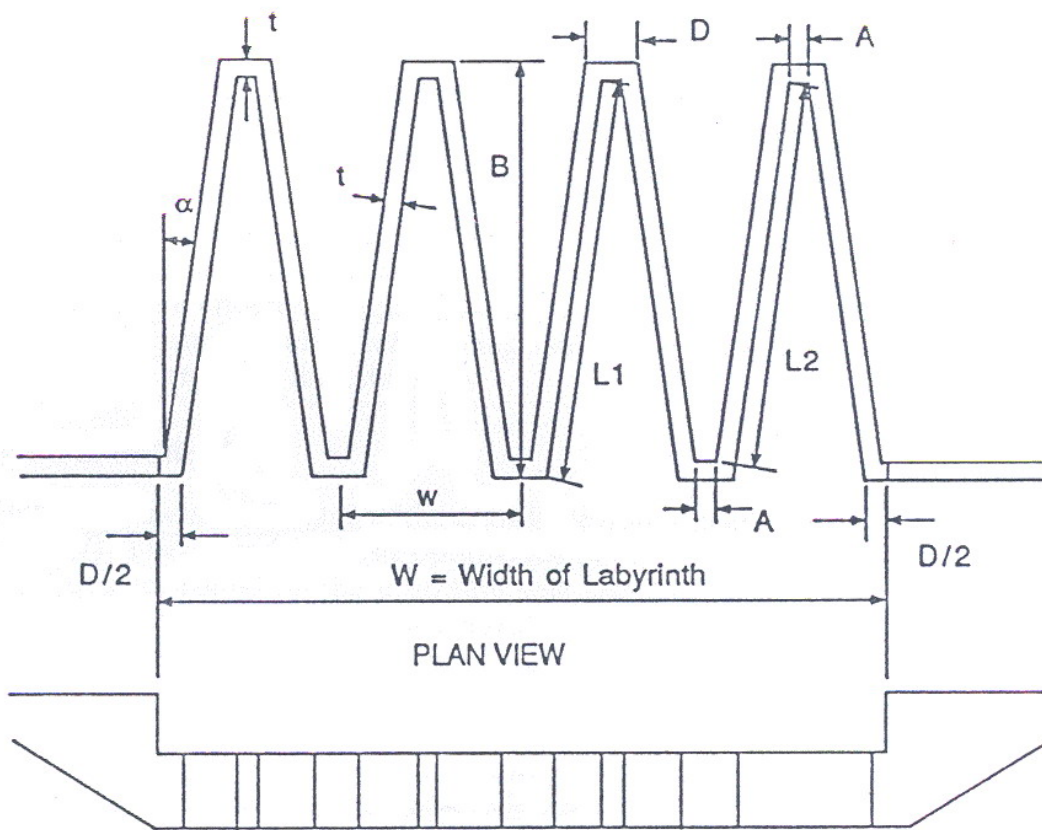


รูปที่ 2-4 ค่าคงที่ประสิทธิผล  $e_b$  (Yang, 1996)



CREST SHAPES

Effective length of crest  $L = 2 \cdot N \cdot (A + L2)$   
 Total length of crest  $= N \cdot (2 \cdot L1 + A + D)$   
 $L1 =$  Actual Length of Side Leg  
 $L2 =$  Effective Length of Side Leg  
 $B =$  Length of Labyrinth  
 $N =$  Number of cycles (4 shown)



รูปที่ 2-5 ลักษณะและรายละเอียดของฝายหยัก (Tullis และ Waldron , 1995)



## 2.5 การศึกษาที่ผ่านมา

Bretschneider (1961 อ้างถึงใน ปฏิญญา ,2545) ได้ทดลองปรับความลาดเอียงด้านหน้าของฝายสันกว้างที่มีขนาดความลึกของน้ำที่ล้นข้ามฝายต่อความหนาสันฝายน้อยกว่า 0.25 พบว่าความลาดเอียงด้านหน้าฝาย(I) (ด้านตั้ง:ด้านนอน) ที่ลาดชันน้อยลงสามารถเพิ่มอัตราการไหลของฝายได้ 5-10 %

Hay และ Taylor (1970 อ้างถึงใน ปฏิญญา ,2545) ได้ทำการทดลองฝายหักแบบสันคม (sharp crest labyrinth) ผลการทดลองของ Hay และ Taylor ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำผ่านฝายหัก ( $Q_L$ ) ต่ออัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสันคมความยาวสันฝายเท่ากับความกว้างทางน้ำ ( $Q_N$ ) กับอัตราส่วนความสูงของน้ำที่ล้นข้ามสันฝาย ( $h_1$ ) ต่อความสูงฝาย ( $p$ ) ที่อัตราส่วนความยาวสันฝายหัก ( $L$ ) ต่อความกว้างทางน้ำ ( $W$ ) ต่างๆกันดังรูปที่ 2- 6

จากการศึกษาพบว่า ฝายที่มีค่าความยาวสันฝาย( $L$ ) ต่อความกว้างทางน้ำ( $W$ ) มากกว่า 6 ที่ความสูงน้ำด้านหน้าฝาย( $h$ ) ต่อความสูงของฝาย( $P$ ) มากกว่า 0.25 จะได้ผลประโยชน์น้อย ส่วนค่า  $W/P$  ไม่ควรน้อยกว่า 2 สำหรับฝายรูปแปลนสี่เหลี่ยมคางหมูและไม่ควรน้อยกว่า 2.5 สำหรับฝายรูปแปลนสามเหลี่ยม เพื่อลดผลกระทบจากการเบียดแน่นของโค้งน้ำไหลตก (mutual Interference of adjacent nappes)

Cassidy และ Gardner (1984) ได้นำผลการศึกษาของ Hay และ Taylor มาใช้ในการออกแบบทางระบายน้ำด้านของเขื่อน Boardman รัฐ Oregon ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่มีค่า  $L/W = 3$  และจากการศึกษาแบบจำลองพบว่า อัตราการไหลที่วัดได้ จะเริ่มมีค่ามากกว่า อัตราการไหลจากการคำนวณ ที่อัตราการไหลประมาณ 200 ลบ.ฟ./วินาที ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2-7

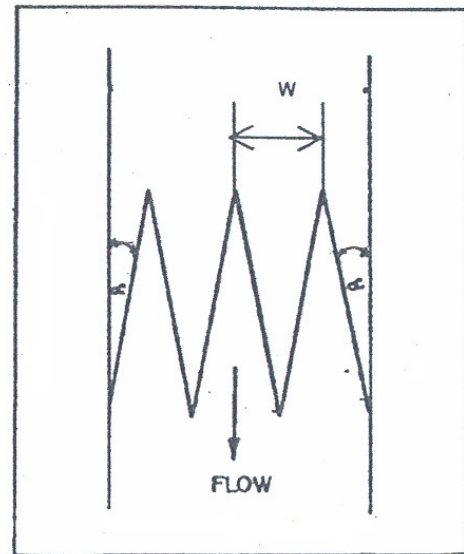
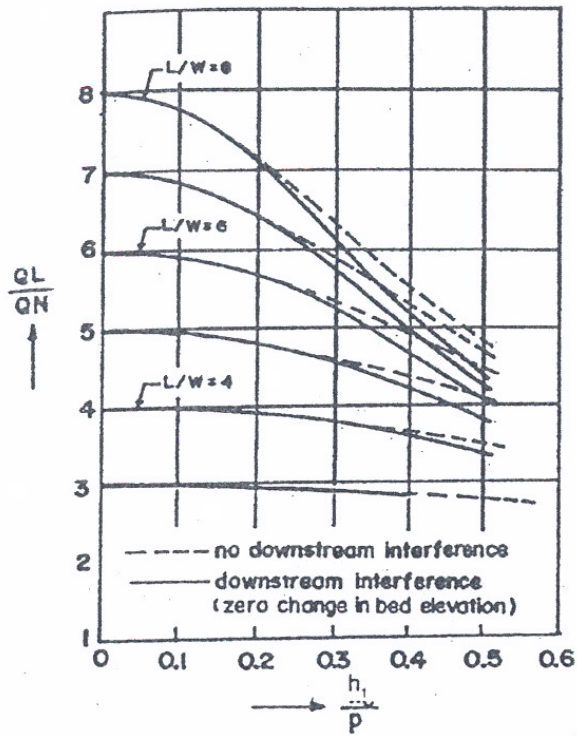
Sitompu และ Sharp (1994) ได้ทำการทดลองฝายหักสันคม รูปแปลนสี่เหลี่ยมคางหมู ได้ผลสอดคล้องกับการทดลองของ Hay และ Taylor (1970 อ้างถึงในปฏิญญา ,2545) และการทดลองของ Puslitbang (1991) โดยพบว่าฝายหักที่ได้ประโยชน์มากมีค่า  $L/W$  ประมาณ 2.5 และค่า  $h/P$  น้อยกว่า 0.4

Aminipouri และ Valentine (1994) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบฝายหยักรูปแปลนสามเหลี่ยม และรูปแปลนสี่เหลี่ยมคางหมู พบว่า ฝายรูปแปลนสี่เหลี่ยมคางหมู สามารถลดผลกระทบจากการเบียดของโค้งน้ำไหลตกท้ายฝาย

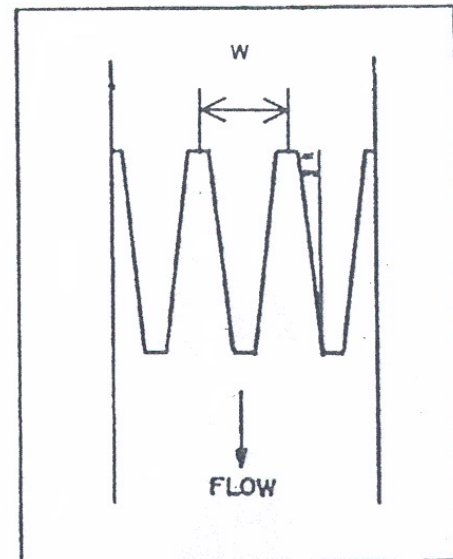
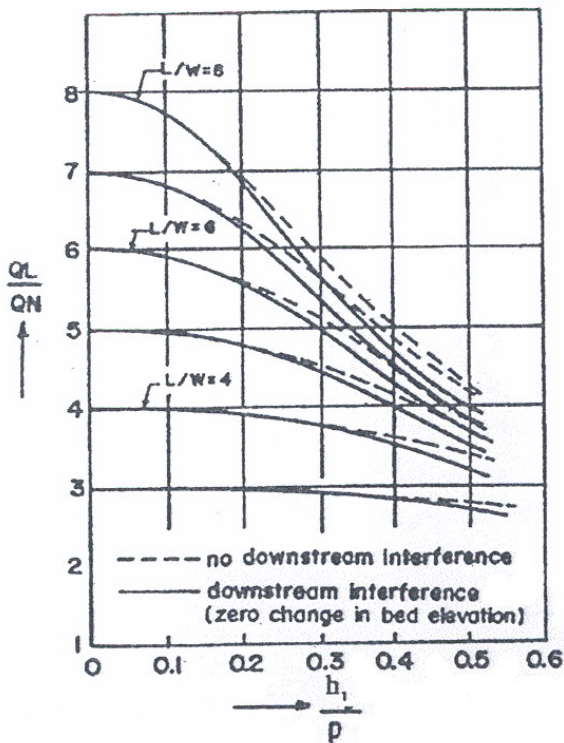
Tullis และ Waldron (1995) ได้พัฒนาสเปคตัมสำหรับคำนวณหาปริมาณคอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างฝายหยักที่มีมุมฝายต่างๆ ที่มีค่าความกว้างของหน้าฝายอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 เท่าของความหนา ( $t < A < 2t$ ,  $t = P/6$ ) โดยจะคำนวณจากกราฟความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การไหล  $C_d$  กับ สัดส่วนของเฮดรวมกับความสูงฝาย ( $H_r/P$ ) ที่ได้จากการทดลอง ดังรูปที่ 2-8

**ฝายชลศาสตร์ กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน (2537)** ได้ทำการศึกษาแบบจำลองฝายน้ำล้นที่มีหน้าเอียงเอียงแตกต่างกัน และทำการศึกษาแบบจำลองฝายหยักลักษณะต่างๆกัน พบว่าฝายที่มีความลาดเอียง 1:1 และฝายหยักที่มีค่า  $L/W$  อยู่ระหว่าง 2.33-2.60 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลสูงที่สุด รูปที่ 2-9 ถึง 2-10 แสดงลักษณะของแบบจำลอง และผลการทดลองที่ได้

**ปริญญา กมลสินธ์ (2545)** ทำการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลของน้ำและตะกอนผ่านฝายสันมนกับฝายหยัก ที่มีความกว้างทางน้ำเท่ากัน โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดลองเปรียบเทียบอัตราการไหลของตะกอนผ่านฝายไว้ว่า ตะกอนที่ไหลผ่านฝายจะต้องไม่มากกว่าอัตราการปล่อยตะกอน ถ้าตะกอนที่ดักไว้ได้มากกว่าตะกอนที่ปล่อย ต้องทำการทดลองซ้ำโดยเพิ่มอัตราการปล่อยตะกอน พบว่าฝายหยัก สามารถระบายน้ำและตะกอนได้ดีกว่าฝายสันมนทั้งในสภาวะการไหลแบบอิสระและการไหลแบบจมนอกจากนั้นยังพบว่าฝายหยัก ที่หน้าฝายมีความลาดเอียงจากพื้นสู่สันฝายจะเพิ่มอัตราการไหลของน้ำและตะกอน เมื่อเฮดรวมของน้ำเหนือสันฝายสูงกว่า 0.3 เท่าของความสูงสันฝาย รูปที่ 2-11 แสดงลักษณะแบบจำลองฝายหยักที่ใช้ในการศึกษา

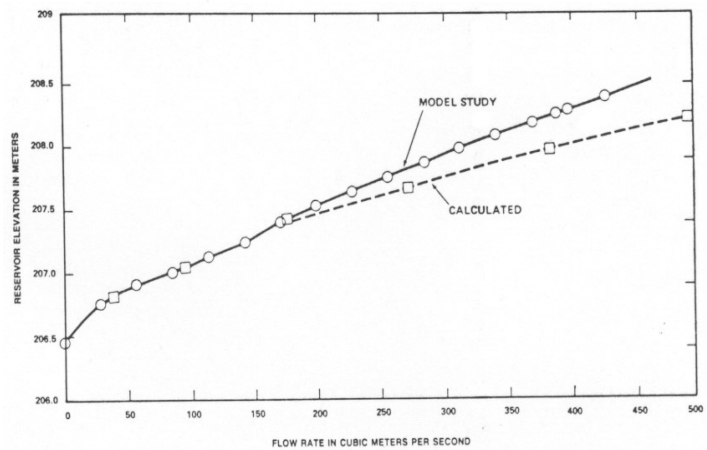
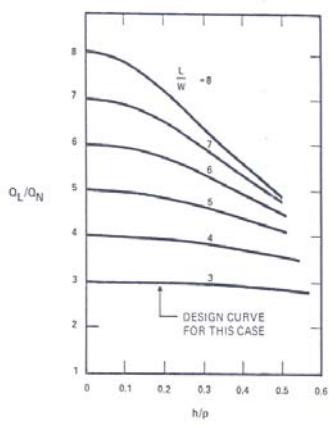
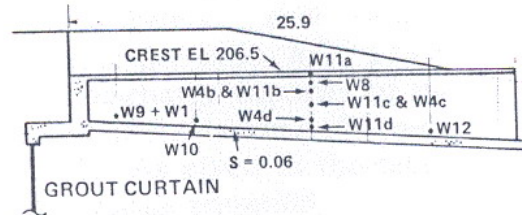
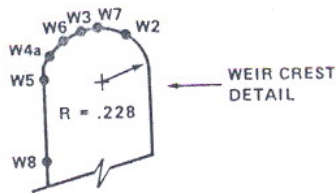
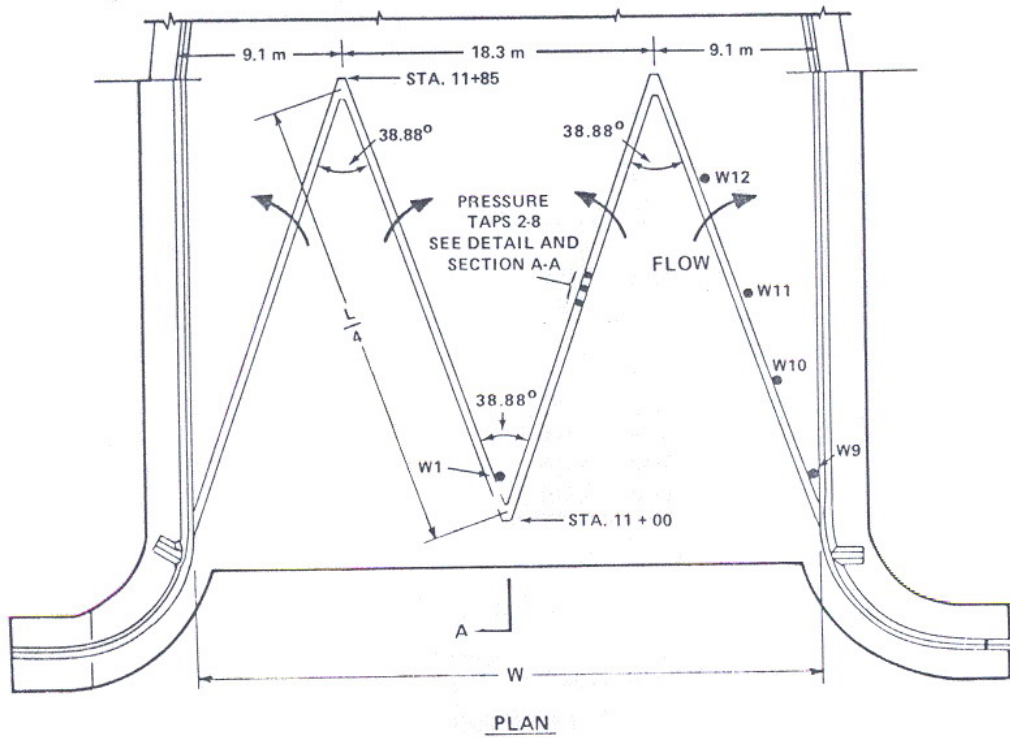


Discharge amplification for the triangular plan form weirs without aprons with  $w/p \geq 2.5$  and  $\alpha = \alpha_{max}$  (Hay & Taylor, 1970)

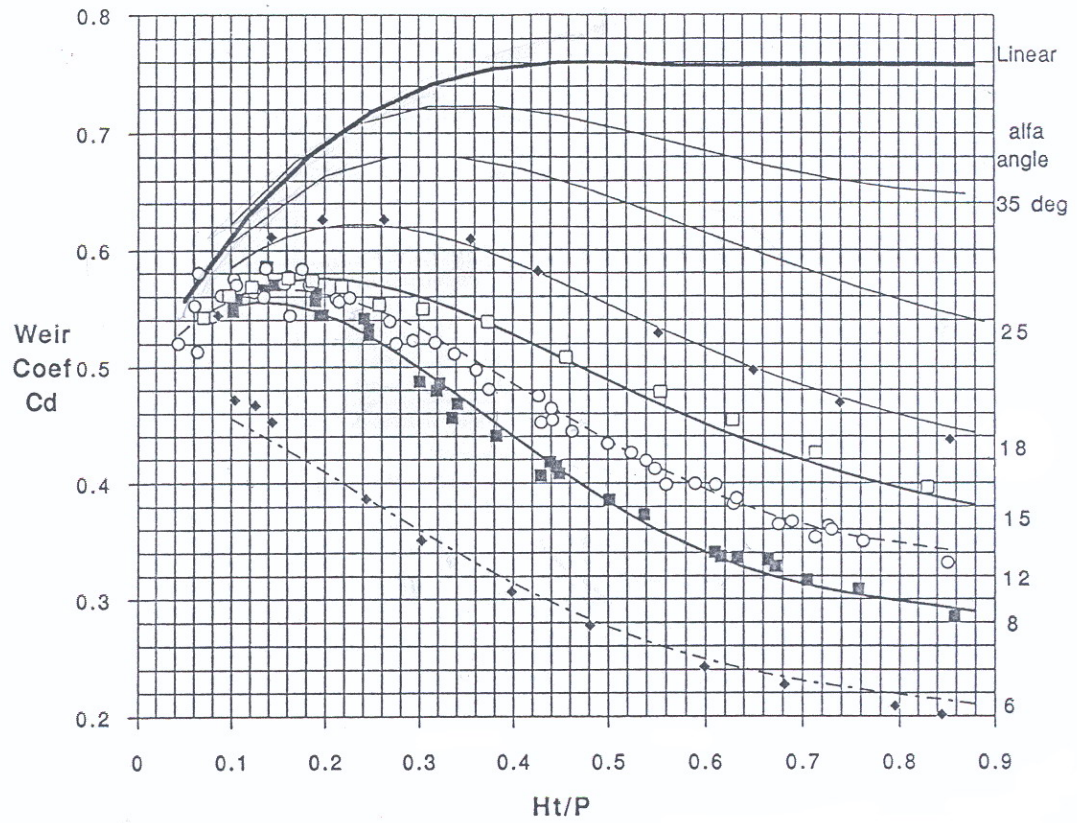


Discharge relation for the trapezoidal plan form weirs without aprons and for  $w/p \geq 2$  and  $\alpha = 0.75 \alpha_{max}$  (Hay & Taylor, 1970)

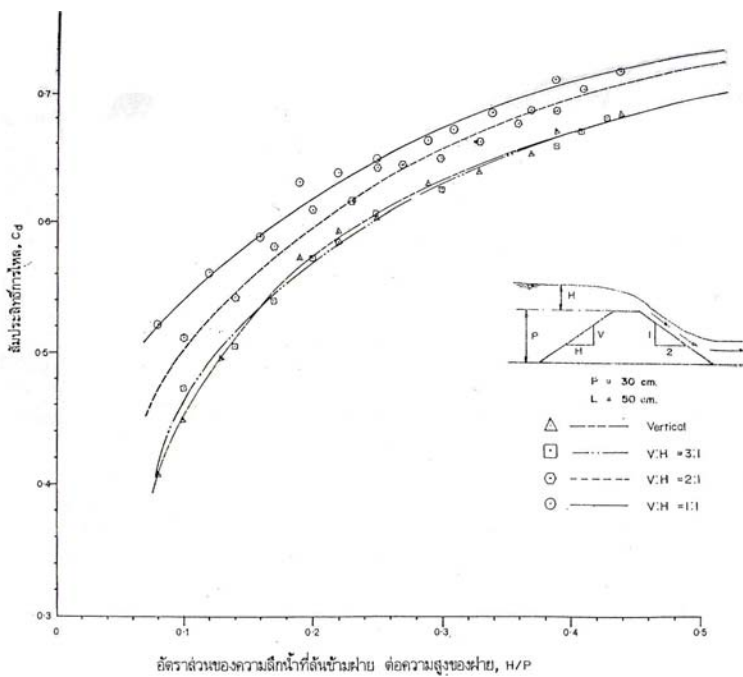
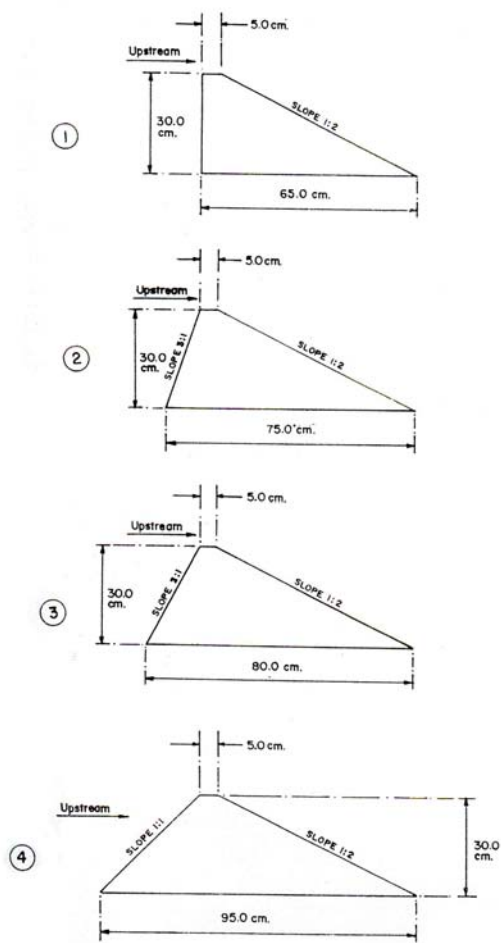
รูปที่ 2-6 การศึกษาของ Hay และ Taylor (1970 ,อ้างถึงในปริญญา ,2545)



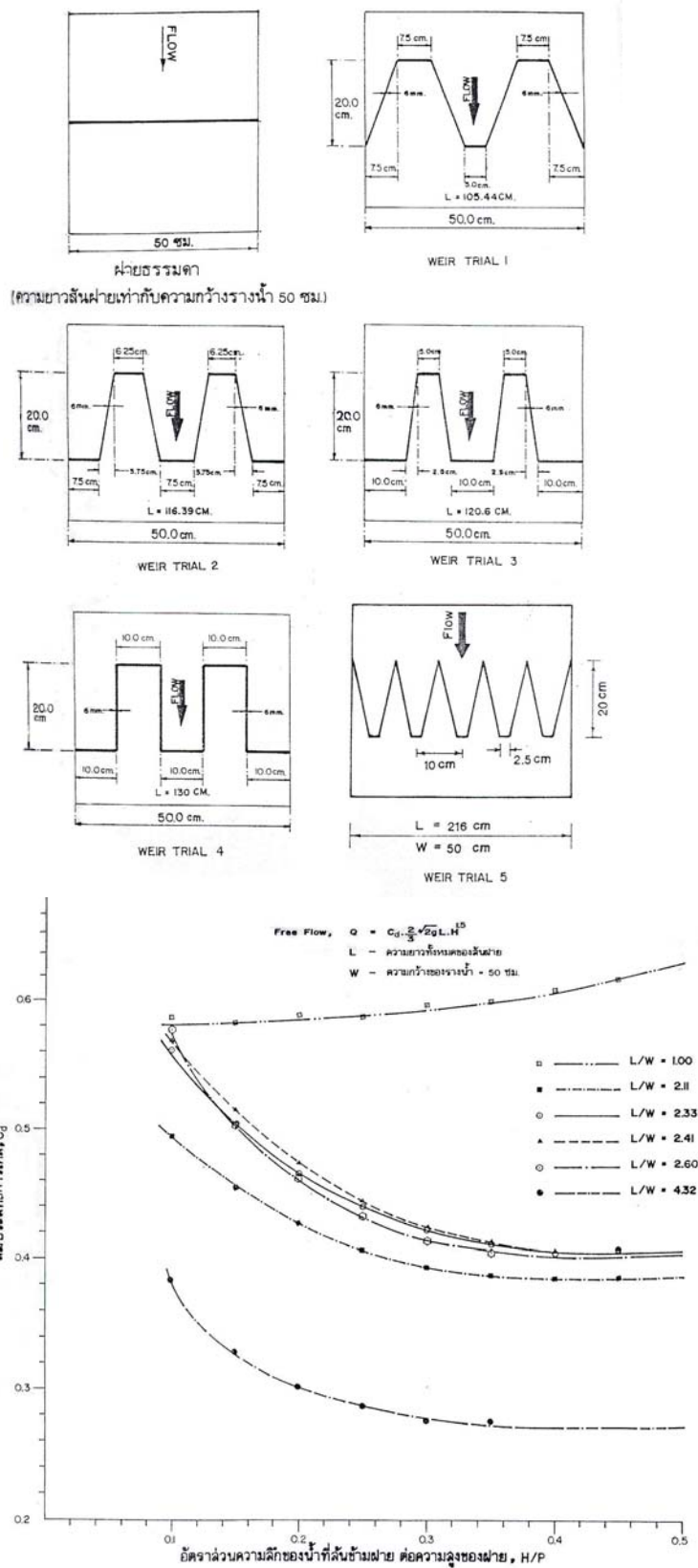
รูปที่ 2-7 ลักษณะแบบจำลอง และผลการศึกษาทางระบายน้ำดันของเขื่อน Boardman (Cassidy และ Gardner ,1984)



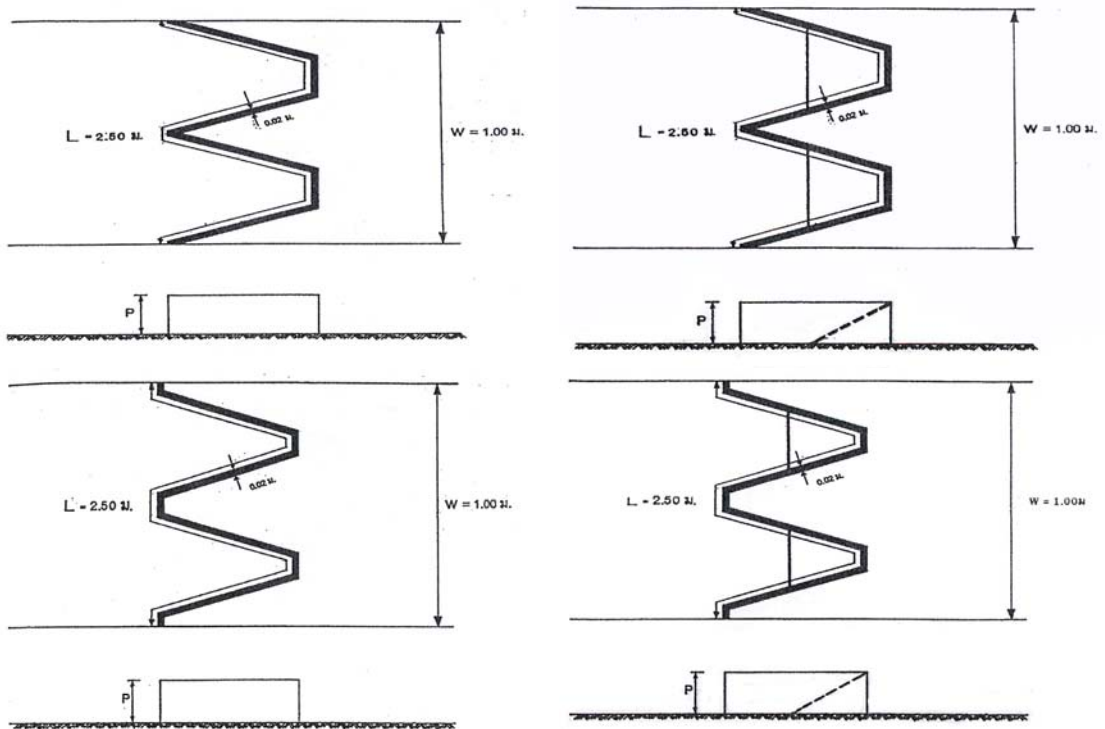
รูปที่ 2-8 ผลการศึกษาของ Tullis และ Waldron (1995) เพื่อนำไปใช้ในการทำ Spread sheet เพื่อคำนวณหาปริมาตรส่วนต่างๆของฝายหยัก (Tullis และ Waldron ,1995)



รูปที่ 2-9 ลักษณะแบบจำลองฝายน้ำล้น และผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความลาดเอียงต่างๆ (ฝ่ายชลศาสตร์ กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน ,2537)



รูปที่ 2-10 ลักษณะแบบจำลองฝายหัก และผลการทดลองเปรียบเทียบค่า L/W ต่างๆ (ฝ่ายชลศาสตร์ กองวิจัยและทดลอง กรมชลประทาน ,2537)



รูปที่ 2-11 ลักษณะแบบจำลองของฝายหยักแบบต่างๆ ที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบ  
อัตราการไหลของน้ำและตะกอน ผ่านฝายสันมนกับฝายหยัก (ปริญญา ,2545)



## บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

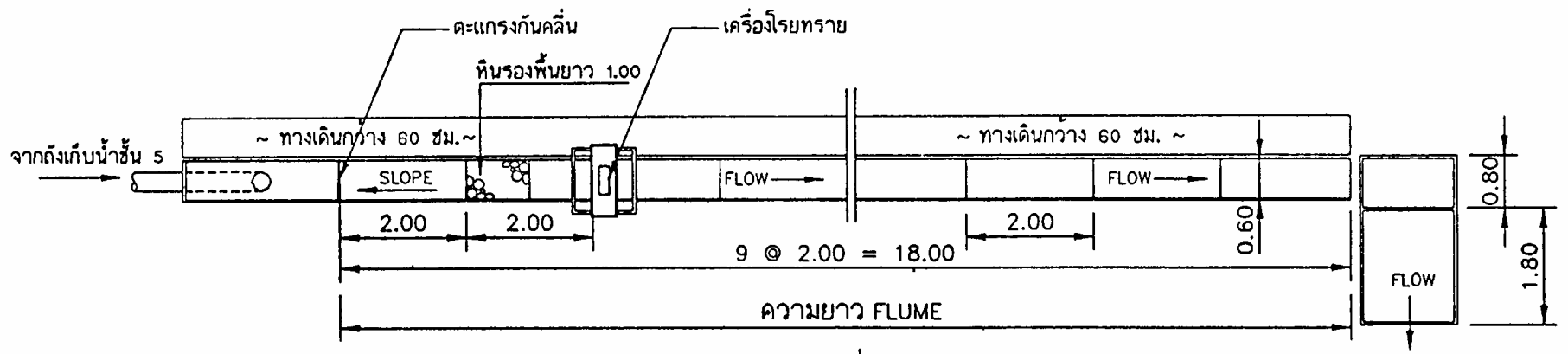
การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการไหลของตะกอนผ่านฝายหยัก โดยนำแบบจำลองทางกายภาพของฝายหยักที่ทำจากแผ่นอะครีลิกใส ความหนา 1.0 ซม. ยึดติดกันด้วยน้ำยาเชื่อมอะครีลิก, ซิลิโคน และนอต ติดตั้งทดลองในรางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีการควบคุมอัตราการไหล อยู่ในช่วง 24- 30 ลิตรต่อวินาที ใช้ฝายสันคมรูปสามเหลี่ยมวัดอัตราการไหลของน้ำ สภาวะการไหลของน้ำมีการเคลื่อนที่ของวัสดุท้องน้ำโดยใช้เครื่องโรยทรายอัตโนมัติ ซึ่งมีลักษณะเป็นถังเก็บทราย ติดตั้งมอเตอร์สั่นสะเทือนที่โรยทรายมีลักษณะเป็นลูกกลิ้ง ควบคุมอัตราการหมุนโดยมอเตอร์ เพื่อใช้กำหนดอัตราการโรยทรายด้วยเครื่องปรับกระแสไฟฟ้า

### 3.1 อุปกรณ์การทดลอง

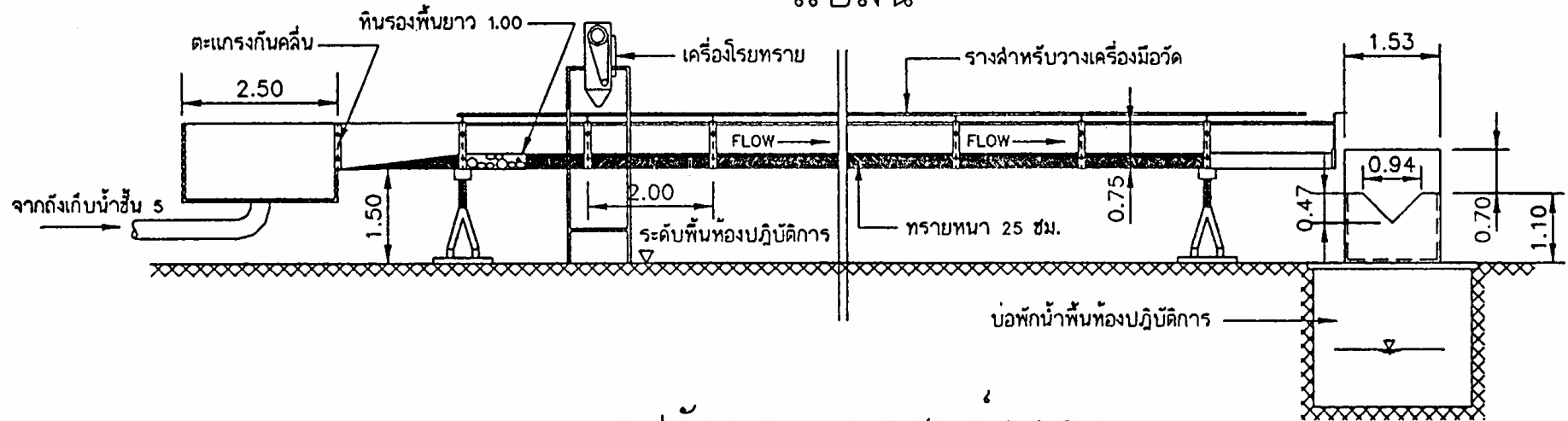
#### 3.1.1 รางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

รางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีขนาดยาว 18 ม. กว้าง 0.60 ม. และลึก 0.75 ม. ซึ่งมีผนังด้านข้าง ทำด้วยกระจกใสหนา 1.20 ซม. ทั้งสองข้างพื้นรางทำจากเหล็กหนา 6 มม. และความลาดเอียงท้องรางน้ำสามารถปรับได้โดยใช้แม่แรงยก ซึ่งควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3-1 และ 3-2

น้ำที่ใช้ในการทดลองได้รับจากถังน้ำขนาด 30 ลบ.ม. ซึ่งอยู่ชั้นดาดฟ้าของอาคาร 5 ชั้น โดยใช้เครื่องสูบน้ำขนาด 25 Hp จำนวน 4 ชุด มี 90° V-Notch Weir สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในรางน้ำ ซึ่งติดตั้งไว้ที่ด้านท้ายของรางน้ำ การหาอัตราการไหลโดยการอ่าน rating curve ที่ทำการสอบเทียบขึ้นมาก่อนเริ่มต้นการทดลอง ส่วนภายใต้ติดตั้งแผงกรองคลื่น 2 ชั้นเพื่อให้ระดับน้ำนิ่ง ชั้นแรกมีลักษณะเป็นหินกรวด ชั้นที่สองมีลักษณะเป็นใยมะพร้าวทำให้สามารถอ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝายได้ถูกต้อง ส่วนเครื่องโรยทรายอัตโนมัติถูกติดตั้งไว้ทางด้านบนสุดของรางน้ำ โดยมีลักษณะเป็นถังเก็บทราย ติดตั้งมอเตอร์สั่นสะเทือนและควบคุมอัตราการโรยทรายด้วยชุดควบคุมอัตโนมัติ (รายละเอียดทั้งหมดดูได้ในภาคผนวก ก)

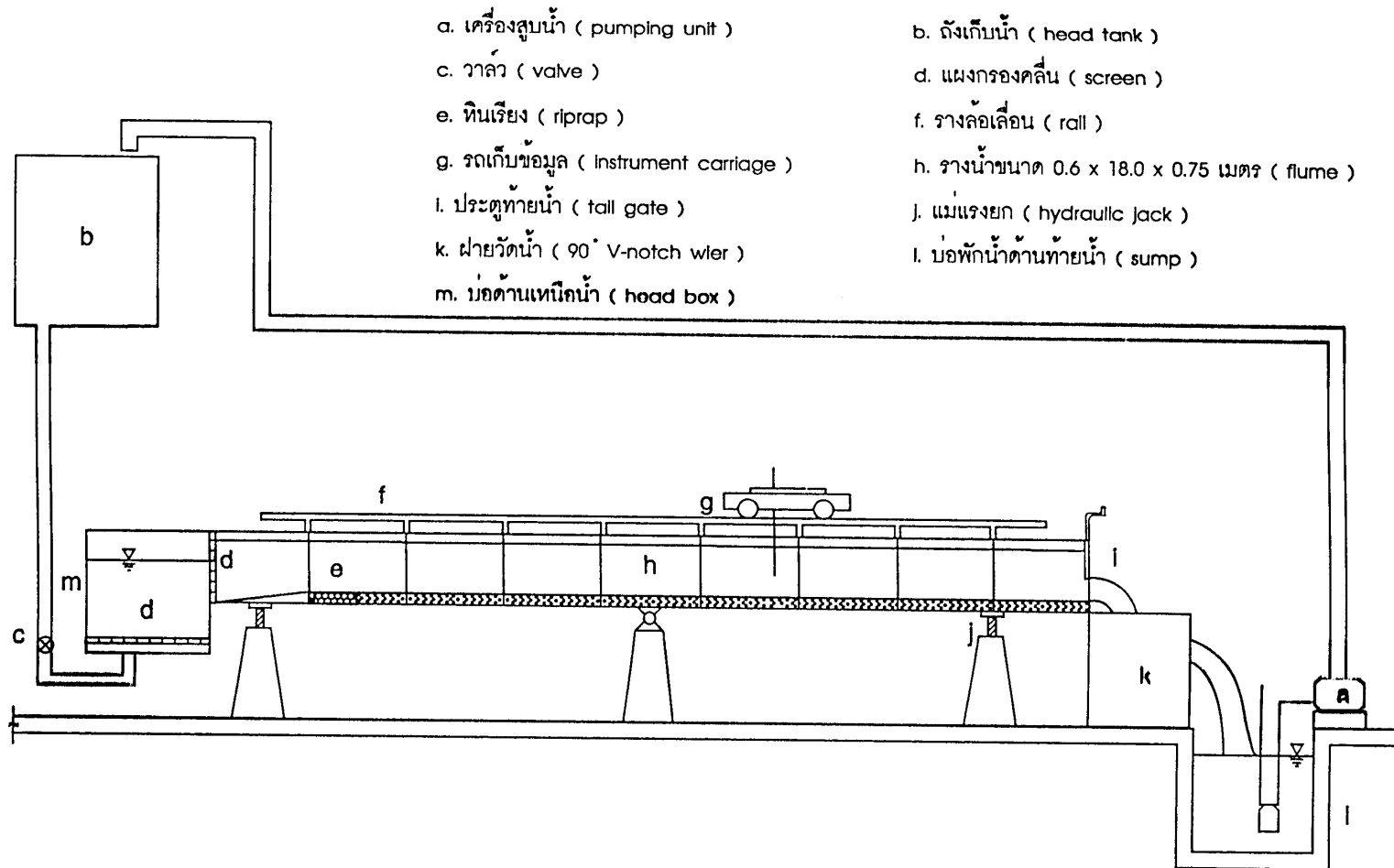


แปลน



รูปตัดตามแนวศูนย์กลาง

รูปที่ 3-1 รางน้ำที่ใช้ในการทดลองโดยติดตั้งฝายห่างจากเครื่องโรยทรายประมาณ 7.0 เมตร



รูปที่ 3-2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ และระบบหมุนเวียนของน้ำ

### 3.1.2 แบบจำลองทางกายภาพของฝายหยัก

แบบจำลองทางกายภาพของฝายหยักทำจากแผ่นอะครีลิคใส ความหนา 1.0 ซม. ประกอบเข้าด้วยกันโดยน้ำยาเชื่อมอะครีลิค, ซิลิโคน และนอตยัด มีลักษณะดังรูปที่ 3-3 ถึง 3-5



รูปที่ 3-3 แบบจำลองฝายรูปแบบ A



รูปที่ 3-4 แบบจำลองฝายรูปแบบ B



รูปที่ 3-5 แบบจำลองฝายรูปแบบ C

ฝายทั้ง 3 แบบมีขนาดเท่ากันคือ ความกว้าง 60 ซม. ยาว 62 ซม. สูง 10 ซม. และมีความยาวสันฝายเท่ากับ 150 ซม. หรือ 2.5 เท่าของความกว้างรางน้ำ โดยฝายทั้ง 3 แบบติดตั้งอยู่บนแผ่นอะคริลิกใสขนาด 60 x 76 ซม. อีกทีหนึ่ง

### 3.1.3 อุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

ประกอบด้วย (รายละเอียดเพิ่มเติมดูได้ในภาคผนวก ก)

- แท่งวัดระดับ เพื่อใช้วัดค่าระดับของท้องน้ำ
- นาฬิกาสำหรับจับเวลาการทดลอง
- กระดาษฟอยล์ที่ใช้ในการตรวจวัดทรายที่โรยจากเครื่องโรยทรายอัตโนมัติ
- ตาชั่งสำหรับชั่งน้ำหนักทราย
- ตะแกรงสำหรับดักทรายที่ไหลผ่านฝาย
- กระดาษและถุงปุย สำหรับขนย้ายทรายเข้า-ออกจากราง
- รถยก สำหรับขนย้ายทรายเพื่อนำไปบริเวณสำหรับตากทราย

## 3.2 วิธีทำการทดลอง

### 3.2.1 ขั้นตอนการทดลอง

1. การสอบเทียบเครื่องมือที่เกี่ยวข้องในการทดลอง ได้แก่ การสอบเทียบฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำ เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำในรางน้ำ การสอบเทียบเครื่องโรยทราย เพื่อหาอัตราการโรยทรายที่สอดคล้องกับอัตราการนำพาตะกอนจริง และการสอบเทียบความลาดของรางน้ำ ว่าตรงกับการศึกษาที่ผ่านมาหรือไม่

2. การปรับปรุงซ่อมแซมอุปกรณ์การทดลองให้อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ดี ได้แก่ ฝายสามเหลี่ยมวัด น้ำที่มีการรั่วซึมของน้ำออกมาจากหลอดวัดระดับ การขัดแต่งผนังด้านข้างด้านในของรางน้ำที่มีความขรุขระ ให้เรียบเพื่อลดความแปรปรวนของกระแสในรางน้ำ และการซ่อมเครื่องโรยทรายให้สามารถโรยทรายได้ด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ

3. การทดลองช่วงปรับสมดุลท้องน้ำก่อนติดตั้งฝาย เริ่มจากการปรับท้องน้ำให้

อยู่ในระดับราบ หลังจากนั้นจึงปรับสภาวะการไหลให้เป็นไปตามกรณีที่ต้องการใช้ และปรับอัตราการไหลทรายให้สอดคล้องกับอัตราการนำพาตะกอนที่คำนวณได้ เมื่อสังเกตว่าท้องน้ำเริ่มหยุดการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ให้สันนิษฐานว่าท้องน้ำเข้าสู่สมดุลใหม่ และหยุดการทดลอง หลังจากนั้นจึงนำฝายมาติดตั้งในบริเวณที่กำหนด

4. การทดลองช่วงสังเกตพฤติกรรมการไหลของตะกอนหลังติดตั้งฝาย โดยหลังจากปรับได้สภาวะการไหลและ อัตราการนำพาตะกอนใหม่ที่สอดคล้องตามกรณีทดลองแล้ว จะทำการวัดการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ,การเปลี่ยนแปลงตะกอนในตัวฝาย และพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านตัวฝาย จนกระทั่งสันนิษฐานว่าท้องน้ำเข้าสู่สมดุลใหม่ ปริมาตรตะกอนที่ไหลเข้ามา เท่ากับปริมาตรตะกอนที่ไหลผ่านฝายออกไป

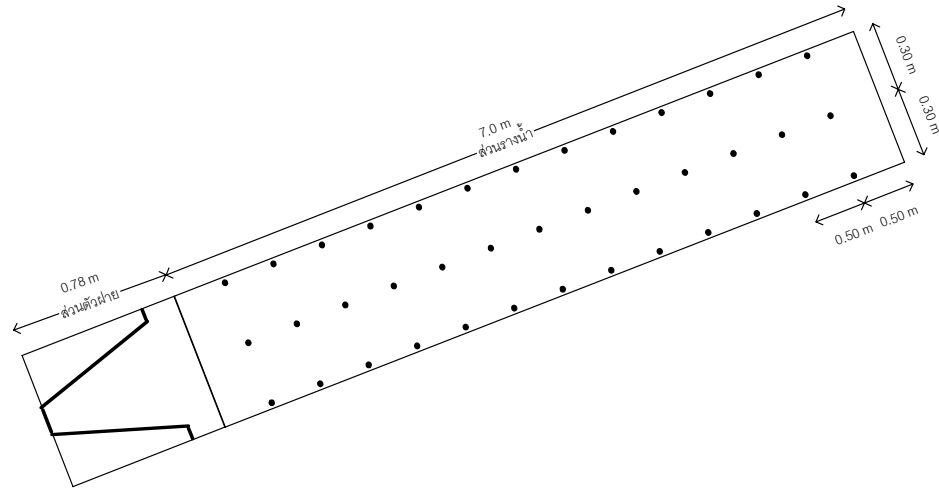
### 3.2.2 การวัดข้อมูล

1. การวัดการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ จะแบ่งจุดการวัดเป็น 14 หน้าตัดตลอดความยาวรางทดลอง 7 เมตร โดยแต่ละหน้าตัดห่างกัน 0.5 เมตร และ แต่ละหน้าตัดวัด 3 จุด คือจุดริมซ้าย จุดกลาง และริมขวา แต่ละจุดห่างกัน 0.30 เมตร และทุกจุดกลางจะทำการวัดระดับน้ำด้วย โดยช่วงเวลาในการวัดจะมีความแตกต่างกัน สำหรับต่างกรณีทดลองเพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในแต่ละกรณีทดลองซึ่งมีความแตกต่างกัน สำหรับตำแหน่งการวัดแสดงได้ดังรูปที่ 3-6

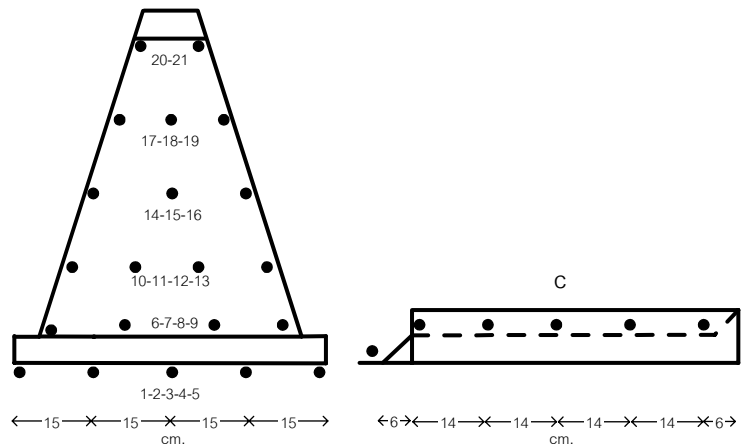
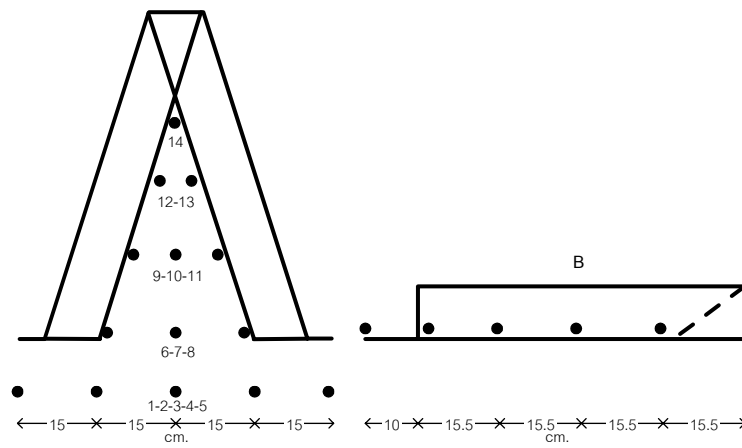
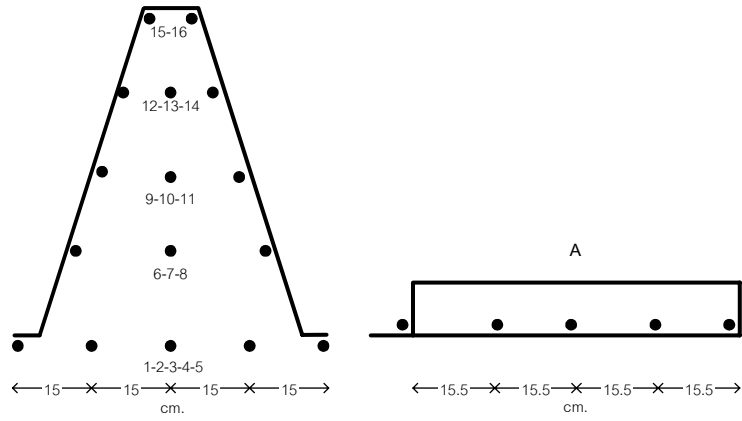
2. การวัดการเปลี่ยนแปลงตะกอนในตัวฝาย จะเริ่มวัดต่อเมื่อตะกอนเริ่มเคลื่อนที่เข้าถึงตัวฝาย โดยตำแหน่งในการวัดจะแตกต่างกันไปตามรูปแบบของตัวฝาย โดยอยู่ระหว่าง 14-21 จุด และมีช่วงเวลาการวัดที่เท่ากันในกรณีทดลองเดียวกัน แต่แตกต่างกันไปสำหรับคนละกรณีทดลอง เพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่เกิดขึ้น ตำแหน่งการวัดแสดงดังรูปที่ 3-7

3. การวัดปริมาณตะกอนที่ไหลข้ามฝาย จะทำโดยการติดตั้งตะแกรงดักทรายที่มีขนาดตาเล็กกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดทรายไว้ที่ปลายรางน้ำ เพื่อดักทรายที่ไหลข้ามฝายไปได้ แล้วจึงรวบรวม นำไปตักแห้งและชั่งน้ำหนัก

4. การวัดระดับน้ำเหนือสันฝาย เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝาย



รูปที่ 3-6 ตำแหน่งจุดวัดระดับที่ต่อน้ำเริ่มจากเครื่องโรยทรายเป็นตำแหน่งที่ 0.0 เมตร



รูปที่ 3-7 ตำแหน่งจุดวัดระดับท้องน้ำของฝายทั้ง 3 รูปแบบ



### 3.2.3 เงื่อนไขในการทดลอง

#### 1. อัตราการไหลของน้ำ อัตราความลาดชันของท้องน้ำที่ใช้ในการทดลอง

จากการทดลองหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำในรางน้ำกับระดับความสูงของน้ำที่ฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำ พบว่า อัตราการไหลที่มีได้ในรางน้ำอยู่ระหว่าง 20 – 35 ลิตร/วินาที ในการทดลองได้เลือกใช้อัตราการไหลในช่วงดังกล่าวดังนี้ คือ 24 ,26 ,28 และ 30 ลิตร/วินาที โดยให้มีความลาดชันท้องน้ำที่แตกต่างกัน 2 ค่า เพื่อให้เกิดสัมพันธ์ร่วมกันของตัวแปร ดังนั้น อัตราการไหลและความลาดชันที่เลือกใช้แต่ละการทดลองมีดังนี้ รวมทั้งสิ้น 7 กรณี

- อัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005
- อัตราการไหล 26 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.003
- อัตราการไหล 26 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005
- อัตราการไหล 28 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.003
- อัตราการไหล 28 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005
- อัตราการไหล 30 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.003
- อัตราการไหล 30 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005

#### 2. อัตราการไหลของตะกอนที่ใช้ในการทดลอง

อัตราการไหลของตะกอนที่ใช้ในการทดลอง ต้องสอดคล้องกับ สมภาวะการไหลที่เลือกใช้ โดยอัตราการไหลของตะกอน ได้คำนวณมาจากสมการคำนวณอัตราการนำพาตะกอนที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายจำนวนทั้งสิ้น 11 สมการ แล้วนำผลการคำนวณที่ได้นำมาจัดเรียง จากมากไปน้อย และเลือกค่าเฉลี่ยจากค่ามัธยฐานของผลการคำนวณที่ได้ (อัตราการนำพาตะกอนที่คำนวณได้ แสดงไว้ในตาราง ข-6 และ ข-7)

#### 3. วัสดุท้องน้ำ

วัสดุท้องน้ำที่ใช้ในการทดลองเป็น uniform sized sand ที่มีขนาด  $D_{50}$  ประมาณ 1.2 มม. มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.62 กิโลนิวตัน/ลบ.ม. ความหนาแน่นอิ่มตัวเท่ากับ 1.49 ตัน/ลบ.ม.

จากเงื่อนไขในการทดลอง ทำให้มีกรณีทดลองทั้งหมด 21 กรณีทดลอง โดยชื่อกรณีทดลอง และ รายละเอียดของแต่ละกรณีทดลอง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ชื่อกรณีทดลอง และรายละเอียดของแต่ละกรณีทดลอง

ลำดับ ที่	ชื่อกรณี ทดลอง	อัตราการไหล (ลิตร/วินาที)	อัตราการนำพาตะกอน (กิโลกรัม/วินาที)	ความลาดชัน ท้องน้ำ	รูปแบบ ฝาย
1	A-24-0.005	24	0.01836	0.005	A
2	A-26-0.003	26	0.00831	0.003	A
3	A-26-0.005	26	0.02366	0.005	A
4	A-28-0.003	28	0.00977	0.003	A
5	A-28-0.005	28	0.02672	0.005	A
6	A-30-0.003	30	0.01108	0.003	A
7	A-30-0.005	30	0.03030	0.005	A
8	B-24-0.005	24	0.01836	0.005	B
9	B-26-0.003	26	0.00831	0.003	B
10	B-26-0.005	26	0.02366	0.005	B
11	B-28-0.003	28	0.00977	0.003	B
12	B-28-0.005	28	0.02672	0.005	B
13	B-30-0.003	30	0.01108	0.003	B
14	B-30-0.005	30	0.03030	0.005	B
15	C-24-0.005	24	0.01836	0.005	C
16	C-26-0.003	26	0.00831	0.003	C
17	C-26-0.005	26	0.02366	0.005	C
18	C-28-0.003	28	0.00977	0.003	C
19	C-28-0.005	28	0.02672	0.005	C
20	C-30-0.003	30	0.01108	0.003	C
21	C-30-0.005	30	0.03030	0.005	C

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

ในการทดลองศึกษาพฤติกรรมการไหลของตะกอนผ่านฝายหยัก จะทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำ ในบริเวณรางน้ำ และบริเวณตัวฝาย รวมถึงระดับน้ำ ในแต่ละจุดการวัด ตลอดระยะเวลาการทดลอง โดยในแต่ละกรณีลองจะมีช่วงการวัดที่แตกต่างกัน เพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่เร็วช้าแตกต่างกันของแต่ละกรณีทดลอง โดยจะหยุดการทดลองเมื่อ สังเกตว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของน้ำน้อยลงจนแทบไม่มีนัยสำคัญ และให้สันนิษฐานว่าน้ำได้เข้าสู่สมดุลใหม่แล้ว ซึ่งเป็นจุดที่ปริมาตรตะกอนที่เข้ามาในระบบ เท่ากับปริมาตรตะกอนที่ไหลผ่านฝายออกไป

ในส่วนรางน้ำ ซึ่งมีความยาว 7 เมตร ข้อมูลที่วัดจะเป็นข้อมูลระดับของน้ำ หน้าตัดละ 3 จุด คือตรงริมซ้าย ,ขวา และตรงกลางของรางน้ำ โดยแต่ละหน้าตัดจะห่างกัน 0.5 เมตร ทำให้ในหนึ่งช่วงเวลาที่ทำการวัด จะมีข้อมูลระดับของน้ำทั้งหมด  $14 \times 3 = 52$  ค่า รวมกับข้อมูลระดับน้ำที่วัดเฉพาะตรงกลางรางน้ำอีก 14 ค่า รวมเป็น 66 ค่า สำหรับหนึ่งช่วงการวัด โดยในหนึ่งกรณีทดลอง จะมีช่วงการวัดอยู่ที่ 9-12 ช่วง แล้วแต่กรณีทดลอง

ค่าระดับที่วัดมาในช่วงเวลาหนึ่ง จะใช้ในการคำนวณหาปริมาตรของน้ำในช่วงเวลานั้น เพื่อให้ทราบถึงปริมาตรของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปจาก ปริมาตรของช่วงเวลาก่อนหน้า และนำผลการคำนวณดังกล่าวไปใช้ในการวิเคราะห์เรื่องต่างๆ ต่อไป

ในส่วนตัวฝาย ซึ่งมีความยาวจากตำแหน่งที่วัดหน้าตัดลำน้ำจุดสุดท้าย ไปจนถึงสิ้นสุดตัวฝาย เท่ากับ 0.78 เมตร แบ่งเป็นบริเวณทางเข้าฝายยาว 0.26 เมตร และ ตัวฝายยาว 0.62 เมตร โดยในส่วนนี้จะมีจุดวัดระดับของน้ำครอบคลุมพื้นที่ ตั้งแต่ 14-21 จุด แตกต่างกันไปตามรูปแบบฝาย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของน้ำในส่วนนี้จะเริ่มทำการวัดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญ โดยส่วนใหญ่จะเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำมาใกล้ถึงตัวฝายแล้ว ซึ่งในหนึ่งกรณีทดลอง จะมีจำนวนช่วงในการวัดระดับของน้ำบริเวณนี้อยู่ที่ 7-12 ช่วงแล้วแต่กรณีทดลอง โดยค่าระดับที่วัดมาจะนำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของตะกอนผ่านฝาย และนำมาคำนวณหาปริมาตรของตะกอนในช่วงเวลานั้นๆ

สำหรับตะกอนที่ไหลผ่านผายไปได้ จะถูกดักไว้โดยตะแกรงดักทราย ที่นำไปติดตั้งไว้ทำยารางน้ำ โดยทรายทั้งหมดที่ถูกดักไว้ จะนำมาตากแห้งและซังน้ำหนักหลังจากเสร็จสิ้นการทดลอง ตารางที่ 4-1 ถึง 4-7 ได้สรุปผลการทดลอง ในรายละเอียดที่สำคัญไว้

#### 4.2 การนำเสนอผลการทดลอง

ผลการทดลอง นำเสนอใน 2 ลักษณะ เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจ โดยลักษณะแรก แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่เวลาต่างๆของกรณีทดลองนั้นๆ ในลักษณะรูปตัดตามยาวของรางน้ำ แสดงให้เห็นระดับท้องน้ำ และระดับน้ำ

ลักษณะที่สอง แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวผาย ในลักษณะรูปแปลน ของผาย และแสดงเส้นระดับความสูงของท้องน้ำในบริเวณตัวผาย รูปที่ 4-1 และ 4-2 แสดงรูปแบบการนำเสนอผลการทดลองทั้ง 2 ลักษณะดังกล่าว

ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำนั้น ได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ขึ้นมา ได้แก่ เวลาที่ตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวผาย ( $T_r$ ) และ ปริมาตรท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงเมื่อตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวผาย ( $V_r$ ) ดังรูป 4-1 เช่นเดียวกัน ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เวลาใดๆจะมีสัญลักษณ์เป็น  $v$  ที่ค่า  $t$  นั้นๆ

#### 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ในรางน้ำ

การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ในรางน้ำที่เวลาต่างๆพบว่า ที่เวลาการทดลองเท่ากัน การเคลื่อนที่ของตะกอนใน กรณีผายรูปแบบ A เร็วกว่า กรณีผายรูปแบบ B และ C ที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนใกล้เคียงกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เวลาที่ตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวผายของกรณีผายรูปแบบ A จะมีค่าน้อยกว่า กรณีผายรูปแบบ B และ C ( $T_{rA} < T_{rB}, T_{rC}$ ) ทั้งนี้เนื่องจากผลของความลึกน้ำหน้าผาย กรณี B และ C มากกว่ากรณี A ซึ่งเกิดจากผลกระทบของรูปแบบผายนั่นเอง นอกจากนั้นอิทธิพลของน้ำท่วม (backwater effect) ยังส่งผลไปถึงด้านเหนือน้ำทำให้ความลึกน้ำที่จุดต่างๆของกรณีผายรูปแบบ B และ C มีความลึกมากกว่ากรณี A ทำให้ตะกอนที่ทับถมที่จุดต่างๆมีปริมาณมากกว่ากรณี A ท้องน้ำจึงจะเข้าสู่สมดุลงและเคลื่อนที่ต่อไป รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำและ ความลึกน้ำหน้าผาย ของผายทั้ง 3 กรณี ที่เวลา  $t = 2:00$  hr ,และที่เวลาตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวผาย กรณี อัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005

ตาราง 4-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที  
ความลาดชันท้องน้ำ 0.005

Q = 24 ลิตร/วินาที = 0.024 ลบ.ม. /วินาที , Qs = 0.01836 กก. /วินาที = 0.000012 ลบ.ม. /วินาที , Q/Qs = 1,948						
กรณี	A-24-0.005		B-24-0.005		C-24-0.005	
ช่วงการวัดข้อมูล	เวลา ชั่วโมง	ปริมาตรท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาตรท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาตรท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.
1	0:30	19,688	0:45	32,513	0:30	27,375
2	1:00	47,025	1:30	60,506	1:15	81,300
3	1:30	64,275	2:00	83,869	2:00	83,869
4	2:00	86,813	2:30	118,144	2:30	112,181
5	2:30	107,100	3:30	151,256	3:00	139,875
6	3:00	134,100	4:00	166,950	3:30	167,213
7	3:45	165,788	4:30	197,269	4:00	181,538
8	4:03( $T_r$ )	179,095	4:34( $T_r$ )	200,226	4:30( $T_r$ )	204,075
9	5:02( $T_e$ )	216,823	5:45( $T_e$ )	224,213	4:55( $T_e$ )	209,025
ปริมาตรทรายที่ไหลผ่านฝาย $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	4,989		18,733		10,140	
ประสิทธิภาพการดักตะกอน (%)	97.70		92.09		95.34	

หมายเหตุ :  $T_r$  = เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำมาถึงตัวฝาย

$T_e$  = เวลาสิ้นสุดการทดลอง

ตาราง 4-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 26 ลิตร/วินาที  
ความลาดชันท้องน้ำ 0.003

Q = 26 ลิตร / วิ = 0.026 ลบ.ม. / วิ , Qs = 0.00831 กก. / วิ = 0.000006 ลบ.ม. / วิ , Q/Qs = 4,662						
กรณี	A-26-0.003		B-26-0.003		C-26-0.003	
ช่วงการวัดข้อมูล	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.
1	1:00	22,669	1:30	33,900	2:00	39,675
2	2:30	49,050	3:00	67,087	3:00	60,750
3	3:30	71,625	4:30	90,862	5:00	93,281
4	4:30	89,775	6:00	117,825	6:30	135,037
5	5:30	118,453	7:30	146,062	8:00	164,062
6	7:00	141,131	9:00	188,587	9:30	198,037
7	8:00	154,088	10:00	201,975	11:25( $T_r$ )	228,487
8	9:00	181,950	10:20( $T_r$ )	208,667	13:01( $T_e$ )	240,187
9	9:30( $T_r$ )	191,989	12:29( $T_e$ )	226,744		
10	11:46( $T_e$ )	213,019				
ปริมาตรทรายที่ไหลผ่านฝาย $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.		6,839		13,483		17,949
ประสิทธิภาพการตกตะกอน (%)		97.02		94.34		92.83

หมายเหตุ :  $T_r$  = เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำมาถึงตัวฝาย

$T_e$  = เวลาสิ้นสุดการทดลอง

ตาราง 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 26 ลิตร/วินาที  
ความลาดชันท้องน้ำ 0.005

Q = 26 ลิตร/วิ = 0.026 ลบ.ม. /วิ , Qs = 0.02366 กก. /วิ = 0.000016 ลบ.ม. /วิ , Q/Qs = 1,637						
กรณี	A-26-0.005		B-26-0.005		C-26-0.005	
ช่วงการวัดข้อมูล	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.
1	0:30	37,125	0:30	25,931	0:15	17,531
2	1:00	54,193	1:10	66,975	0:45	45,056
3	1:30	91,013	1:30	91,875	1:30	82,623
4	2:00	117,225	2:00	112,800	2:00	117,956
5	2:30	132,075	2:30	129,225	2:30	146,062
6	3:00	174,038	3:00	160,350	3:00	172,556
7	3:04(T <sub>r</sub> )	177,849	3:30	198,843	3:40	208,218
8	4:15(T <sub>e</sub> )	206,888	3:36(T <sub>r</sub> )	204,560	3:41(T <sub>r</sub> )	209,171
9			4:36(T <sub>e</sub> )	230,268	4:18(T <sub>e</sub> )	214,462
ปริมาณทรายที่ไหลผ่านฝาย $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	17,033		18,237		24,929	
ประสิทธิภาพการดักตะกอน (%)	92.41		92.51		88.86	

หมายเหตุ : T<sub>r</sub> = เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำมาถึงตัวฝาย

T<sub>e</sub> = เวลาสิ้นสุดการทดลอง

ตาราง 4-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 28 ลิตร/วินาที  
ความลาดชันท้องน้ำ 0.003

Q = 28 ลิตร /วินาที = 0.028 ลบ.ม. /วินาที , Qs = 0.00977 กก. /วินาที = 0.000007 ลบ.ม. /วินาที , Q/Qs = 4,270						
กรณี	A-28-0.003		B-28-0.003		C-28-0.003	
ช่วงการ วัดข้อมูล	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่ เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่ เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่ เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.
1	1:00	23,663	1:00	25,368	1:00	25,800
2	2:00	49,875	2:00	55,162	2:00	42,843
3	3:00	68,213	3:30	82,912	3:00	66,918
4	4:00	99,788	4:30	104,400	4:00	101,737
5	5:00	116,550	5:30	132,037	5:00	113,812
6	6:00	148,613	6:30	154,481	6:30	151,837
7	7:00	165,806	7:30	182,100	8:00	193,912
8	8:00	196,781	8:45	208,012	9:30	223,050
9	8:45	205,463	9:20(T <sub>r</sub> )	221,782	9:37(T <sub>r</sub> )	225,803
10	8:47(T <sub>r</sub> )	206,249	10:57(T <sub>e</sub> )	229,087	11:13(T <sub>e</sub> )	230,962
11	11:31(T <sub>e</sub> )	235,725				
ปริมาณที่ไหลผ่าน ฝาย $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	18,265		18,332		29,114	
ประสิทธิภาพ การตก ตะกอน (%)	92.80		92.45		87.89	

หมายเหตุ : T<sub>r</sub> = เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำมาถึงตัวฝาย

T<sub>e</sub> = เวลาสิ้นสุดการทดลอง



ตาราง 4-5 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 28 ลิตร/วินาที  
ความลาดชันท้องน้ำ 0.005

Q = 28 ลิตร / วิ = 0.028 ลบ.ม. / วิ , Qs = 0.02672 กก. / วิ = 0.000018 ลบ.ม. / วิ , Q/Qs = 1,561						
กรณี	A-28-0.005		B-28-0.005		C-28-0.005	
ช่วงการวัดข้อมูล	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.
1	0:30	26,400	0:30	22,537	0:30	27,712
2	1:00	70,013	1:00	60,900	1:00	53,025
3	1:30	88,913	1:30	84,412	1:30	96,731
4	2:00	127,763	2:00	127,162	2:00	126,000
5	2:30	162,675	2:30	166,537	2:30	171,112
6	2:38(T <sub>r</sub> )	171,283	3:00	190,968	3:05	199,012
7	3:24(T <sub>e</sub> )	179,475	3:12(T <sub>r</sub> )	203,880	3:10(T <sub>r</sub> )	204,392
8			3:51(T <sub>e</sub> )	222,825	3:40(T <sub>e</sub> )	208,912
ปริมาณทรายที่ไหลผ่านฝาย $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	15,535		15,481		26,102	
ประสิทธิภาพการดักตะกอน (%)	92.06		93.41		88.00	

หมายเหตุ : T<sub>r</sub> = เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำมาถึงตัวฝาย

T<sub>e</sub> = เวลาสิ้นสุดการทดลอง

ตาราง 4-6 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 30 ลิตร/วินาที  
ความลาดชันท้องน้ำ 0.003

Q = 30 ลิตร /วินาที = 0.030 ลบ.ม. /วินาที , Qs = 0.01108 กก. /วินาที = 0.00007 ลบ.ม. /วินาที , Q/Qs = 4,034						
กรณี	A-30-0.003		B-30-0.003		C-30-0.003	
ช่วงการวัดข้อมูล	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.
1	1:00	34,612	1:00	29,100	1:00	22,743
2	2:00	57,037	2:00	47,250	2:00	56,156
3	3:00	82,537	3:00	82,612	3:00	88,406
4	4:00	114,075	4:00	107,962	4:00	108,468
5	5:00	133,312	5:00	128,456	5:00	138,431
6	6:00	151,462	6:00	162,993	6:00	162,656
7	7:00	187,612	7:00	184,500	7:00	199,668
8	7:48( $T_r$ )	209,028	8:00	211,537	8:00	217,106
9	8:54( $T_e$ )	215,850	8:20( $T_r$ )	220,460	8:28( $T_r$ )	229,599
10			9:46( $T_e$ )	235,162	9:55( $T_e$ )	240,900
ปริมาตรทรายที่ไหลผ่านฝาย $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	11,915		17,979		28,154	
ประสิทธิภาพการดักตะกอน (%)	94.82		92.69		88.75	

หมายเหตุ :  $T_r$  = เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำมาถึงตัวฝาย

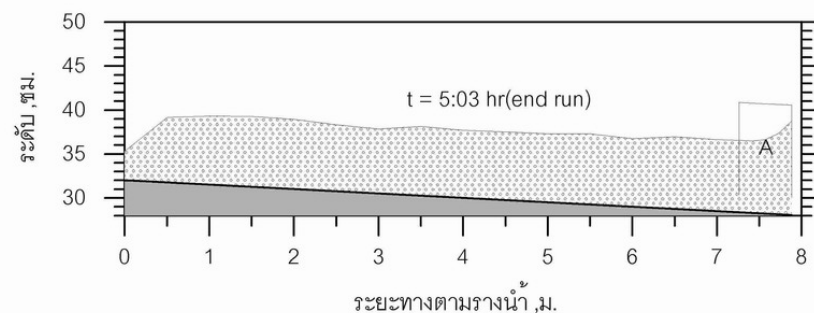
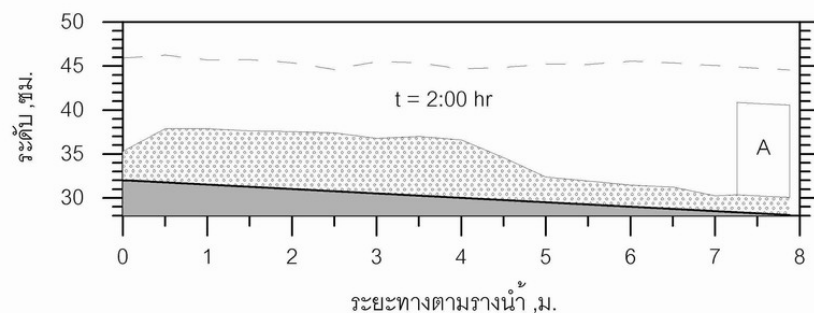
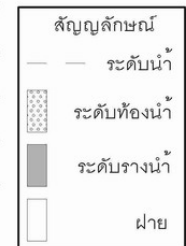
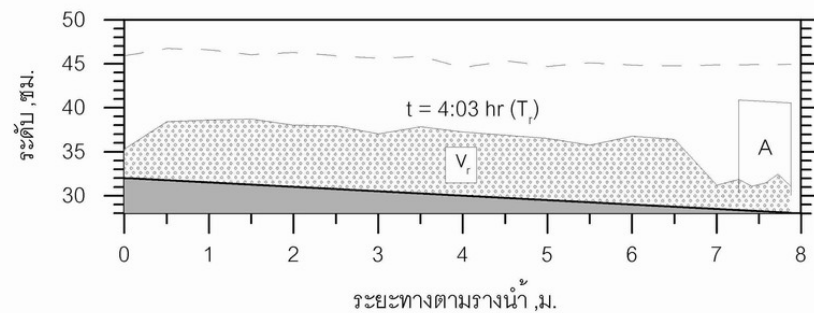
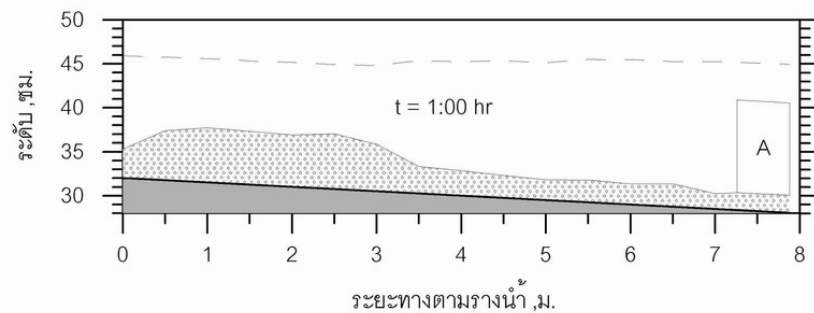
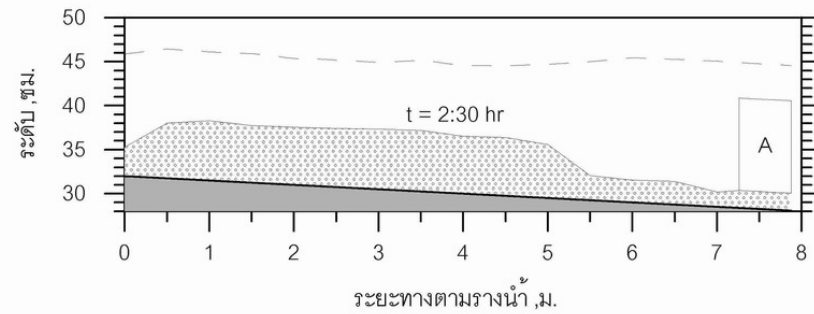
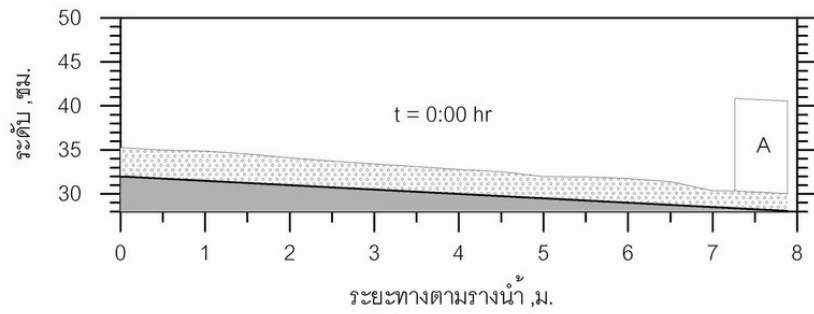
$T_e$  = เวลาสิ้นสุดการทดลอง

ตาราง 4-7 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ช่วงเวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 30 ลิตร/วินาที  
ความลาดชันท้องน้ำ 0.005

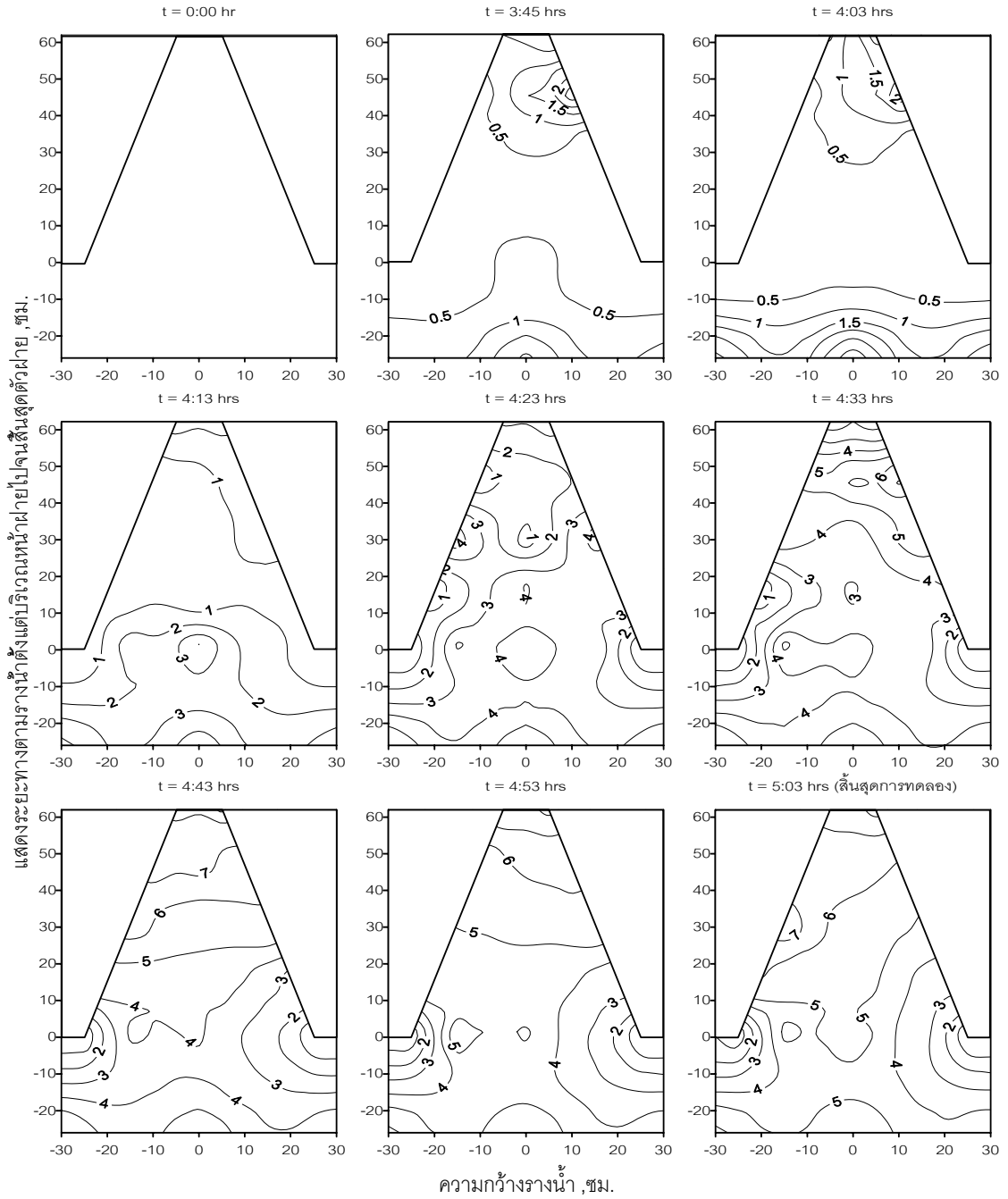
Q = 30 ลิตร / วิ = 0.030 ลบ.ม. / วิ , Qs = 0.03030 กก. / วิ = 0.000020 ลบ.ม. / วิ , Q/Qs = 1,475						
กรณี	A-30-0.005		B-30-0.005		C-30-0.005	
ช่วงการ วัดข้อมูล	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำที่ เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำ ที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	เวลา ชั่วโมง	ปริมาณน้ำ ที่เปลี่ยนแปลง $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.
1	0:20	32,175	0:15	25,912	0:30	24,262
2	0:40	46,087	0:45	58,518	1:00	85,087
3	1:00	75,600	1:00	80,400	1:30	111,637
4	1:20	96,112	1:30	115,537	2:00	133,162
5	1:40	118,012	2:00	143,587	2:30	182,955
6	2:00	141,975	2:35( $T_r$ )	189,300	2:38( $T_r$ )	192,716
7	2:20	161,662	3:21( $T_e$ )	216,712	3:12( $T_e$ )	206,606
8	2:31( $T_r$ )	175,038				
9	3:12( $T_e$ )	196,481				
ปริมาตรรวม ที่ไหลผ่านฝาย $\times 10^{-6}$ ลบ.ม.	19,968		19,683		25,491	
ประสิทธิภาพ การดักตะกอน (%)	90.52		97.36		88.16	

หมายเหตุ :  $T_r$  = เวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำมาถึงตัวฝาย

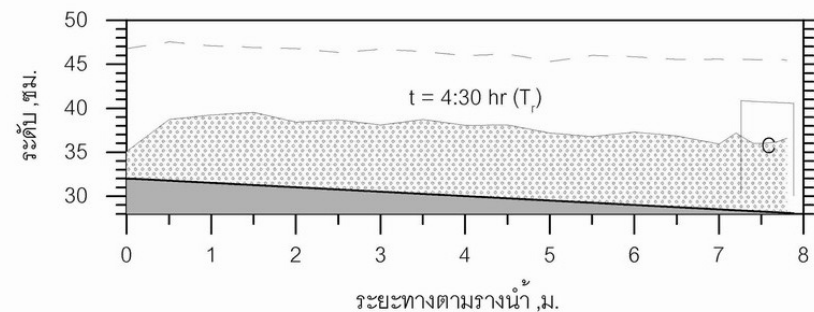
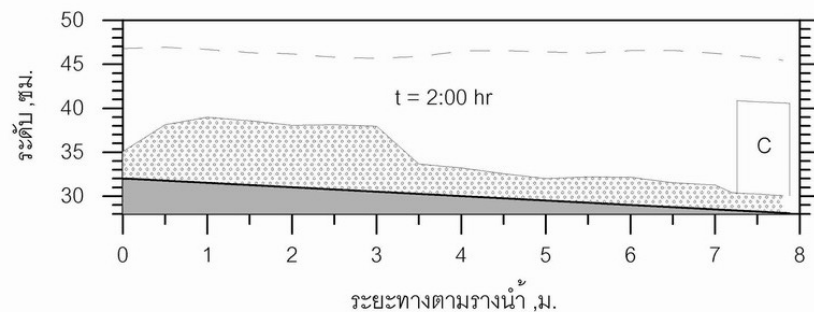
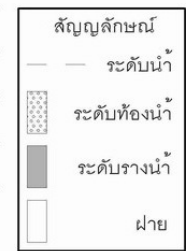
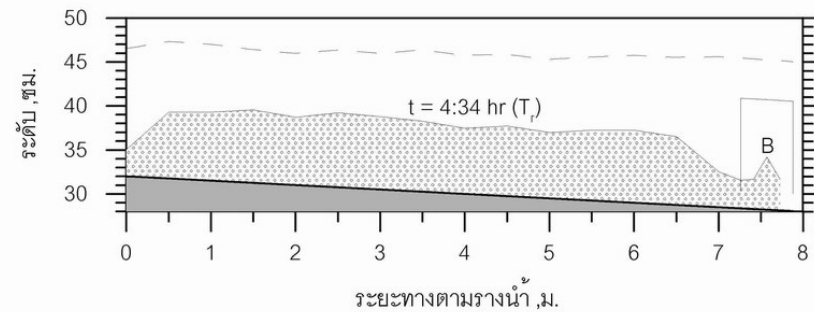
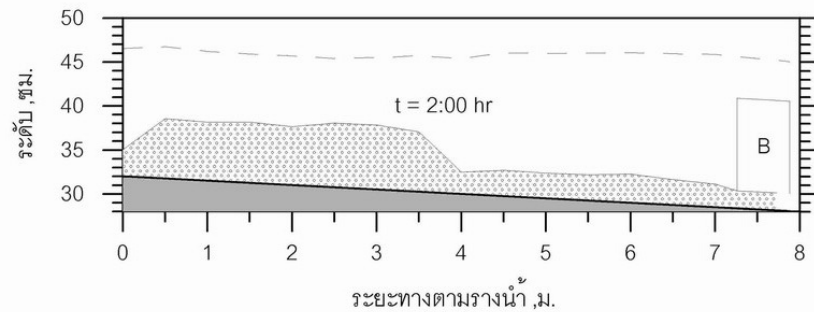
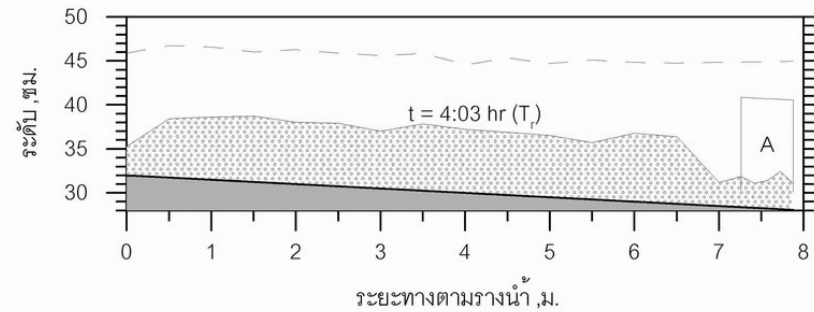
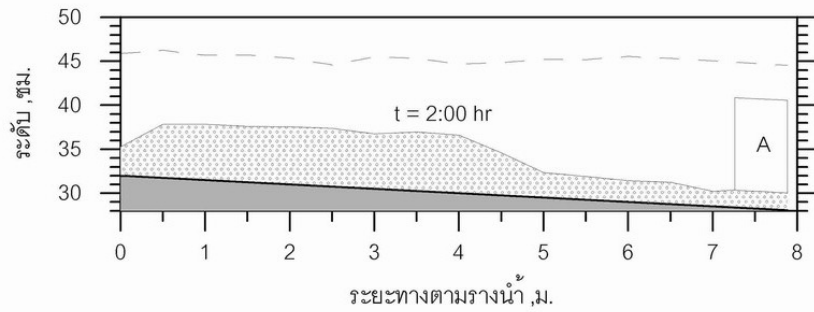
$T_e$  = เวลาสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4 - 1 รูปแบบการนำเสนอการเปลี่ยนแปลงห้องน้ำ ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4-2 รูปแบบการนำเสนอกการเปลี่ยนแปลงที่องน้ำบริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ



รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ของรูปแบบฝายต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตรวินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 ที่เวลา 2.00 hr และ  $T_r$

#### 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย

การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย จะแตกต่างกันไปแล้วแต่กรณีรูปแบบฝาย ดังแสดงไว้แล้วในรูปที่ 1-1 ถึง 1-3 การวิเคราะห์จึงต้องแยกพิจารณาเป็นกรณีๆไป ส่วน แสดงตำแหน่งจุดวัดระดับท้องน้ำของฝายทั้ง 3 รูปแบบ ได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 3-7

##### 4.4.1 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย กรณีฝายรูปแบบ A

ฝายรูปแบบ A มีลักษณะเป็นฝายหยักที่มีผนังตั้งตรง และไม่มีควมลาดชันด้านหน้าตัวฝาย ฝายรูปแบบดังกล่าวเป็นฝายหยักรูปแบบมาตรฐานที่มีการก่อสร้างขึ้น รวมทั้งเป็นรูปแบบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย ศักยภาพของฝายหยัก ในการศึกษาที่ผ่านมา จึงเป็นรูปแบบที่ใช้ในการอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับอีก 2 รูปแบบที่เหลือได้อย่างดี

การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย สามารถอธิบายได้โดยรูปที่ 4-4 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝายรูปแบบ A ที่เวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 โดยการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย เริ่มเมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ถึงตัวฝาย ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกอิทธิพลจากความปั่นป่วนของกระแสหน้าบริเวณหน้าฝาย พัดให้ตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาในตัวฝาย และจะไปทับถมกันอยู่ด้านในสุดของตัวฝายบริเวณจุดที่ 15 และ 16 ดัง ที่เวลา  $t = 3:45$  hr และจะมีพื้นที่การทับถมมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป และด้วยอิทธิพลจากความปั่นป่วนของกระแสน้ำที่ปะทะกับหน้าฝาย ทำให้ตะกอนบริเวณนี้ไหลข้ามตัวฝายออกไปได้เป็นส่วนแรกๆ แต่ปริมาตรที่ไหลข้ามไปได้ยังมีส่วนน้อย ส่วนบริเวณอื่นในตัวฝายจะยังไม่มีการทับถม จนกระทั่งหลังเวลา  $T_r$  คือเมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาถึงตัวฝาย จึงเกิดการทับถมบริเวณอื่นที่ตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาถึง และจะมีระดับสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ยกเว้นบริเวณจุดที่ 1 และ จุดที่ 5 ซึ่งเป็นบริเวณที่กระแสน้ำปะทะเข้ากับปีกของฝาย ทำให้เกิดการกัดเซาะบริเวณนี้ ทำให้ไม่มีการทับถมของตะกอนรอบบริเวณดังกล่าว ขณะเดียวกันตะกอนก็สามารถไหลผ่านด้านหน้าฝายไปได้มากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเวลาหนึ่งซึ่งท้องน้ำเข้าสู่สมดุลใหม่ และท้องน้ำหยุดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเมื่อถึงเวลานี้ ปริมาตรทรายที่ปล่อยเข้ามา จะเท่ากับปริมาตรตะกอนทรายที่เคลื่อนที่ผ่านฝายออกไป

ใน รูปที่ 4-5 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสมดุลท้องน้ำใหม่ บริเวณตัวฝาย ของกรณีอัตราการไหล 24 กับ 30 ลิตร/วินาที ที่ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 เท่ากัน จะเห็นว่าระดับท้องน้ำตั้งแต่บริเวณทางเข้าฝาย จนถึงบริเวณกลางฝายมีระดับต่ำกว่า และมีความลาดชันของท้องน้ำบริเวณหน้าฝาย ชันกว่าในกรณีอัตราการไหล 30 ลิตร/วินาที

#### 4.4.2 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย กรณีฝายรูปแบบ B

ฝายรูปแบบ B เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันของผนังตัวฝายตลอดความยาว โดยได้แนวคิดมาจากการศึกษาที่ผ่านมาที่พบว่าฝายที่มีความลาดเอียงด้านหน้าจากพื้นสู่สันฝายจะเพิ่มอัตราการไหลของน้ำและตะกอน โดยได้ประยุกต์ให้ฝายรูปแบบนี้มีความลาดชันทั้งด้านหน้าและด้านข้างไปตลอดความยาวสันฝาย

การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย สามารถอธิบายได้โดยรูปที่ 4-6 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝายรูปแบบ B ที่เวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 โดยการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย เริ่มเมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ถึงตัวฝาย ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกกักกั้นจากความปั่นป่วนของกระแสน้ำบริเวณหน้าฝาย พัดให้ตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาในตัวฝาย และจะไปทับถมกันอยู่ด้านในสุดของตัวฝายบริเวณจุดที่ 14 ดัง ที่เวลา  $t = 4:00$  hr แต่ตะกอนบริเวณนี้จะมี ความสูงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หรือไม่มีเลยที่อัตราการไหลสูงขึ้น เพราะจะถูกกักกั้นจากความปั่นป่วนของกระแสน้ำและความลาดเอียงของฝายพาให้ไหลเข้าไปอยู่ตลอดเวลา จนเมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาถึงตัวฝาย ( $T_r = 4:34$  hr) จึงจะมีการเคลื่อนที่เป็นลักษณะลิ่มเข้ามาบริเวณกลางฝาย (บริเวณจุดที่ 7 และ 10) ดังที่เวลา  $t = 4:40$  hr และจะทับถมสูงขึ้น ขณะเดียวกันตะกอนก็จะไหลเข้ามาฝายไปอยู่ตลอดเวลาโดยจุดที่ตะกอนไหลเข้ามาไปมากที่สุดอยู่บริเวณจุดที่ 12 13 และ 14 จนตะกอนทับถมกันที่ระดับหนึ่งก็จะหยุดการเปลี่ยนแปลง หนึ่งซึ่งท้องน้ำเข้าสู่สมดุลใหม่ ปริมาตรทรายที่ปล่อยเข้ามา จะเท่ากับ ปริมาตรตะกอนทรายที่เคลื่อนที่ผ่านฝายออกไป

ใน รูปที่ 4-7 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสมดุลท้องน้ำใหม่ บริเวณตัวฝาย ของกรณีอัตราการไหล 24 กับ 30 ลิตร/วินาที ที่ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 เท่ากัน จะเห็นว่าในกรณีอัตราการไหล 30 ลิตร/วินาที ระดับท้องน้ำโดยเฉลี่ยมีระดับต่ำกว่า และระดับท้องน้ำมีความใกล้เคียงกัน



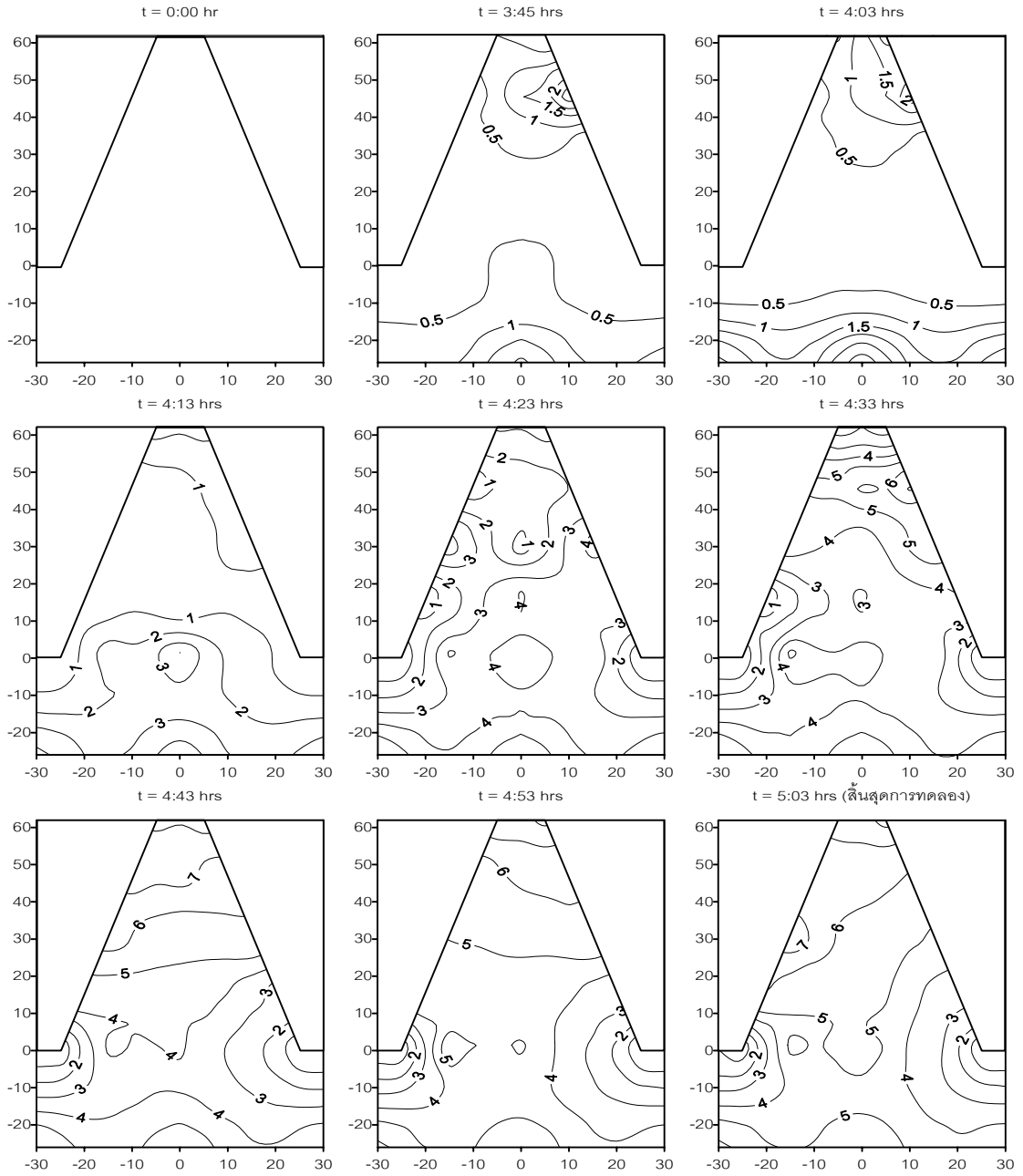
#### 4.4.3 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวฝาย กรณีฝายรูปแบบ C

ฝายรูปแบบ C เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันด้านหน้าตัวฝายรวมทั้งมีอาคารที่มีความลาดชันบริเวณทางเข้าตัวฝาย ฝายรูปแบบนี้มีแนวคิดที่ว่า ความลาดชันบริเวณทางเข้าฝาย และด้านหน้าตัวฝาย จะส่งผลให้ตะกอนสามารถกลิ้งผ่านฝายไปได้ง่ายขึ้น

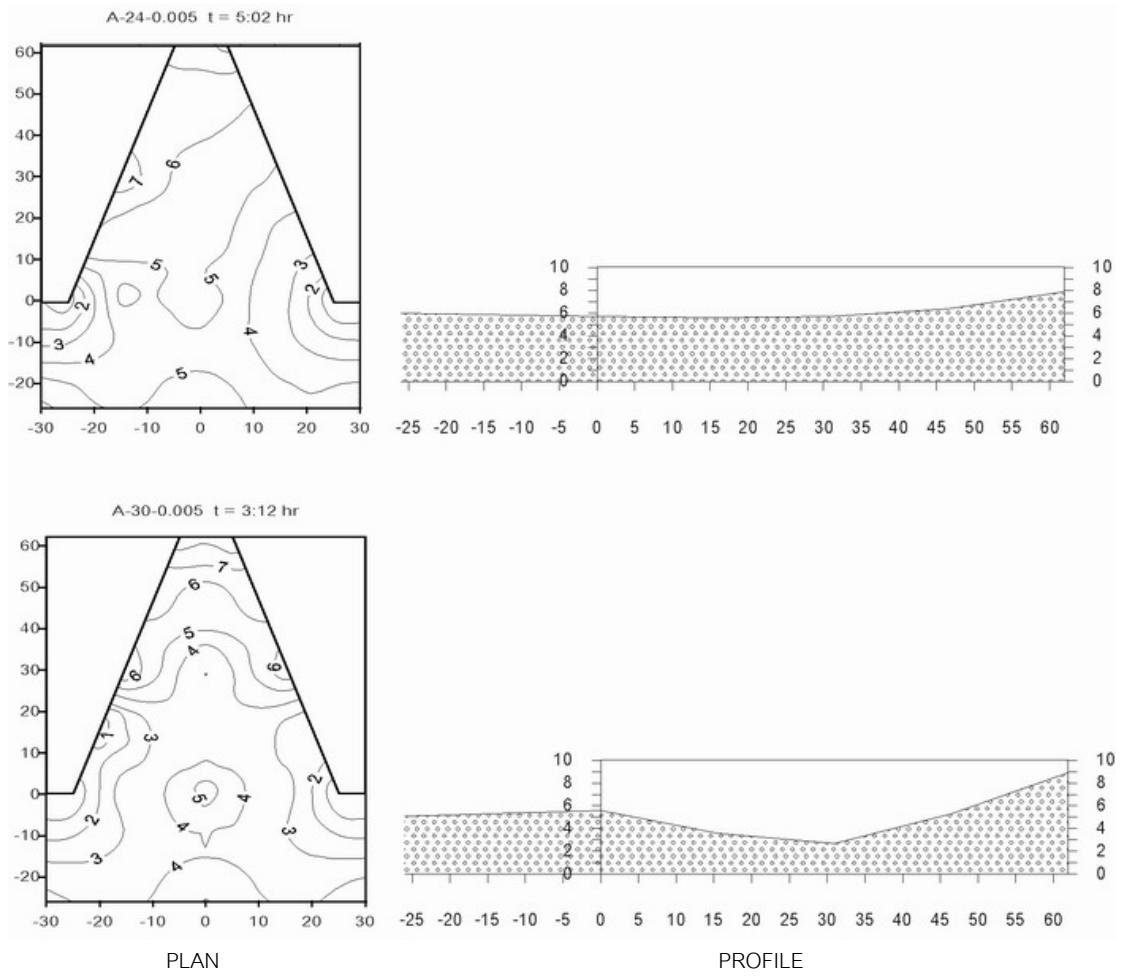
การเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวฝาย สามารถอธิบายได้โดยรูปที่ 4-8 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวฝายรูปแบบ C ที่เวลาต่างๆ กรณีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที ความลาดชันของน้ำ 0.005 โดยการเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวฝาย เริ่มเมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ถึงตัวฝาย ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกกักกั้นจากความปั่นป่วนของกระแสน้ำบริเวณหน้าฝายพัดเข้ามา และทับถมกันบริเวณทางลาดเข้าตัวฝาย (บริเวณจุดที่ 3) และที่จุดนี้ตะกอนบางส่วนจะกลิ้งผ่านทางลาดเข้ามาทับถมด้านหน้าตัวฝาย หรือไม่ก็ไหลผ่านฝายไปเลย จนเมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาถึงตัวฝาย ( $T_r = 4:30$  hr) ตะกอนจะทับถมที่ทางลาดเข้าตัวฝาย (บริเวณจุดที่ 1-5)

และมีระดับสูงขึ้นเรื่อยๆจนถึงจุดสมดุลใหม่ ขณะเดียวกันจะมีตะกอนที่เคลื่อนที่เข้าไปทับถมภายในตัวฝายและไหลข้ามฝายไปอยู่ตลอดเวลา ซึ่งลักษณะการทับถมจะมีลักษณะที่ไม่แน่นอน มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

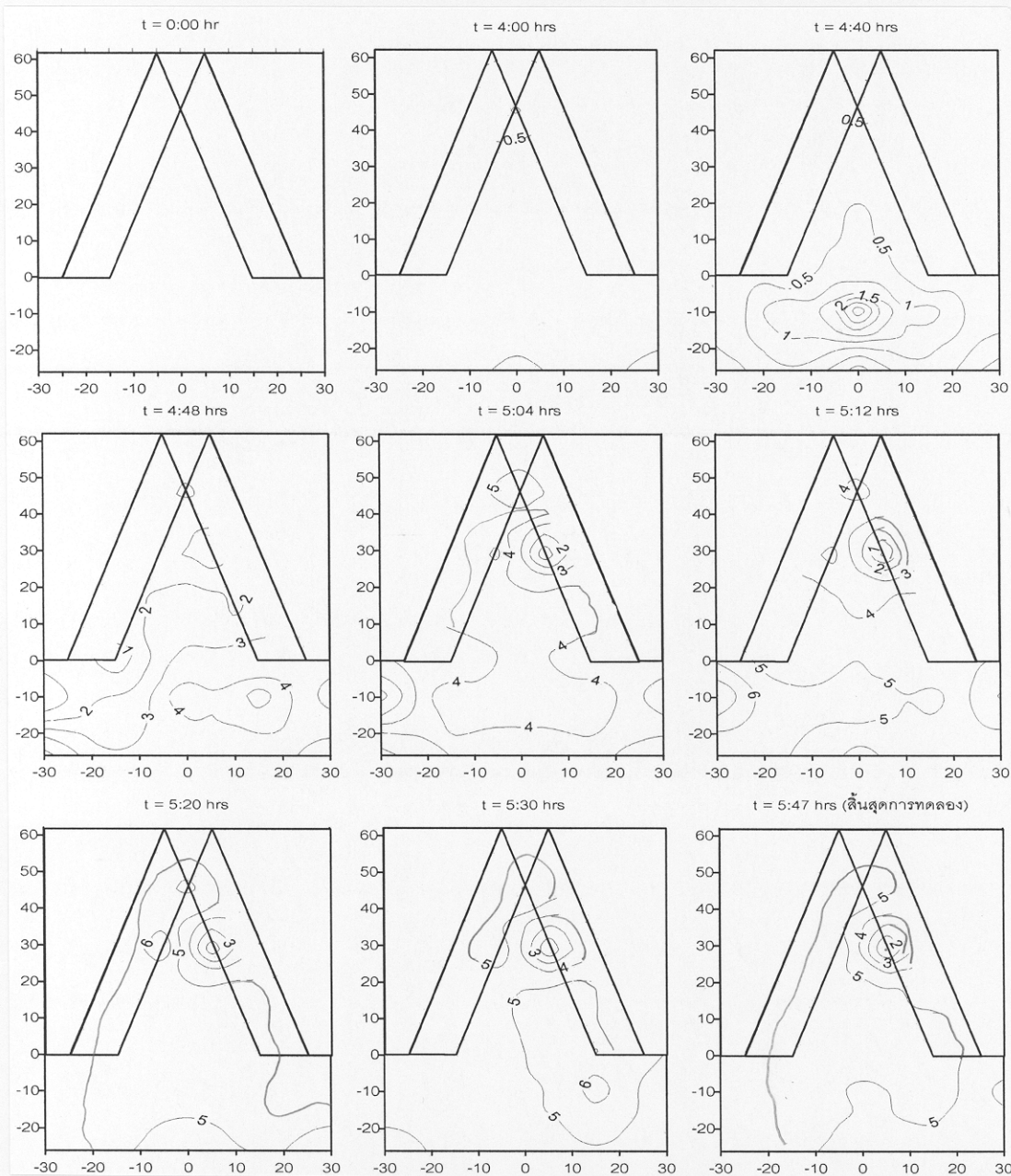
ใน รูปที่ 4-9 แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของสมดุลของน้ำใหม่ บริเวณตัวฝาย ของกรณีอัตราการไหล 24 กับ 30 ลิตร/วินาที ที่ความลาดชันของน้ำ 0.005 เท่ากัน จะเห็นว่าลักษณะของน้ำมีความใกล้เคียงกัน แต่ปริมาตรตะกอนที่สะสมภายในตัวฝายส่วนบนจะมีปริมาตรน้อยกว่า สำหรับกรณีอัตราการไหล 30 ลิตร/วินาที



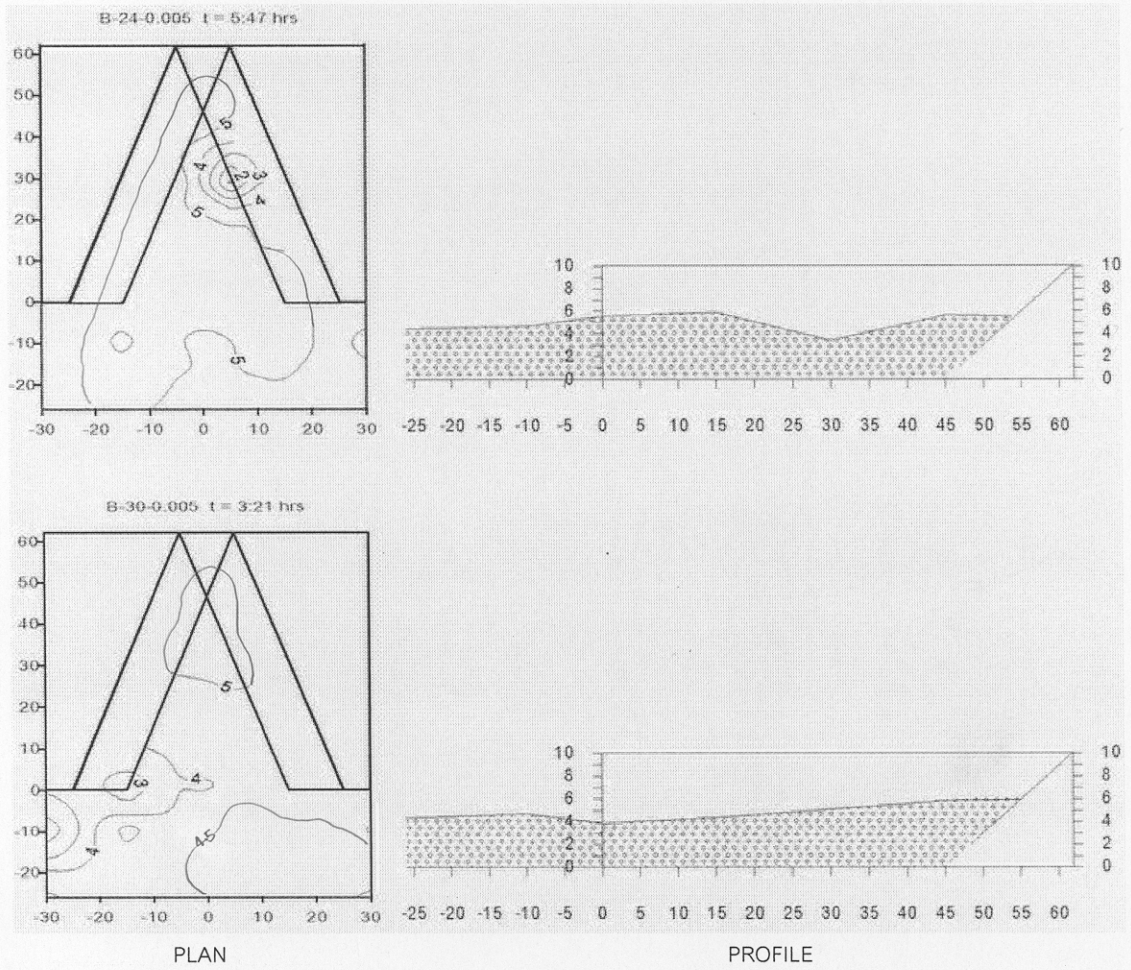
รูปที่ 4 - 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ กรณี A-24-0.005



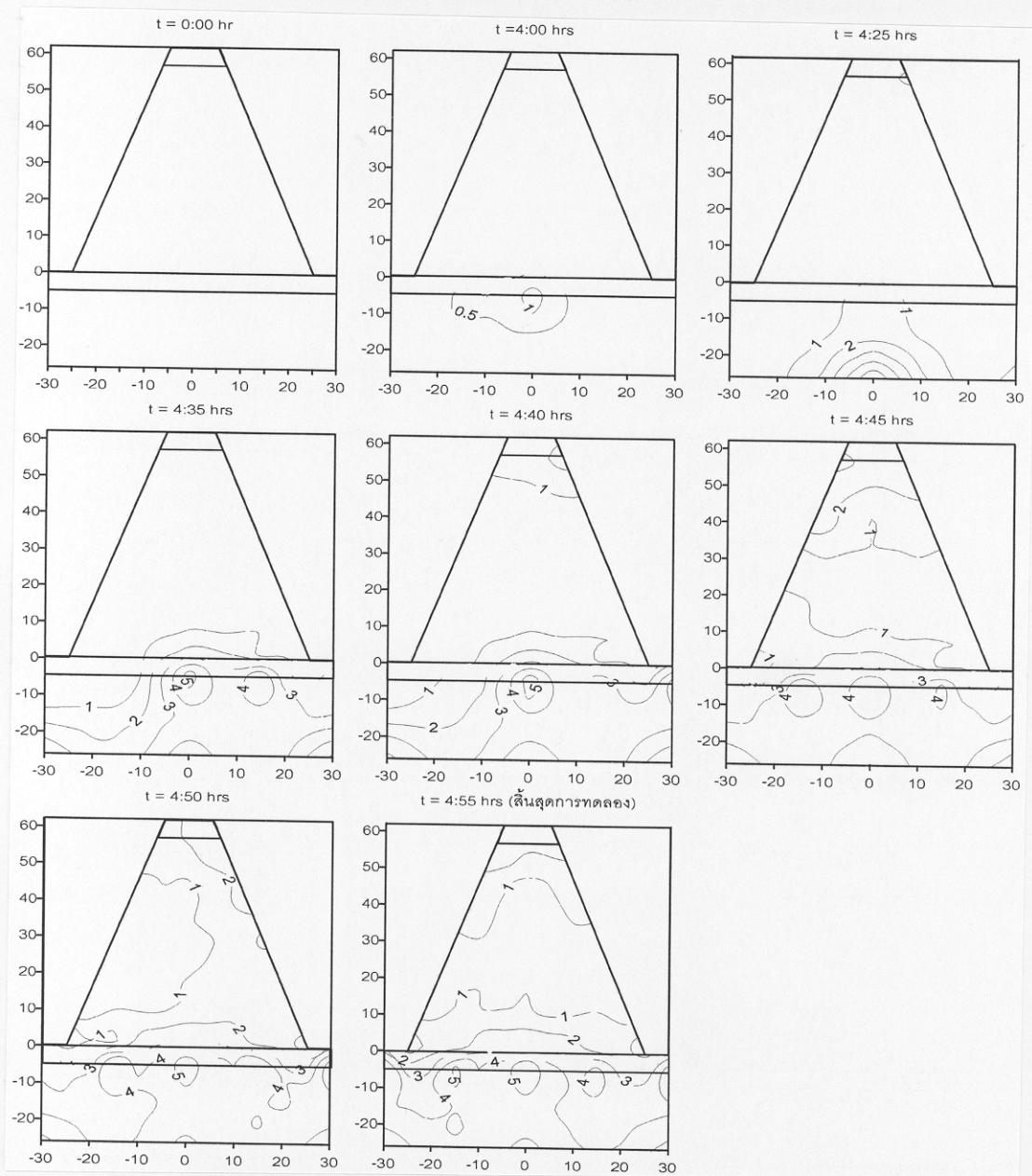
รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท่อน้ำที่จุดสมดุลงท่อน้ำใหม่ บริเวณตัวฝายรูปแบบ A



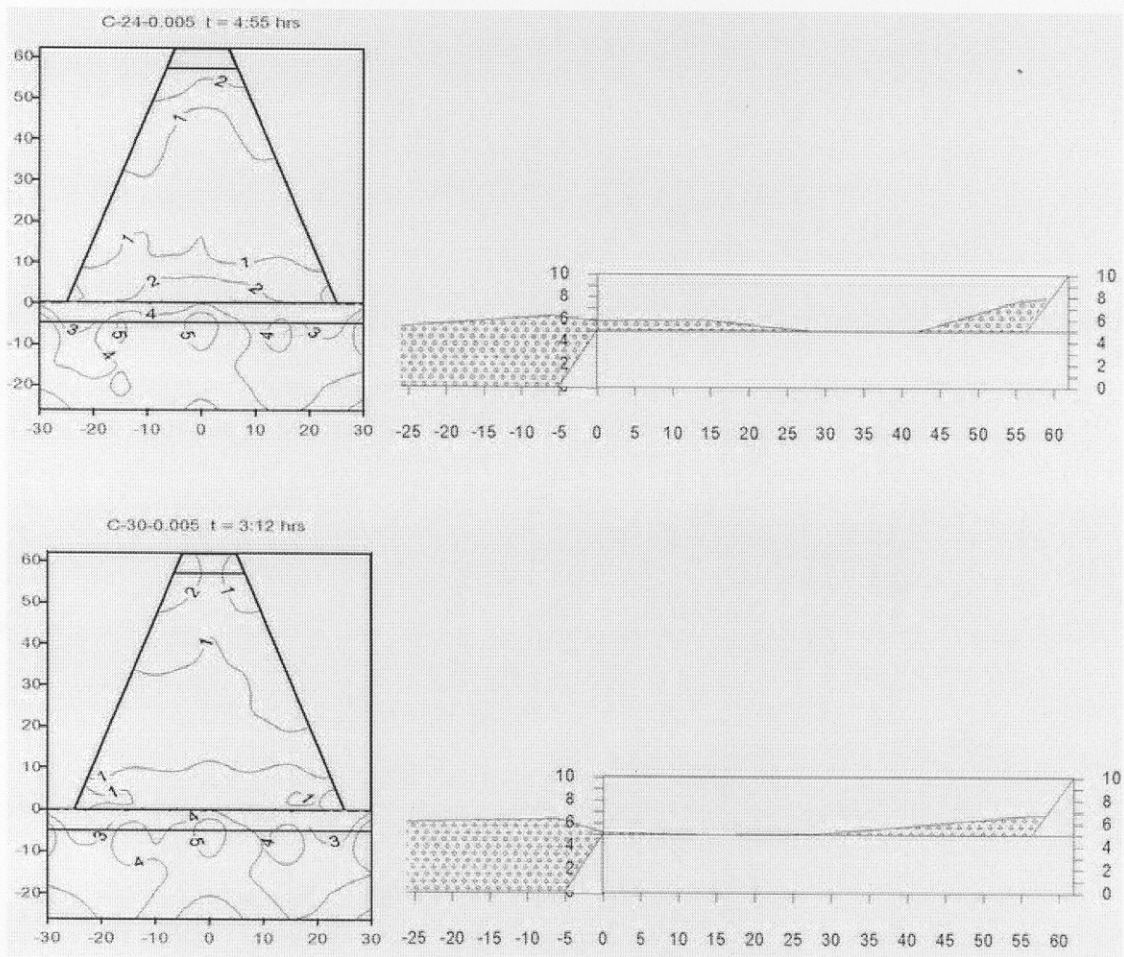
รูปที่ 4-6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ กรณี B-24-0.005



รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่จุดสมดุลงตื้นน้ำใหม่ บริเวณตัวฝายรูปแบบ B



รูปที่ 4-8 แสดงการเปลี่ยนแปลงของน้ำ บริเวณตัวฝาย ที่เวลาต่างๆ กรณี C-24-0.005



PLAN

PROFILE

รูปที่ 4-9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่จุดสมดุลงัดน้ำใหม่ บริเวณตัวฝายรูปแบบ C

## บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ ทั้งในลักษณะทางกายภาพ และ ความสัมพันธ์ในรูปแบบตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของน้ำ และการไหลของน้ำและตะกอนผ่านฝายหยัก ที่มีรูปแบบที่แตกต่างกัน

### 5.1 วิเคราะห์สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝายหยัก

สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านฝายหยัก คำนวณได้จากสมการที่ 2-6

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_e \sqrt{2g} H_t^{1.5}$$

สำหรับค่า  $C_d$  ที่คำนวณเป็นค่า  $C_d$  ในช่วงเริ่มต้นการทดลอง และ ในช่วงที่ตะกอนเคลื่อนที่เข้าถึงตัวฝาย เพื่อแสดงให้เห็นถึงค่า  $C_d$  ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีตะกอนเคลื่อนที่เข้ามา และได้นำมาแสดงไว้ในรูปความสัมพันธ์ระหว่าง  $H_t/P$  กับ  $C_d$  โดย  $P$  คือความสูงฝาย ดังแสดงในรูปที่ 5-1

จากรูปดังกล่าว ค่า  $H_t/P$  ของฝาย A มีค่าอยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6 ค่า  $C_d$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.65 ส่วนค่า  $H_t/P$  และ ค่า  $C_d$  ของฝาย B และ C มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.65 และ 0.45 - 0.55 เหมือนกัน และจากรูปที่แสดงความสัมพันธ์รวมของทั้ง 3 ฝาย แสดงให้เห็นว่าในช่วงข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ที่อัตราการไหลเท่ากัน ฝาย A มีค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสูงกว่าฝาย B และ C หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ที่อัตราการไหลเท่ากัน ฝาย A จะมีเสถียรภาพของน้ำเหนือสันฝายต่ำกว่าฝาย B และ C

ส่วนแนวโน้มของเส้นความสัมพันธ์ของฝายทั้ง 3 รูปแบบ มีลักษณะเหมือนกัน คือค่า  $C_d$  มีค่าลดลงเป็นเชิงเส้นเมื่อค่า  $H_t/P$  เพิ่มขึ้น ซึ่งเท่ากับว่าเมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้าสู่ตัวฝาย ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝายทั้ง 3 รูปแบบจะมีค่าลดลง แต่ความลาดชันของเส้นความสัมพันธ์ของฝาย A มีความลาดชันมากกว่า และเมื่อนำรูปที่แสดงความสัมพันธ์รวมของทั้ง 3 ฝาย มาต่อเส้นออกไปดังแสดงในรูปที่ 5-2 โดยต่อออกไปในลักษณะเส้นตรง ซึ่งอ้างอิงจากผลการศึกษาที่ผ่านมาของ Tullis และ Waldron (1995) โดยจะเห็นว่าในช่วงที่ต่อเส้นความสัมพันธ์ออกไปซึ่งเป็นช่วงที่มีค่า  $H_t/P$  ระหว่าง 0.4-0.7 กราฟความสัมพันธ์ของฝายหยักที่มีมุมฝายของฝาย 18° จากผลการศึกษาของ

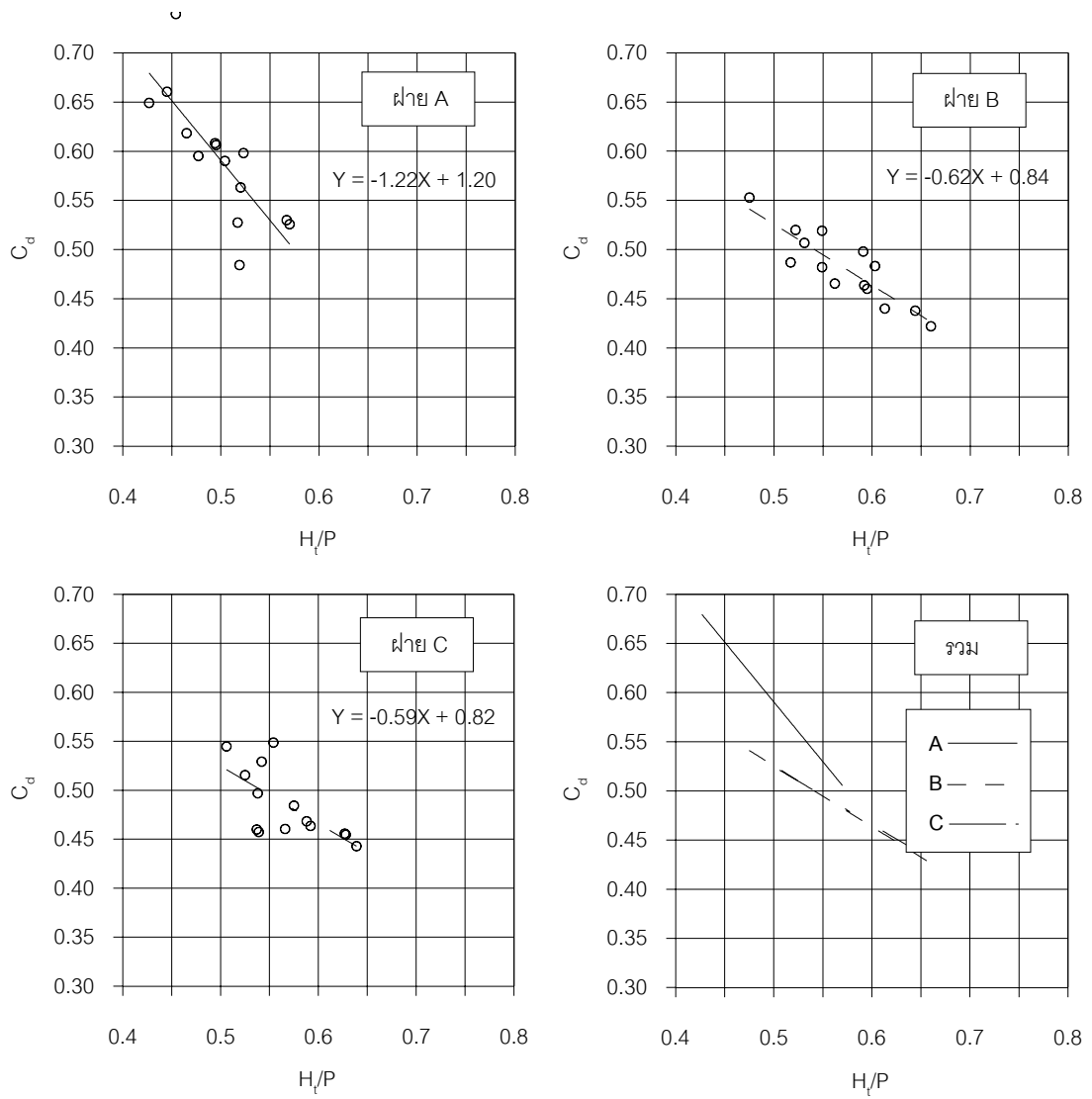


Tullis และ Waldron (1995) ซึ่งเป็นฝ่ายที่มีมุมผายเดียวกันกับแบบจำลองผายหยักที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีลักษณะเป็นเส้นตรง ดังแสดงในรูปที่ 5-3 ซึ่งผลได้พบว่าเมื่อค่า  $H/P$  เพิ่มขึ้น อัตราการลดลงของค่า  $C_d$  ของ ฝ่าย A เร็วกว่าของฝ่าย B และ C และเมื่อค่า  $H/P$  มีค่ามากกว่า 0.65 ค่า  $C_d$  ของฝ่าย A มีแนวโน้มเริ่มมีค่าน้อยกว่าของฝ่าย B และ C

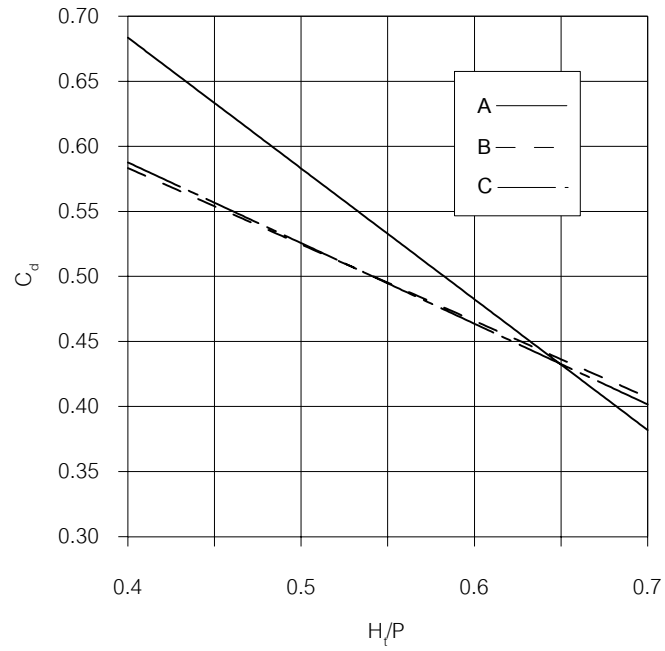
ในช่วงที่น้ำไหลผ่านผาย การสูญเสียพลังงานที่ทำให้ประสิทธิภาพการไหลของน้ำลดลง จะเกิดจาก แรงเสียดทานระหว่างน้ำกับผิวสัมผัส และ ความปั่นป่วนของน้ำบริเวณหน้าผายเป็นหลัก ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ เมื่อค่า  $H/P$  น้อยๆ หรือ เสดรวมเหนือสันผายมีค่าน้อย แรงเสียดทานระหว่างการไหลของน้ำกับผิวสัมผัสมีผลต่อประสิทธิภาพการไหลมากกว่า ความปั่นป่วนของน้ำหน้าผาย ทำให้ประสิทธิภาพการไหลของฝ่าย A ซึ่งมีสันผายตั้งตรงดีกว่า ทั้งที่ลักษณะสันผายตั้งตรง จะก่อให้เกิดความปั่นป่วนของน้ำบริเวณหน้าผายได้มากกว่า แต่การที่มีสันผายตั้งตรง ก็ทำให้มีระยะสัมผัสของน้ำกับหน้าผายสั้นกว่า ฝ่ายที่หน้าผายลาดเอียง

ในทางตรงกันข้าม เมื่อค่า  $H/P$  มีค่ามากขึ้น หรือเสดรวมเหนือสันผายมีค่ามาก ความปั่นป่วนของน้ำหน้าผาย จะมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการไหลมากกว่า แรงเสียดทานระหว่างน้ำกับผิวสัมผัส ทำให้ฝ่าย B และ C ที่มีความลาดเอียงของหน้าผายซึ่งช่วยลดความปั่นป่วนของการที่น้ำไหลเข้าปะทะกับหน้าผายลง มีประสิทธิภาพการไหลดีกว่า แม้ว่าการที่สันผายลาดเอียง จะทำให้มีระยะสัมผัสของน้ำกับหน้าผายยาวกว่าก็ตาม

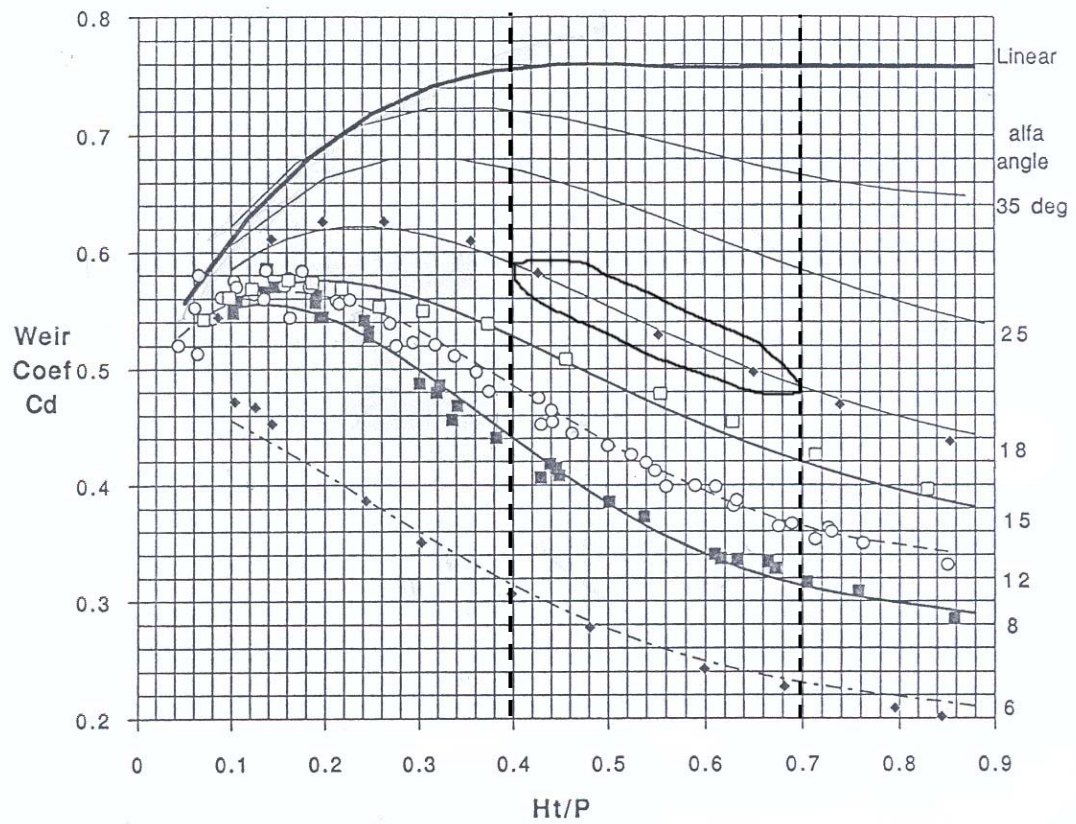
ผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับ รูปที่ 5-4 ซึ่งเป็นผลการศึกษาของ U.S.Bureau of Reclamation (1960) และรูปที่ 5-5 ซึ่งเป็นผลการศึกษาของ U.S.Army Corps of Engineers (1965) แสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การไหลกับอัตราส่วนของความสูงผายกับระดับน้ำเหนือสันผาย ของฝ่ายสันมนที่มีความลาดเอียงหน้าผายแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าฝ่ายที่หน้าผายมีความลาดเอียง 3:3 หรือลาดเอียง  $45^\circ$  มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลมากกว่าฝ่ายสันมนที่มีหน้าผายตั้งตรง เมื่อค่า  $P/H_0$  มีค่าน้อยๆ ซึ่งหมายถึงระดับน้ำเหนือสันผายมีค่ามากเมื่อเทียบกับความสูงผาย ทำให้ผลกระทบจากแรงเสียดทานของการไหลกับระยะผิวสัมผัสมีค่าน้อยกว่า ผลกระทบจากการลดความปั่นป่วนของการไหล และเมื่อ  $P/H_0$  มีค่าเพิ่มขึ้น หรือหมายถึงระดับน้ำเหนือสันผายมีค่าน้อย ผลกระทบจากแรงเสียดทานของการไหลกับระยะผิวสัมผัสจะเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อประสิทธิภาพการไหล ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลน้อยกว่าฝ่ายสันมนที่มีหน้าผายตั้งตรงในที่สุด



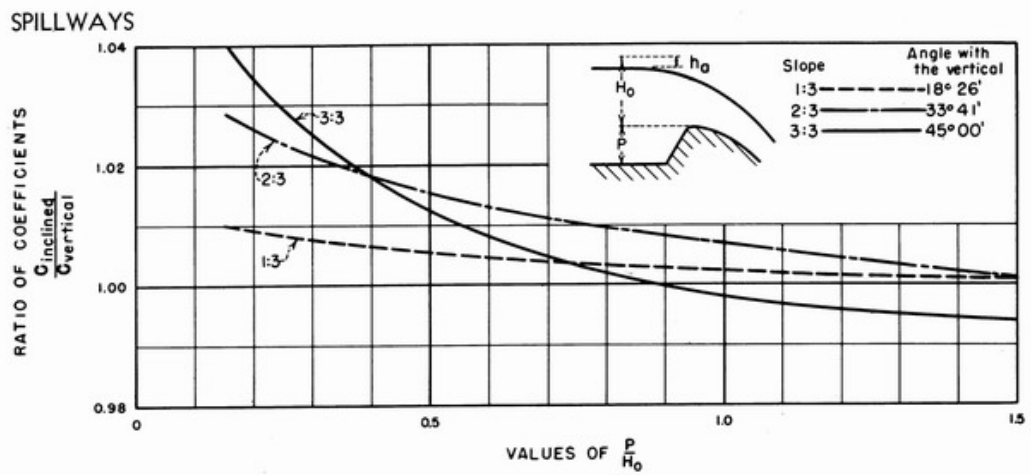
รูปที่ 5 - 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $H_t/P$  กับ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ของฝายรูปแบบต่างๆ



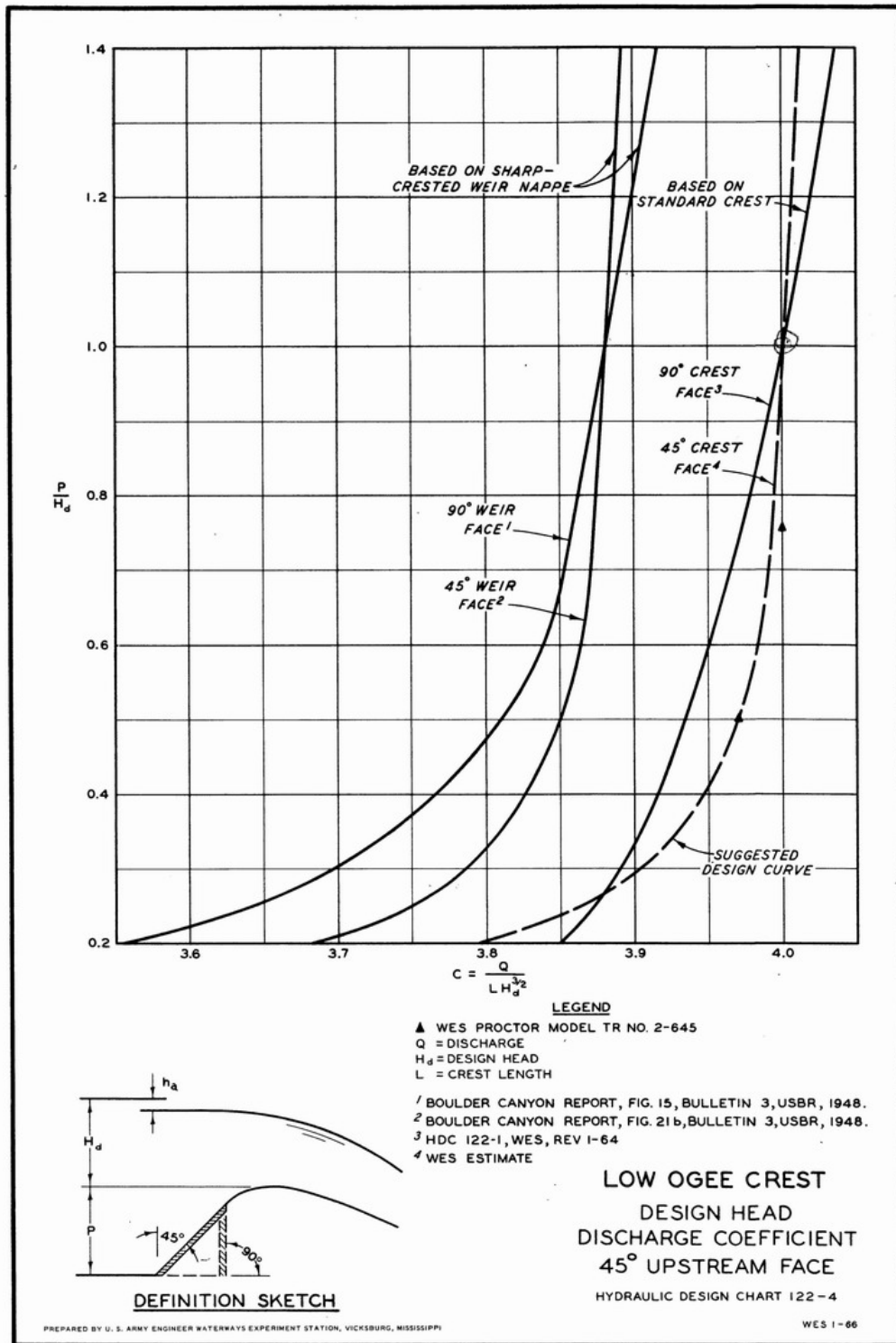
รูปที่ 5-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $H/P$  กับ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ของฝายรูปแบบต่างๆ



รูปที่ 5-3 ช่วงข้อมูลที่อ้างอิงจากผลการศึกษารึ่กษาของ Tullis และ Waldron (1995)



รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การไหลกับอัตราส่วนของความสูงฝายกับระดับน้ำเหนือสันฝาย ของฝายสันโค้ง (U.S.Bureau of Reclamation, 1960)



รูปที่ 5-5 เกณฑ์การออกแบบฝายสันโค้งที่หน้าฝายลาดเอียงทำมุม 45°  
 (U.S.Army Corps of Engineers ,1965)

## 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำหน้าฝายกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำ

ตัวแปรหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ บริเวณตัวฝาย ก็คือความเร็วน้ำ บริเวณทางเข้าฝาย ซึ่งผลการวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ดังกล่าว และความแตกต่างของความสัมพันธ์ของแต่ละรูปแบบฝาย

ความเร็วน้ำหน้าฝายคำนวณจากข้อมูลความลึกน้ำหน้าฝายที่วัดได้ โดยใช้สมการต่อเนื่อง

$$\text{ความเร็วน้ำหน้าฝาย (Velocity)} = \frac{\text{อัตราการไหล (Q)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดการไหล (A) (ความลึกการไหล \times \text{ความกว้างทางน้ำ})}}$$

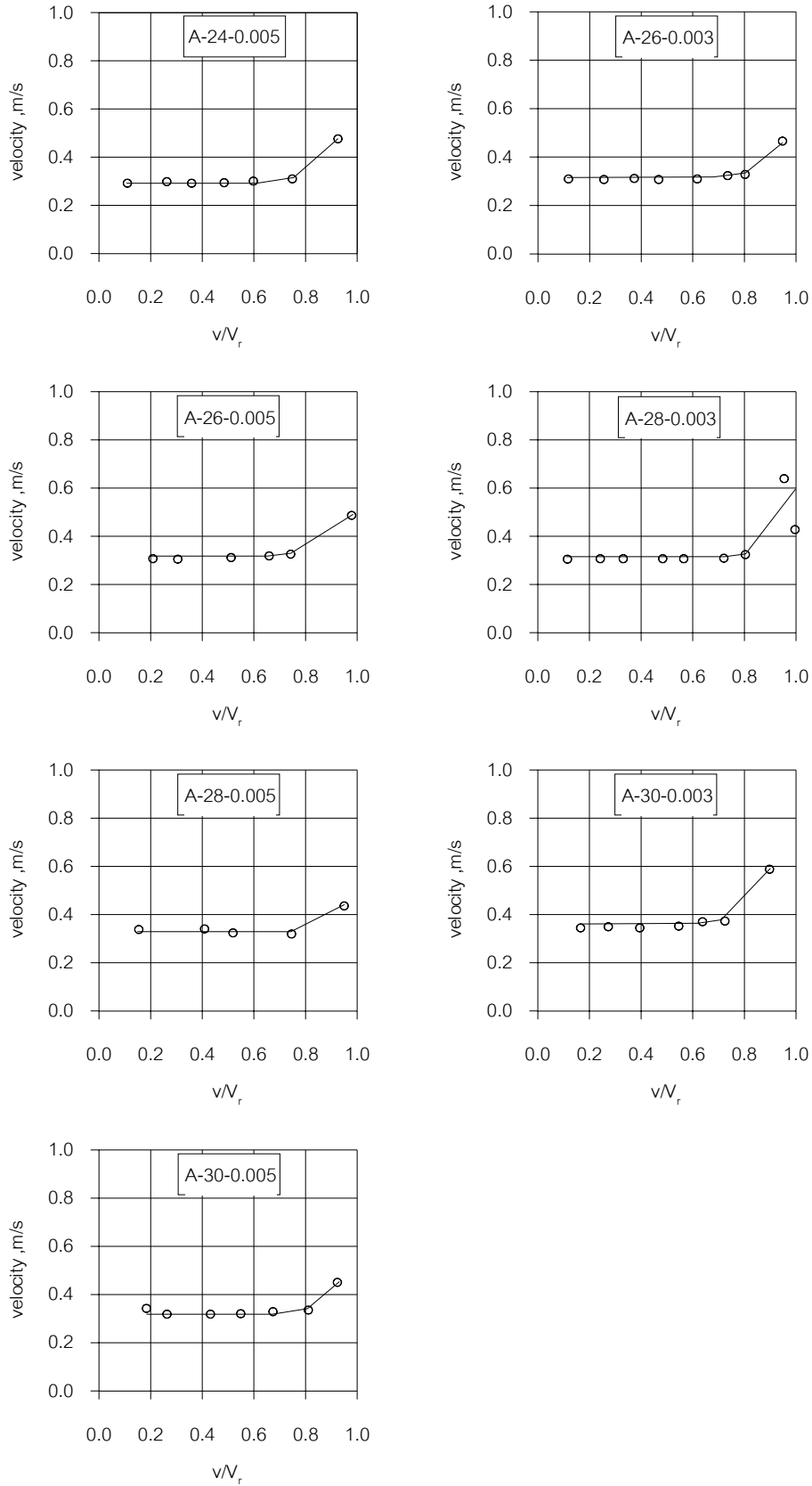
โดยความลึกการไหลวัดที่ตำแหน่งห่างจากเครื่องโรยทราย 7 เมตร ซึ่งก็คือตำแหน่งสุดท้ายที่วัดการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ โดยวัดทุกครั้งที่ทำกรวัดระดับท้องน้ำ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำครั้งหนึ่ง จะมีค่าความเร็วน้ำหน้าฝายที่สอดคล้องกันค่าหนึ่ง ยกเว้นตอนหยุดการทดลองซึ่งทำการปิดน้ำแล้วจึงวัดระดับท้องน้ำ จึงไม่มีข้อมูลความเร็วน้ำเมื่อตอนหยุดการทดลอง แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่เกิดขึ้น เกิดจากการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ ดังนั้นความเร็วน้ำหน้าฝายเมื่อเวลาหยุดการทดลอง จึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าสุดท้ายที่ทำกรวัดก่อนหยุดการทดลอง ซึ่งเป็นเวลาที่ท้องน้ำเปลี่ยนแปลงมาถึงบริเวณดังกล่าวแล้ว สำหรับกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วน้ำหน้าฝายกับอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ( $v/V_r$ ) ของแต่ละกรณีทดลอง แสดงไว้ในรูปที่ 5-6 ถึง 5-8

จากรูปดังกล่าว พบว่าความเร็วน้ำหน้าฝายเมื่อตอนเริ่มการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน ประมาณ 0.3-0.35 เมตร/วินาที และจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังจากนั้น จนเมื่อค่า  $v/V_r$  มีค่าประมาณ 0.8 ความเร็วหน้าฝายจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนมีค่าประมาณ 0.5-0.6 เมตร/วินาที เมื่อ  $v/V_r$  มีค่าใกล้เคียง 1.0 หรือเป็นเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำมาถึงตัวฝายนั่นเอง

จากกราฟความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถอธิบายได้ว่า ระดับน้ำหน้าฝายค่อนข้างคงที่ เนื่องจากระดับน้ำขึ้นอยู่กับอิทธิพลของน้ำเท้อ (backwater effect) จากฝายเป็นหลัก ส่วนความเร็วที่เปลี่ยนไปเกิดจากการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่บริเวณดังกล่าว ขณะที่ระดับน้ำเท่าเดิม ทำให้ความลึกการไหลที่บริเวณนี้ลดลง ส่งผลให้ความเร็วการไหลเพิ่มสูงขึ้น

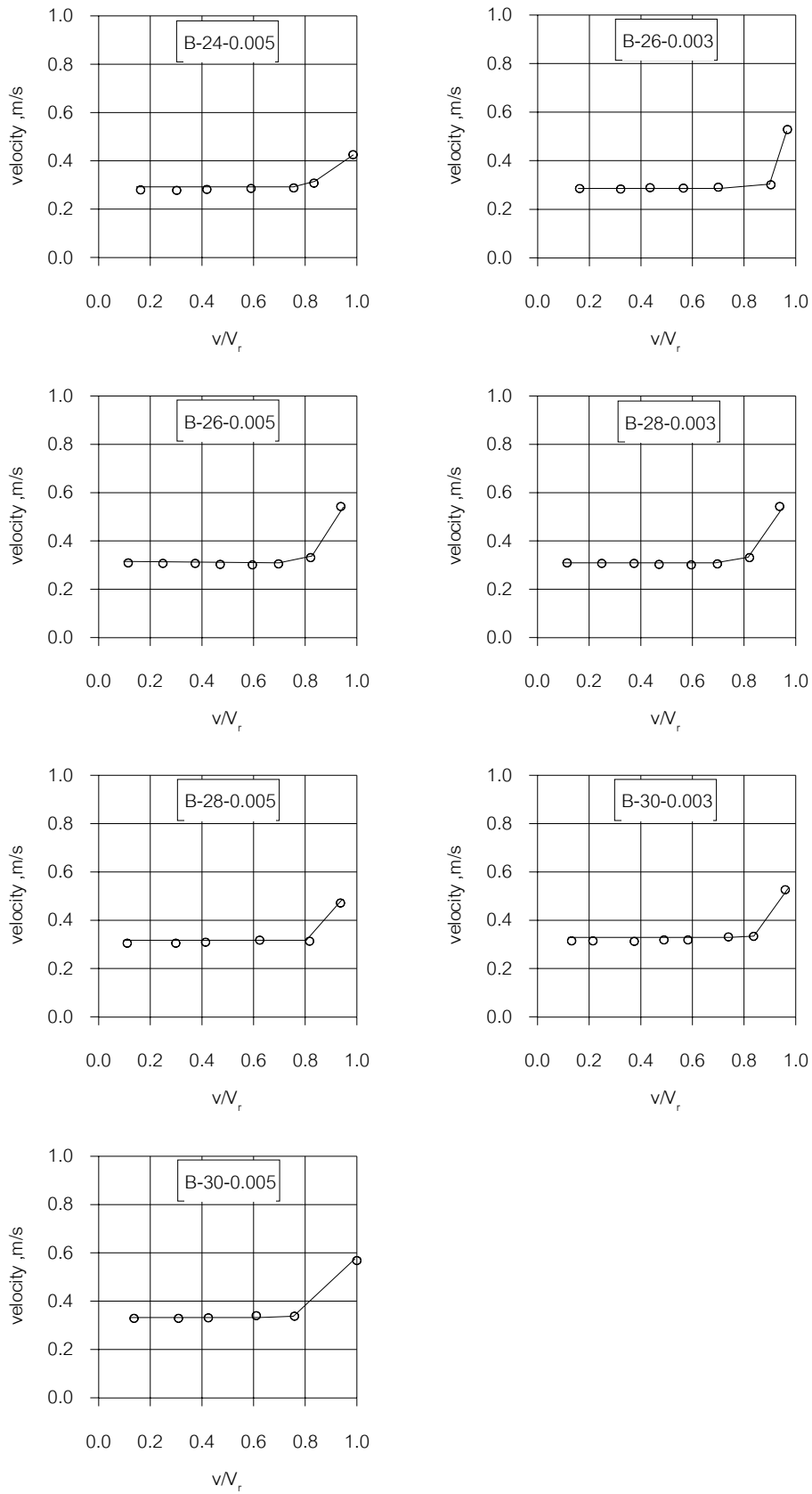
จะเห็นได้ว่ากราฟความสัมพันธ์ดังกล่าวสนับสนุนลักษณะการเปลี่ยนแปลงของน้ำจากการศึกษาในครั้งนี้ ที่อธิบายไปแล้วในหัวข้อที่ 4.3 ผลการเปลี่ยนแปลงของน้ำในรางน้ำ ที่ว่าการเปลี่ยนแปลงของน้ำที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงจากการเคลื่อนที่ของตะกอนของน้ำเพียงอย่างเดียว นั้น จะเกิดจากการทับถมของตะกอนของน้ำจนได้ระดับความสูงหนึ่งซึ่งความเร็วการไหลมีมากพอที่จะนำพาตะกอนให้เคลื่อนที่ต่อไปได้ ท้องน้ำจึงจะมีการเปลี่ยนแปลงต่อไป หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ท้องน้ำจะเปลี่ยนแปลงจนเข้าสู่สมดุลที่ตำแหน่งนั้นๆ ก่อน จึงจะมีการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าต่อไป

ส่วนรูปที่ 5-9 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของทั้ง 3 รูปแบบฝาย ในแต่ละสภาพการไหล พบว่าที่ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 เมื่ออัตราการไหลมากขึ้น ความเร็วหน้าฝาย A เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วหน้าฝาย B และ C มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าที่อัตราการไหลสูงๆ ความลึกการไหลของฝาย A น่าจะมากกว่า ฝาย B และ C ขณะที่ความลาดชันท้องน้ำ 0.003 ความเร็วหน้าฝาย A มีค่ามากกว่าเล็กน้อยทุกอัตราการไหล

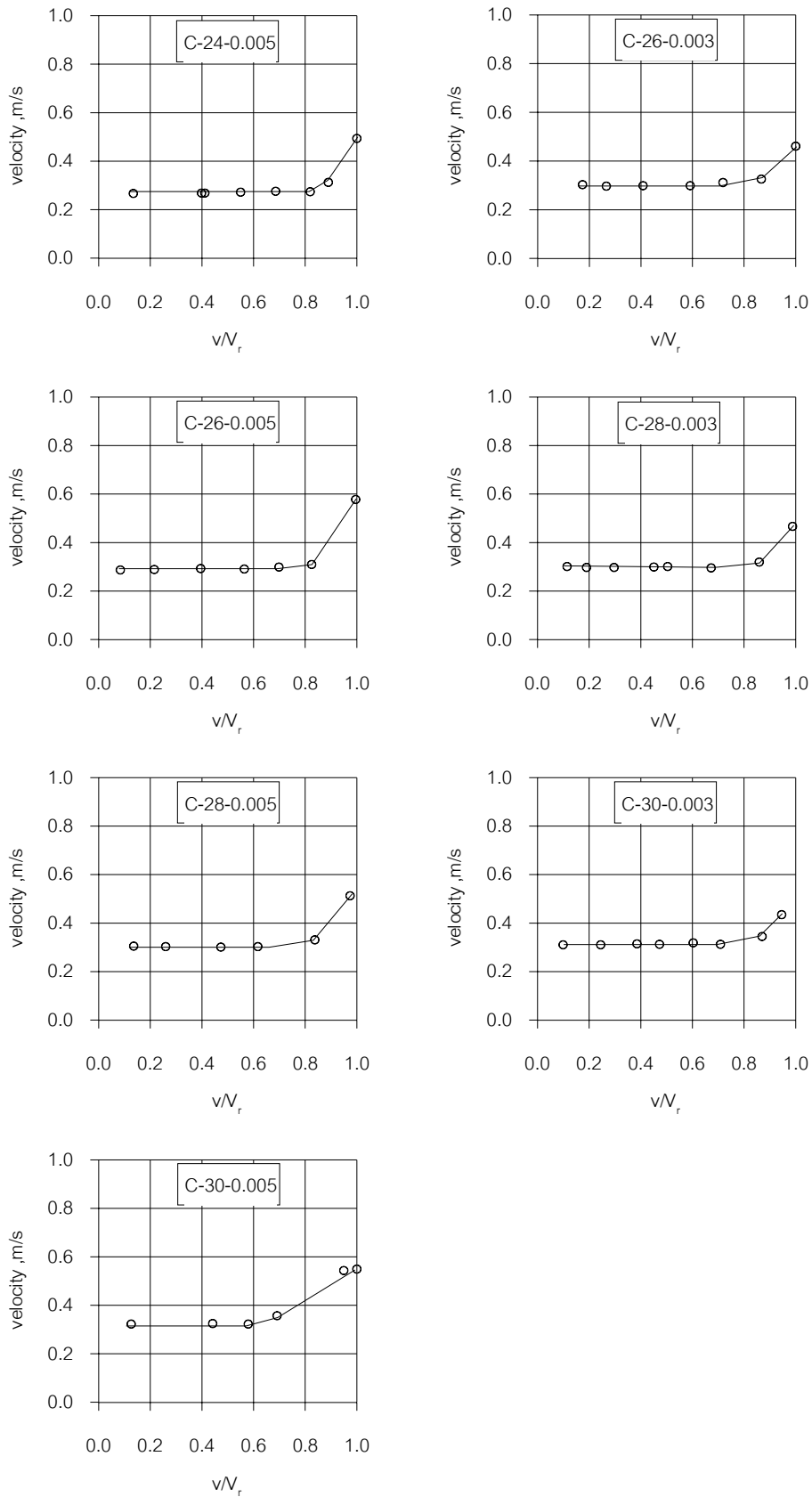


รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ของความเร็วหน้าฝายกับอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของฝาย A

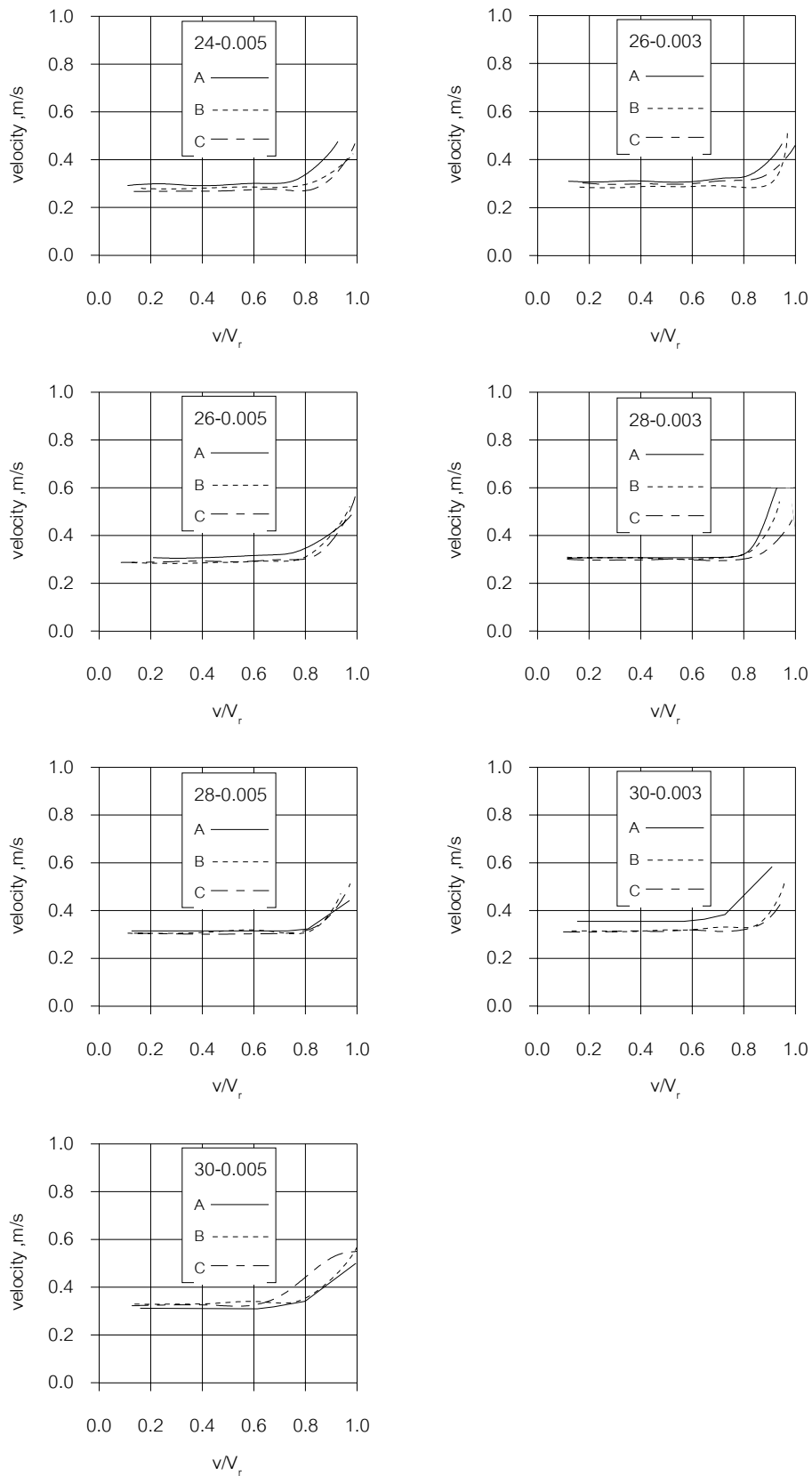




รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ของความเร็วหน้าผายกับอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของฝาย B



รูปที่ 5-8 ความสัมพันธ์ของความเร็วหน้าน้ำฝายกับอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของฝาย C



รูปที่ 5-9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของความเร็วน้ำหน้าฝายกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรห้องน้ำ

### 5.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการดักตะกอน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการดักตะกอน แสดงอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหลของน้ำส่วนอัตราการนำพาตะกอน ( $Q/Q_s$ ) กับ ประสิทธิภาพการดักตะกอน (trap efficiency) ที่เวลาสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งเป็นเวลาที่สันนิษฐานว่าท้องน้ำเข้าสู่สมดุใหม่ โดยคำนวณจาก

$$\text{ประสิทธิภาพการดักตะกอน} = \frac{\text{ปริมาตรท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด}}{\text{ปริมาตรท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด} + \text{ปริมาตรตะกอนที่ไหลผ่านฝาย}} \times 100$$

จากรูปที่ 5-10 แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพการดักตะกอนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เมื่ออัตราส่วน  $Q/Q_s$  มีค่ามากขึ้น หรือ เมื่อมีอัตราการนำพาตะกอนลดลงนั่นเอง โดยแนวโน้มดังกล่าวมีลักษณะเหมือนกันทั้ง 3 กรณีรูปแบบฝาย

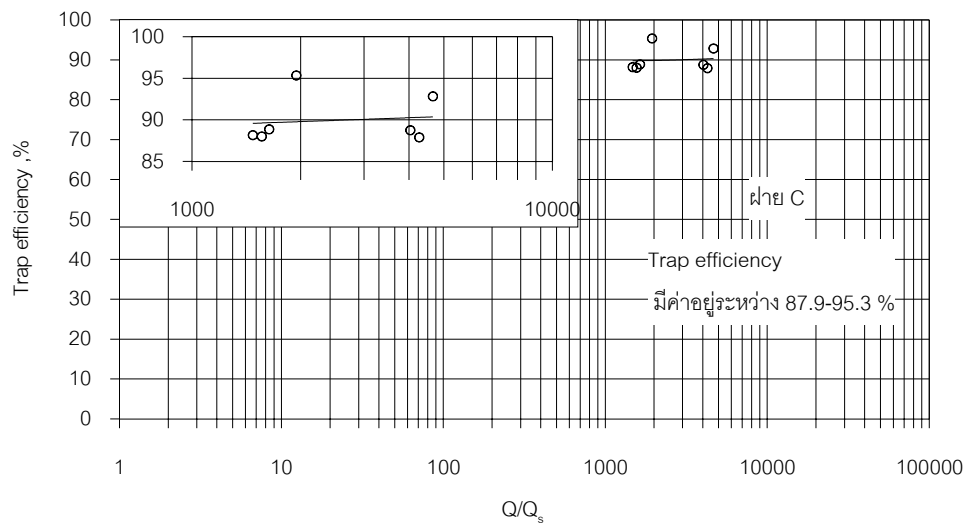
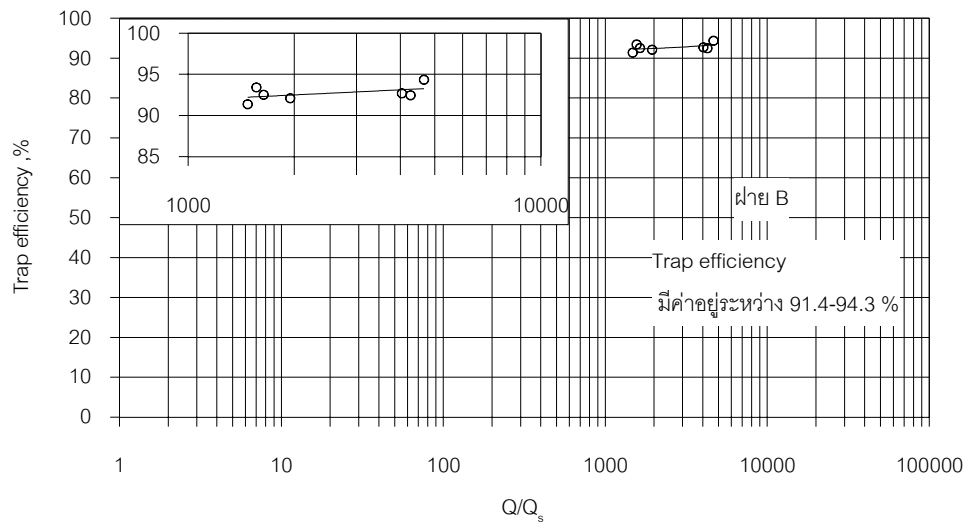
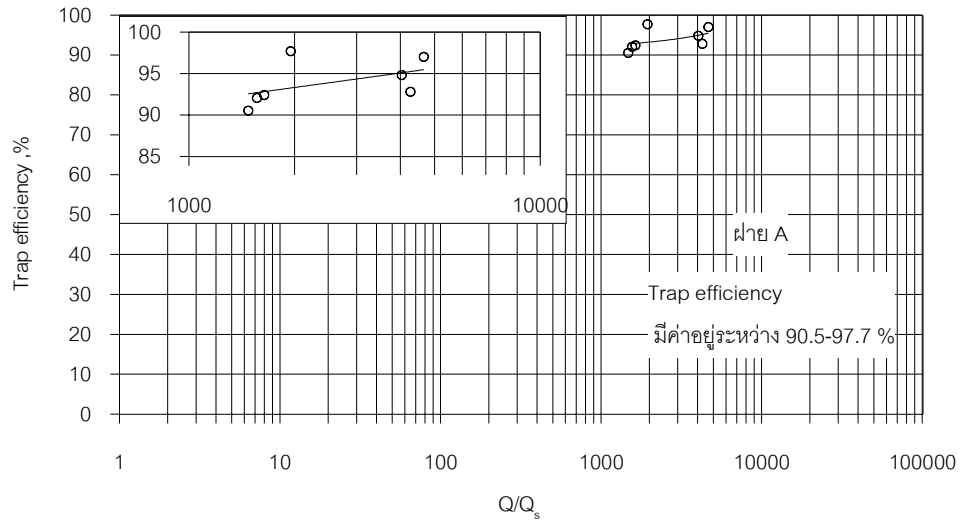
จะเห็นว่าประสิทธิภาพการดักตะกอนของฝายรูปแบบ A และ B จะมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ฝาย เท่ากับ 93.9% และ 92.7% ตามลำดับ ส่วนฝาย C จะมีค่าประสิทธิภาพการดักตะกอนโดยเฉลี่ยน้อยกว่า คือเท่ากับ 90 %

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ (bed load Transport) เพียงอย่างเดียว ตะกอนที่ไหลผ่านฝายจะเริ่มมีนัยสำคัญเมื่อท้องน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงมาถึงบริเวณหน้าฝาย ดังจะเห็นได้จากจากรูปที่ 5-11 ถึง 5-13 ซึ่งเป็นรูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำ ต่อช่วงเวลาการทดลอง ทุกรณีทดลองของทั้ง 3 กรณีรูปแบบฝาย จะเห็นว่า เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงทำมุม  $45^\circ$  ไปจนใกล้ตำแหน่งที่มีค่า  $v/V_r$  กับ  $t/T_r$  เท่ากับ 1.0 ซึ่งเป็นตำแหน่งและเวลาที่ท้องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปถึงตัวฝาย จึงมีความชันลดลงเข้าหาตำแหน่ง  $v/V_r$  กับ  $t/T_r$  ค่าสุดท้าย ซึ่งก็คือตำแหน่งสิ้นสุดการทดลองนั่นเอง

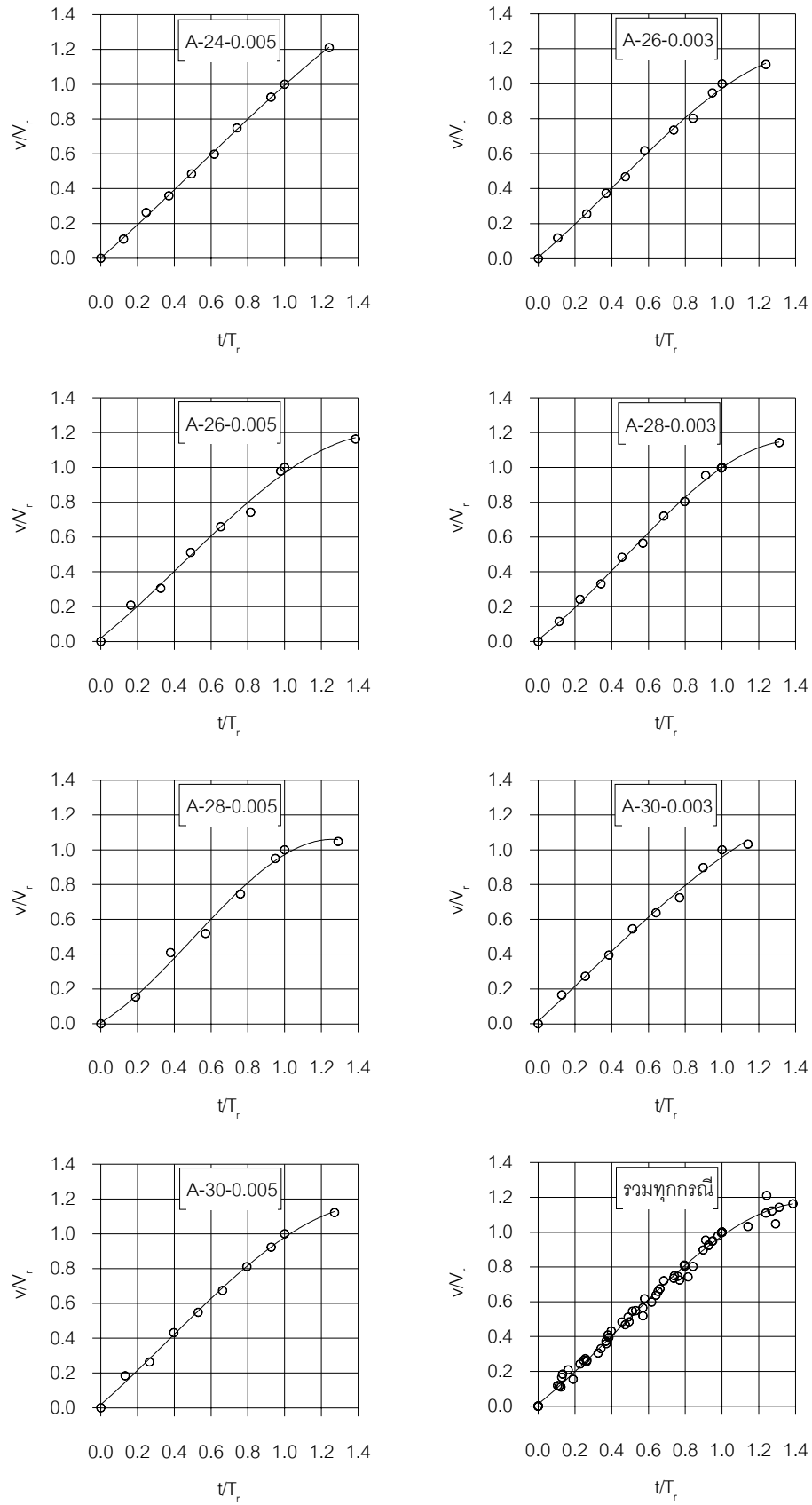
จากการนำข้อมูลจากการทดลองทุกกรณีมาพล็อตรวมกัน ทำให้สังเกตเห็นความแตกต่างของแต่ละรูปแบบฝาย ตรงตำแหน่งช่วงสุดท้ายของกราฟซึ่งเป็นจุดที่สำคัญที่สามารถแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของ ประสิทธิภาพการดักตะกอนของแต่ละรูปแบบฝาย ได้มากขึ้น และจากสมการที่ใช้ในการพล็อตกราฟดังกล่าว เมื่อนำมาต่อเส้นกราฟให้ยาวออกไปเพื่อเพิ่มความชัดเจน

และนำมาพล็อตไว้ในรูปเดียวกัน และขยายส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงให้ชัดเจนขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5-14 จะเห็นว่า ลักษณะเส้นกราฟของกรณีฝายรูปแบบ A และ B ใกล้เคียงกันมาก โดยมีความลาดชันลดลง เมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้าใกล้ตัวฝาย ( $t/T_r$  เข้าใกล้ 1) ซึ่งหมายความว่าเริ่มมีตะกอนไหลผ่านฝายออกไปอย่างต่อเนื่อง ที่จุดนี้ และไหลผ่านฝายออกไปเป็นสัดส่วนที่มากขึ้น จนเมื่ออัตราส่วนระหว่างเวลาในการทดลองกับเวลาที่ตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวฝาย มีค่าประมาณ 1.45 ( $t/T_r = 1.45$ ) ท่อน้ำจึงเข้าสู่สมดุลง่าย และ ปริมาตรทรายที่ปล่อยเข้ามาในระบบ จะเท่ากับปริมาตรตะกอนทรายที่เคลื่อนที่ผ่านฝายออกไป ส่วนลักษณะเส้นกราฟของกรณีฝายรูปแบบ C เมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้าใกล้ตัวฝาย ( $t/T_r$  เข้าใกล้ 1) จะมีตะกอนไหลผ่านฝายออกไปอย่างต่อเนื่อง โดยมีสัดส่วนที่มากกว่ากรณีฝายรูปแบบ A และ B ในช่วงเวลาเดียวกัน และท่อน้ำจะเข้าสู่สมดุลง่าย หลังจากตะกอนเริ่มไหลผ่านฝายเร็วกว่า ในกรณีฝายรูปแบบ A และ B คือเมื่ออัตราส่วนระหว่างเวลาในการทดลองกับเวลาที่ตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวฝาย มีค่าประมาณ 1.25 ( $t/T_r = 1.25$ )

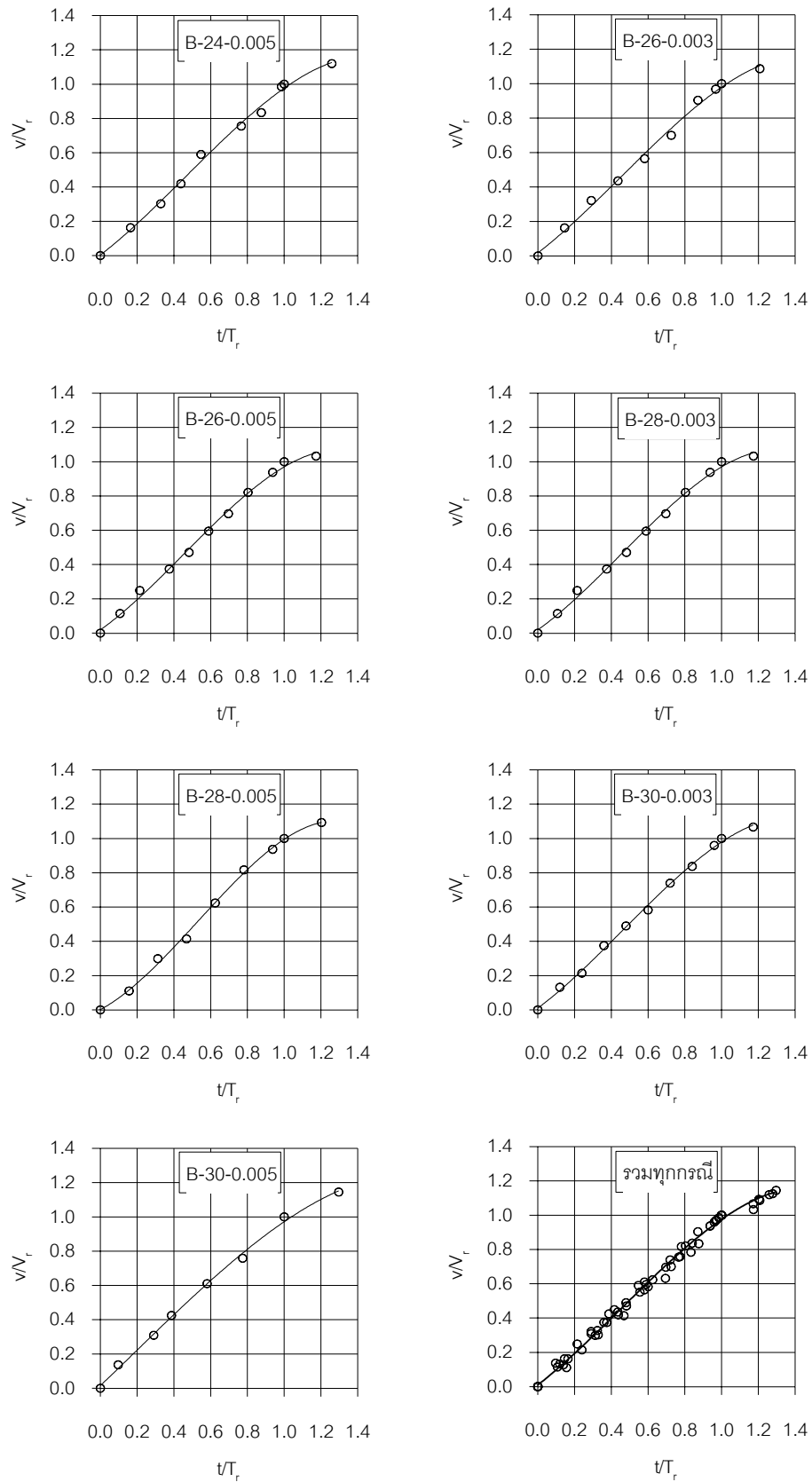
เพื่อให้เห็นภาพได้ชัดเจนขึ้น จึงได้ทำการเปลี่ยนรูปแบบความสัมพันธ์ให้แสดงอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการดักตะกอน (trap efficiency) กับ อัตราส่วนระหว่างเวลาในการทดลองกับเวลาที่ตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวฝาย ( $t/T_r$ ) ดังแสดงในรูปที่ 5-15 จะเห็นว่าตั้งแต่ เริ่มการทดลอง ประสิทธิภาพการดักตะกอนมีค่าเท่ากับ 100% มาโดยตลอด จนเมื่อการเปลี่ยนแปลงท่อน้ำเข้ามาใกล้ถึงตัวฝาย ประสิทธิภาพการดักตะกอนจึงมีค่าลดลงเป็นเส้นโค้ง และเมื่อท่อน้ำเข้าสู่สมดุลง่าย ประสิทธิภาพการดักตะกอนจึงลดลงเป็นลักษณะเส้นตรงและเข้าใกล้ 0 เมื่ออัตราส่วนระหว่างเวลาในการทดลองกับเวลาที่ตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวฝาย มีค่าประมาณ 2 ( $t/T_r = 2$ ) โดยประสิทธิภาพการดักตะกอนของกรณีฝายรูปแบบ C จะมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพการดักตะกอนของกรณีฝายรูปแบบ A และ B ประมาณ 5% ในช่วงเวลาเดียวกัน



รูปที่ 5-10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอัตราการไหลกับอัตราการนำพาตะกอน  
กับ ประสิทธิภาพการดักตะกอน

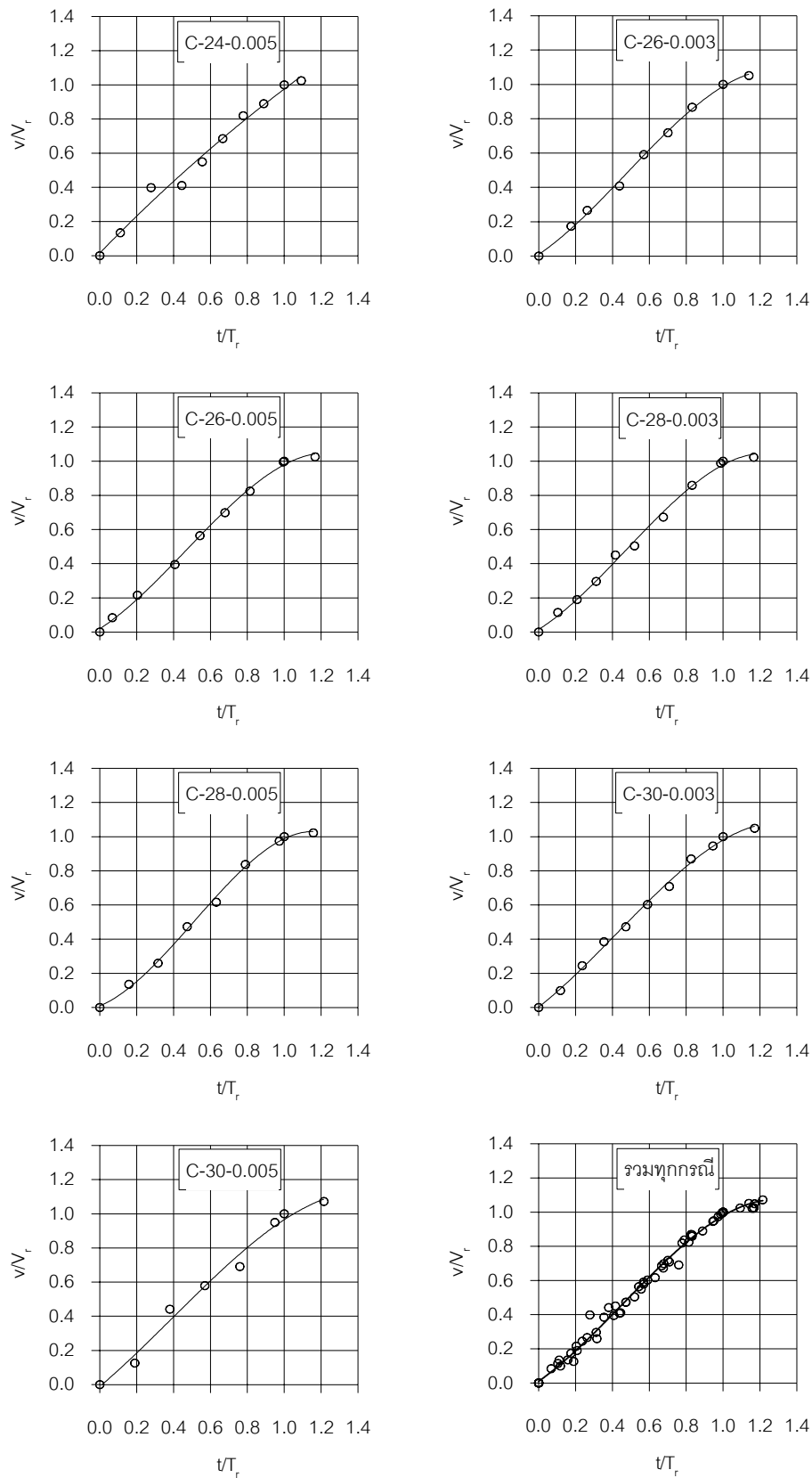


รูปที่ 5-11 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลาของฝาย A

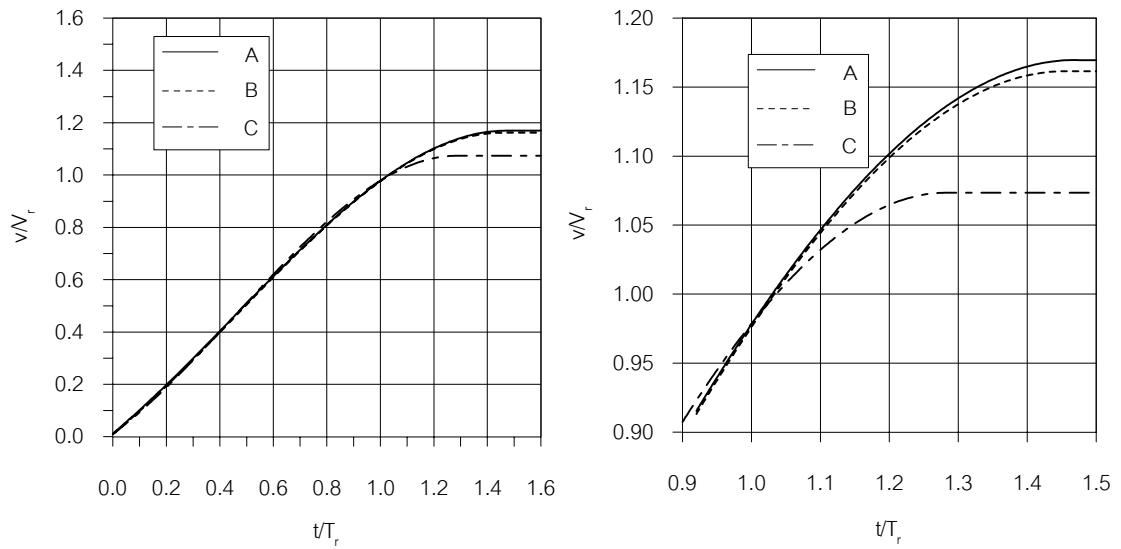


รูปที่ 5-12 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลาของฝาย B

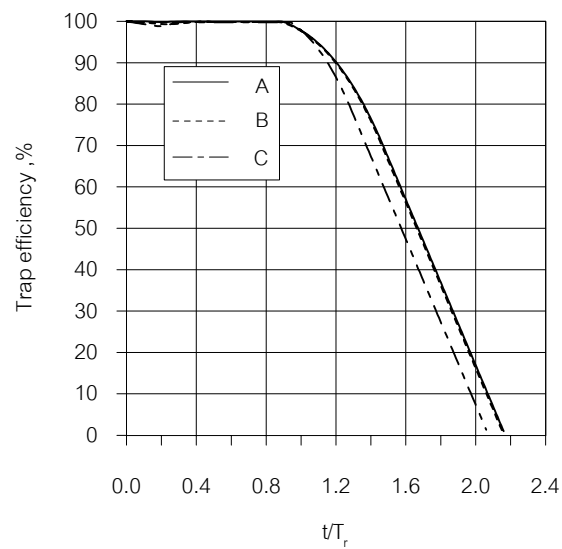




รูปที่ 5-13 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลาของฝาย C



รูปที่ 5-14 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่อช่วงเวลา  
ของฝ้ายทั้ง 3 รูปแบบ



รูปที่ 5-15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการดักตะกอนต่อช่วงเวลา  
ของฝ้ายทั้ง 3 รูปแบบ

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการศึกษา

1. เนื่องจากพฤติกรรมการไหลผ่านฝายหยักมีความสลับซับซ้อนมาก ถึงแม้ว่าแบบจำลองทางกายภาพจะสามารถให้พฤติกรรมการไหลที่เหมือนของจริงที่มีความแตกต่างในขนาด ทำให้สามารถสังเกตรูปลักษณะการไหล (flow patterns) ตลอดจนสามารถวัดค่าตัวแปรการไหล เช่น ความลึก ความเร็ว และความดัน ณ จุดต่างๆ ในบริเวณที่สนใจได้ จากการทราบพฤติกรรมการไหลผ่านฝายในแต่ละแบบที่มีความแตกต่างกันในรูปแบบ ก็จะสะท้อนผลไปถึงความแตกต่างของการนำพาตะกอนในแต่ละรูปแบบฝายที่แตกต่างกัน เพราะการนำพาตะกอนนั้นเป็นที่ทราบแน่ชัดว่า มีความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการไหลอย่างลึกซึ้ง อย่างไรก็ตามถึงแม้จะทราบถึงพฤติกรรมการไหลจากการวัดจริง แต่ความสัมพันธ์ของพฤติกรรมการไหลดังกล่าวกับ การนำพาตะกอนนั้นก็มีความสลับซับซ้อนมากเกินกว่าจะหาความสัมพันธ์อย่างง่าย ๆ ได้ และการวัดตัวแปรการไหลต่างๆ ก็ทำได้ยาก และต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์การวัดที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการศึกษาจากแบบจำลองทางกายภาพ

ดังนั้นในการศึกษาพฤติกรรมการไหลผ่านฝายจึงมุ่งเน้นไปที่ค่าสัมประสิทธิ์การไหล (discharge coefficient) ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพของการไหลผ่านฝาย นั่นคือ ถ้าสัมประสิทธิ์การไหลมีค่าน้อยนั้น หมายถึงประสิทธิภาพการไหลต่ำ ในทำนองตรงข้าม ถ้าสัมประสิทธิ์การไหลมีค่ามาก ก็หมายถึงประสิทธิภาพการไหลสูง

ผลจากการศึกษาชี้ให้เห็นว่า ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของฝายทั้ง 3 แบบมีความแตกต่างกัน ฝาย A ที่มีผนังของฝายตั้งตรงและไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย มีค่า  $H_f/P$  อยู่ระหว่าง 0.4 – 0.6 ค่า  $C_d$  มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 - 0.65 ส่วนค่า  $H_f/P$  และ ค่า  $C_d$  ของฝาย B ที่มีความลาดชันของผนังตัวฝายแต่ไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย และ ฝาย C ที่มีความลาดชันเฉพาะด้านหน้าตัวฝายรวมทั้งมีอาคารด้านหน้า มีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 – 0.65 และ 0.45 - 0.55 เหมือนกัน ในช่วงข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่อัตราการไหลเท่ากัน ฝาย A มีค่าสัมประสิทธิ์อัตราการไหลของน้ำผ่านฝายสูงกว่าฝาย B และ C หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ที่อัตราการไหลเท่ากัน ฝาย A จะมีเฮดรวมของน้ำเหนือสันฝายต่ำกว่าฝาย B และ C

จากการพิจารณาค่าประสิทธิภาพการไหลผ่านฝายหยัก 3 รูปแบบ (A B และ C) จากค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) พบว่ามีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนความลึกการไหลข้ามฝายและความสูงของฝาย ( $H_f/P$ ) ซึ่งในช่วงที่มีค่า  $H_f/P$  ประมาณ 0.4-0.7 นั้นค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) จะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน  $H_f/P$  ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5-1 ซึ่งผลการศึกษานี้ก็สอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมาของ Hay และ Taylor (1970 อ้างถึงในปริญญา ,2545) และ Tullis และ Waldron (1995) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การไหลที่เปลี่ยนไปดังกล่าว เป็นที่ทราบกันดีว่าเป็นผลจากความลึกเข้าสู่ฝาย (approach depth effect)

จากการปรับปรุงรูปแบบของหน้าฝายของฝายหยักแบบ A ไปสู่แบบ B และ C นั้น จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าฝาย B และ C นั้น ทำให้ประสิทธิภาพการไหลผ่านฝายเปลี่ยนแปลงไป จากค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) ที่เปลี่ยนไปอย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) ระหว่างฝาย B และ C แล้ว พบว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงหน้าฝายจากรูปแบบ A ไปเป็นรูปแบบ B และ C นั้น ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการไหลผ่านฝายโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ

จากรูปที่ 5-2 เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การไหลผ่านฝาย ( $C_d$ ) ระหว่างฝาย B และ C กับฝาย A พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) ของฝาย B และ C จะเพิ่มขึ้นจากฝาย A ในช่วงของค่า  $H_f/P$  เพิ่มขึ้นจาก 0.65 ขึ้นไป ในขณะที่เมื่อค่า  $H_f/P$  ลดลงจากค่า 0.65 ลงไป ค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) จะลดลงซึ่งชี้ให้เห็นว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการไหลในทางตรงกันข้ามเมื่อ approach depth effect หรือค่า  $H_f/P$  เปลี่ยนไปซึ่งผลการศึกษานี้จะมีความสอดคล้องกับการศึกษาผลของความลาดเอียงหน้าฝายของฝายสันมนแบบมาตรฐานสันโอเก้ (ogee crest) ตามรายงานการศึกษาของ U.S.Bureau of Reclamation (1960) ,U.S.Army Corps of Engineers (1965) ซึ่งพบว่าการปรับปรุงความลาดเอียงด้านหน้าฝายสันโอเก้นั้น จะเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การไหลในช่วงค่า  $H_f/P$  ช่วงหนึ่งและลดลงในช่วงหนึ่ง ซึ่งในการทดลองนี้ก็พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) ของฝาย B และ C จะลดลงเมื่อเทียบกับฝาย A ในช่วงค่า  $H_f/P$  0.65 ลงไป และจะเพิ่มขึ้นที่ค่า  $H_f/P$  มากกว่า 0.65 ซึ่งน่าจะอธิบายได้ว่า ในลักษณะหน้าฝายที่เป็นแนวตั้งนั้น (หน้าฝายทำมุมฉากกับท้องน้ำ) ประสิทธิภาพการไหลที่ลดลงจากพลังงานการไหลที่ลดลงส่วนหนึ่งนั้น เกิดจากการแยกตัวการไหลจากผิวสัมผัส (flow separation) ที่มุมหักเปลี่ยนจากท้องน้ำไปสู่ผนังฝายในแนวตั้ง ทำให้เกิดกระแสต้านวนในมุมดังกล่าว ทำให้ประสิทธิภาพการไหลลดลง แต่เมื่อมีการปรับปรุงหน้าฝาย โดยทำเป็นลาดเอียง ปราบกฎการณ์ดังกล่าวก็จะลดลง ทำให้ประสิทธิภาพการไหลโดยรวมดีขึ้น นั่นคือประสิทธิภาพการไหลเพิ่มขึ้น

แต่เนื่องจากการลดลงของประสิทธิภาพการไหลนอกจากการเกิดการลดลงของพลังงานการไหลในรูปแบบของการเกิดการเปลี่ยนสถานะการไหลดังกล่าวแล้ว ยังมาจากการสูญเสียพลังงานเนื่องจากความฝืด ซึ่งเกิดที่ผิวสัมผัสเป็นหลัก ดังนั้นที่ความสูงของฝายเท่ากัน แต่ฝายที่มีหน้าฝายเป็นแนวตรง กับลาดเอียงเป็นมุม พื้นที่ผิวสัมผัสของฝายจะเพิ่มขึ้น หรืออีกนัยหนึ่งก็คือค่าพลังงานที่ลดลงจากความฝืดจะเพิ่มขึ้น จึงดูเหมือนว่าผลของการปรับปรุงหน้าฝายเพิ่มประสิทธิภาพการไหลโดยลดผลเสียจากการลดลงของพลังงานจากการหมุนม้วน (eddy loss) แต่ลดประสิทธิภาพการไหลจากการลดลงของพลังงานเนื่องจากความฝืด (friction loss) ดังนั้นดูเหมือนว่าจุดตัดของความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การไหล ( $C_d$ ) กับ  $H/P$  ของฝาย A กับ B และ C จะเป็นจุดหักล้างกันของสองปรากฏการณ์ ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลหรือประสิทธิภาพการไหลผ่านฝายเท่ากัน

2. ความเร็วการไหลของน้ำบริเวณหน้าฝายเริ่มสูงขึ้น เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรท้องน้ำไปแล้วประมาณ 80% เมื่อคิดเทียบกับปริมาตรท้องน้ำเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงมาถึงตัวฝาย และมีค่าประมาณ 0.5-0.6 เมตร/วินาที เมื่อท้องน้ำเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงมาถึงตัวฝาย โดยความเร็วการไหลที่เพิ่มขึ้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับท้องน้ำ ขณะที่ระดับน้ำมีค่าเท่าเดิมส่งผลให้ความลึกการไหลลดลง

ที่ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 เมื่ออัตราการไหลมากขึ้น ความเร็วหน้าหน้าฝาย A เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วหน้าหน้าฝาย B และ C มีแนวโน้มลดลง แสดงว่าที่อัตราการไหลสูงๆ ความลึกการไหลของฝาย A มากกว่า ฝาย B และ C ขณะที่ความลาดชันท้องน้ำ 0.003 ความเร็วหน้าหน้าฝาย A มีค่ามากกว่าเล็กน้อยทุกอัตราการไหล

3. การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ ในรางน้ำที่เวลาต่างๆ ที่เวลาการทดลองเท่ากัน การเคลื่อนที่ของตะกอนใน กรณีฝายรูปแบบ A เร็วกว่า กรณีฝายรูปแบบ B และ C ที่มีการเคลื่อนที่ของตะกอนใกล้เคียงกัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เวลาที่ตะกอนเคลื่อนที่ถึงตัวฝายของกรณีฝายรูปแบบ A จะมีค่าน้อยกว่า กรณีฝายรูปแบบ B และ C ( $T_{rA} < T_{rB}, T_{rC}$ ) เนื่องจากผลของความลึกน้ำหน้าฝายกรณี B และ C มากกว่ากรณี A ซึ่งเกิดจากผลกระทบของรูปแบบฝาย นอกจากนั้นอิทธิพลของน้ำที่เอียงส่งผลไปถึงด้านเหนือน้ำทำให้ความลึกน้ำที่จุดต่างๆของกรณีฝายรูปแบบ B และ C มีความลึกมากกว่ากรณี A ทำให้ตะกอนที่ทับถมที่จุดต่างๆมีปริมาณมากกว่ากรณี A ท้องน้ำจึงเข้าสู่สมดุลและเคลื่อนที่ต่อไป

การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำบริเวณตัวฝาย จะเริ่มสังเกตได้เมื่อท้องน้ำเปลี่ยนแปลงมาใกล้ บริเวณตัวฝาย ตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกความปั่นป่วนของกระแสน้ำพัดให้ไหลเข้ามาในตัวฝาย และ จะมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น เมื่อตะกอนเคลื่อนที่เข้ามาในตัวฝาย จนหยุดการเปลี่ยนแปลง เมื่อ ท้องน้ำเข้าสู่สมดุใหม่ ปริมาตรของตะกอนที่ทับถมในตัวฝายที่จุดนี้ มีแนวโน้มลดน้อยลงตาม อัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น ส่วนรูปแบบการทับถมของตะกอน แตกต่างกันไปตามแต่ละรูปแบบฝาย

4. เมื่อท้องน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงมาถึงตัวฝาย ฝาย C มีความสามารถในการระบาย ตะกอนผ่านฝายมากกว่า ฝาย A และ B โดยดูได้จากเวลาที่ใช้ในการปรับท้องน้ำเข้าสู่สมดุใหม่ คิดเป็นสัดส่วนกับเวลาที่ท้องน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงมาถึงตัวฝาย ซึ่งกรณีฝาย C มีค่าเท่ากับ 1.25 เร็วกว่ากรณีฝาย A และ B ซึ่งมีค่า 1.45 เท่ากัน แสดงว่าเมื่อตะกอนเคลื่อนที่มาถึงตัวฝาย C เวลา ที่ตะกอนเริ่มไหลผ่านฝายได้ จน ถึงเวลาตะกอนทั้งหมดที่เข้ามาไหลผ่านฝายออกไป น้อยกว่า เวลาที่ใช้สำหรับกรณีฝาย A และ B เท่ากับว่าในเวลาเท่ากัน ปริมาณตะกอนที่ไหลผ่านฝาย C ออกไปจะมากกว่า กรณีของฝาย A และ B และจากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของ ประสิทธิภาพการดักตะกอนต่อช่วงเวลาของทั้ง 3 รูปแบบฝาย พบว่าฝาย C มีประสิทธิภาพการดัก ตะกอนน้อยกว่าฝาย A และ B ประมาณ 5% ที่ช่วงเวลาเดียวกัน

จากการคำนวณประสิทธิภาพการดักตะกอนที่วัดตอนเสร็จสิ้นการทดลอง ของฝาย รูปแบบ A และ B จะมีค่าใกล้เคียงกัน มีค่าเฉลี่ยของทั้ง 2 ฝาย เท่ากับ 93.9% และ 92.7% ตามลำดับ ส่วนฝาย C จะมีค่าประสิทธิภาพการดักตะกอนโดยเฉลี่ยน้อยกว่า คือเท่ากับ 90 % โดย ประสิทธิภาพการดักตะกอนมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เมื่อสัดส่วนอัตราการไหลของน้ำกับอัตราการนำพา ตะกอนมีค่ามากขึ้น หรือ เมื่อมีอัตราการนำพาตะกอนลดลงนั่นเอง

5. สำหรับการก่อสร้างฝายหยักโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ เพิ่มความสามารถในการระบาย น้ำในเวลา น้ำหลาก ลดระดับน้ำเหนือสันฝาย ป้องกันปัญหาน้ำท่วมด้านเหนือฝาย ที่ค่า  $H/P$  น้อย กว่า 0.65 ฝาย A ที่มีผนังของฝายตั้งตรงและไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย มีความเหมาะสมมากที่สุด สามารถให้อัตราการไหลของน้ำผ่านได้มากกว่า ที่ความกว้างลำน้ำ ความสูงฝายและความ ลึกของน้ำที่สันข้ามฝายเท่ากัน ส่วนฝาย B ที่มีความลาดชันของผนังตัวฝายแต่ไม่มีอาคาร ด้านหน้าตัวฝายและ C ที่มีความลาดชันเฉพาะด้านหน้าตัวฝายและมีอาคารด้านหน้า จะมีความ เหมาะสมมากกว่า เมื่อค่า  $H/P$  มีค่าตั้งแต่ 0.65 ขึ้นไป

ส่วนในการก่อสร้างโดยคำนึงถึงปัญหาของการตกตะกอนด้านหน้าฝายตลิ่งน้ำเป็นหลัก เพื่อลดปัญหาระดับน้ำหน้าฝายสูงกว่าที่ออกแบบไว้ในฤดูน้ำหลาก และปัญหาตะกอนบางส่วนไหลเข้าไปตกในคลองส่งน้ำ ซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการส่งน้ำลดลงนั้น จากผลการทดลองฝาย C มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนน้อยที่สุด จึงมีความเหมาะสมที่สุด แม้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองของทั้ง 3 รูปแบบฝายไม่แตกต่างกันมากนัก

## 6.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาต่อไป

1. ในการศึกษาครั้งนี้ การวัดปริมาตรตะกอนไหลผ่านฝายออกไป เป็นการวัดครั้งเดียวเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง โดยใช้ตะแกรงตกตะกอนที่ไหลผ่านฝายทั้งหมดไว้ ซึ่งหากสามารถวัดปริมาตรตะกอนที่ไหลผ่านฝายออกไปทุกช่วงเวลาที่ต้องการได้ จะทำให้ศึกษาความสามารถของการระบายตะกอนผ่านฝายแต่ละรูปแบบได้ชัดเจนขึ้น และรู้เวลาที่ท้องน้ำเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สมดุลใหม่ที่แน่นอน

2. เนื่องจากเงื่อนไขการทดลอง ได้กำหนดให้การเคลื่อนที่ของตะกอนในทางน้ำมีเพียงการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ (bed load transport) เพียงอย่างเดียว ลักษณะการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำจึงมีรูปแบบการทับถมของตะกอนเริ่มจากด้านเหนือน้ำเคลื่อนไปยังท้ายน้ำ จนถึงตัวฝาย ตะกอนที่ไหลผ่านฝายจะเริ่มมีนัยสำคัญเมื่อท้องน้ำเกิดการเปลี่ยนแปลงมาถึงบริเวณหน้าฝาย ทำให้การศึกษาประสิทธิภาพการระบายตะกอนทำได้แค่เพียงช่วงนี้เท่านั้น ซึ่งหากในการศึกษาครั้งต่อไป ได้มีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของตะกอนแขวนลอย (suspended load transport) ด้วย จะทำให้ได้ผลการศึกษาประสิทธิภาพการระบายตะกอนของฝายแต่ละรูปแบบชัดเจนมากขึ้น

3. ในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้อัตราการไหลในช่วงที่ไม่กว้างมากนัก โดยมีอัตราการไหลที่ 24 26 28 และ 30 ลิตร/วินาที ทั้งนี้เนื่องจากในแต่ละกรณีทดลองจะต้องมีอัตราการนำพาตะกอนที่สอดคล้องกับอัตราการไหล ซึ่งในค่าอัตราการไหลที่น้อยกว่านี้ ไม่สามารถเลือกใช้ได้เนื่องจากมีข้อจำกัดจากเครื่องโรยทรายที่ไม่สามารถให้อัตราการโรยทรายที่ต่ำไปกว่าช่วงอัตราการไหลที่เลือกได้แล้ว ส่วนที่อัตราการไหลสูงกว่าช่วงที่เลือกนั้น อัตราการโรยทรายจะสูงมากจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่รวดเร็วมาก จนไม่สามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ และทำการวัดข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้ทัน

4. ในการศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำและตะกอน โดยใช้อุปกรณ์เดียวกันกับผู้ศึกษาในครั้งนี้ และต้องมีการควบคุมอัตราไหลทรายให้สม่ำเสมอ สิ่งสำคัญที่ต้องทำความเข้าใจและให้ความระมัดระวังคือ เครื่องไหลทรายให้อัตราไหลทรายที่ต้องการอย่างสม่ำเสมอได้เพียงช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นต้องมีการตรวจสอบอัตราไหลทรายอยู่ตลอดเวลาทั้งก่อนการทดลอง และในระหว่างการทดลอง ทุกกรณี เพื่อปรับอัตราไหลทรายให้ได้อัตราที่ต้องการตลอดเวลาการทดลอง

5. ถึงแม้ว่าการศึกษานี้จะชี้ให้เห็นชัดเจนว่าการปรับรูปแบบของหน้าฝาย ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลของน้ำและตะกอนผ่านฝาย และส่งผลไปถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการตกตะกอนหรือระบายตะกอนผ่านฝาย การปรับปรุงรูปแบบฝายยังต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติจริงด้วย เช่น ความเป็นไปได้ในเรื่องของการก่อสร้างตามรูปแบบที่ปรับปรุง โดยไม่มุ่งหวังเพียงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมทางด้านชลศาสตร์เพียงด้านเดียว เป็นสิ่งที่ผู้ศึกษาแบบจำลองจะต้องตระหนักถึง นอกจากนี้การปรับปรุงฝายโดยการเพิ่มเติมโครงสร้างฝายจากแบบเดิม อาจทำให้ราคาค่าก่อสร้างเพิ่มขึ้น ซึ่งจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางอื่น ในการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้ได้ผลที่ดีขึ้นตามวัตถุประสงค์

6. ถึงแม้ว่าการศึกษาเพื่อหาคำตอบของปัญหาทางด้านวิศวกรรมชลศาสตร์ โดยแบบจำลองทางกายภาพนั้น จะมีความจำเป็นและข้อดีในกรณีที่ไม่สามารถหาคำตอบนั้นได้อย่างถูกต้องพอเพียงจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ข้อด้อยที่สำคัญมากอย่างหนึ่งก็คือ การลงทุนในเรื่องของเงิน เวลา และแรงงานมาก ตลอดจนอุปสรรคที่คาดคิดไม่ถึงที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินการทดลอง ทำให้ต้องใช้เวลามากกว่าที่วางแผนไว้ ดังนั้นการศึกษาแบบจำลองทางกายภาพควรมีการเตรียมการที่ดี เพื่อลดปัญหาดังกล่าว

7. ในการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง ต้องคำนึงขีดความสามารถของอุปกรณ์ที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ตลอดจนเครื่องมือที่จะใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลหาคำตอบของปัญหา



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- ชัยอนันต์ ทองม้วน. ประสิทธิผลการดักตะกอนและการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำด้านเหนือน้ำของฝาย  
ดักตะกอน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2547.
- ทวนทัน กิจไพศาลสกุล. การกัดเซาะและการตกตะกอน กรุงเทพมหานคร ภาควิชาวิศวกรรม  
แหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2543.
- ธรรมวัฒน์ การุณธกุล. การกัดเซาะรอบตอม่อสะพานที่เรียงเป็นดับ วิทยานิพนธ์ปริญญา  
มหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2541.
- ปริญญา กมลสินธุ์. การศึกษาเปรียบเทียบการไหลของน้ำและตะกอนผ่านฝายแลบบิรินทร์และฝาย  
สันมน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
2545.
- ฝายชลศาสตร์ กองวิจัยและทดลอง. กรณีศึกษาฝายระบายทราย(กรณี ศึกษาฝายระบายทรายลำ  
น้ำแม่กวัง อ.เมือง จ.ลำพูน) กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ 2537.
- พรหมงคล ชิดชอบ. การกัดเซาะรอบตอม่อสะพาน วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย 2540.
- เอกนันท์ ตั้งธีระสุนันท์. ผลของความขรุขระของผิวตอม่อสะพานต่อหลุมกัดเซาะ วิทยานิพนธ์  
ปริญญาโทมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2544.

### ภาษาอังกฤษ

- Aminipouri, B. and E.M. Valentine. Experimental investigation of flow over labyrinth  
weirs, pp 147-155, Ninth Congress of the Asian and Pacific Division of the  
International Association for Hydraulic Research. Singapore ,Continental Press  
Pte ,1994.
- Cassidy ,J ,J.,Gardner ,C. A.,and Peacock, R. T. Boardman labyrinth crest.  
Journal of Hydraulic Engineering. ,ASCE111,3(1985):398-416
- Chow, V.T. Open-Channel Hydraulics ,(n.p.):McGraw-Hill, 1959.

- French, Richard H. Open-Channel Hydraulics ,Newyork ,McGraw-Hill ,1986.
- Hinchliff ,D. L., and Houston, K. L. Hydraulic design and application of labyrinth spillways."Proc.,USCOLD Lecture Dam Safety and Rehabilitation ,USCOLD ,Denver , COLO ,1984.
- Linsley, Ray K. et.al. Water-resources engineering ,(n.p.):McGraw-Hill ,1955.
- Sitompul, A.T. and J.J. Sharp. Applications of labyrinth weir , pp. 111-116, Ninth Congress of the Asian and Pacific Division of the International Association for Hydraulic Research. Singapore ,Continental Press Pte , 1994.
- Tullis ,J .P. ,Amanian ,N. ,Waldron ,D.R. Design of labyrinth spillway . Journal of Hydraulic Engineering. ,ASCE121,3(1995):247-255
- U.S.Army Corps of Engineers. Hydraulics Design Criteria. Department of the U.S.Army Corps of Engineers ,1965.
- U.S.Bureau of Reclamation. Design of Small Dams. U.S.Department of the Interior,1960.
- U.S.Development of the Interior,Department. Hydraulic Laboratory Techniques . Corolado: U.S.Department of the Interior ,1980.
- Yang ,Chih Ted. Sediment transport ; theory and practice ,McGraw-Hill,1996.

**ภาคผนวก**

## ภาคผนวก ก

### แบบจำลองชลศาสตร์ของฝายดักตะกอน

#### ก.1 การจัดเตรียมแบบจำลองทางชลศาสตร์

การทดลองการดักตะกอนด้วยฝาย ซึ่งทำการศึกษาและทดลองในรางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular flume) ในห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีถังเก็บน้ำขนาดความจุ 30 ลบ.ม. ตั้งอยู่บนชั้นดาดฟ้าของตึก อาคารวิศวกรรม 5 และมีระบบสูบน้ำหมุนเวียน โดยรักษาระดับน้ำความดันคงที่ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) รางน้ำเปิดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังรูป ก.1 มีความยาว 18 ม. กว้าง 0.60 ม. และลึก 0.75 ม. ผนังด้านข้างทำด้วยกระจกใสหนา 1.2 ซม. ทั้ง 2 ด้าน พื้นรางทำด้วยแผ่นเหล็กหนา 6 มม. และความลาดเอียงของรางน้ำสามารถปรับได้โดยใช้แม่แรง (Hydraulics) การปรับแม่แรงจะควบคุมด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ดังรูป ก-2

2) ตะแกรง (Screen) และตะแกรงลดคลื่น (Wave suppressors) ทำจากไม้ระแนงติดตั้งบริเวณบ่อพักน้ำด้านเหนือน้ำ (Head box) เพื่อลดขนาดของคลื่นและความรุนแรงของกระแสน้ำ ดังรูป ก-3

3) ระบบหมุนเวียนของน้ำ ประกอบด้วยถังเก็บน้ำ (Constant head tank) ความจุ 30 ลบ.ม. เครื่องสูบน้ำขนาด 25 แรงม้า ดังรูป ก-4 จำนวน 4 เครื่อง แต่ละเครื่องสามารถสูบน้ำได้สูงสุดประมาณ 25 ลิตรต่อวินาที การหมุนเวียนของน้ำเริ่มจากการปล่อยน้ำจากถังเก็บน้ำจากชั้นดาดฟ้าผ่านท่อเหล็กกล้าผ่านวาล์วควบคุมการเปิด-ปิดท่อ จนกระทั่งถึงบ่อพักด้านเหนือน้ำ น้ำจะไหลผ่านรางน้ำและไหลลงสู่บ่อพักน้ำ (Sump) และถูกสูบกลับไปยังถังเก็บน้ำโดยเครื่องสูบน้ำอีกครั้งหนึ่ง ดังรูป ก-5 ถึง ก-6



รูป ก-1 รางน้ำเปิดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



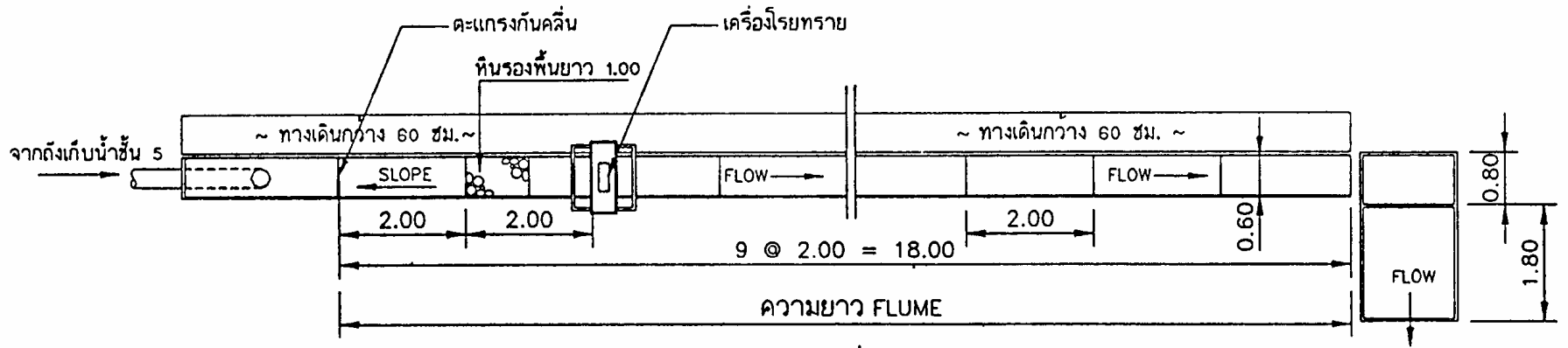
รูป ก-2 มอเตอร์ไฟฟ้าสำหรับปรับแม่แรง



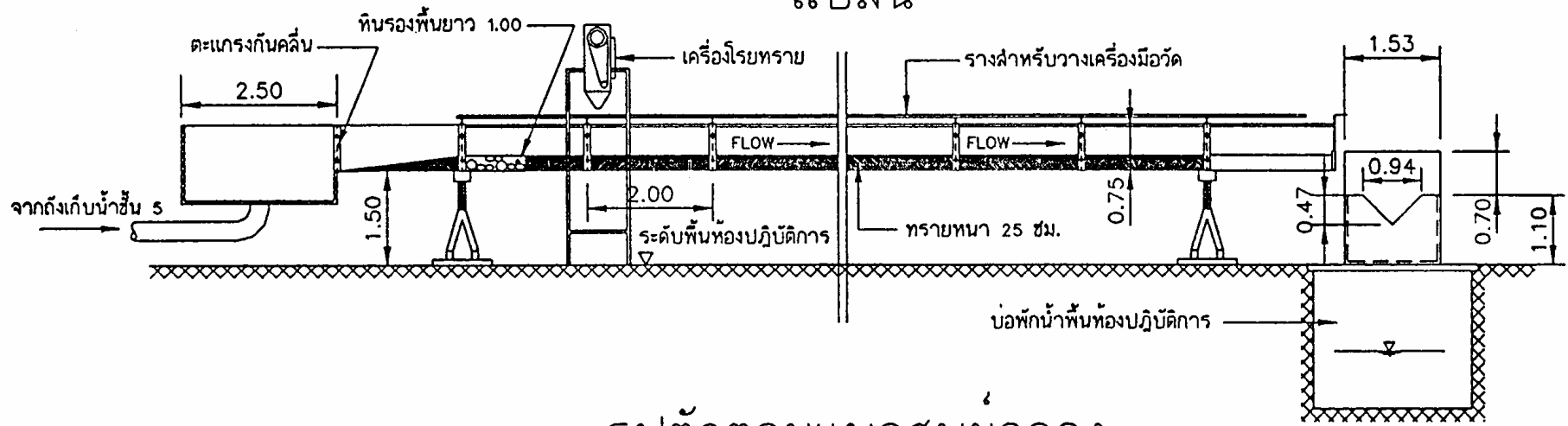
รูป ก-3 ตะแกรงและตะแกรงลดคลื่น



รูป ก-4 เครื่องสูบน้ำ

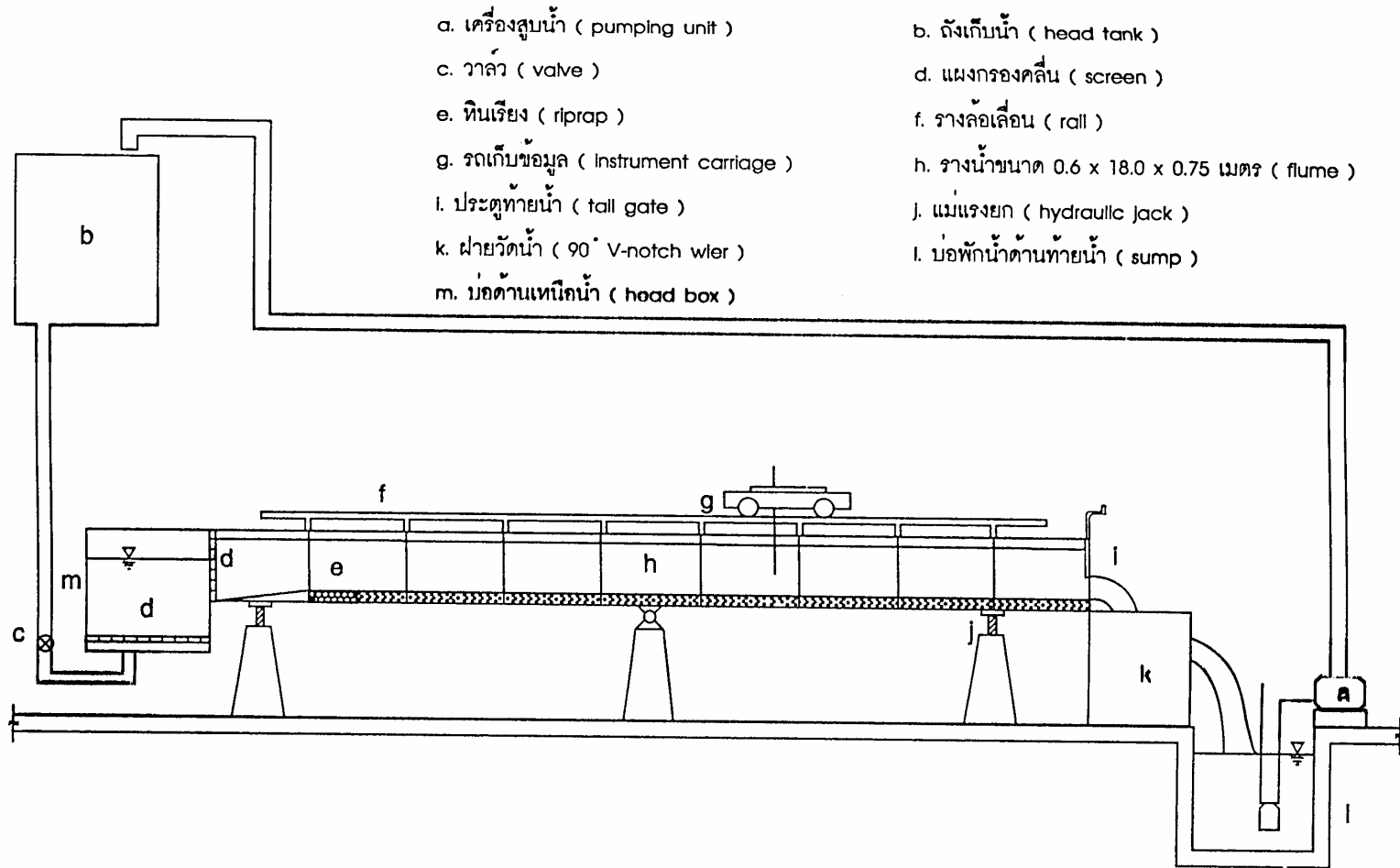


แปลน



รูปตัดตามแนวศูนย์กลาง

รูป ก-5 รางน้ำที่ใช้ในการทดลอง



รูป ก-6 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ และระบบหมุนเวียนของน้ำ

## ก.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้วัดข้อมูลต่างๆ ประกอบด้วย

1) ฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำสันคม ดังรูป ก-7 กว้าง 1.53 ม. ยาว 2.60 ม. ด้านหน้าสูง 1.10 ม. ด้านหลังสูง 1.80 ม. ทำจากแผ่นเหล็กหนา 6 มม. สามารถวัดน้ำได้สูงสุด 75 ลิตรต่อวินาทีติดตั้งอยู่ทางด้านท้ายของรางน้ำ ใช้สำหรับวัดอัตราการไหล ภายในตัวฝายติดตั้งตะแกรงลวดคลื่นเพื่อลดความรุนแรงของน้ำ ดังรูป ก-8 ทำให้สามารถอ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝายได้ถูกต้อง

2) เครื่องโรยทรายอัตโนมัติประกอบด้วยถังเก็บทราย ดังรูป ก-9 ถึง ก-12 มีขนาดกว้าง 0.30 ม. ยาว 0.55 ม. และสูง 0.825 ม. บริเวณด้านข้างของถังเก็บทรายติดตั้งมอเตอร์สันสะเทือนขนาด 0.5 แรงม้า เครื่องโรยทรายเป็นแบบลูกกลิ้งหมุนโดยใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 220/380 โวลต์ จำนวนรอบสูงสุดได้ 1500 รอบต่อนาที การควบคุมความเร็วของมอเตอร์ใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในการควบคุมดังรูป ก-10

3) อุปกรณ์วัดความเปลี่ยนแปลงความลึกท้องน้ำและระดับน้ำทำด้วยแท่งเหล็กยาว 120 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. ติดแผ่นบอกระดับโดยรอบ ที่ปลายไม้เสริมด้วยแผ่นอลูมิเนียมกลมบางเพื่อใช้เป็นตัวฉนวนน้ำสัมผัสที่จะแตะบอกระดับท้องน้ำและระดับผิวน้ำ ดังรูป ก-13

4) ตะแกรงสำหรับดักทรายที่ไหลผ่านฝาย ที่ติดตั้งไว้ที่ปลายรางน้ำ ดังรูป ก-14

5) กระบะโฟมที่ใช้ในการตรวจวัดทรายที่โรยจากเครื่องโรยทรายอัตโนมัติ

6) ตาชั่งสำหรับชั่งน้ำหนักทราย

7) กระบะและถุงปุ๋ย สำหรับขนย้ายทรายเข้า-ออกจากราง

8) รถยก สำหรับขนย้ายทรายเพื่อนำไปบริเวณสำหรับตากทราย

9) เทอร์โมมิเตอร์ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำขณะทำการทดลอง

10) นาฬิกาจับเวลา

## ก.3 แบบจำลองฝายหยัก

แบบจำลองทางกายภาพของฝายหยักทำจากแผ่นอะครีลิคใส ความหนา 1.0 ซม. ประกอบเข้าด้วยกันโดยน้ำยาเชื่อมอะครีลิค, ซิลิโคน และน็อตยึด ฝายทั้ง 3 แบบมีขนาดเท่ากันคือ ความกว้าง 60 ซม. ยาว 62 ซม. สูง 10 ซม. และมีความยาวสันฝายเท่ากับ 150 ซม. หรือ 2.5 เท่าของความกว้างรางน้ำ โดยฝายทั้ง 3 แบบติดตั้งอยู่บนแผ่นอะครีลิคใสขนาด 60 x 76 ซม. ขนาดส่วนต่างๆ และ รูปแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้น แสดงดังรูป ก-15 ถึง ก-20





รูป ก-7 ฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำสันคม



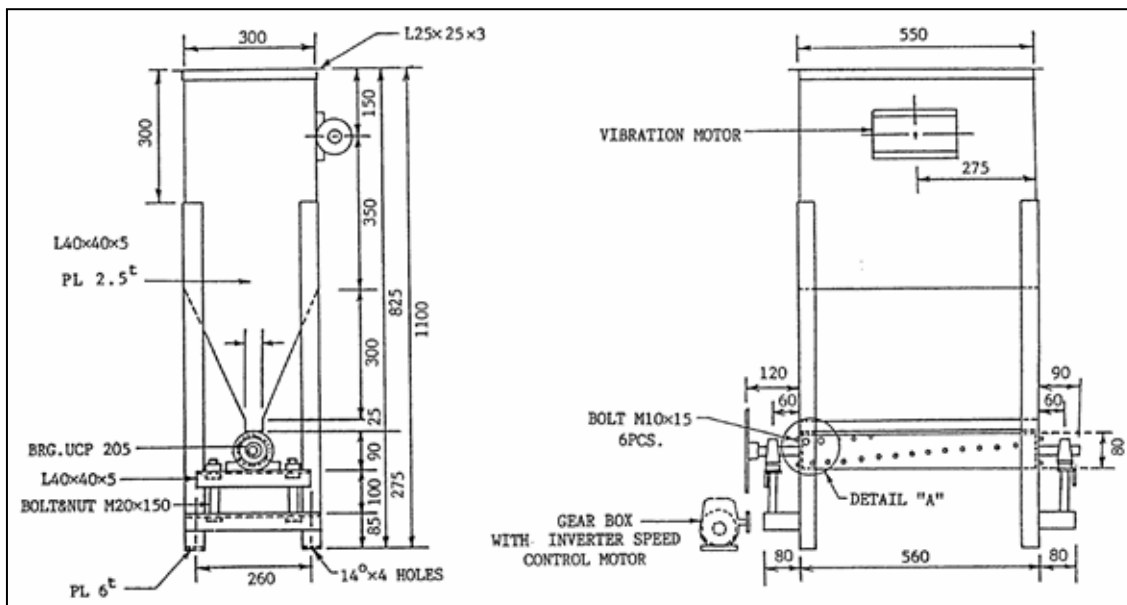
รูป ก-8 ตะแกรงลดคลื่น



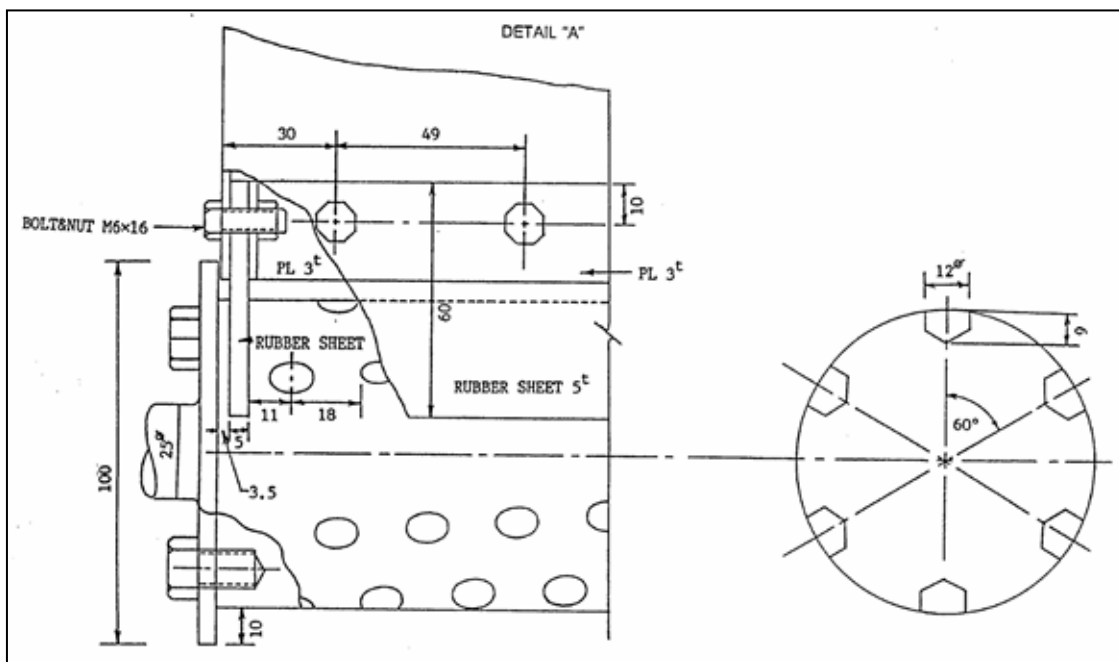
รูป ก-9 ถังเก็บทราย



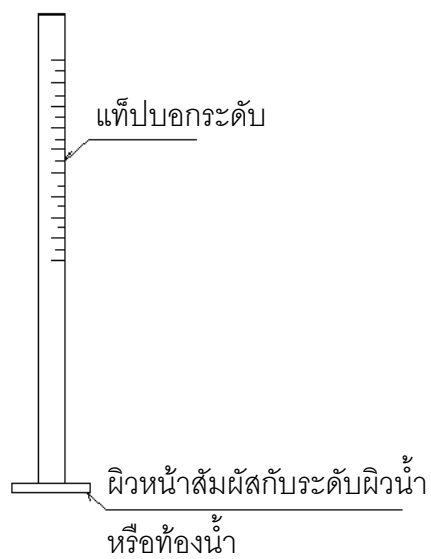
รูป ก-10 เครื่องควบคุมอัตราการไหลทราย



รูป ก-11 แบบรายละเอียดเครื่องโรยทรายอัตโนมัติ



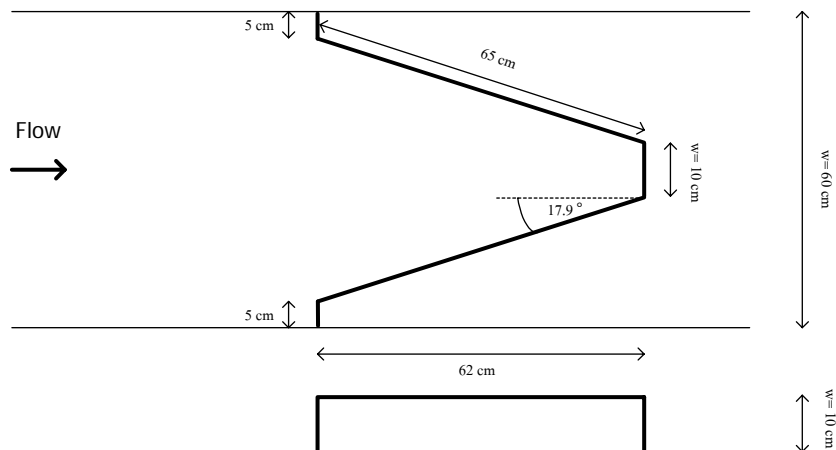
รูป ก-12 แบบรายละเอียดลูกกิ้งของเครื่องโรยทรายอัตโนมัติ



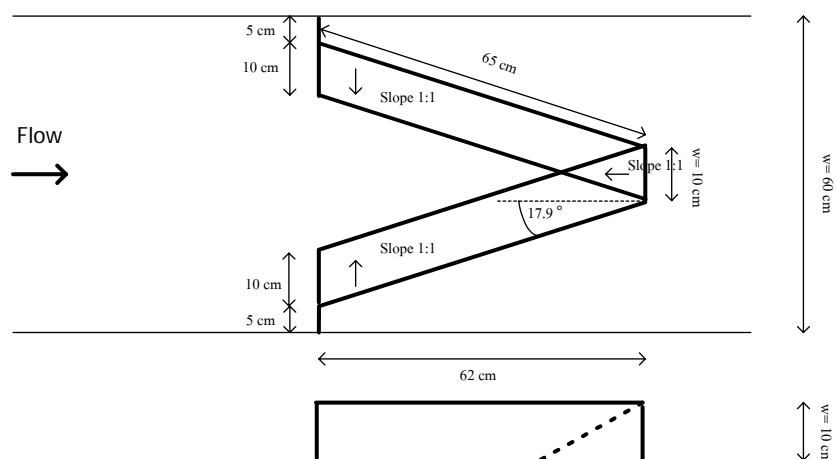
รูป ก-13 แบบจำลองของแท่งวัดระดับ (Staff gauge)



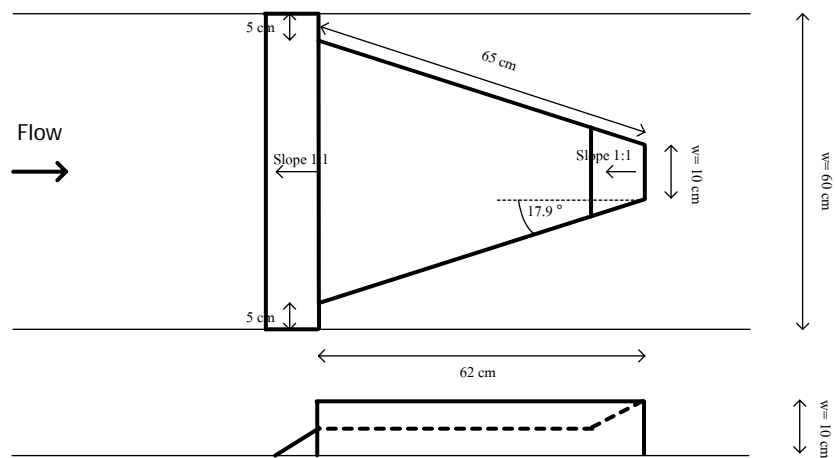
รูป ก-14 ตะแกรงสำหรับวัดการไหลที่ไหลผ่านฝาย



รูปที่ ก-15 ฝ่าย A เป็นรูปแบบที่ผนังของฝายตั้งตรงและไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย



รูปที่ ก-16 ฝ่าย B เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันของผนังตัวฝายแต่ไม่มีอาคารด้านหน้าตัวฝาย



รูปที่ ก-17 ฝ่าย C เป็นรูปแบบที่มีความลาดชันเฉพาะด้านหน้าตัวฝายรวมทั้งมีอาคารด้านหน้า



รูปที่ ก-18 แบบจำลองฝายรูปแบบ A



รูปที่ ก-19 แบบจำลองฝายรูปแบบ B



รูปที่ ก-20 แบบจำลองฝายรูปแบบ C

#### ก.4 วัสดุท้องน้ำ (Bed material)

วัสดุท้องน้ำใช้เป็น Uniform Sized Sand ขนาดทรายปานกลาง (Medium sand) ที่มีขนาด  $D_{50}$  ประมาณ 1.2 มม. ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

ตาราง ก-1 คุณสมบัติของวัสดุท้องน้ำที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	$D_{35}$ (มม.)	$D_{50}$ (มม.)	$D_{65}$ (มม.)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )*	$\rho_{sat}$ (ton/m <sup>3</sup> )	$\phi^*$
ทรายปานกลาง	1.15	1.2	1.3	2.62	1.49	30

หมายเหตุ \*  $\phi$  = Angle of repose of sediment (ธรรมวิวัฒน์, 2541)

$$\gamma = 2.62 \text{ kN/m}^3 \text{ (ชัยอนันต์, 2546)}$$

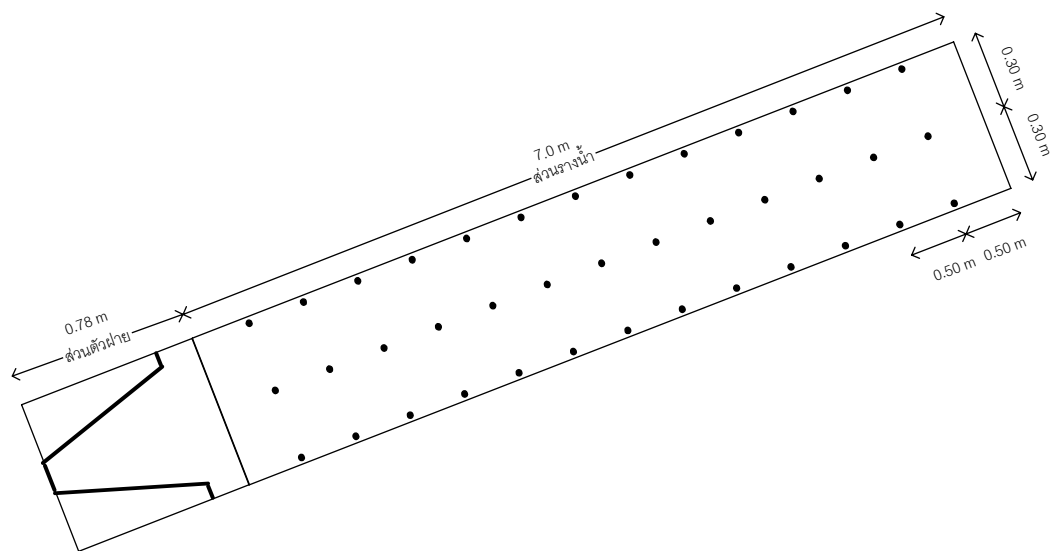


รูป ก-21 บ่อเก็บทราย

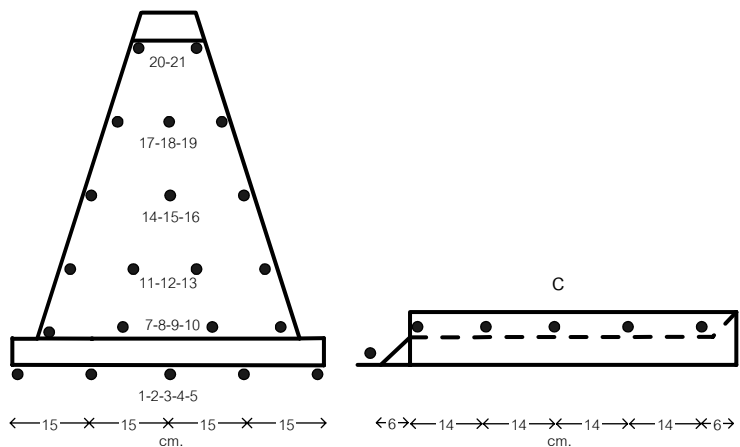
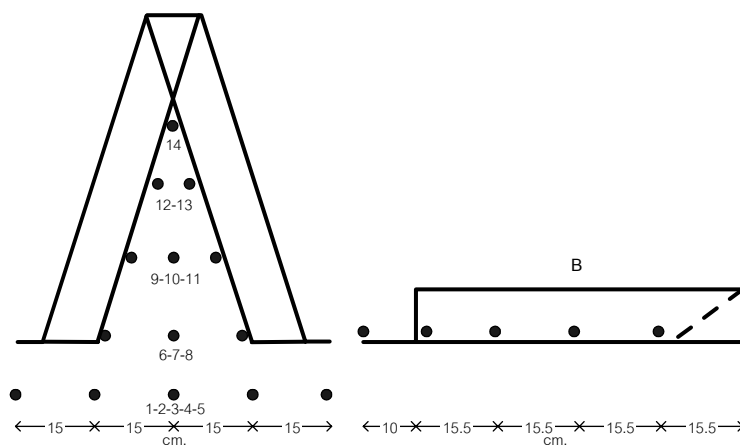
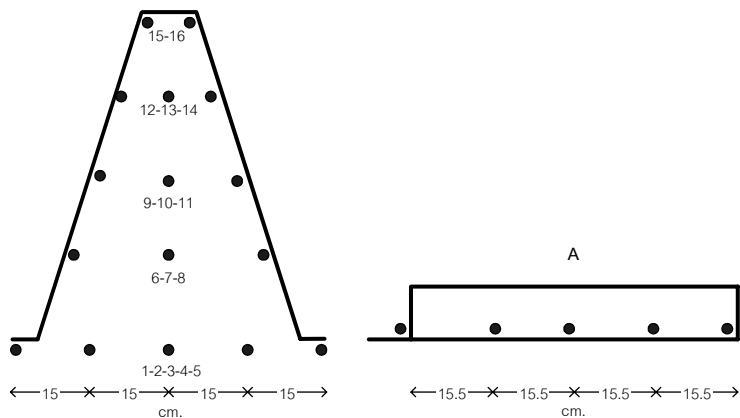
#### ก.5 แผนผังของตำแหน่งการเก็บข้อมูลระดับน้ำและระดับท้องน้ำ

การวัดการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ จะแบ่งจุดการวัดเป็น 14 หน้าตัดตลอดความยาวรางทดลอง 7 เมตร โดยแต่ละหน้าตัดห่างกัน 0.5 เมตร และ แต่ละหน้าตัดวัด 3 จุด คือจุดริมซ้าย จุดกลาง และริมขวา แต่ละจุดห่างกัน 0.30 เมตร และทุกจุดกลางจะทำการวัดระดับน้ำด้วย โดยช่วงเวลาในการวัดจะมีความแตกต่างกัน สำหรับต่างกรณีทดลองเพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในแต่ละกรณีทดลองซึ่งมีความแตกต่างกัน ตำแหน่งการวัดแสดงได้ดังรูป ก-

การวัดการเปลี่ยนแปลงตะกอนในตัวฝาย จะเริ่มวัดต่อเมื่อตะกอนเริ่มเคลื่อนที่เข้าถึงตัวฝาย โดยตำแหน่งในการวัดจะแตกต่างกันไปตามรูปแบบของตัวฝาย โดยอยู่ระหว่าง 14-21 จุด และมีช่วงเวลาการวัดที่เท่ากันในกรณีทดลองเดียวกัน แต่แตกต่างกันไปสำหรับคนละกรณีทดลอง เพื่อให้เหมาะสมกับอัตราการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่เกิดขึ้น ตำแหน่งการวัดแสดงดังรูป ก-23



รูป ก-22 แสดงตำแหน่งจุดวัดระดับท้องน้ำ



รูปที่ ก-23 แสดงตำแหน่งจุดวัดระดับท้องน้ำของฝายทั้ง 3 รูปแบบ



## ภาคผนวก ข

### การเตรียมการก่อนการทดลอง

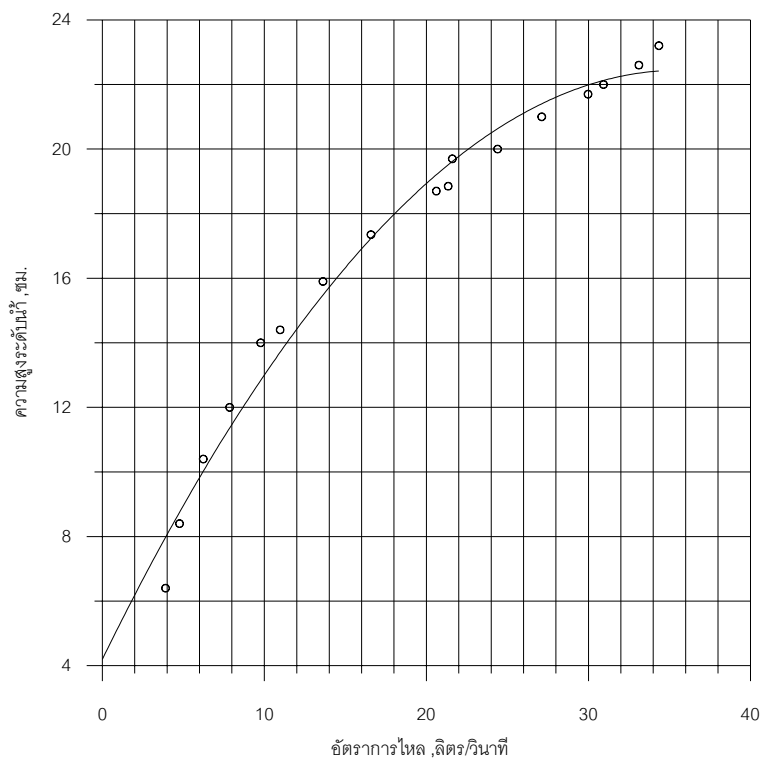
#### ข.1 การสอบเทียบเครื่องมือ

1. การสอบเทียบฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำสันคม ( $90^\circ$  V-notch weir calibration) ทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการทางชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ถังเหล็กทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดกว้าง 0.90 ม. ยาว 0.90 ม. สูง 0.90 ม. และมีความจุทั้งหมดประมาณ 729 ลิตร ซึ่งมีขั้นตอนการสอบเทียบดังนี้ เริ่มจากการเปิดวาล์วน้ำ ให้น้ำไหลผ่านรางน้ำมายังบ่อด้านท้ายน้ำ ซึ่งมีฝายสามเหลี่ยมติดตั้งอยู่ ทำการอ่านระดับน้ำเหนือสันฝาย (H) จากนั้นทำการปิดวาล์วน้ำที่ไหลผ่านรางน้ำ เปิดวาล์วน้ำอีกตัวให้น้ำไหลลงถังเหล็กทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่เตรียมไว้แทน ซึ่งถังเหล็กนี้จะถูกวางไว้บนตาชั่งเพื่อใช้สำหรับวัดปริมาตรน้ำ โดยในการสอบเทียบจะทำการจับเวลาที่ใช้ในการทำให้น้ำในถังมีปริมาตรเพิ่มขึ้น 200-400 ลิตรแล้วแต่อัตราการไหล โดยในหนึ่งอัตราการไหลจะทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาอัตราการไหล (discharge, Q) เพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำเหนือสันฝายกับอัตราการไหล (H-Q) แล้วนำมา plot หา Rating curve ของฝายวัดน้ำสันคม ข้อมูลจากการสอบเทียบ และ โค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่าระดับน้ำเหนือสันฝายกับอัตราการไหล (H-Q Curve) แสดงในตาราง ข-1 และรูป ข-1 ตามลำดับ

2. การสอบเทียบเครื่องโรยทราย ทำโดยการชั่งน้ำหนักทรายและจับเวลา ที่ค่าต่างๆของการหมุนมอเตอร์ ซึ่งก่อนการทดลองได้ทำการสอบเทียบ และหากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราโรยทราย(กก./วินาที) กับ รอบการหมุนของมอเตอร์ (รอบ/นาที) ไว้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ดังรูป ข-2 แต่เมื่อได้ทำการทดลองจริง อัตราโรยทรายที่ให้ ที่รอบการหมุนที่กำหนดจะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากความฝืดของแผ่นยางที่ปิดช่องโรยทรายลดน้อยลงเนื่องจากการเสียดสีกับลูกกลิ้งโรยทราย ยิ่งเวลาผ่านไป ช่องว่างระหว่างยางกับลูกกลิ้งโรยทราย จะยิ่งห่างมากขึ้น อัตราโรยทรายยังมีค่ามากขึ้น ในการทดลองจริง จึงใช้วิธีชั่งน้ำหนักทราย และหารอบการหมุนของมอเตอร์ ที่ให้อัตราการโรยทรายที่ถูกต้อง ก่อนการทดลอง และระหว่างการทดลองในทุกๆกรณีทดลอง

ตาราง ข-1 ผลการสอบเทียบฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำ

อัตราการไหลที่	ความสูงระดับน้ำ cm	อัตราการไหล l/sec
1	6.4	3.90
2	8.4	4.76
3	10.4	6.23
4	12.0	7.86
5	14.0	9.77
6	14.4	10.97
7	15.9	13.62
8	17.4	16.58
9	18.7	20.61
10	18.9	21.34
11	19.7	21.60
12	20.0	24.40
13	21.0	27.12
14	21.7	29.98
15	22.0	30.93
16	22.6	33.11
17	23.2	34.35



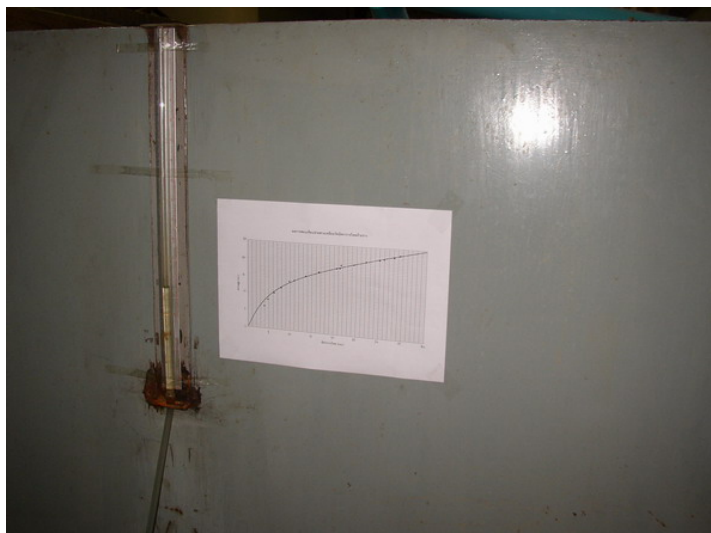
รูป ข-1 ผลการสอบเทียบฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำ

## ข.2 การปรับปรุงซ่อมแซมอุปกรณ์ให้พร้อมก่อนการทดลอง

1.ฝายสามเหลี่ยมวัดน้ำมีการรั่วซึมของน้ำออกมาจากหลอดแก้ววัดระดับ จึงทำการเปลี่ยนอุปกรณ์ยึดหลอดแก้ววัดระดับ กับถังน้ำของฝาย แล้ววาดด้วยกาชซีเมนต์ และติดซีตบอกระดับวัดน้ำใหม่ ดังรูป ข-3

2.การขัดแต่งผนังด้านข้างด้านในของรางน้ำที่มีความขรุขระ ดังรูป ข-4 เพื่อลดสิ่งกีดขวางการไหลของน้ำ บริเวณผนังด้านข้าง เพื่อลดความแปรปรวนของกระแสในรางน้ำ ซึ่งส่งผลต่อรูปร่างของท้องน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป

3.การซ่อมเครื่องโรยทรายให้สามารถโรยทรายได้ด้วยอัตราที่สม่ำเสมอ โดยการเปลี่ยนแผ่นยางที่เป็นตัวปิดไม่ให้ทรายในถังไหลลงมา ซึ่งของเดิมมีสภาพเปื่อย ผุพัง ทำให้ไม่สามารถควบคุมอัตราการโรยทรายให้มีความสม่ำเสมอได้ ดังรูป ข-5



รูป ข-3 ภาพหลอดแก้ววัดระดับหลังจากการซ่อมแซม



รูป ข-4 ภาพรอยขรุขระผนังด้านข้างรางน้ำ ก่อน-หลัง การปรับปรุง



รูป ข-5 ภาพแผ่นยางเครื่องโรยทราย ก่อน-หลัง การปรับปรุง

### ข.3 การวิเคราะห์ขนาดของวัสดุท้องน้ำ

1.การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดทราย (Sieve analysis) ได้ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการ ปฐพีวิทยา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อหาขนาด ตะกอนท้องน้ำที่ลอดผ่านตะแกรงที่ร้อยละ 35, 50 และ 65 ได้ผลการวิเคราะห์  $D_{35} = 1.15$  มม.  $D_{50} = 1.2$  มม.  $D_{60} = 1.3$  มม. รายละเอียดการวิเคราะห์ดังแสดงในตาราง ข-2 และรูป ข-6

2.การวิเคราะห์ความหนาแน่นอิมตัวของวัสดุท้องน้ำเพื่อสอบเทียบปริมาตรของทราย ใน สภาวะอิมตัวได้น้ำ ซึ่งได้ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์พื้นฐาน ภาควิชาวิศวกรรม แหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้คือ ขวดตวงปริมาตร ขนาด 1000 ลบ.ซม. ตาชั่งน้ำหนัก ปากกรวย เพื่อที่จะหาปริมาณของทรายที่ใช้โรยในช่วงเวลา หนึ่งจะเทียบได้เป็นปริมาตร  $\nabla_s$  (Inflow) เท่าไร สืบเนื่องจากทฤษฎีของการคำนวณปริมาตรของ ตะกอนทับถมในอ่างเก็บน้ำจะใช้ตัวแปรระหว่างปริมาตรตะกอนทับถมในช่วงเวลา  $\nabla_s$  (Deposit) ต่อปริมาตรตะกอนไหลเข้าในช่วงเวลา  $\nabla_s$  (Inflow)

วิธีการทดลองมีดังนี้

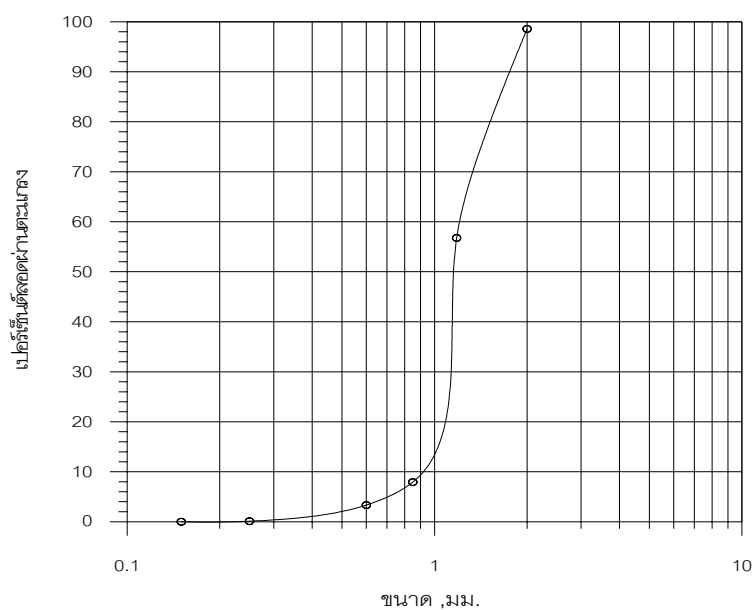
- 1) เตรียมขนาดทรายที่จะใช้ทดลอง โดยทรายที่ใช้จะทดลองต้องเป็นทรายที่แห้ง
- 2) นำทรายจำนวนหนึ่งไปชั่งหาน้ำหนัก แล้วบันทึกค่าเป็นน้ำหนักของทรายแห้ง
- 3) เตรียมขวดตวงปริมาตรใส่น้ำลงไปในขวดพอประมาณเพื่อใช้ให้ทรายไปแทนที่น้ำได้
- 4) ค่อยเททรายที่ได้ชั่งน้ำหนักไว้แล้วลงไปในขวดตวงที่ใส่น้ำ โดยอาจใช้ปากกรวยรอง เพื่อให้ทรายไหลลงได้อย่างสม่ำเสมอ แล้วทิ้งไว้สักครู่เพื่อให้ทรายตกตะกอน
- 5) อ่านค่าปริมาตรในส่วนของทราย แล้วบันทึกค่าเป็นปริมาตรทรายอิมตัวในน้ำ
- 6) นำค่าน้ำหนักของทรายแห้งและปริมาตรทรายอิมตัวในน้ำไปคำนวณหาความหนาแน่น ของวัสดุท้องน้ำทับถมได้น้ำ

7) ทดลองครั้งต่อไปโดยเพิ่มน้ำหนักทรายขึ้นอีก

ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของวัสดุท้องน้ำทับถมได้น้ำได้เท่ากับ 1.49 กรัม/ลบ.ซม. โดยผลการทดลองแสดงไว้ในตาราง ข-3

ตาราง ข-2 ผลการวิเคราะห์ขนาดวัสดุท้องน้ำ

ขนาดตะแกรง (มม.)	น้ำหนักที่ค้าง บนตะแกรง (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ตกค้าง บนตะแกรง	เปอร์เซ็นต์สะสม บนตะแกรง	ค่าเปอร์เซ็นต์ ที่ผ่านตะแกรง
2.00	14.3	1.43	1.43	98.57
1.18	416.9	41.8	43.23	56.77
0.85	487.1	48.84	92.07	7.93
0.60	45.8	4.59	96.66	3.34
0.25	32.2	3.23	99.89	0.11
0.15	1.0	0.11	100	0
0.08	0	0	100	0
ถัด	0	0	100	0
รวม	997.4	100	-	-



รูป ข-6 ผลการวิเคราะห์ขนาดวัสดุท้องน้ำ

ตาราง ข-3 ผลการวิเคราะห์ความหนาแน่นของวัสดุท้องน้ำที่บดมได้น้ำทั้ง 3 ขนาด

ขนาดทราย	น้ำหนักทรายแห้ง (กิโลกรัม)	ปริมาตรทรายแห้ง (ซม <sup>3</sup> )
กลาง	1.305	875
	1.155	775
	0.782	520
	0.421	280
	0.255	170

#### ข.4 การคำนวณอัตราโรยทรายที่สอดคล้องกับอัตราการไหล

อัตราโรยทราย ต้องคำนวณหาค่าที่สอดคล้องกับอัตราการไหลแต่ละกรณี เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้นในการทดลอง โดยในแต่ละกรณีทดลอง จะต้องคำนวณหาอัตราโรยทรายมา 2 ค่า โดยค่าแรกเป็นค่าที่ใช้เพื่อปรับสมดุลย์ท้องน้ำ ซึ่งเป็นการทดลองก่อนติดตั้งฝาย ส่วนค่าที่สองเป็นค่าที่ใช้หลังจากติดตั้งฝายแล้ว ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าค่าแรก เพราะระดับน้ำ ณ จุดโรยทรายจะสูงขึ้น เนื่องจากผลกระทบน้ำเทือกจากตัวฝาย ซึ่งมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

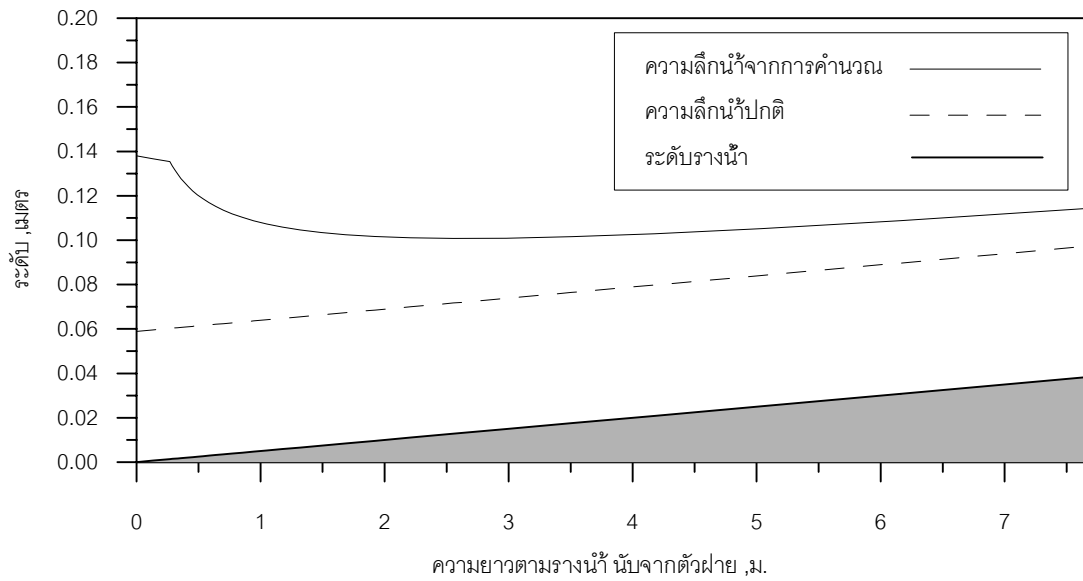
1. คำนวณหาความลึกน้ำ และ ความลึกวิกฤต กรณีลักษณะการไหลเป็น uniform flow ที่อัตราการไหล และ ความลาดชันท้องน้ำที่กำหนด
  2. เลือกความลาดชันท้องน้ำที่เหมาะสม ที่จะกำหนดให้เป็นความลาดชันที่ใช้ในกรณีทดลอง โดยเลือกความลาดชันที่ให้ลักษณะการไหลเป็นการไหลแบบ subcritical flow ตาราง ข-4 แสดงความลึกน้ำ ที่อัตราการไหล และความลาดชันท้องน้ำต่างๆ
  3. คำนวณอัตราการนำพาตะกอน กรณีก่อนติดตั้งฝาย จากความลึกน้ำ , ความลาดชันท้องน้ำ และ ตัวแปรการไหล ที่เกี่ยวข้อง
  4. สมมุติว่าหากมีการติดตั้งฝาย จะมีความลึกน้ำหน้าฝายเท่าใด โดยคำนวณจากสมการ และ ข้อมูลในการศึกษาที่ผ่าน
  5. คำนวณหา water profile ที่เกิดผลกระทบน้ำเทือกจากตัวฝาย เพื่อหาระดับน้ำ ที่จุดเครื่องโรยทราย ซึ่งห่างจากตัวฝาย 7 เมตรเศษ
  6. คำนวณอัตราการนำพาตะกอน กรณีหลังติดตั้งฝาย จากความลึกน้ำที่จุดเครื่องโรยทราย , ความลาดชันท้องน้ำ และ ตัวแปรการไหลที่เกี่ยวข้อง
  7. แปลงอัตราการนำพาตะกอนที่ได้ ให้สอดคล้องกับรอบมอดเตอร์ของเครื่องโรยทราย
- รูป ข-7 แสดง water profile หลังจากสมมุติว่าได้ติดตั้งฝายไปแล้ว กรณีทดลอง A-24-0.005 ซึ่งมีอัตราการไหล 24 ลิตร/วินาที , ความลาดชันท้องน้ำ 0.005 , ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ manning 's n 0.014 (ธรรมวัฒน์ 2541) , ความลึกน้ำปกติ 0.059 เมตร , ความลึกน้ำหน้าฝาย 0.138 เมตร ซึ่งจากการคำนวณ ได้ความลึกน้ำที่จุดเครื่องโรยทราย 0.076 เมตร

การคำนวณหาอัตราการนำพาตะกอน ใช้สูตรการคำนวณอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด จากวิธีการที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย จำนวน 11 สมการ ดังแสดงในตาราง ข-5 แล้วนำค่าที่ได้มาจัดเรียงจากมากไปน้อย แล้วเลือกค่าเฉลี่ยช่วงกลางของข้อมูล โดยรายละเอียดของสมการ และค่าที่ได้จากการคำนวณ แสดงไว้ในตาราง ข-6 ถึง ข-7

ตาราง ข-4 แสดงความลึกน้ำ ที่อัตราการไหล และความลาดชันท้องน้ำต่างๆ

ความกว้าง รางน้ำ	ความลาดชัน ท้องน้ำ	ค่า n (ธรรมวัฒน์ 2541)	อัตรา การไหล ที่ต้องการ	ความลึกน้ำ จากการ trial	อัตรา การไหล ที่ความลึกนี้	ความลึก วิกฤต	ประเภท การไหล	หมายเหตุ
เมตร			ลิตร/วินาที	เมตร	ลิตร/วินาที	เมตร		
0.6	0.001	0.014	24	0.0997	23.99	0.0546	ได้วิกฤต	
0.6	0.002	0.014	24	0.0793	23.99	0.0546	ได้วิกฤต	
0.6	0.003	0.014	24	0.0695	24.00	0.0546	ได้วิกฤต	
0.6	0.004	0.014	24	0.0633	23.99	0.0546	ได้วิกฤต	
0.6	0.005	0.014	24	0.0589	23.98	0.0546	ได้วิกฤต	เลือก
0.6	0.006	0.014	24	0.0556	24.01	0.0546	ได้วิกฤต	
0.6	0.007	0.014	24	0.0529	23.99	0.0546	เหนือวิกฤต	
0.6	0.001	0.014	26	0.1052	26.00	0.0576	ได้วิกฤต	
0.6	0.002	0.014	26	0.0836	26.00	0.0576	ได้วิกฤต	
0.6	0.003	0.014	26	0.0732	25.99	0.0576	ได้วิกฤต	เลือก
0.6	0.004	0.014	26	0.0667	26.01	0.0576	ได้วิกฤต	
0.6	0.005	0.014	26	0.0621	26.03	0.0576	ได้วิกฤต	เลือก
0.6	0.006	0.014	26	0.0585	25.99	0.0576	ได้วิกฤต	
0.6	0.007	0.014	26	0.0557	26.00	0.0576	เหนือวิกฤต	
0.6	0.001	0.014	28	0.1105	27.98	0.0606	ได้วิกฤต	
0.6	0.002	0.014	28	0.0877	27.97	0.0606	ได้วิกฤต	
0.6	0.003	0.014	28	0.0768	27.98	0.0606	ได้วิกฤต	เลือก
0.6	0.004	0.014	28	0.0700	28.02	0.0606	ได้วิกฤต	
0.6	0.005	0.014	28	0.0651	28.01	0.0606	ได้วิกฤต	เลือก
0.6	0.006	0.014	28	0.0614	28.02	0.0606	ได้วิกฤต	
0.6	0.007	0.014	28	0.0584	28.00	0.0606	เหนือวิกฤต	
0.6	0.001	0.014	30	0.1158	29.99	0.0634	ได้วิกฤต	
0.6	0.002	0.014	30	0.0919	30.02	0.0634	ได้วิกฤต	
0.6	0.003	0.014	30	0.0804	30.01	0.0634	ได้วิกฤต	เลือก
0.6	0.004	0.014	30	0.0732	30.02	0.0634	ได้วิกฤต	
0.6	0.005	0.014	30	0.0681	30.03	0.0634	ได้วิกฤต	เลือก
0.6	0.006	0.014	30	0.0642	30.03	0.0634	ได้วิกฤต	
0.6	0.007	0.014	30	0.0611	30.04	0.0634	เหนือวิกฤต	





รูปที่ ๗-7 แสดงการคำนวณ water profile เพื่อหาความลึกน้ำที่เครื่องโรยทราย กรณี A-24-0.005

ตาราง ๗-5 วิธีการที่ใช้คำนวณหาอัตราการนำพาตะกอนทั้งหมด

วิธีที่	วิธีการของ	หมายเหตุ
1	LAURSEN	USING SIZE RANGE FRACTION
2	ENGELUND & HANSEN	-
3	ACKERS & WHITE	USING D50
4	ACKERS & WHITE	USING D35
5	YANG SAND	USING D50
6	YANG SAND	USING SIZE RANGE FRACTION
7	YANG GRAVEL	USING D50
8	YANG GRAVEL	USING SIZE RANGE FRACTION
9	YANG MIXTURE	USING SIZE RANGE FRACTION
10	EINSTEIN	-
11	TOFFALETI	-

ตาราง ข-6 แสดงอัตราการนำพาตะกอนที่ใช้ในการทดลอง กรณีก่อนติดตั้งฝาย

กรณี วิธีที่	24-0.005 กก./วินาที	26-0.003 กก./วินาที	26-0.005 กก./วินาที	28-0.003 กก./วินาที	28-0.005 กก./วินาที	30-0.003 กก./วินาที	30-0.005 กก./วินาที
1	0.047569	0.019792	0.052546	0.021875	0.057292	0.024074	0.062153
2	0.020255	0.009954	0.023264	0.011227	0.026389	0.012616	0.02963
3	0.047917	0.021412	0.053241	0.023958	0.058333	0.026505	0.063542
4	0.049653	0.022454	0.055093	0.025	0.060417	0.027662	0.065856
5	0.032639	0.015741	0.0375	0.018171	0.042361	0.020602	0.047454
6	0.03206	0.015278	0.036921	0.017477	0.041782	0.019907	0.046991
7	0.038079	0.013426	0.041551	0.015046	0.044676	0.016435	0.047801
8	0.035764	0.012153	0.039352	0.013542	0.042824	0.014931	0.046065
9	0.03206	0.015162	0.036921	0.017477	0.041782	0.019792	0.046991
10	0.128935	0.045486	0.148148	0.05162	0.167593	0.05787	0.182986
11	0.010995	0.003819	0.01169	0.004051	0.013542	0.004282	0.014352
เมื่อจัดเรียงข้อมูลจากมากไปน้อย และหาค่าเฉลี่ยจากค่าช่วงกลางของข้อมูล จะได้อัตราการนำพาตะกอน							
เลือกใช้	0.03694	0.01408	0.04158	0.01533	0.04464	0.01661	0.04834

ตาราง ข-7 แสดงอัตราการนำพาตะกอนที่ใช้ในการทดลอง กรณีหลังติดตั้งฝาย

กรณี วิธีที่	24-0.005 กก./วินาที	26-0.003 กก./วินาที	26-0.005 กก./วินาที	28-0.003 กก./วินาที	28-0.005 กก./วินาที	30-0.003 กก./วินาที	30-0.005 กก./วินาที
1	0.009375	0.00162	0.019213	0.001852	0.021875	0.002083	0.026157
2	0.017824	0.008681	0.021181	0.009838	0.023958	0.011111	0.027083
3	0.012037	0.003356	0.021296	0.004167	0.024074	0.005208	0.028472
4	0.012847	0.003819	0.022569	0.004745	0.025463	0.005787	0.029977
5	0.019329	0.008449	0.026505	0.009954	0.030324	0.01169	0.035185
6	0.018287	0.007639	0.025579	0.009144	0.029514	0.010764	0.034375
7	0.00625	0.001736	0.012269	0.002083	0.013657	0.002546	0.016204
8	0.005208	0.001273	0.01088	0.00162	0.012269	0.001968	0.014815
9	0.018287	0.007639	0.025463	0.009144	0.029398	0.010764	0.034144
10	0.036458	0.010301	0.06088	0.012153	0.06956	0.014583	0.082986
11	0.00162	0.001042	0.002431	0.001157	0.003009	0.001157	0.004167
เมื่อจัดเรียงข้อมูลจากมากไปน้อย และหาค่าเฉลี่ยจากค่าช่วงกลางของข้อมูล จะได้อัตราการนำพาตะกอน							
เลือกใช้	0.01836	0.00831	0.02366	0.00977	0.02672	0.01108	0.03030

## ภาคผนวก ค

### ผลการทดลอง

#### ค.1 ข้อมูลระดับน้ำเหนือสันฝาย

ใช้การวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การไหล,  $C_d$  โดยค่า  $C_d$  ที่คำนวณในหนึ่งกรณีทดลอง จะมี 2 ค่า โดยเป็นค่าในช่วงเริ่มต้นการทดลอง ซึ่งเป็นช่วงที่การเปลี่ยนแปลงของน้ำเพิ่งเริ่มขึ้นในรางน้ำ กับ ค่าในช่วงใกล้เสร็จสิ้นการทดลอง ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของน้ำบริเวณตัวฝาย แล้ว และน้ำกำลังเข้าสู่สมดุลง่ายใหม่

ค่าสัมประสิทธิ์การไหล,  $C_d$  คำนวณจากสมการที่ 2-6

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_e \sqrt{2g} H_i^{1.5} \quad (2-6)$$

โดย  $Q$  = อัตราการไหล

$C_d$  = ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของฝาย

$g$  = ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 เมตร/วินาที<sup>2</sup>

$L_e$  = ความยาวสันฝายประสิทธิผล = 1.46 เมตร (ความยาวจริง 1.50 เมตร)

$H_i$  = เศษรวมเหนือสันฝาย =  $h + H_v$

$H_v = v^2/2g$

$v = Q/0.6y$  (รางน้ำกว้าง 0.60 เมตร)

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของแต่ละกรณีทดลอง แสดงในตาราง ค-1 และ ค-2

ตาราง ค-1 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหล,  $C_d$  ช่วงเริ่มต้นการทดลอง

กรณี	ระดับน้ำเหนือ สันฝาย (h) $\times 10^{-2}$ เมตร	ความลึกน้ำ หน้าฝาย (y) $\times 10^{-2}$ เมตร	ความเร็วการไหล หน้าฝาย (v) เมตร/วินาที	เฮดความเร็ว ( $H_v$ ) $\times 10^{-2}$ เมตร	เฮดรวม ( $H_t$ ) $\times 10^{-2}$ เมตร	สปส. การไหล ( $C_d$ )
A-24-0.005	3.8	13.7	0.29	0.43	4.27	0.65
A-26-0.003	4.2	14.0	0.31	0.49	4.65	0.62
A-26-0.005	4.0	14.1	0.31	0.48	4.45	0.66
A-28-0.003	4.6	15.3	0.31	0.47	5.04	0.59
A-28-0.005	4.4	13.8	0.34	0.58	4.95	0.61
A-30-0.003	3.9	14.5	0.35	0.61	4.54	0.74
A-30-0.005	4.6	14.6	0.34	0.60	5.23	0.60
B-24-0.005	4.4	14.3	0.28	0.40	4.75	0.55
B-26-0.003	4.9	15.2	0.29	0.41	5.31	0.51
B-26-0.005	4.8	15.1	0.29	0.42	5.22	0.52
B-28-0.003	5.4	15.1	0.31	0.49	5.92	0.46
B-28-0.005	5.0	15.3	0.31	0.47	5.49	0.52
B-30-0.003	5.5	15.9	0.31	0.50	6.03	0.48
B-30-0.005	5.4	15.2	0.33	0.55	5.91	0.50
C-24-0.005	5.0	15.0	0.27	0.36	5.39	0.46
C-26-0.003	4.8	14.3	0.30	0.47	5.25	0.52
C-26-0.005	5.0	15.1	0.29	0.42	5.38	0.50
C-28-0.003	5.4	15.5	0.30	0.46	5.88	0.47
C-28-0.005	5.3	15.3	0.31	0.47	5.75	0.48
C-30-0.003	5.8	16.1	0.31	0.49	6.27	0.46
C-30-0.005	5.7	15.5	0.32	0.53	6.28	0.45

ตาราง ค-2 การคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหล,  $C_d$  ช่วงก่อนท่อน้ำใกล้เข้าสู่สมดุลง่ายใหม่

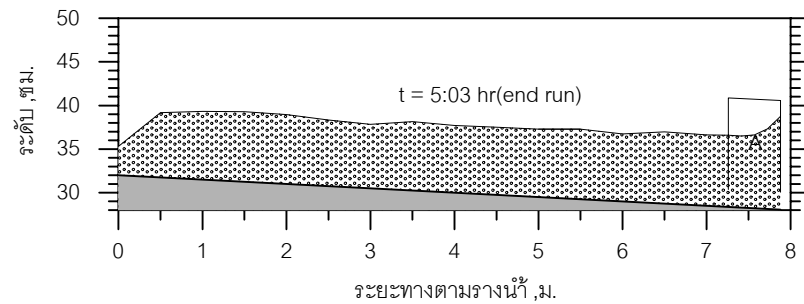
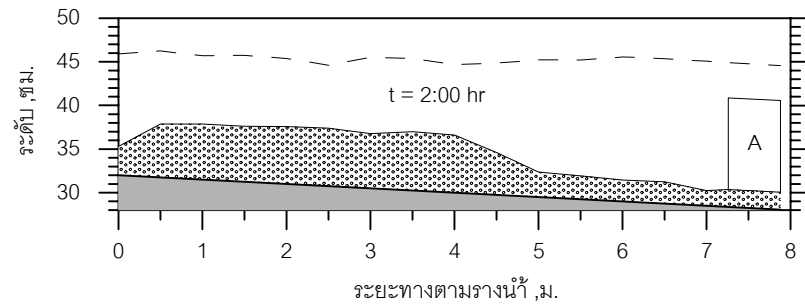
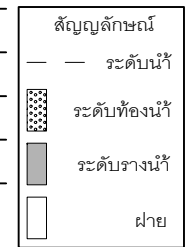
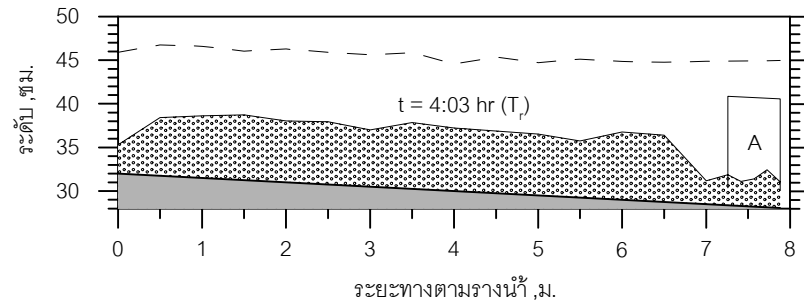
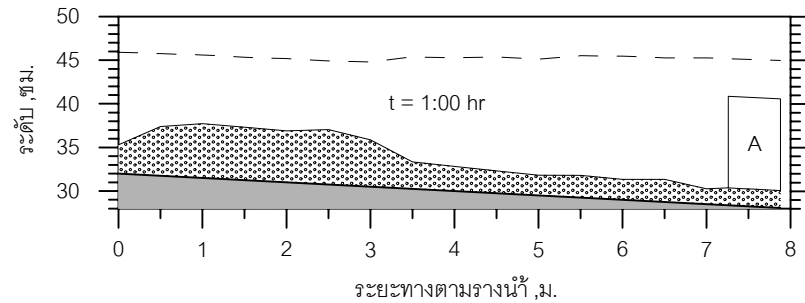
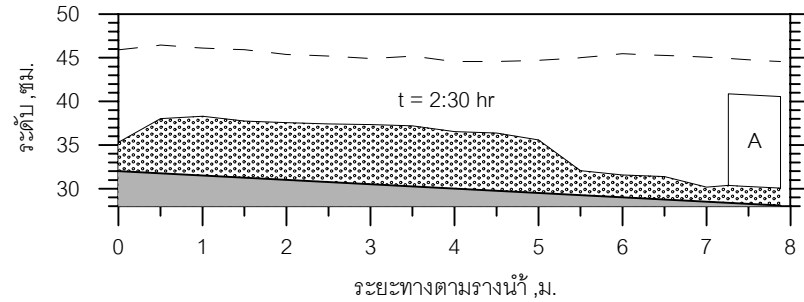
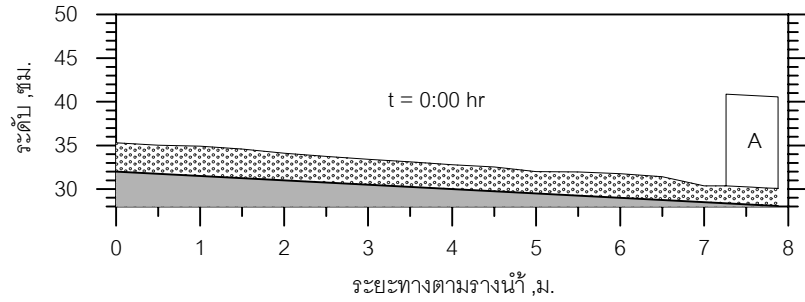
กรณี	ระดับน้ำเหนือ สันฝาย (h) x10-2เมตร	ความลึกน้ำ หน้าฝาย (y) x10-2เมตร	ความเร็วการไหล หน้าฝาย (v) เมตร/วินาที	เฮดความเร็ว ( $H_v$ ) x10-2เมตร	เฮดรวม ( $H_t$ ) x10-2เมตร	สปส. การไหล ( $C_d$ )
A-24-0.005	4.0	8.4	0.48	1.16	4.74	0.55
A-26-0.003	4.1	9.3	0.47	1.11	5.24	0.52
A-26-0.005	3.6	8.9	0.49	1.21	5.17	0.53
A-28-0.003	4.3	10.9	0.43	0.93	5.16	0.57
A-28-0.005	4.0	10.7	0.44	0.97	4.93	0.61
A-30-0.003	3.9	8.5	0.59	1.76	5.91	0.50
A-30-0.005	4.6	11.1	0.45	1.03	5.75	0.52
B-24-0.005	4.3	9.4	0.43	0.92	4.97	0.52
B-26-0.003	4.2	8.2	0.53	1.42	6.08	0.41
B-26-0.005	4.1	8.3	0.52	1.39	5.58	0.47
B-28-0.003	4.6	8.6	0.54	1.50	5.89	0.47
B-28-0.005	4.8	9.9	0.44	1.13	5.00	0.60
B-30-0.003	5.0	9.5	0.53	1.41	5.87	0.50
B-30-0.005	5.0	8.8	0.57	1.55	5.29	0.59
C-24-0.005	4.1	8.1	0.49	1.24	5.58	0.43
C-26-0.003	4.0	9.4	0.46	1.08	5.99	0.42
C-26-0.005	4.0	7.5	0.58	1.70	5.79	0.45
C-28-0.003	4.3	10.0	0.47	1.11	5.62	0.50
C-28-0.005	4.6	9.1	0.54	1.34	6.06	0.45
C-30-0.003	4.6	11.5	0.43	0.96	5.57	0.54
C-30-0.005	4.8	9.1	0.55	1.54	6.24	0.46

## ค.2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ และในบริเวณตัวฝาย

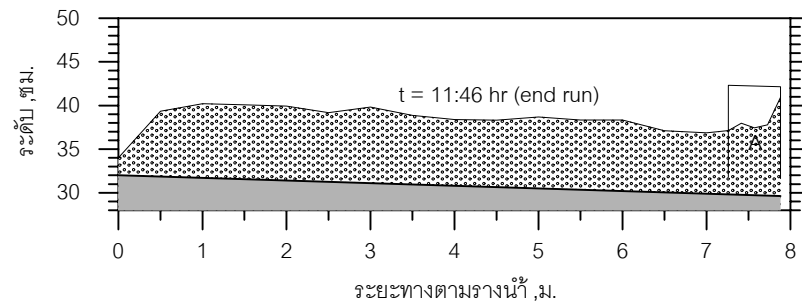
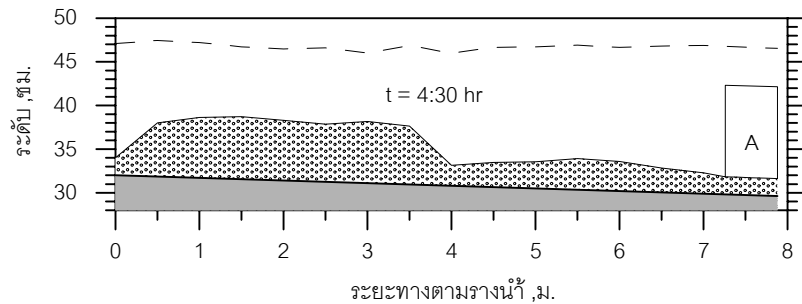
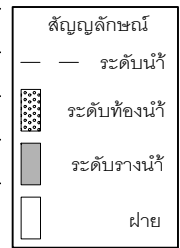
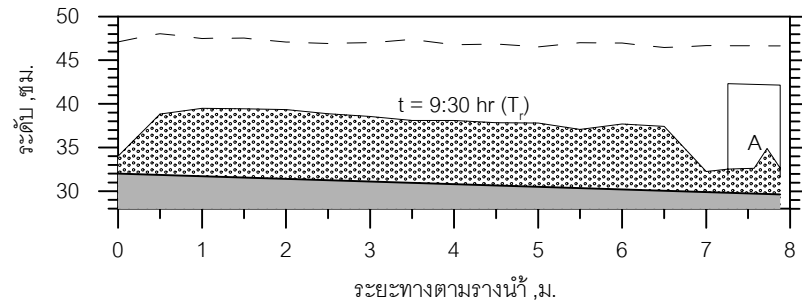
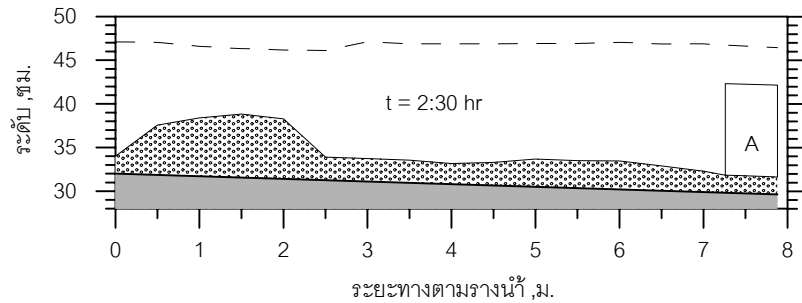
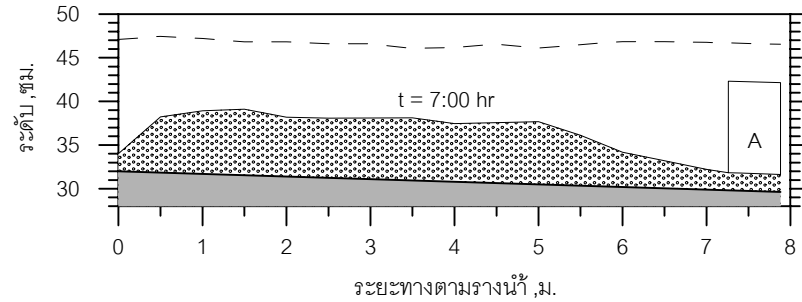
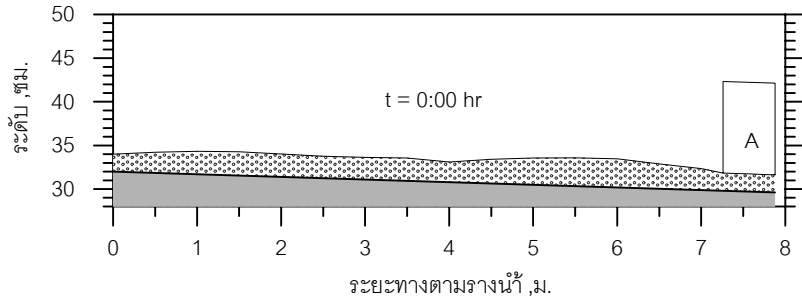
การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ จะมี 9-12 ช่วงการวัด แล้วแต่กรณีทดลอง แต่ในการนำเสนอ จะนำเสนอ 6 ช่วงการวัดซึ่งครอบคลุมตั้งแต่เริ่มต้น จนถึงสิ้นสุดการทดลอง เพื่อให้ กระชับ และสามารถเห็นภาพการเปลี่ยนแปลง ได้อย่างชัดเจน โดยนำเสนอไว้ในรูป ค1-ค-21

ในรูป ค-22 ถึง ค-28 จะเป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำของฝายทั้ง 3 รูปแบบ โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่เวลาเดียวกัน และเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ กับเวลาที่ใช้ เมื่อตะกอนเคลื่อนที่ถึงบริเวณตัวฝาย หนึ่ง ในการเปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่เวลาเดียวกันนั้น มีบางกรณีทดลองที่ไม่สามารถเปรียบเทียบที่เวลา เดียวกันได้ทั้ง 3 รูปแบบฝาย เนื่องจากไม่มีช่วงเวลาวัดที่ตรงกันทั้งหมด แต่เวลาที่นำมา เปรียบเทียบก็เป็นเวลาที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งได้แก่ รูป ค-23 ,ค-25 และ ค-28

สำหรับรูป ค-30 ถึง ค-50 แสดงการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำ เฉพาะบริเวณตัวฝาย ตั้งแต่เริ่มมี การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำที่มีนัยสำคัญ จนกระทั่งตะกอนมีการทับถมจนเต็มฝาย และหยุดการ ทดลอง และรูป ค-51 ถึง ค-53 แสดงภาพตัดด้านข้าง ที่เวลาหยุดการทดลองของทุกกรณี โดยใน รูป ค-29 ได้แสดงรูปแปลน และรูปด้านข้างของฝายแต่ละรูปแบบไว้

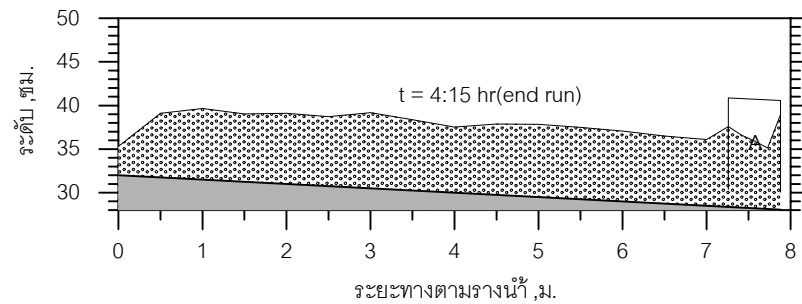
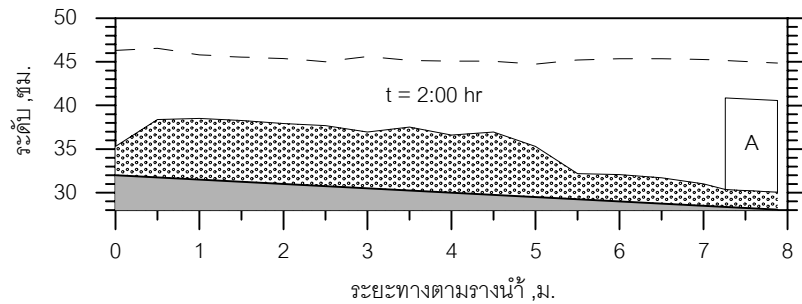
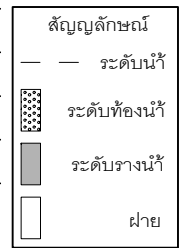
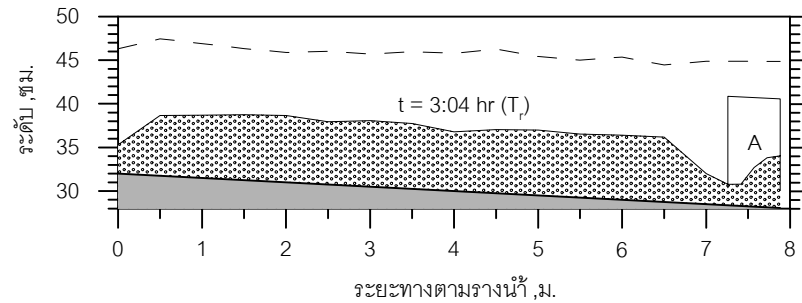
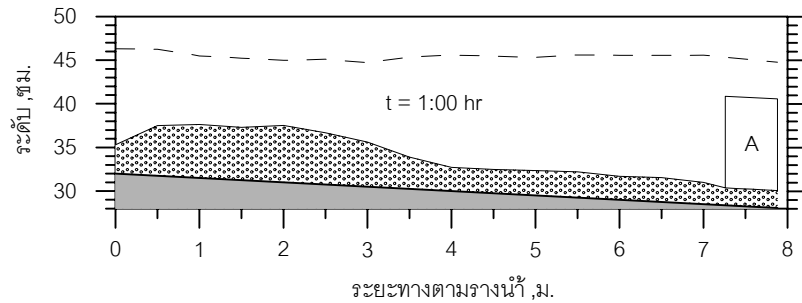
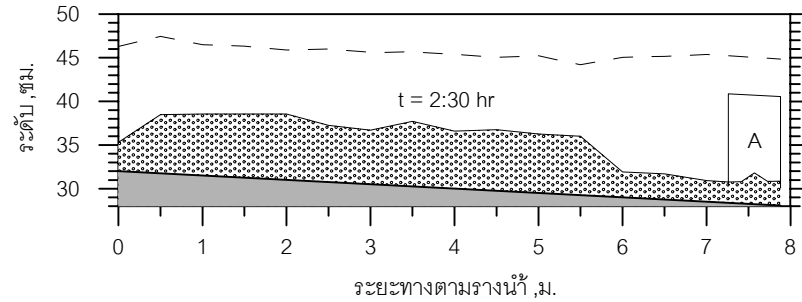
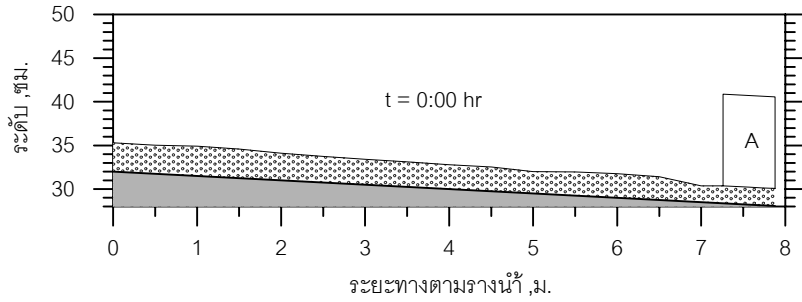


รูป ค-1 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี A-24-0.005

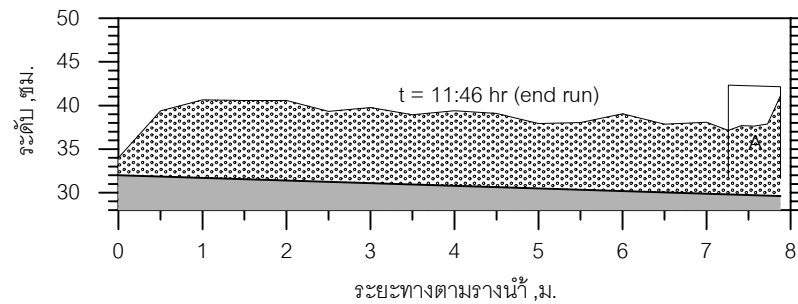
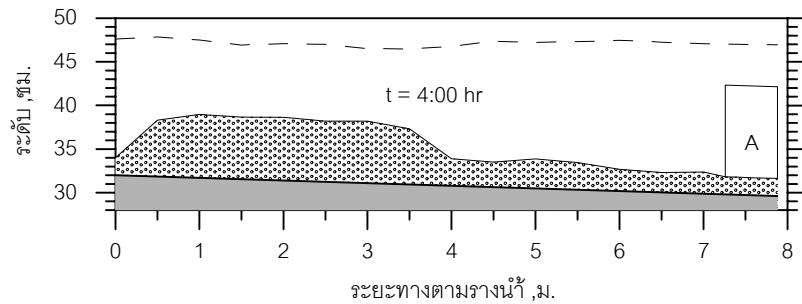
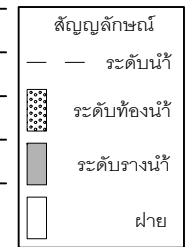
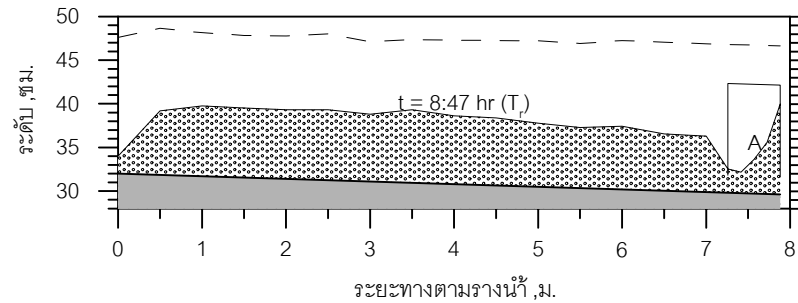
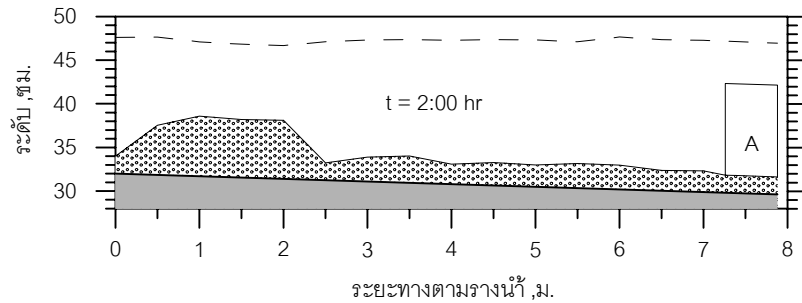
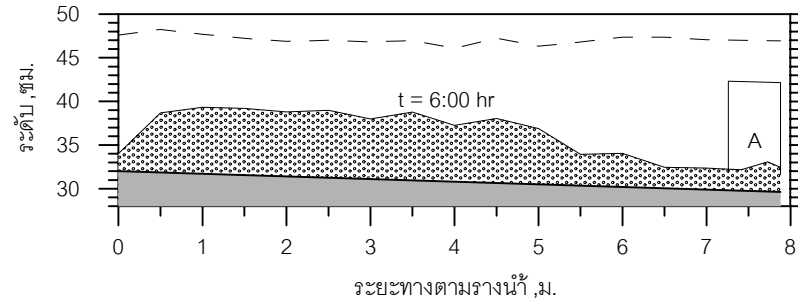
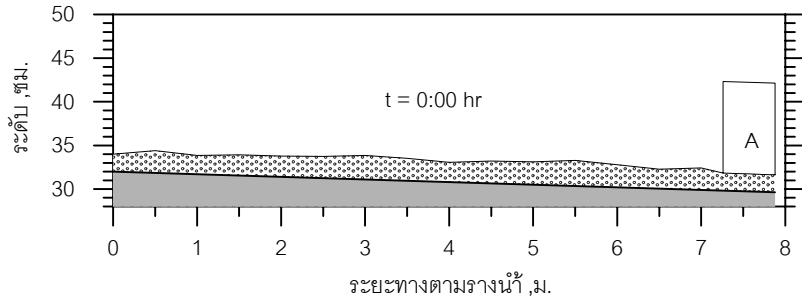


รูป ค-2 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี A-26-0.003

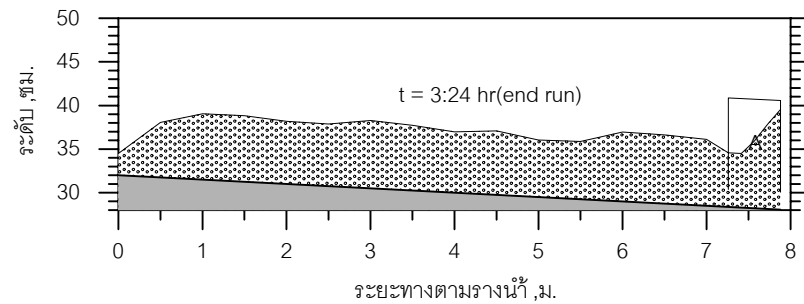
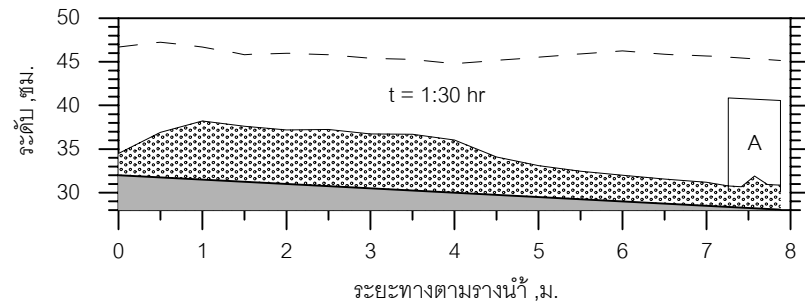
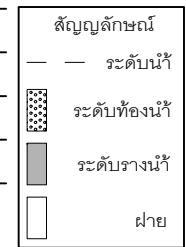
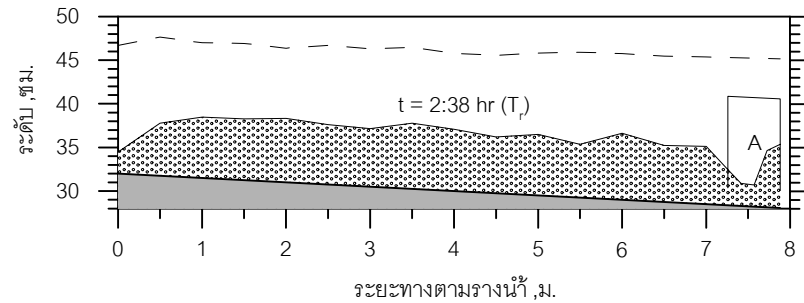
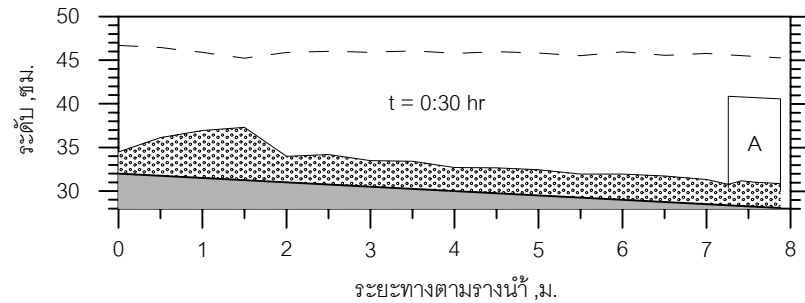
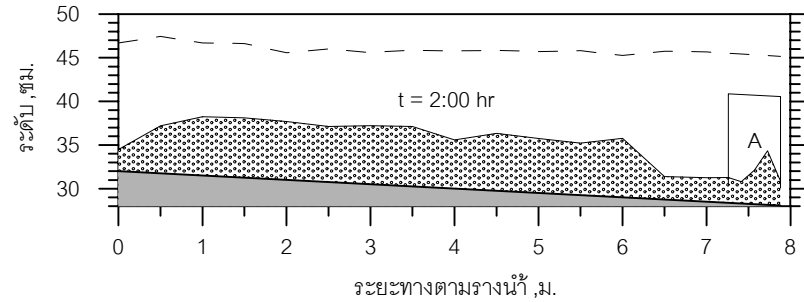
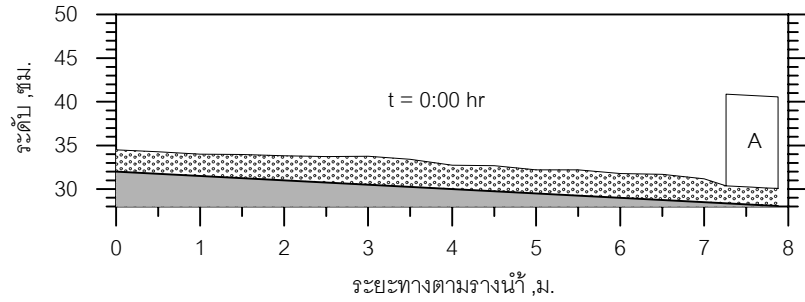




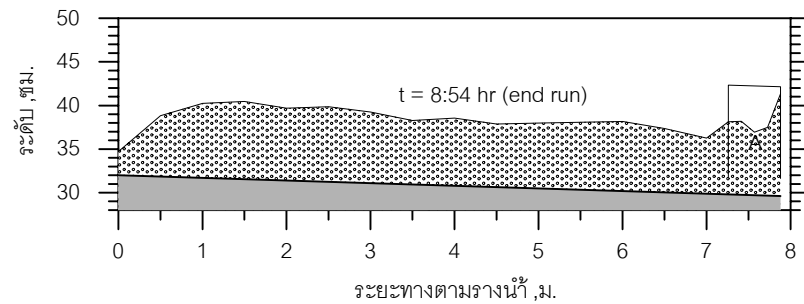
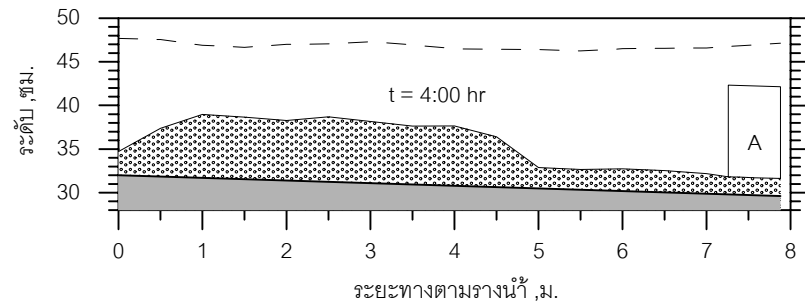
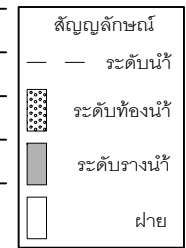
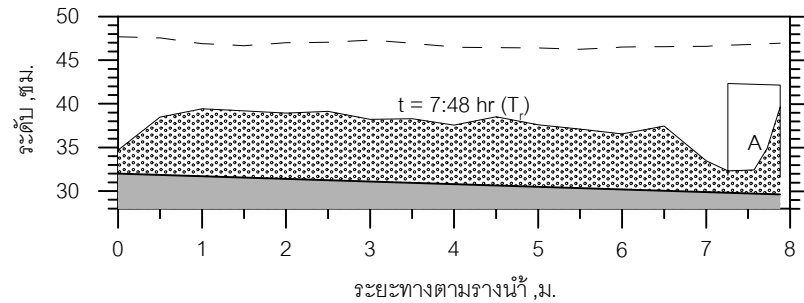
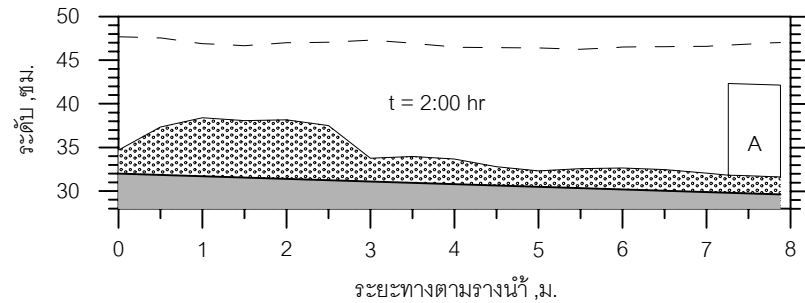
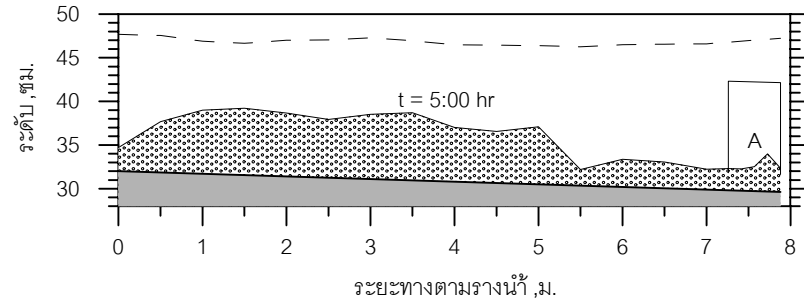
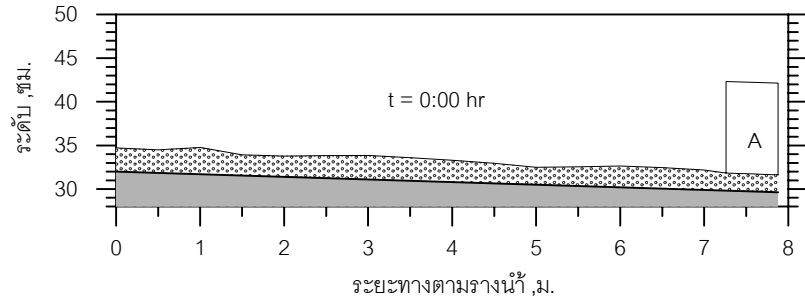
รูป ค-3 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี A-26-0.005



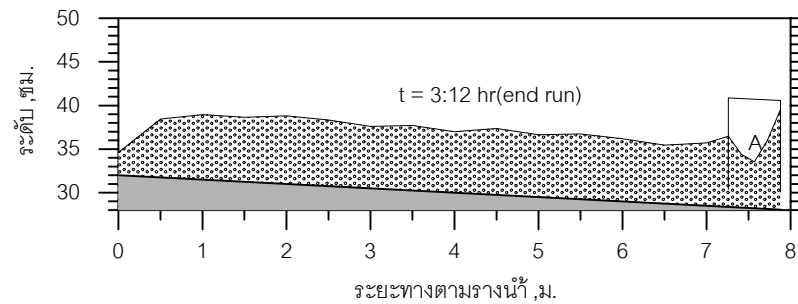
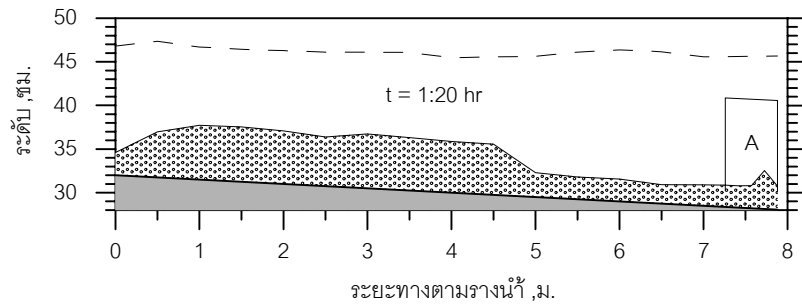
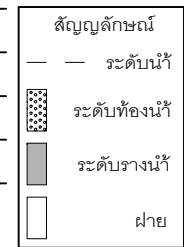
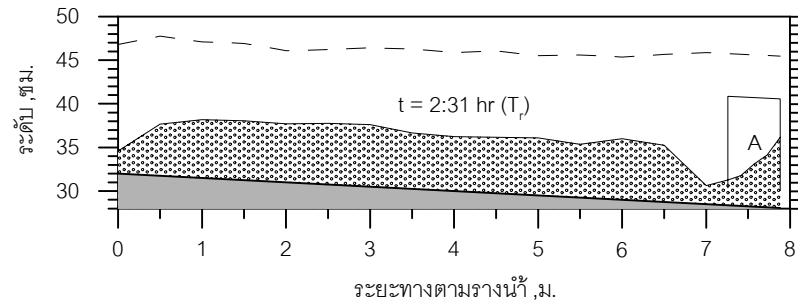
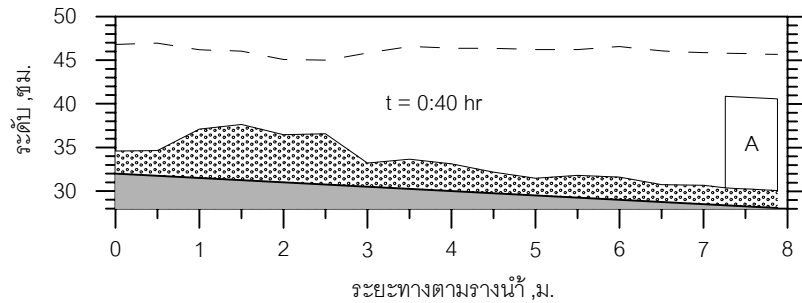
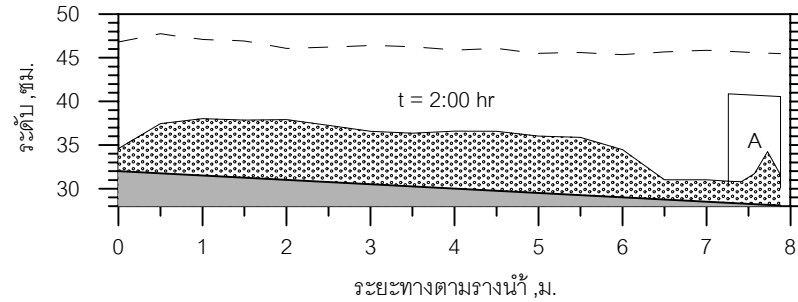
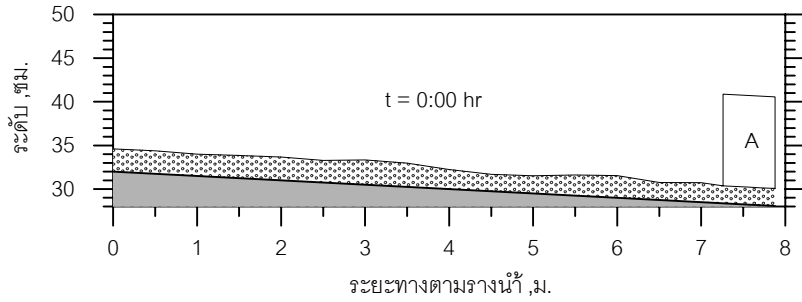
รูป ค-4 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี A-28-0.003



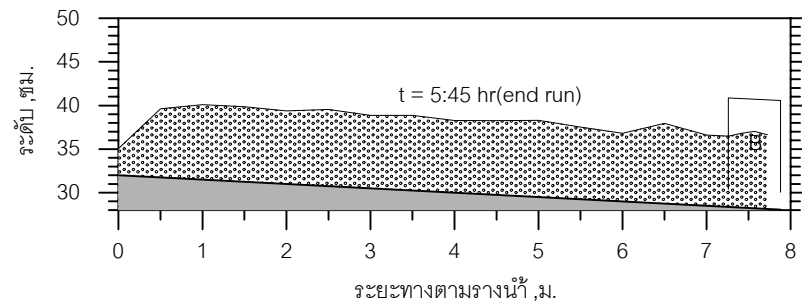
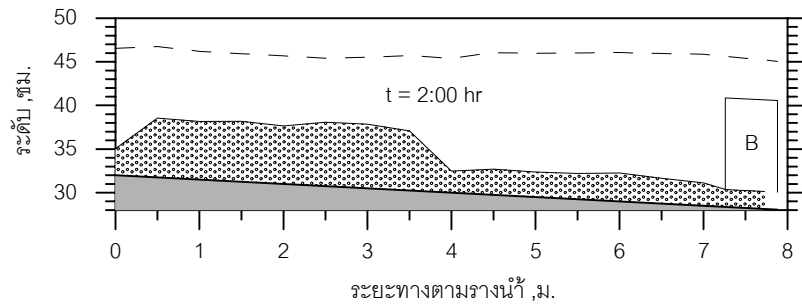
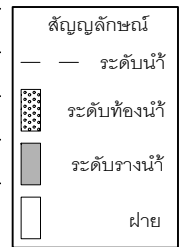
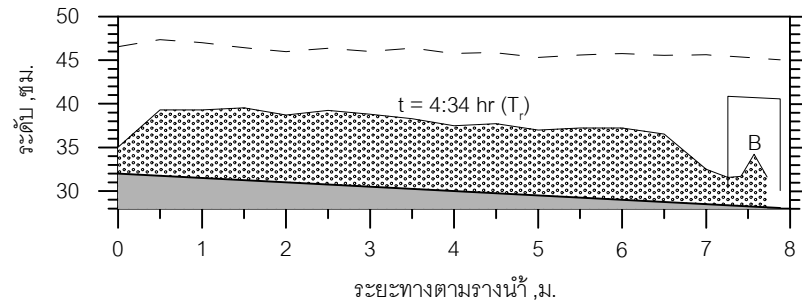
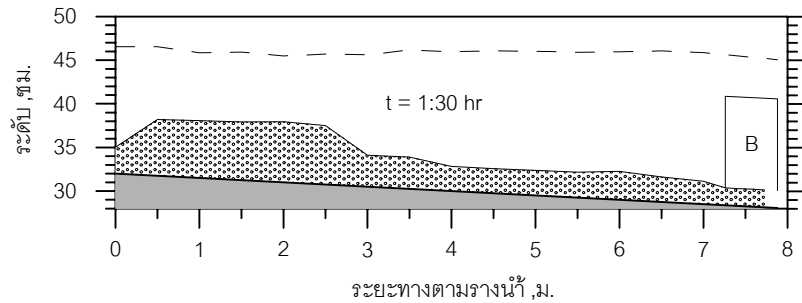
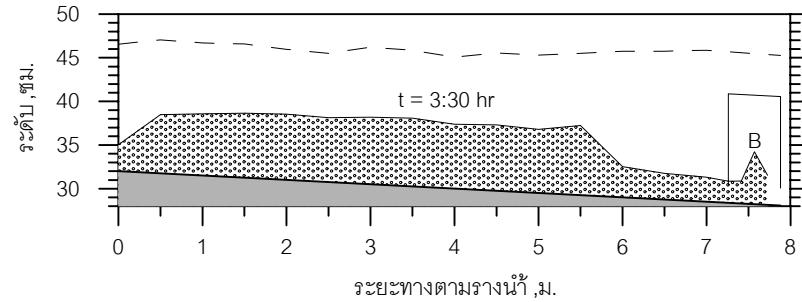
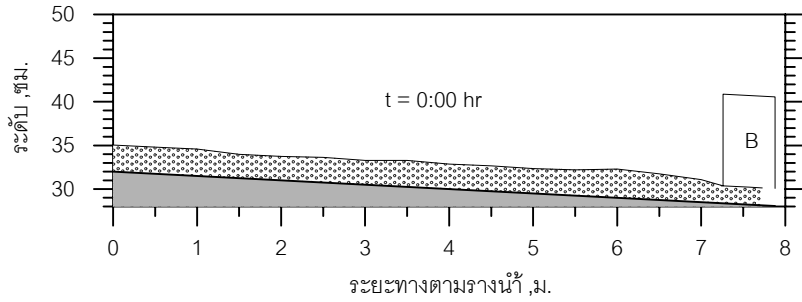
รูป ค-5 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี A-28-0.005



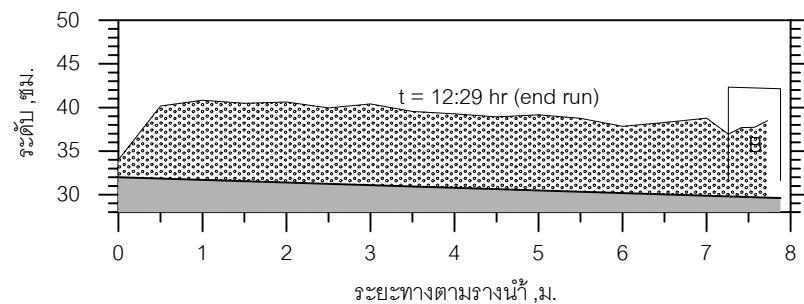
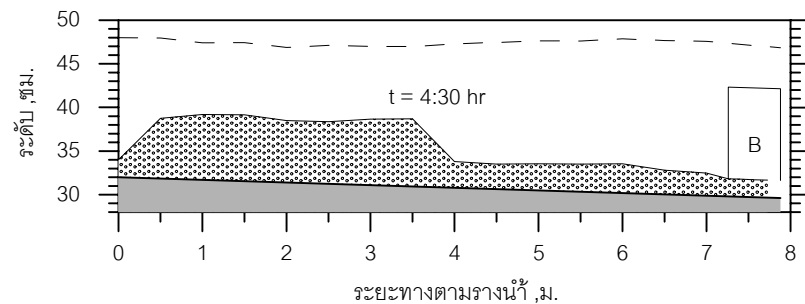
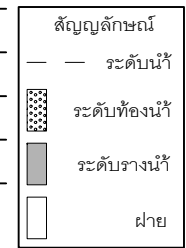
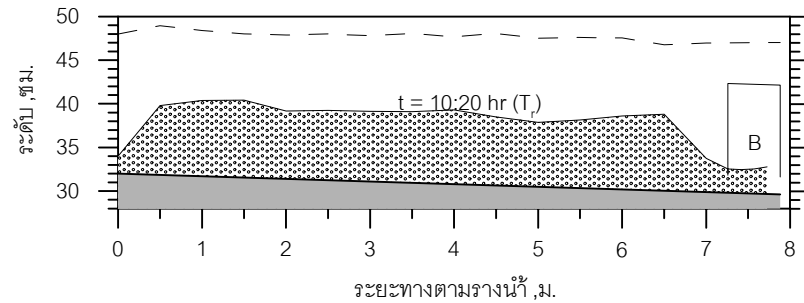
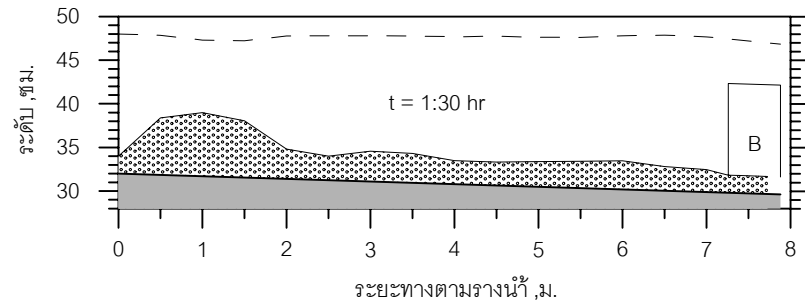
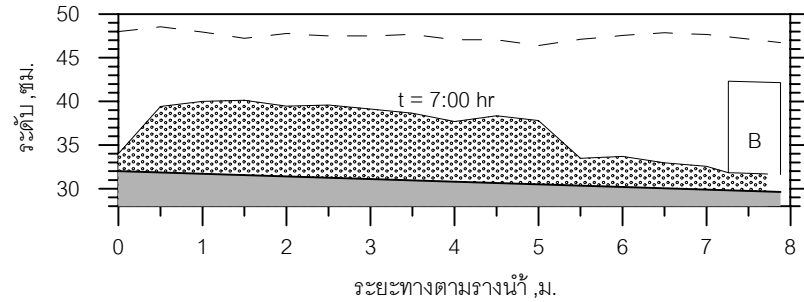
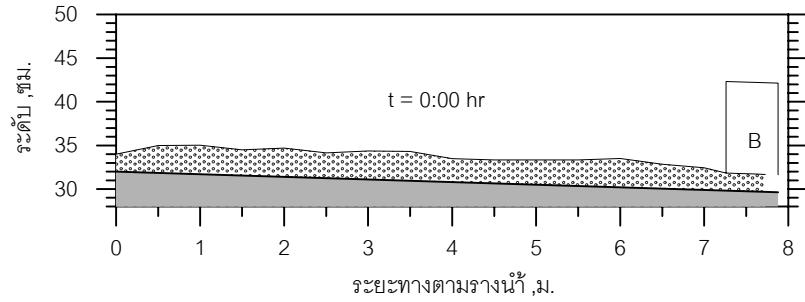
รูป ค-6 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี A-30-0.003



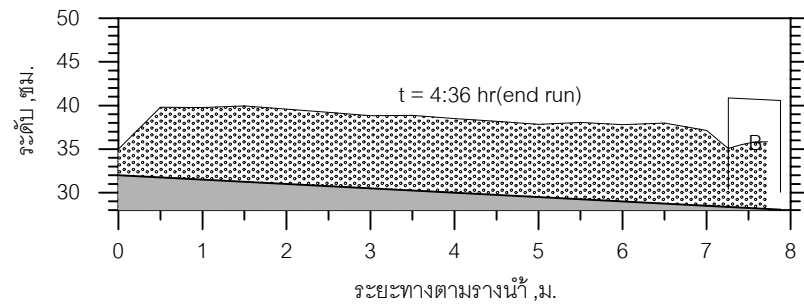
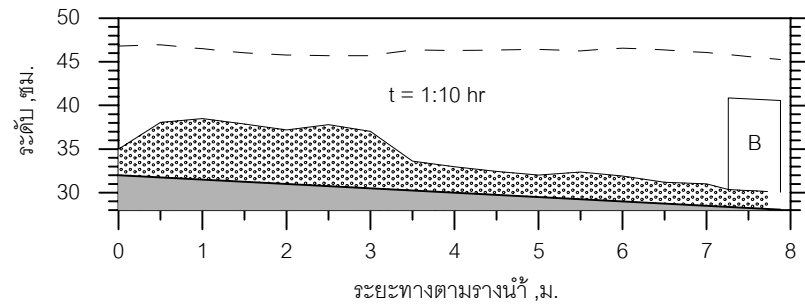
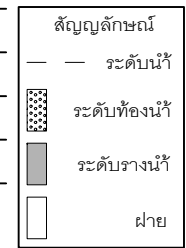
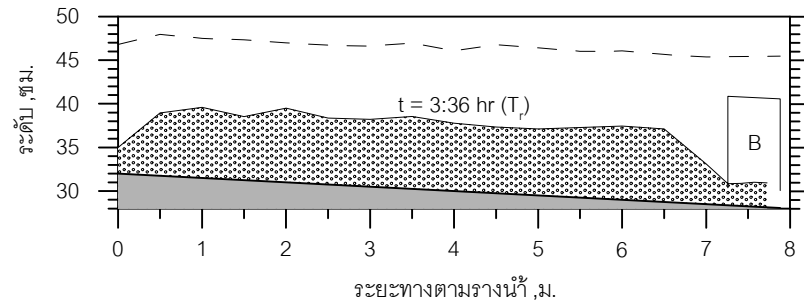
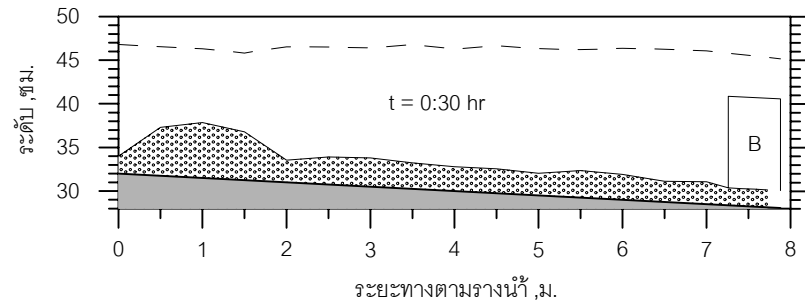
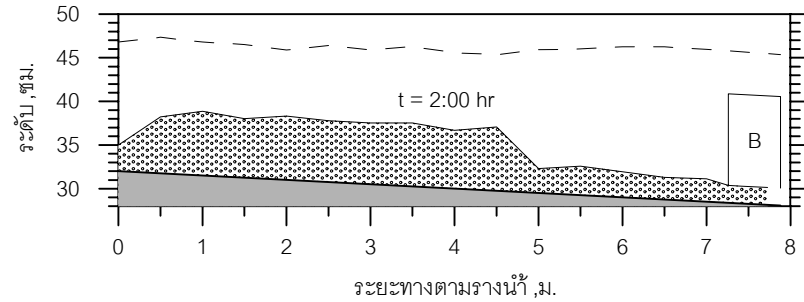
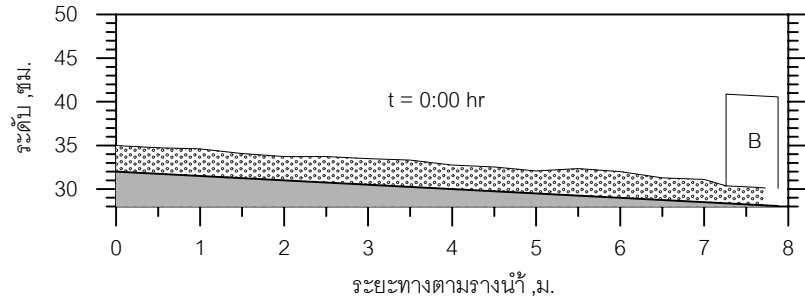
รูป ค-7 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี A-30-0.005



รูป ค-8 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี B-24-0.005

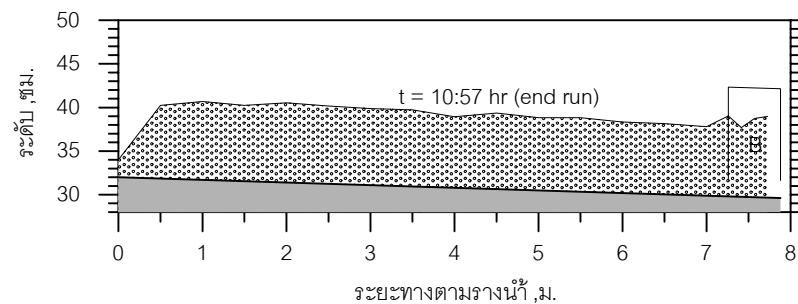
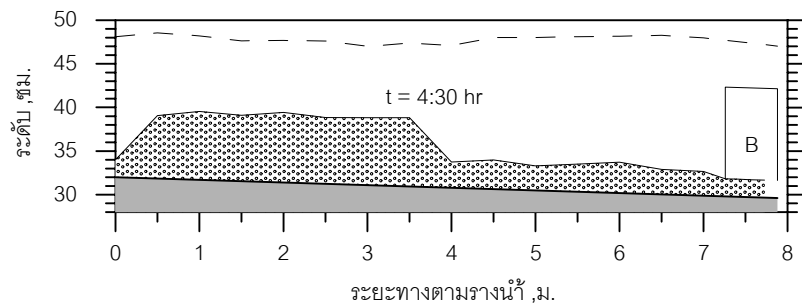
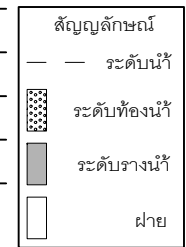
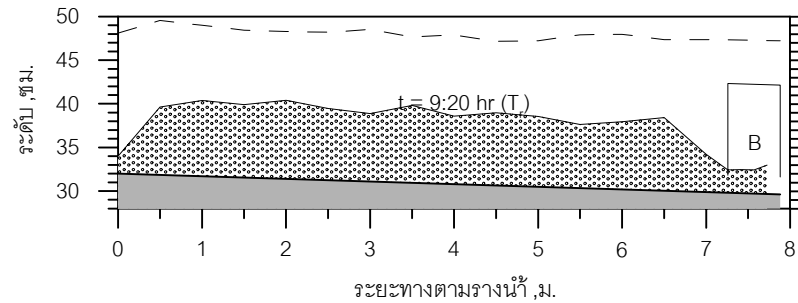
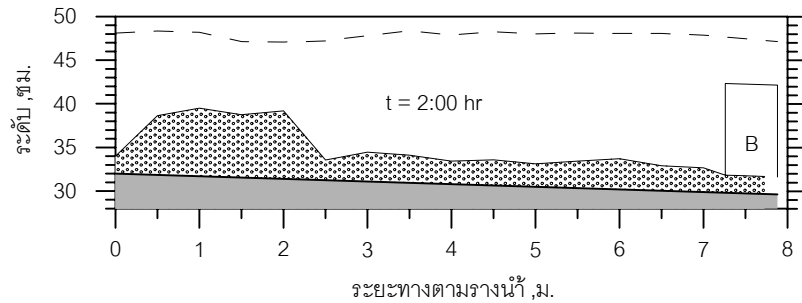
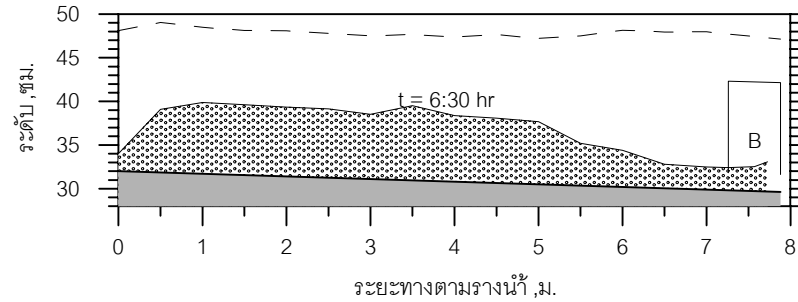
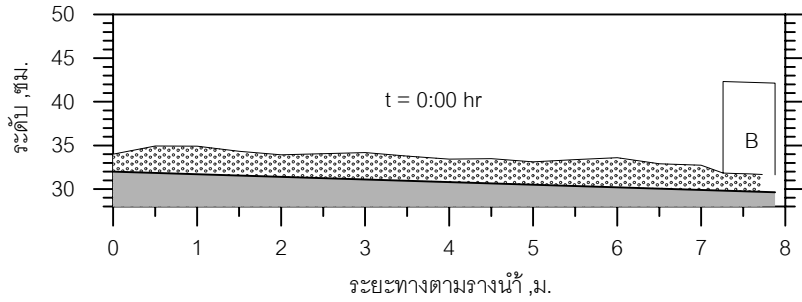


รูป ค-9 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี B-26-0.003

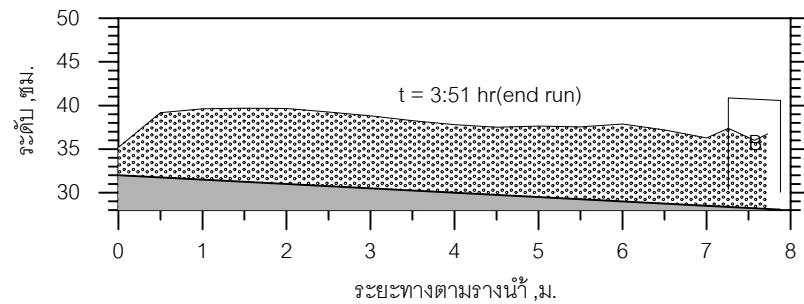
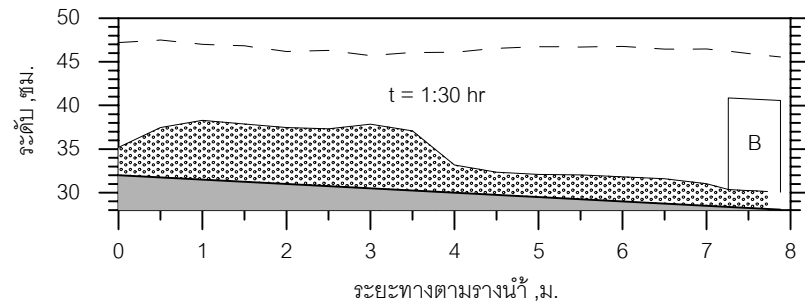
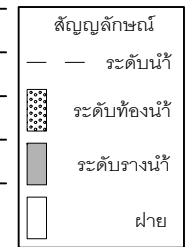
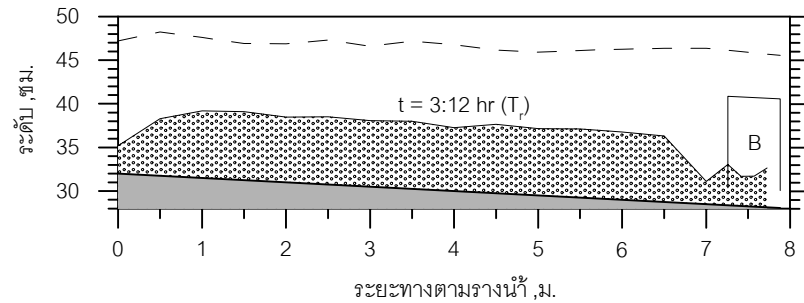
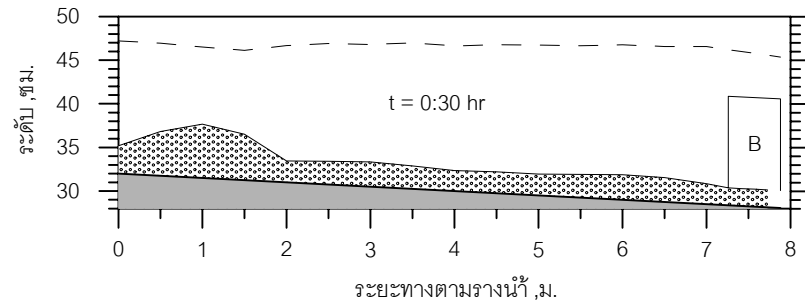
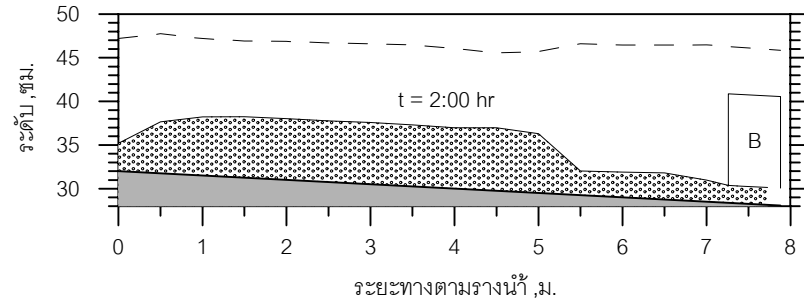
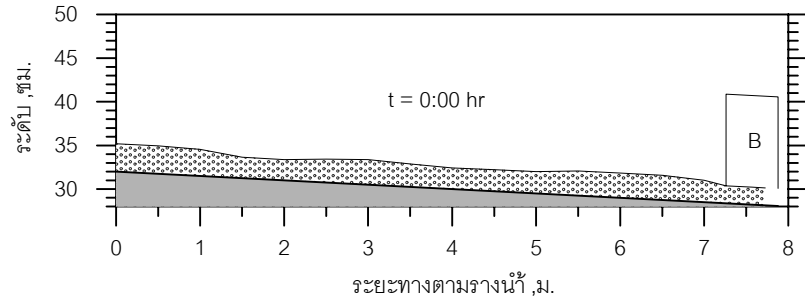


รูป ค-10 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี B-26-0.005

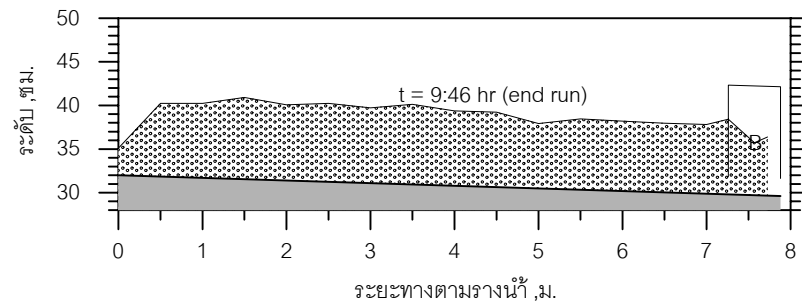
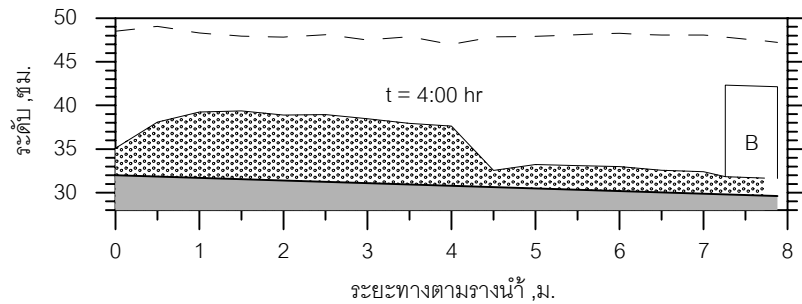
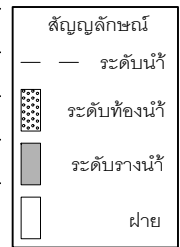
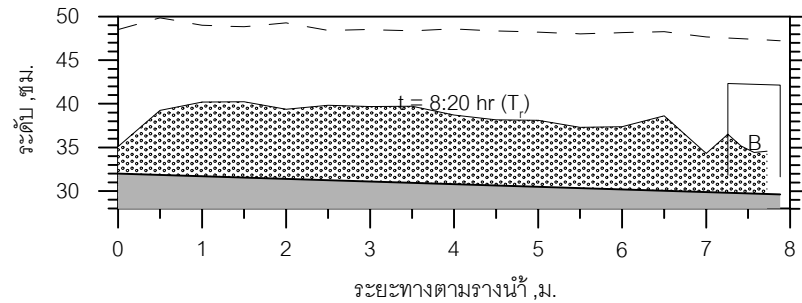
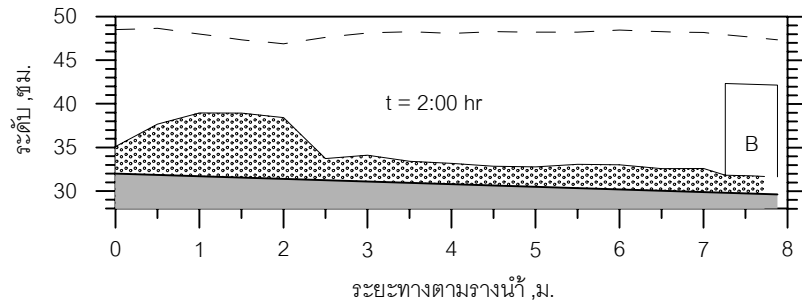
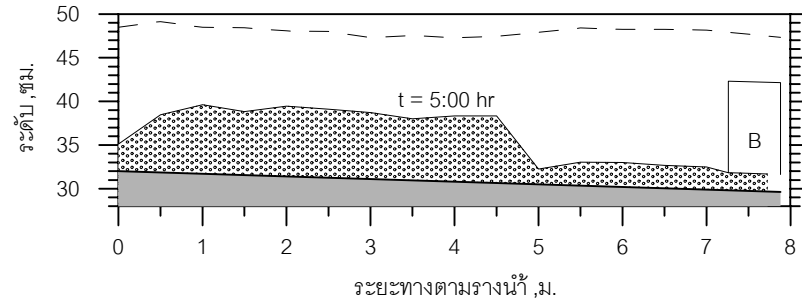
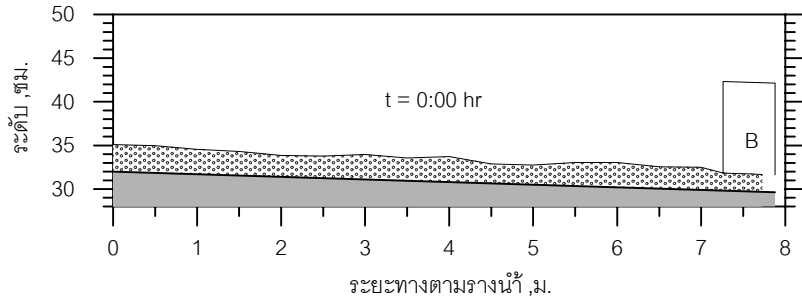




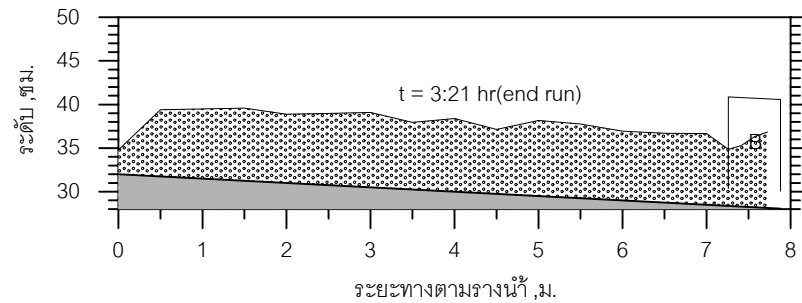
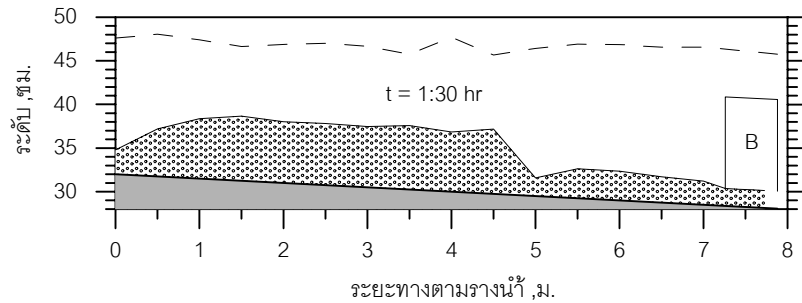
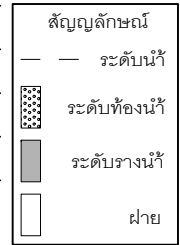
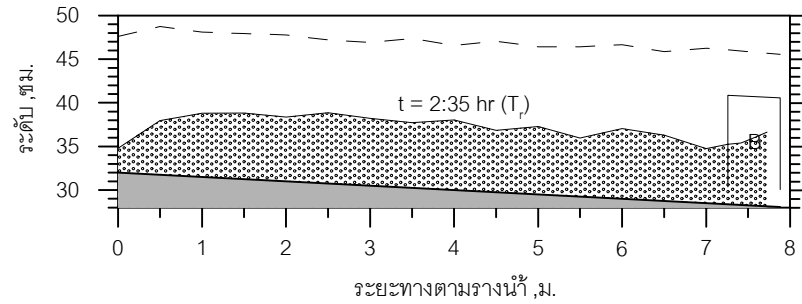
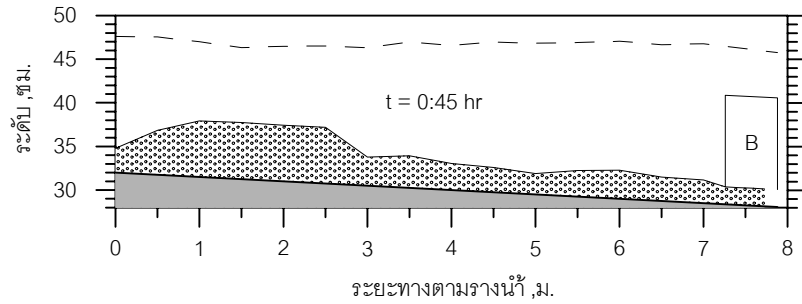
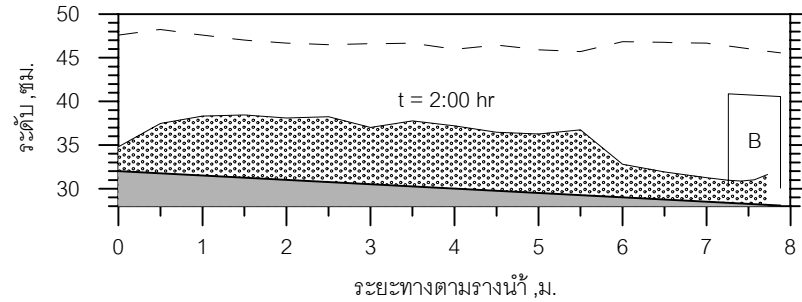
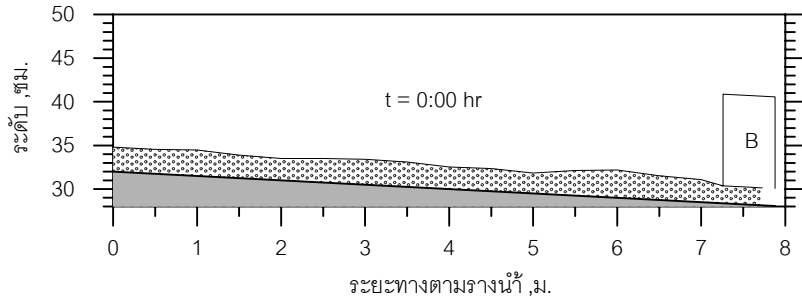
รูป ค-11 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี B-28-0.003



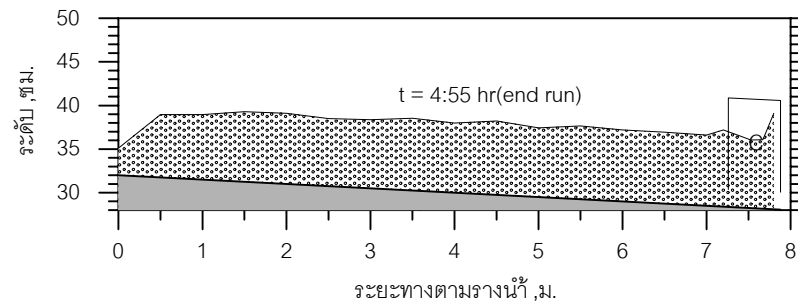
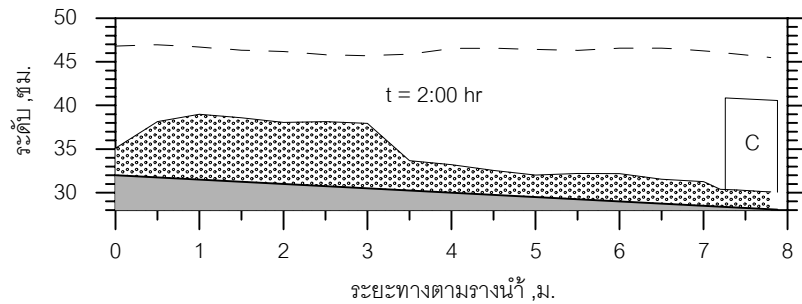
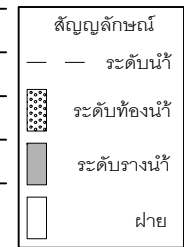
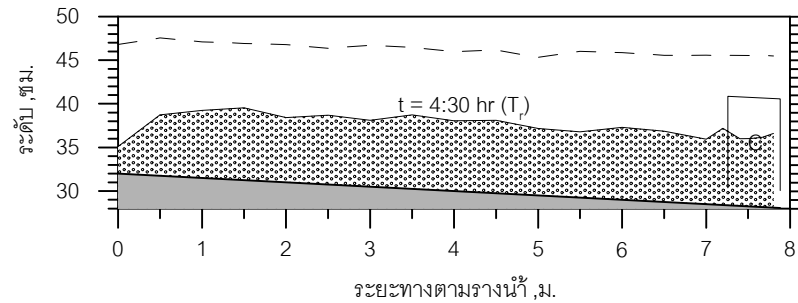
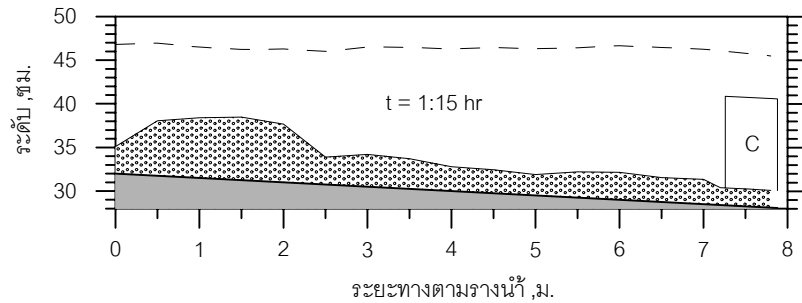
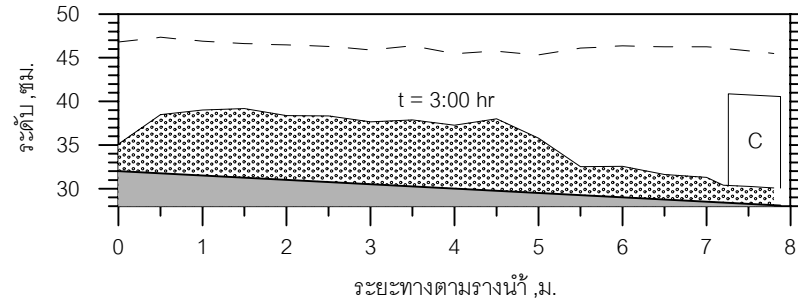
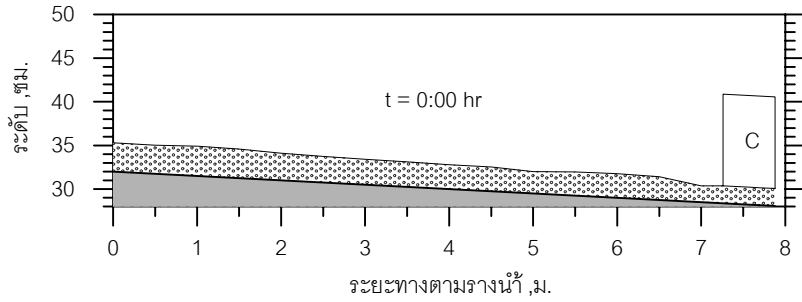
รูป ค-12 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี B-28-0.005



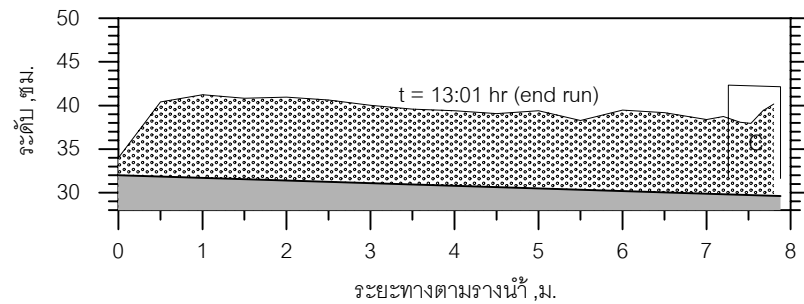
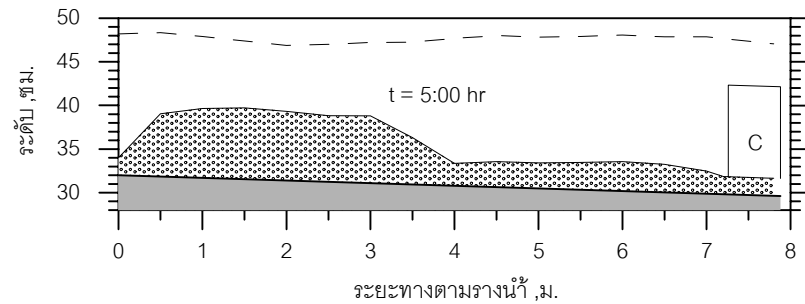
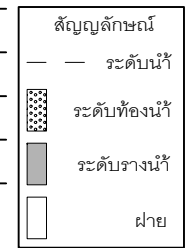
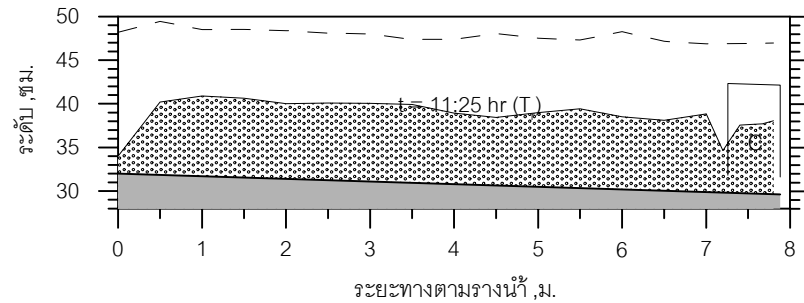
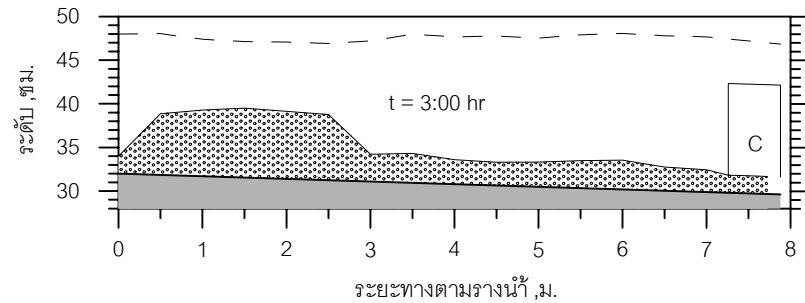
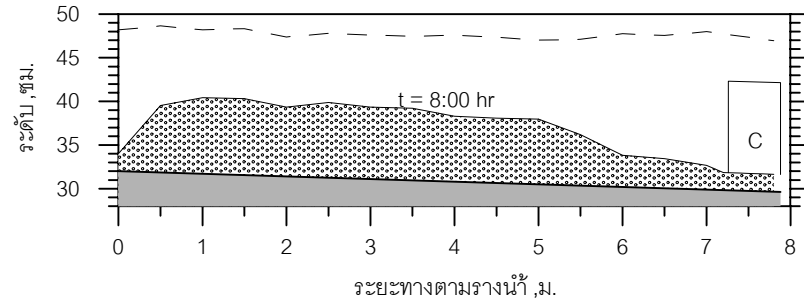
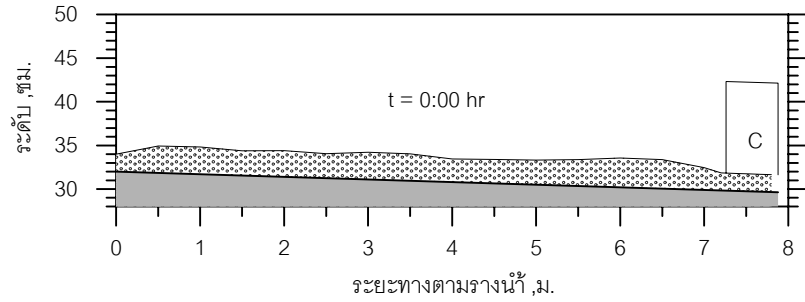
รูป ค-13 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี B-30-0.003



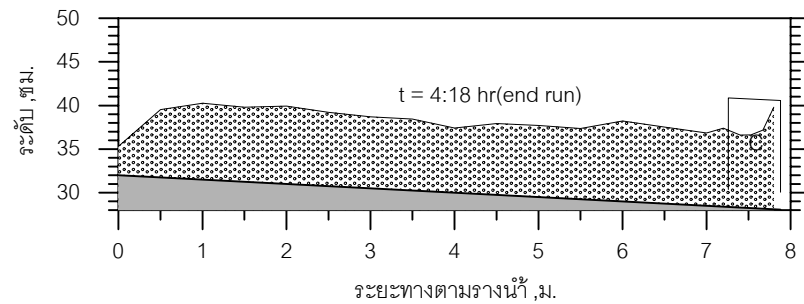
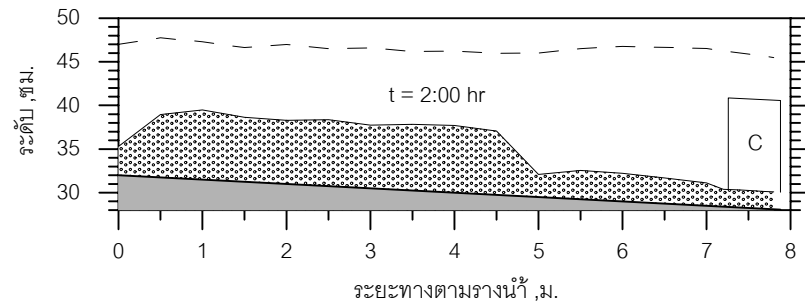
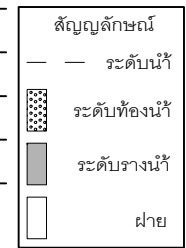
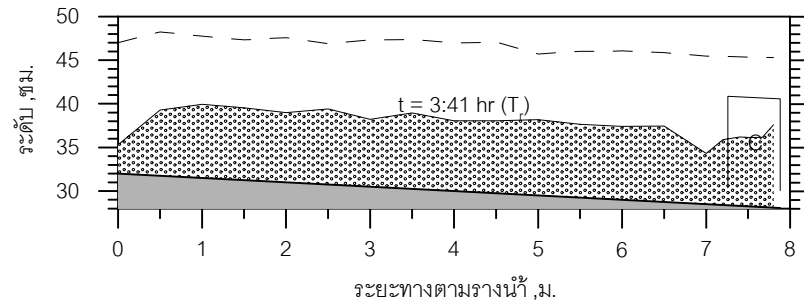
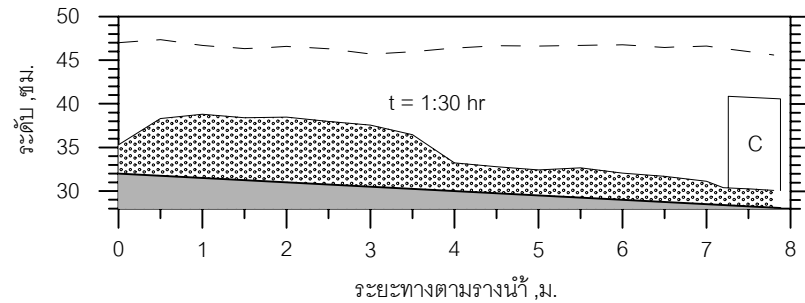
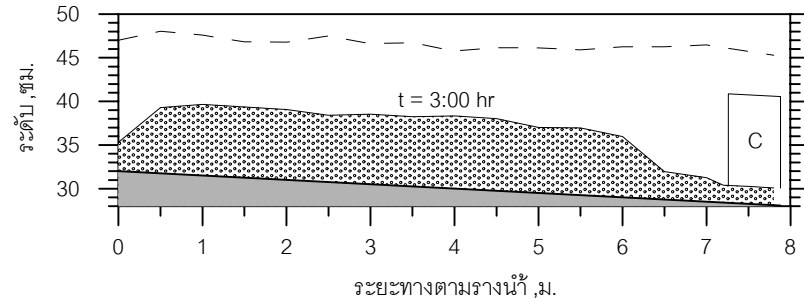
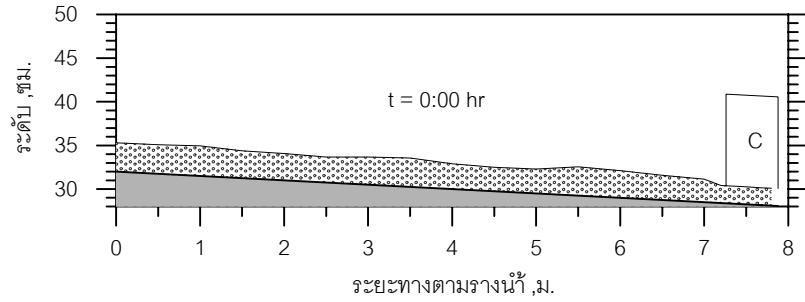
รูป ค-14 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี B-30-0.005



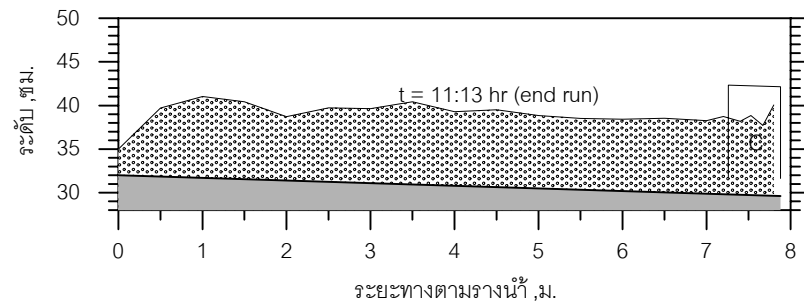
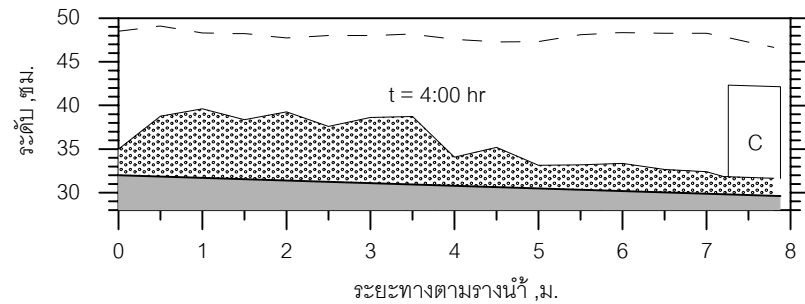
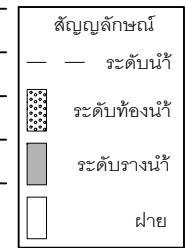
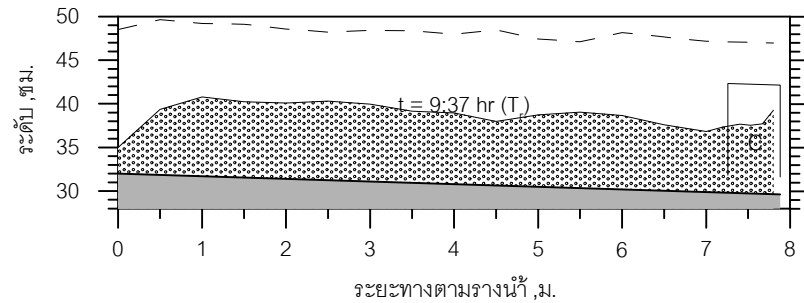
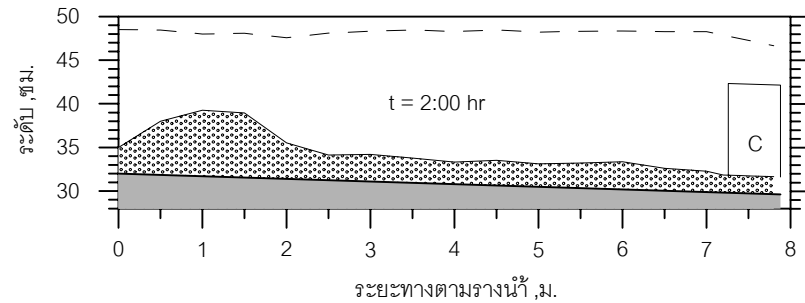
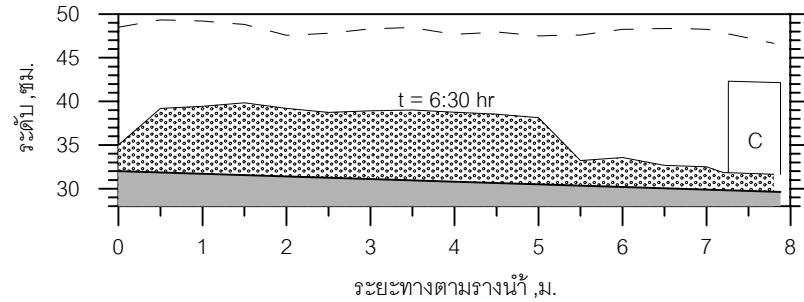
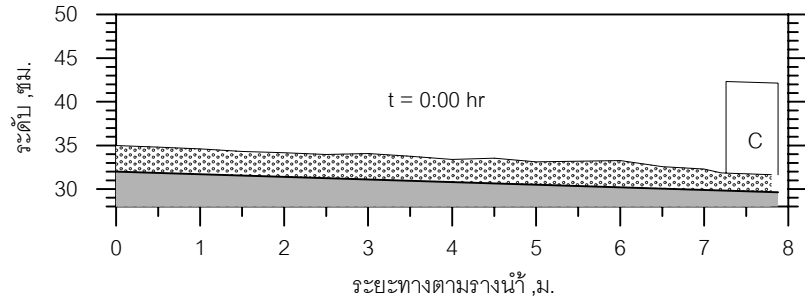
รูป ค-15 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี C-24-0.005



รูป ค-16 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี C-26-0.003

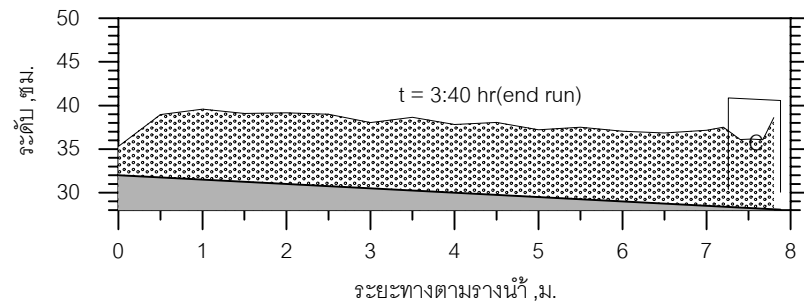
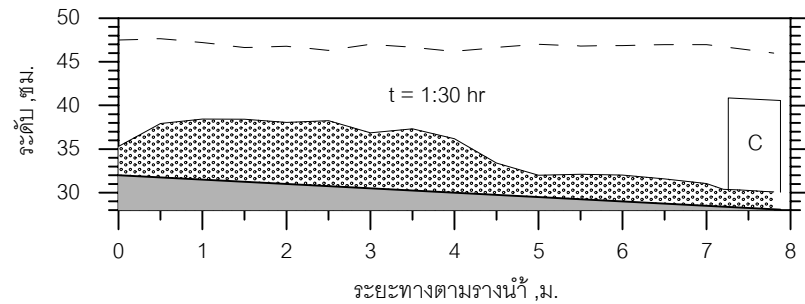
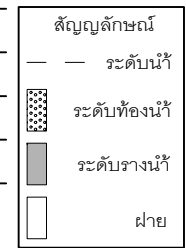
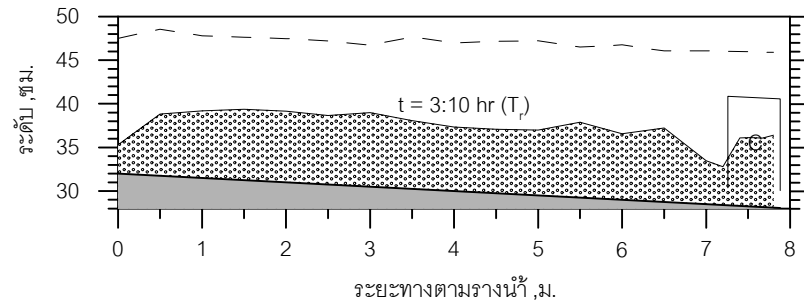
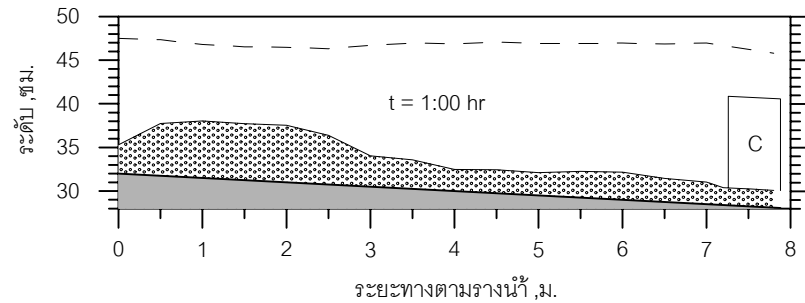
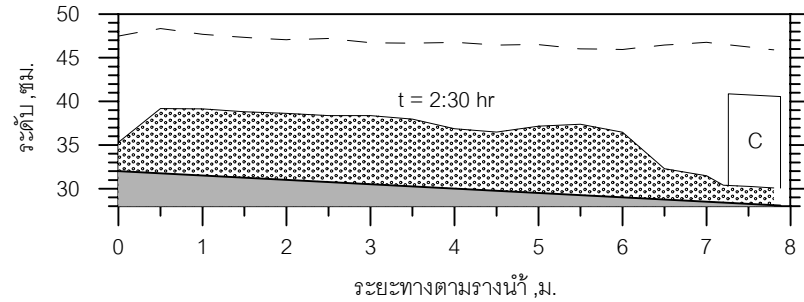
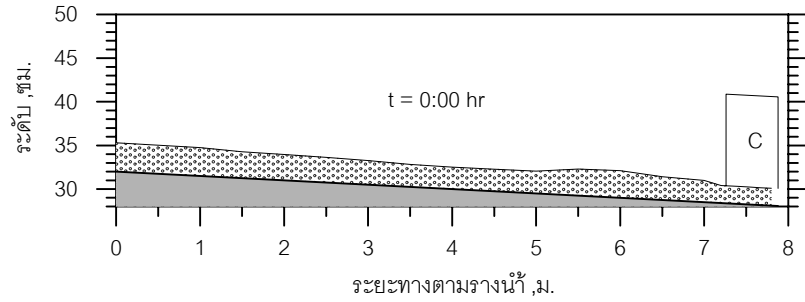


รูป ค-17 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี C-26-0.005

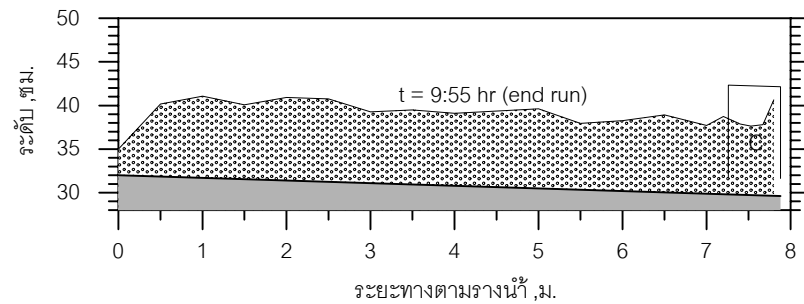
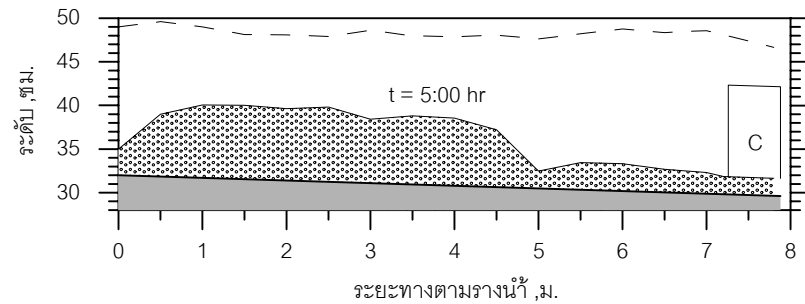
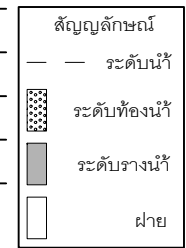
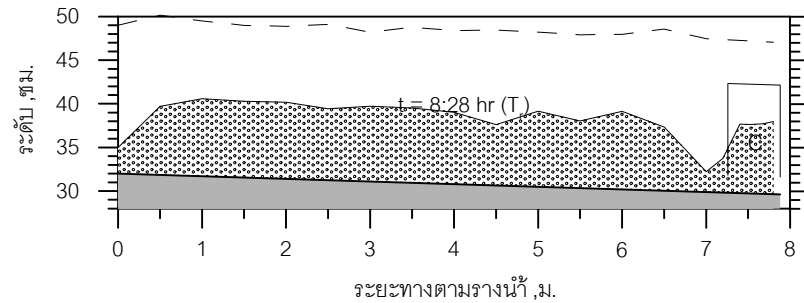
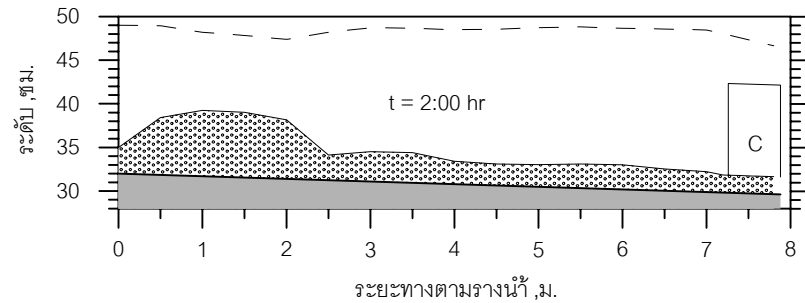
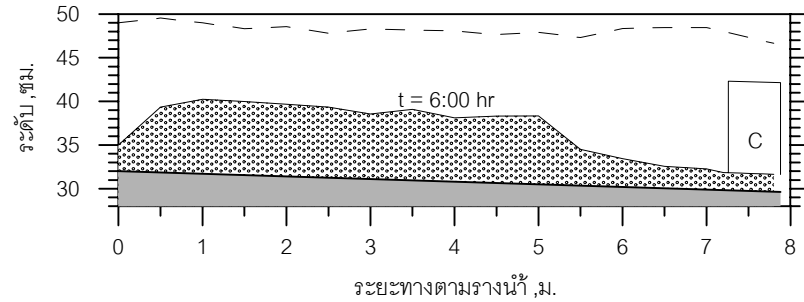
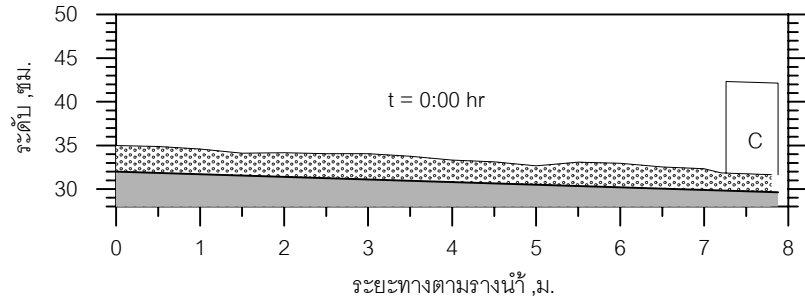


รูป ค-18 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี C-28-0.003

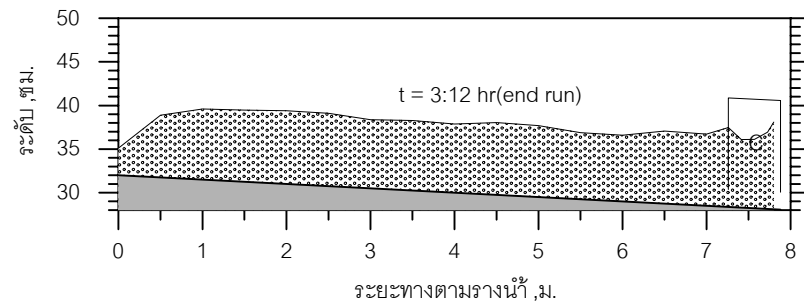
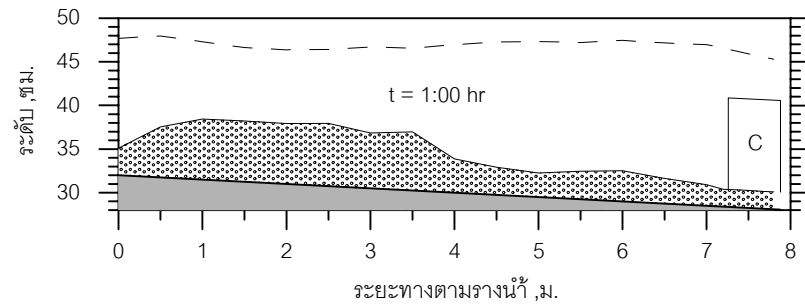
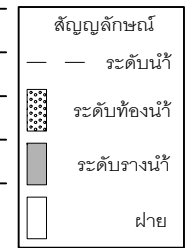
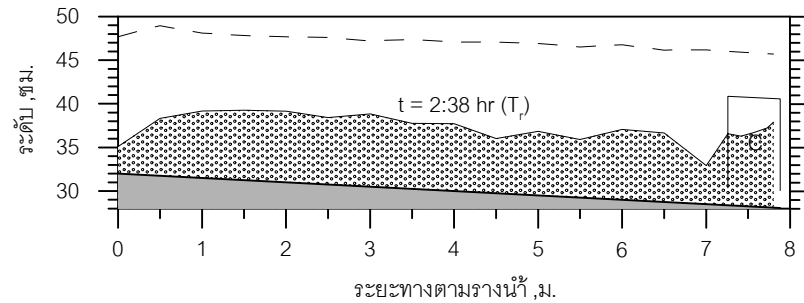
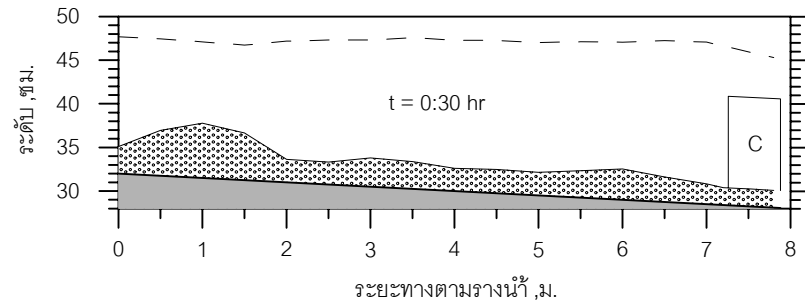
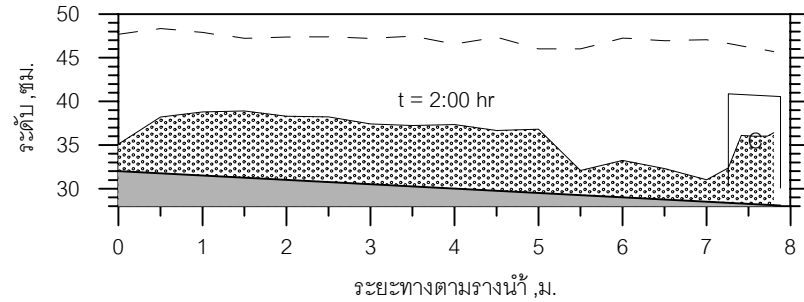
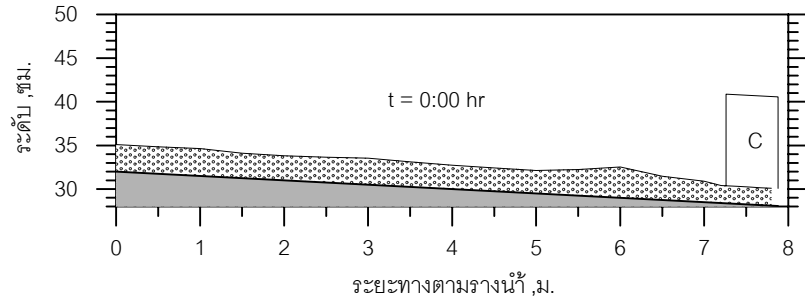




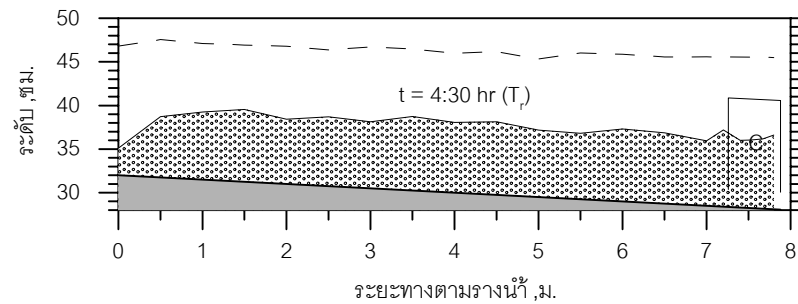
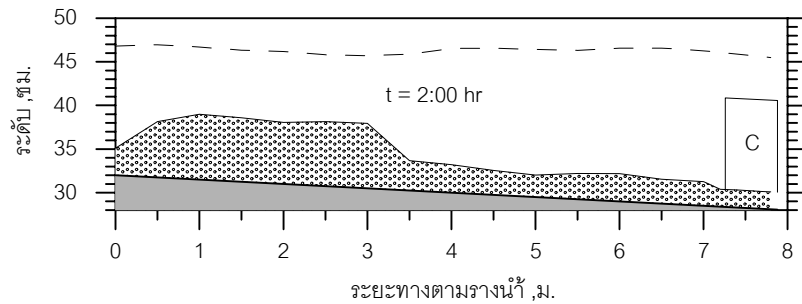
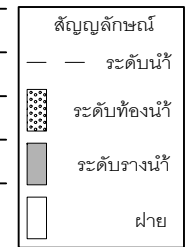
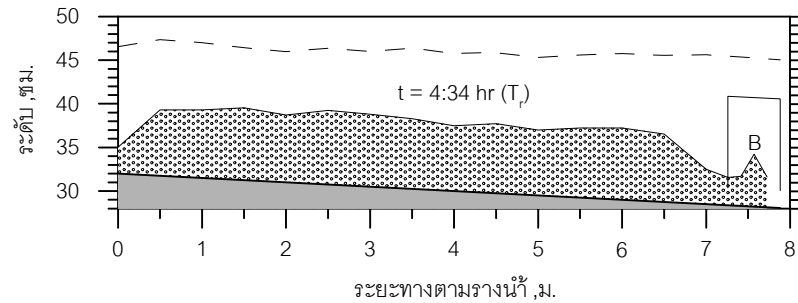
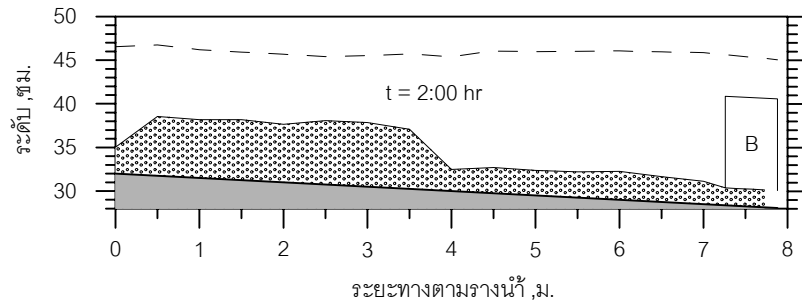
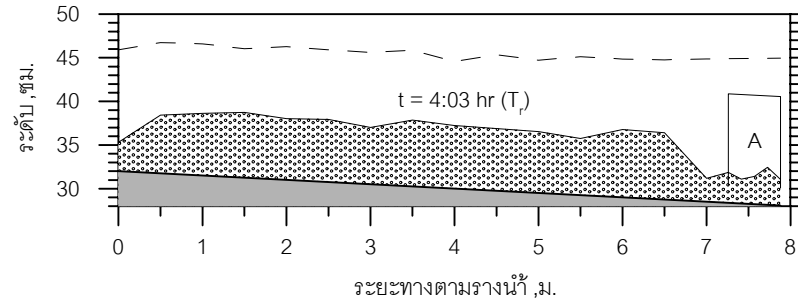
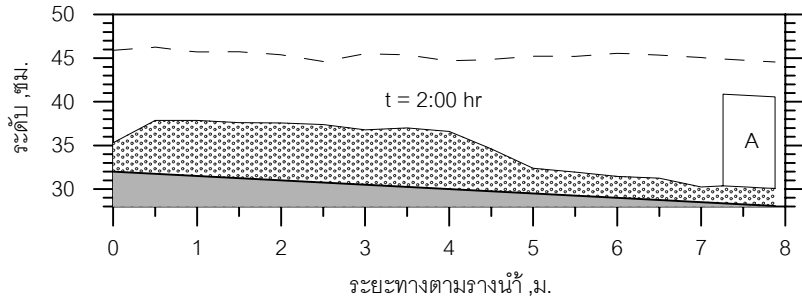
รูป ค-19 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี C-28-0.005



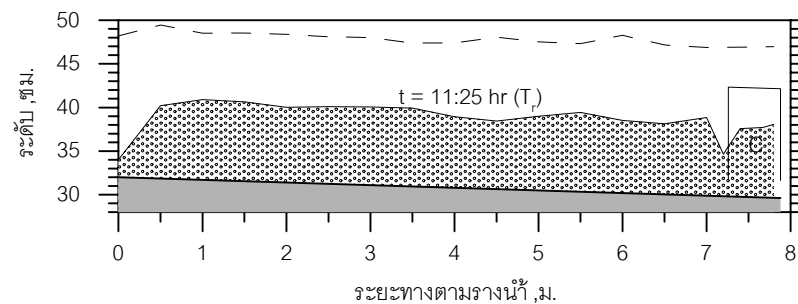
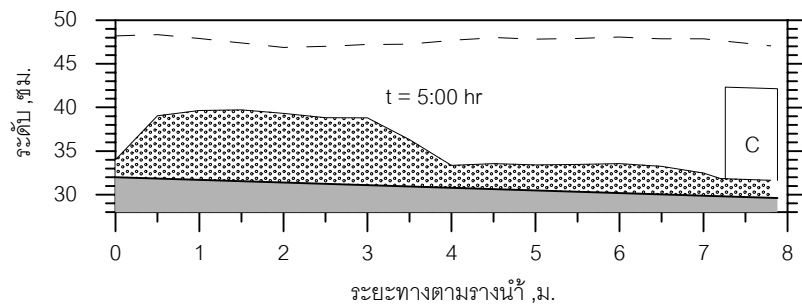
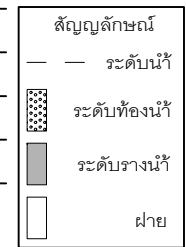
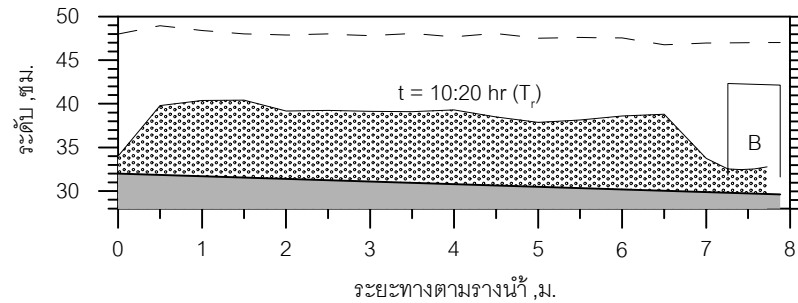
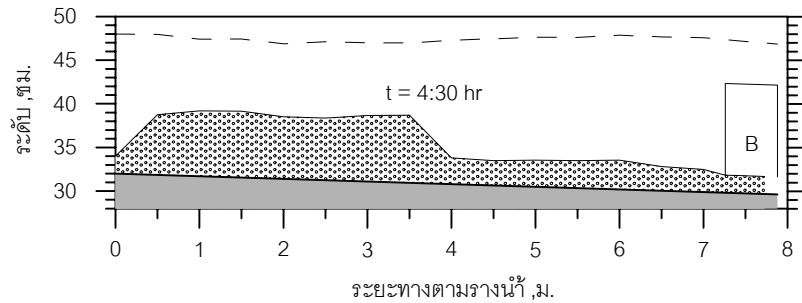
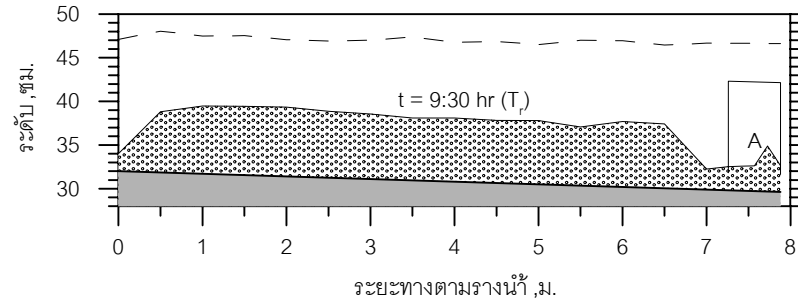
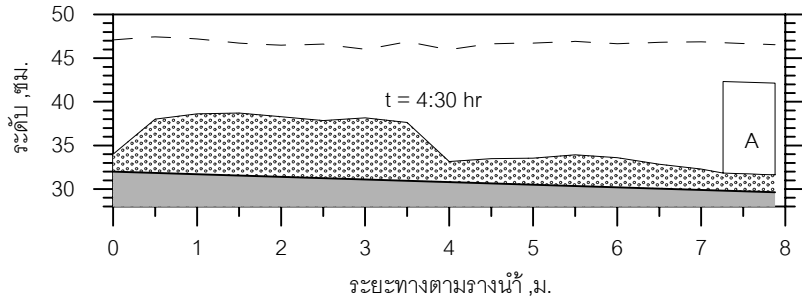
รูป ค-20 การเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี C-30-0.003



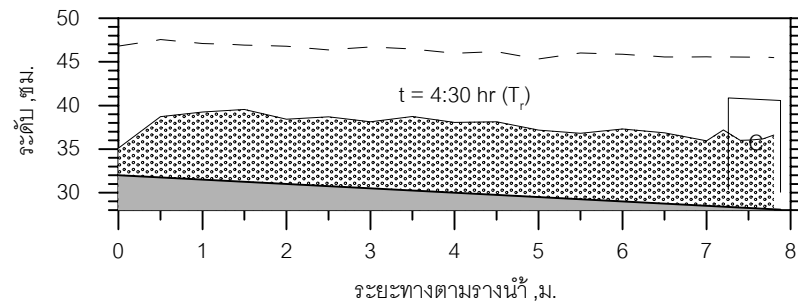
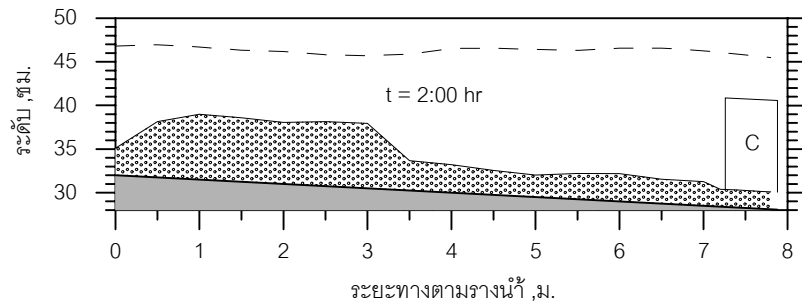
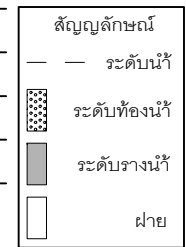
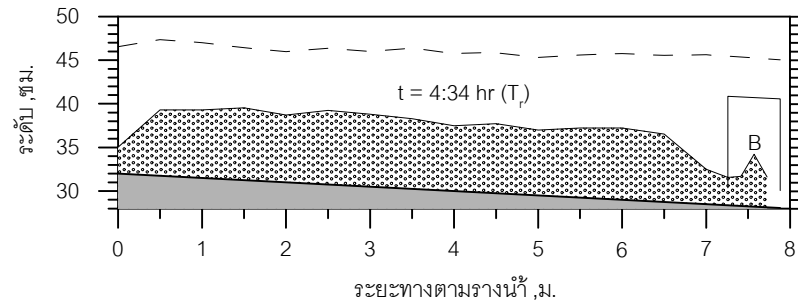
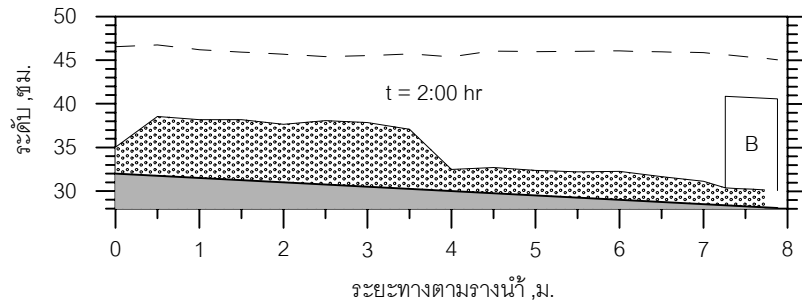
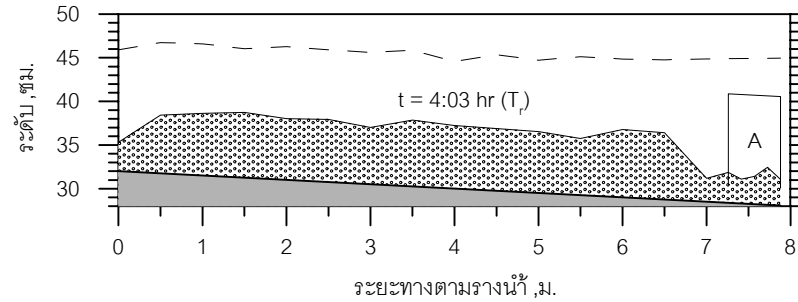
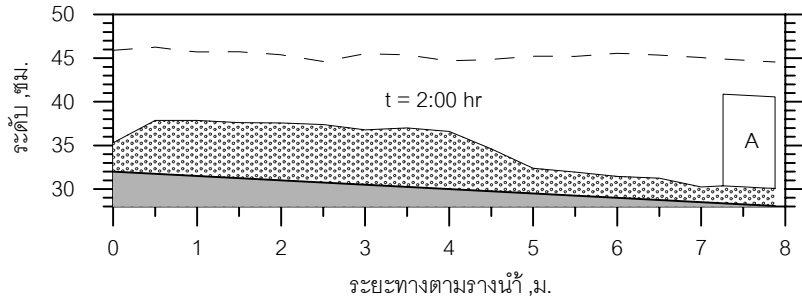
รูป ค-21 การเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ กรณี C-30-0.005



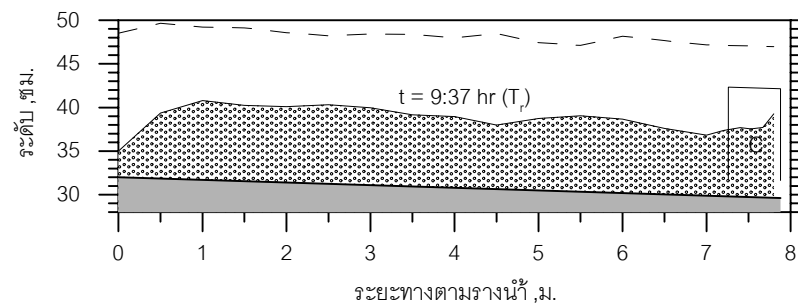
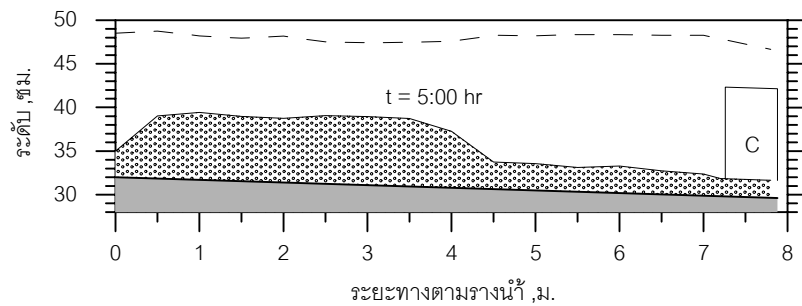
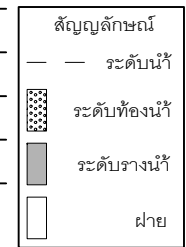
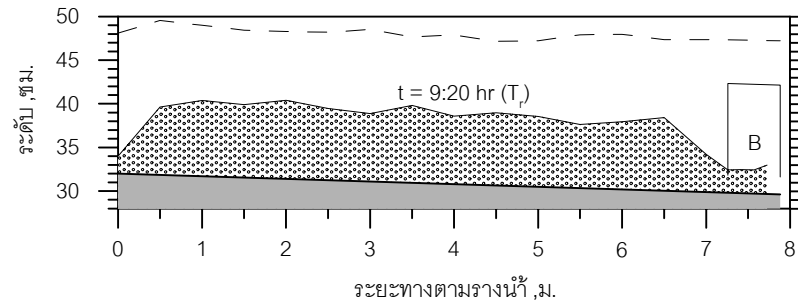
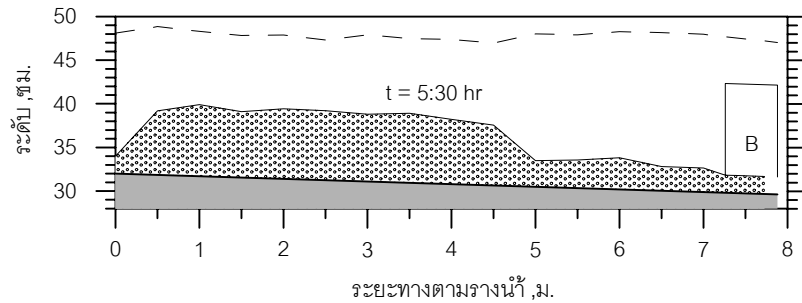
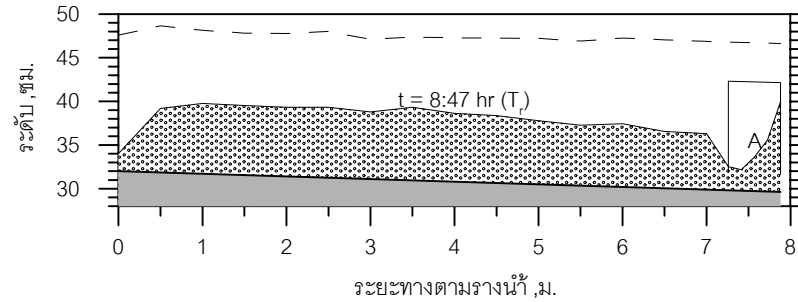
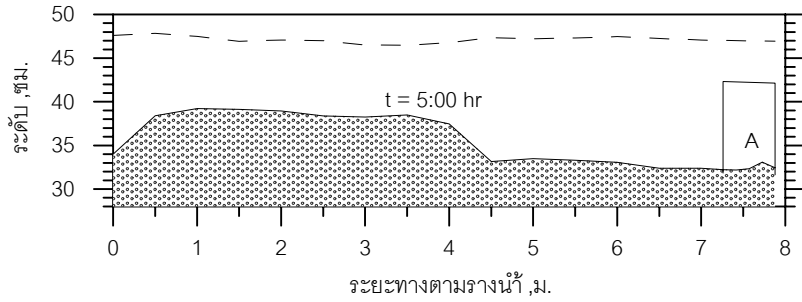
รูป ค-22 เปรียบการเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ ของฝ่ายทั้ง 3 รูปแบบ กรณี่ 24-0.005



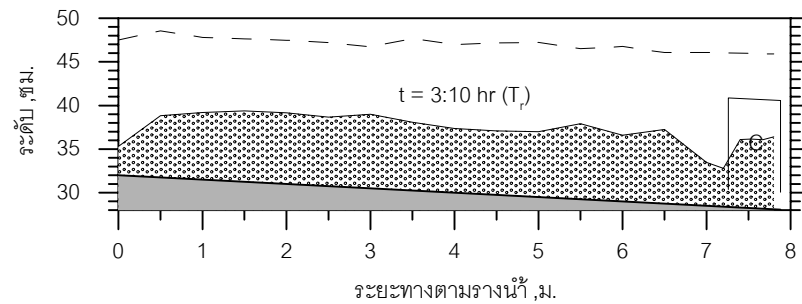
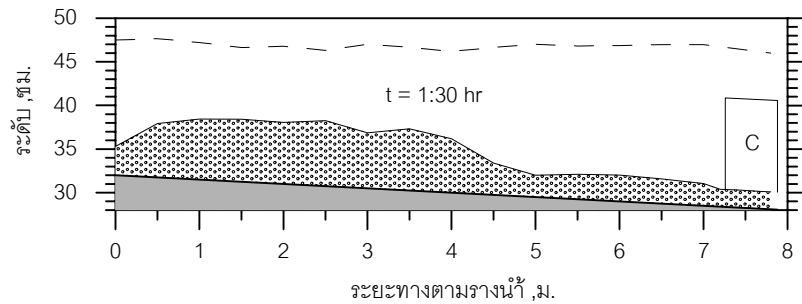
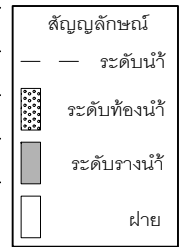
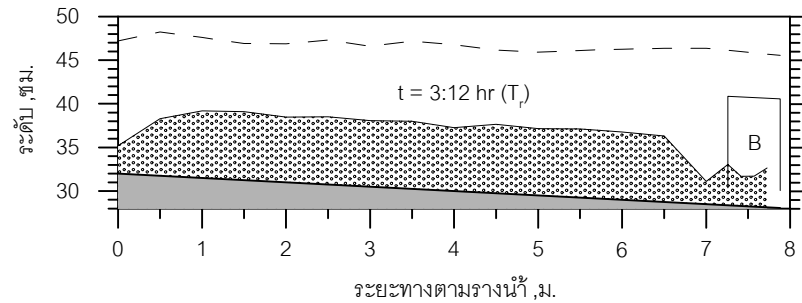
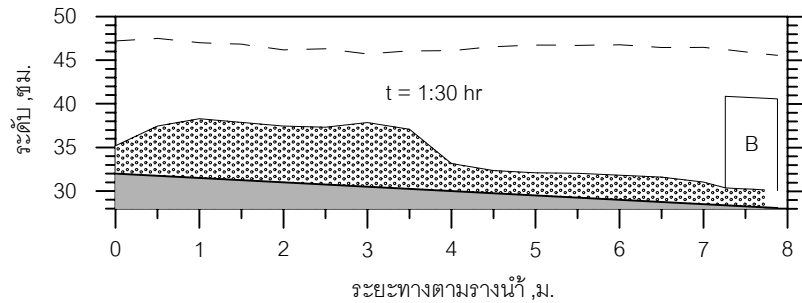
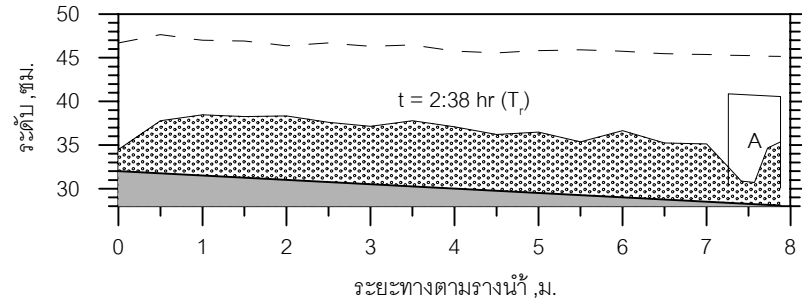
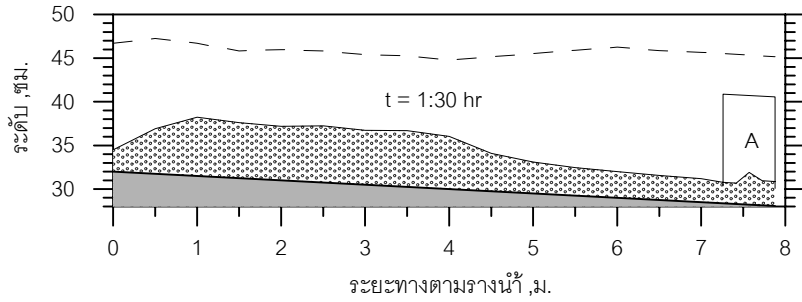
รูป ค-23 เปรียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ ของฝ่ายทั้ง 3 รูปแบบ กรณี 26-0.003



รูป ค-24 เปรียบการเปลี่ยนแปลงท่อน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ ของฝายทั้ง 3 รูปแบบ กรณี 26-0.005

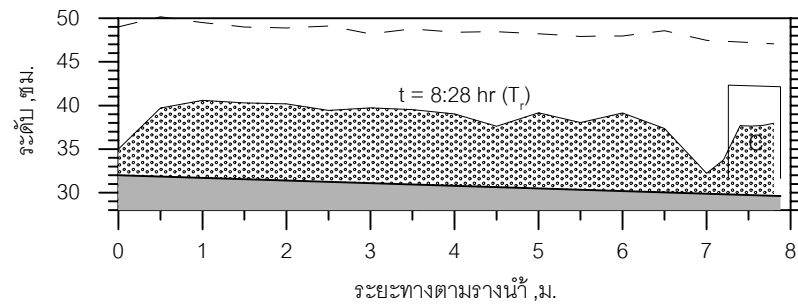
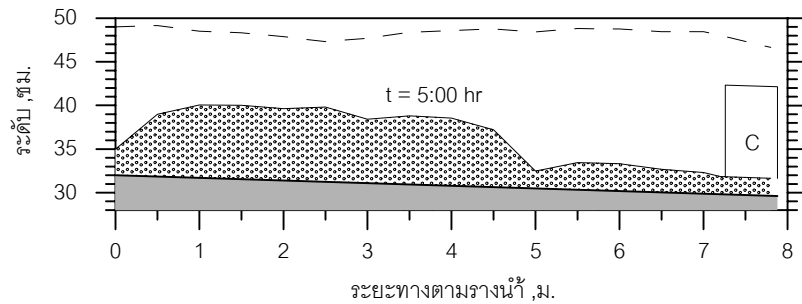
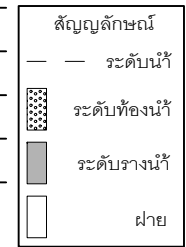
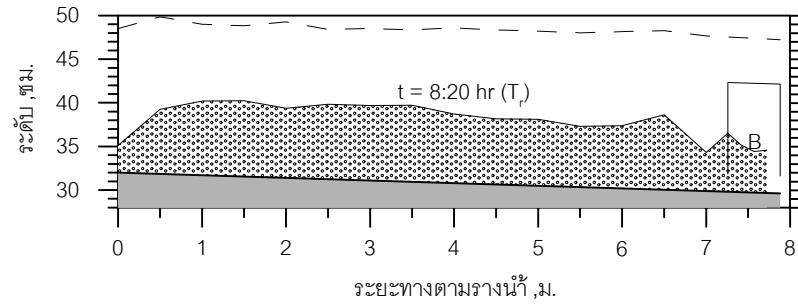
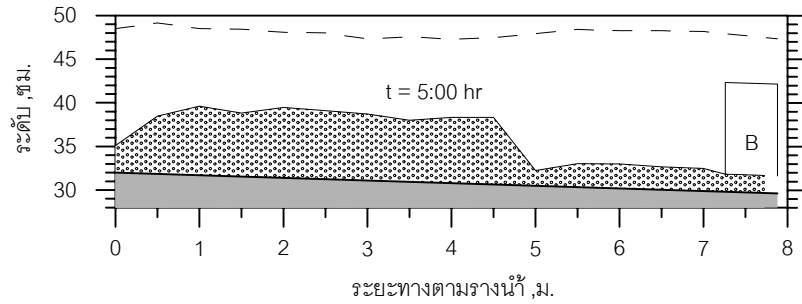
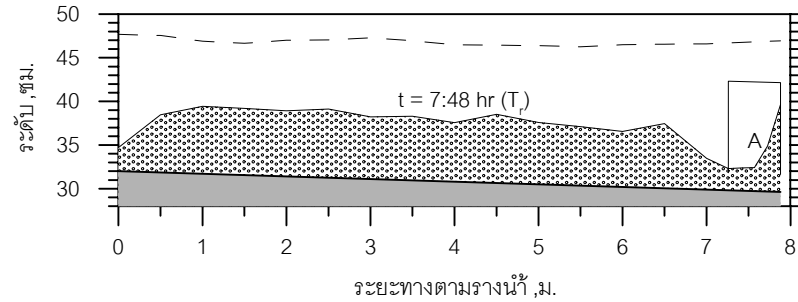
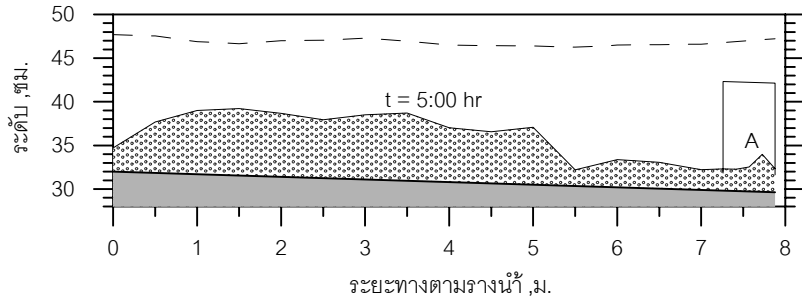


รูป ค-25 เปรียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ ของฝ่ายทั้ง 3 รูปแบบ กรณี 28-0.003

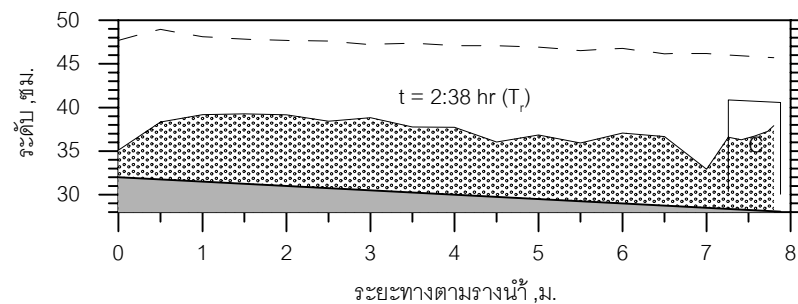
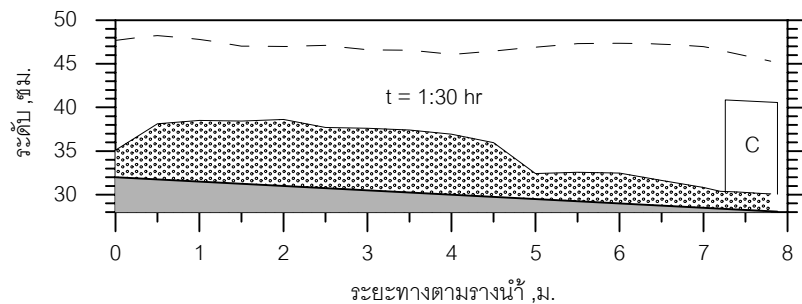
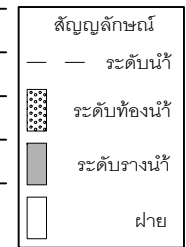
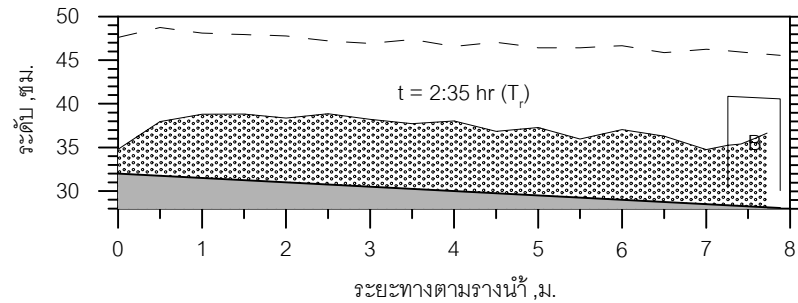
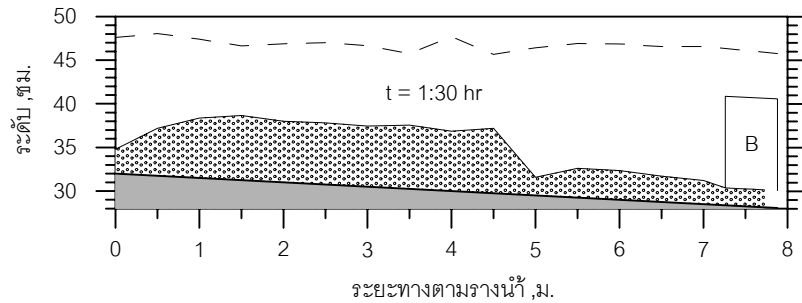
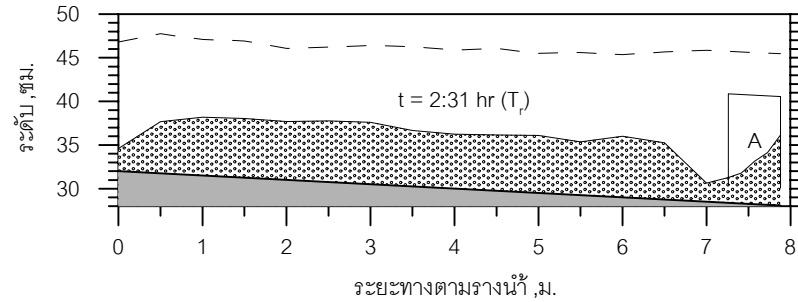
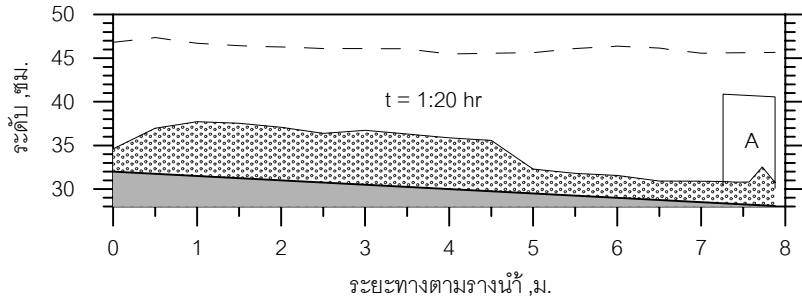


รูป ค-26 เปรียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ ของฝ่ายทั้ง 3 รูปแบบ กรณีส 28-0.005

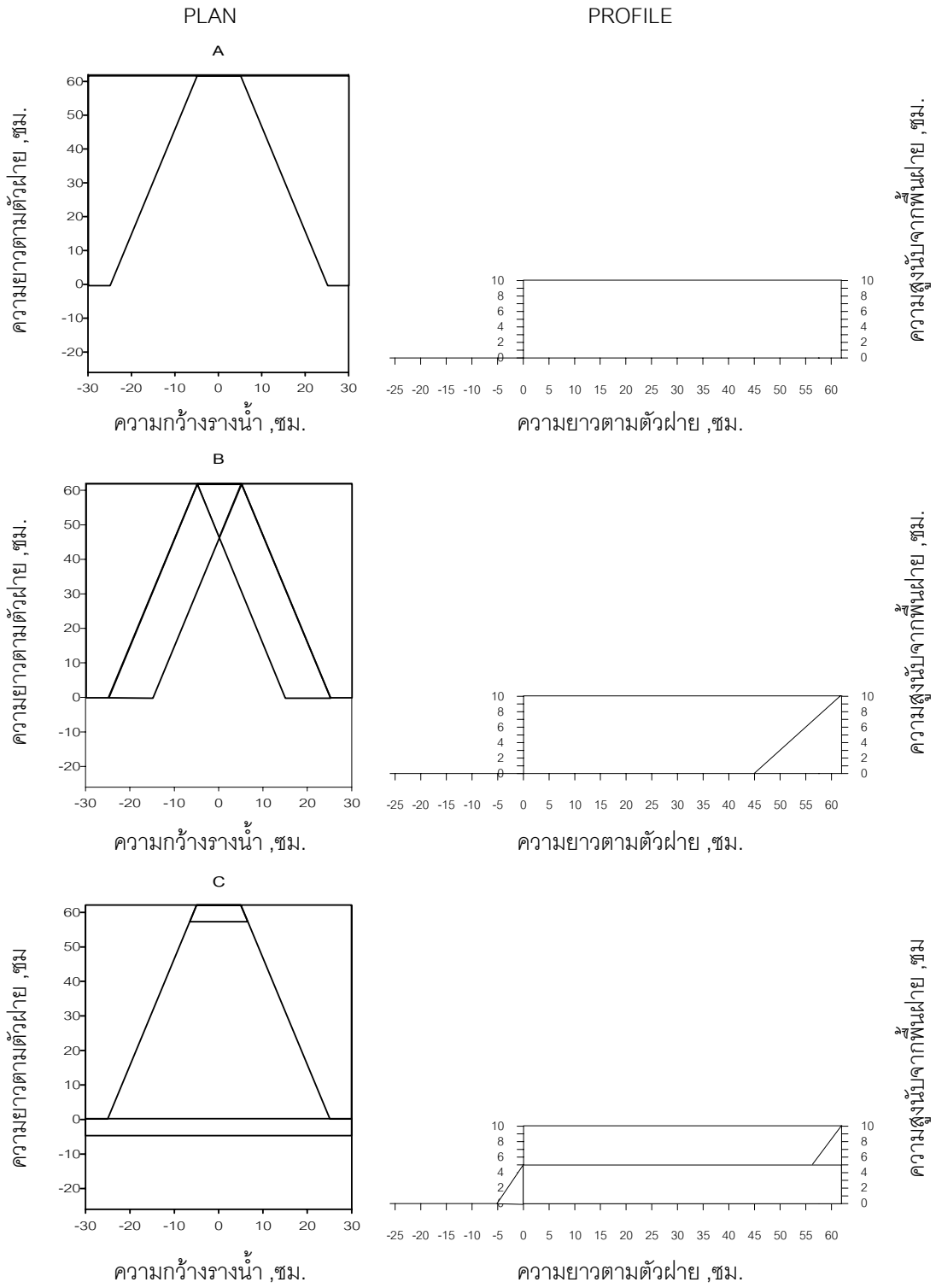




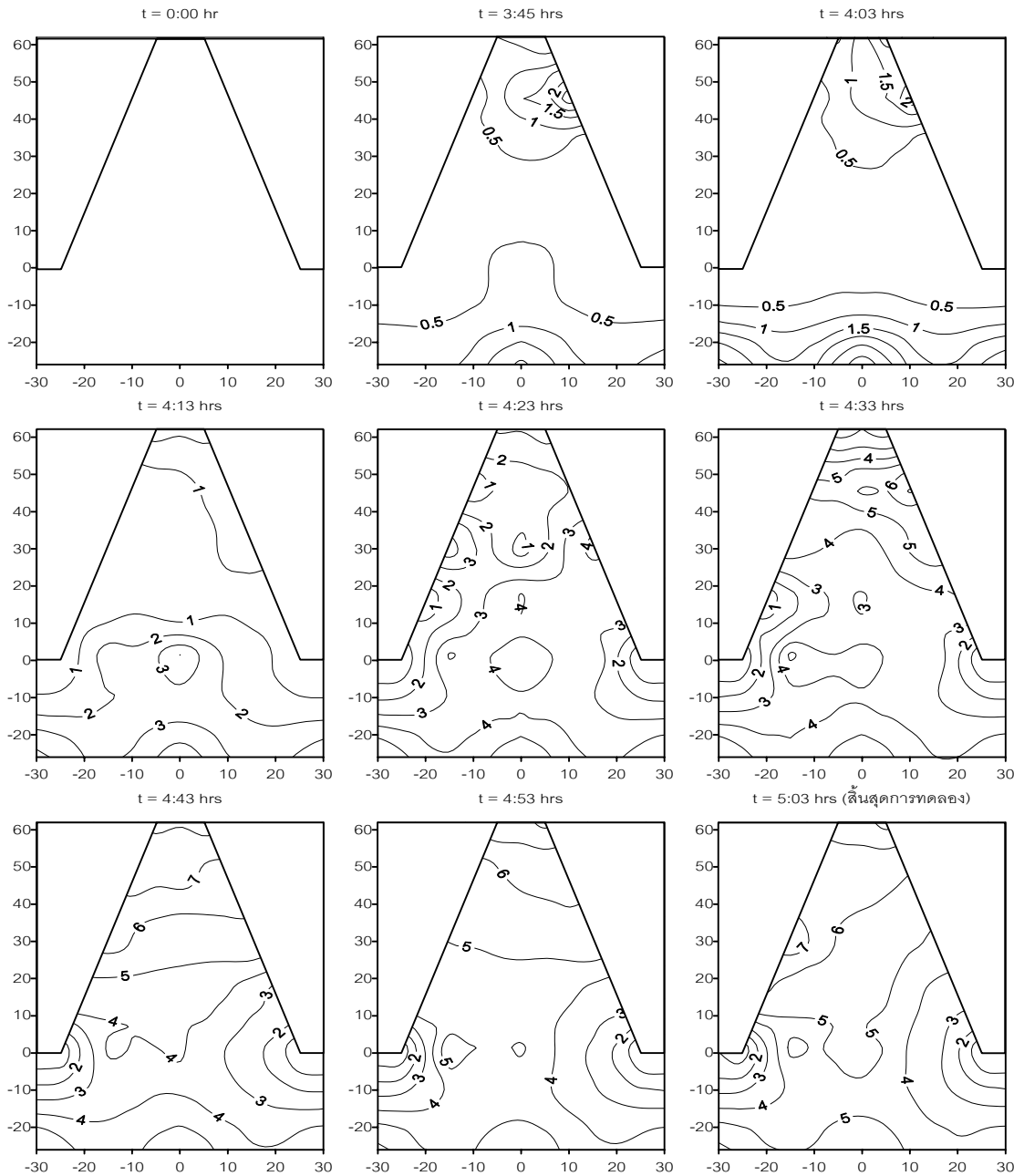
รูป ค-27 เปรียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ ของฝายทั้ง 3 รูปแบบ กรณี 30-0.003



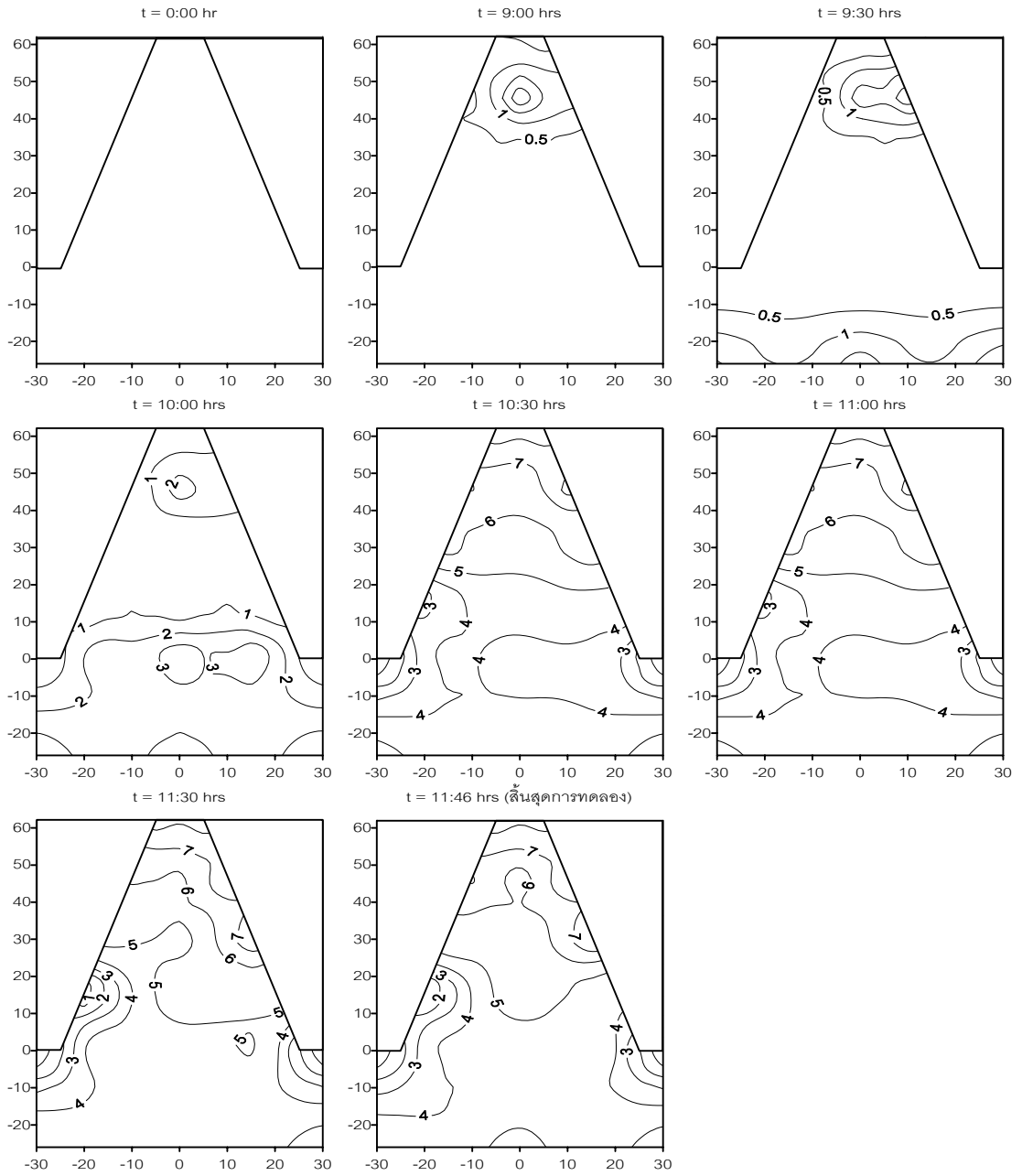
รูป ค-28 เปรียบการเปลี่ยนแปลงท้องน้ำในรางน้ำ ที่เวลาต่างๆ ของฝายทั้ง 3 รูปแบบ กรณีส 30-0.005



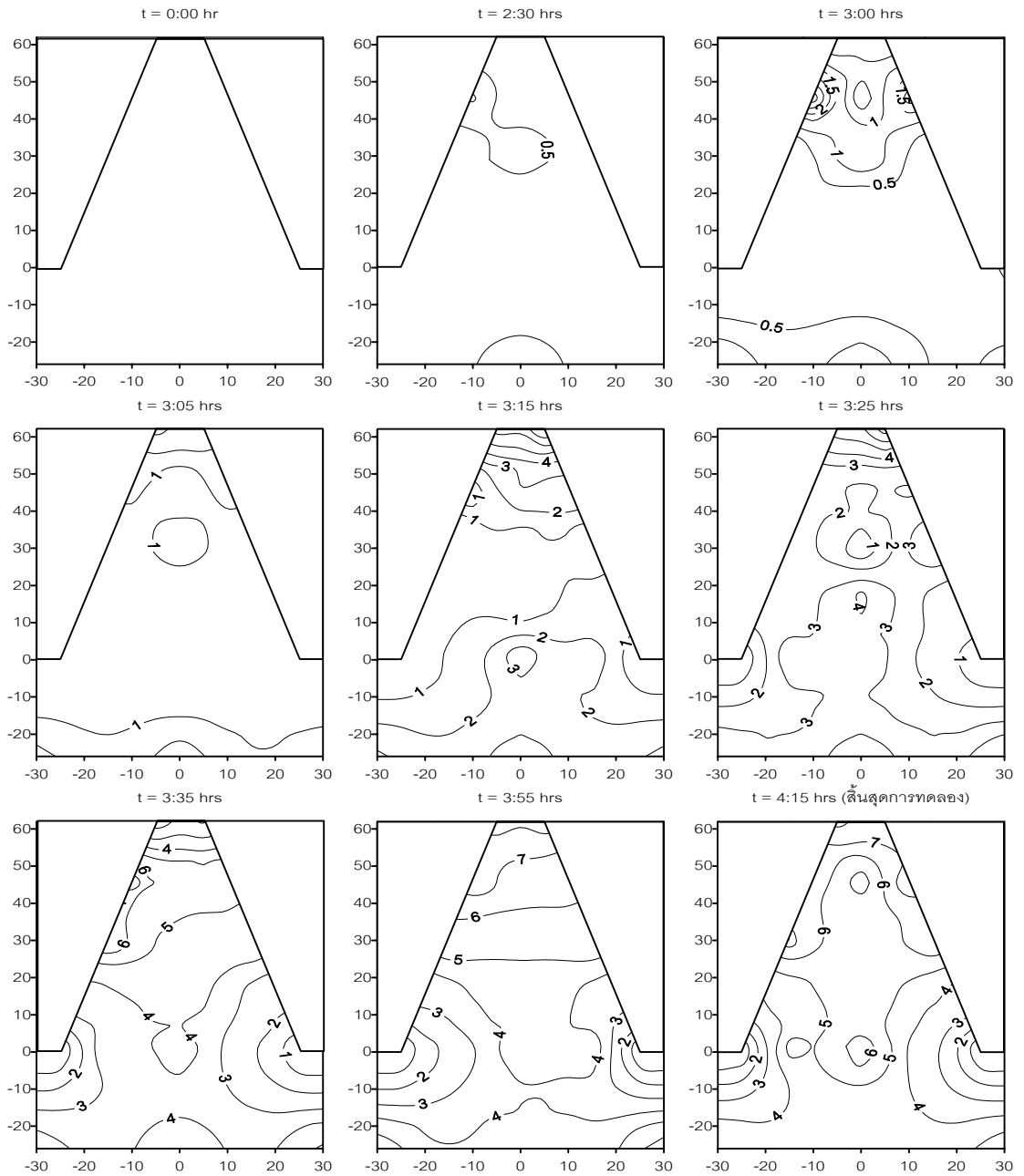
รูป ค-29 แสดงรูปแปลน และรูปด้านข้างของฝายแต่ละรูปแบบ



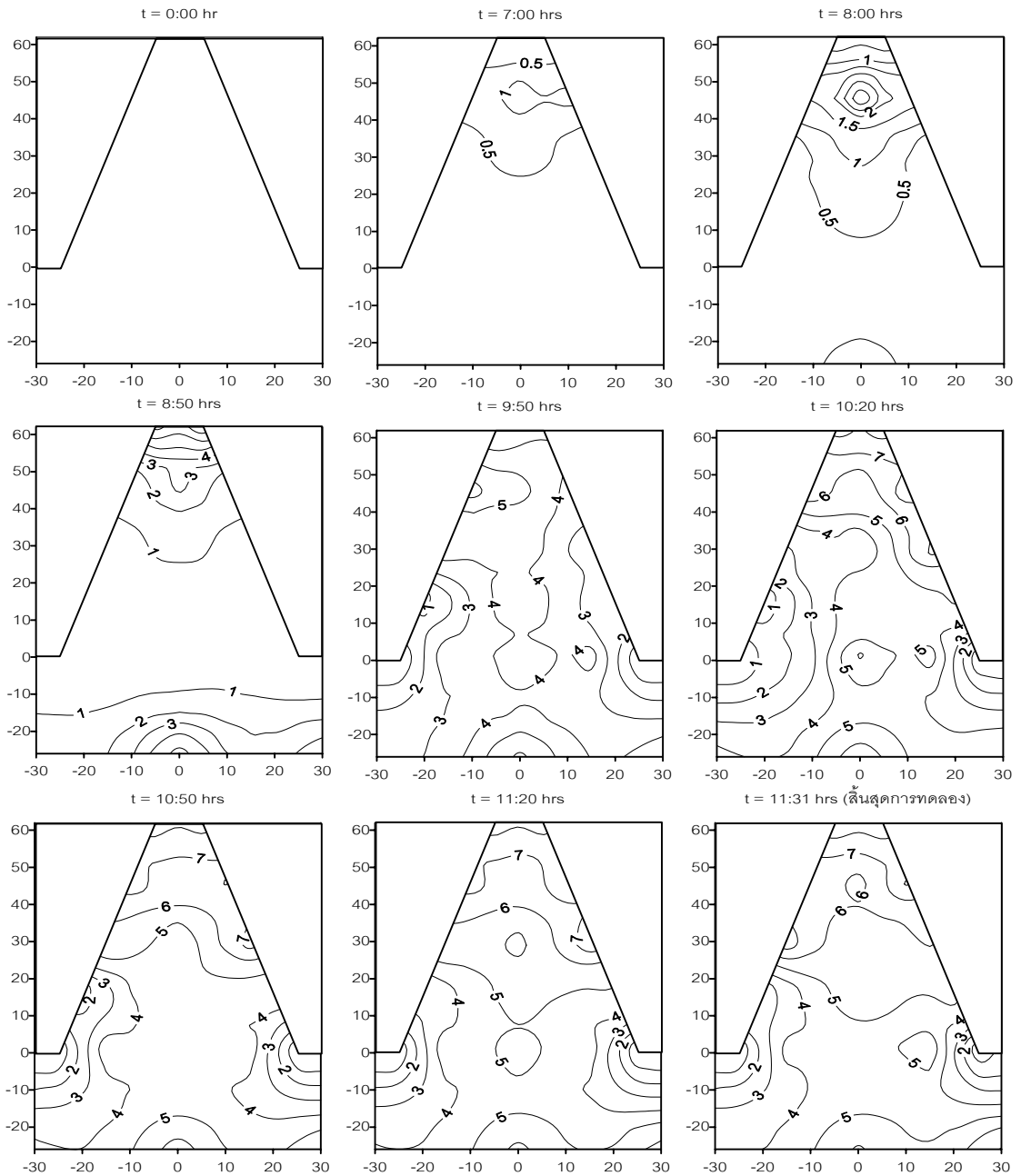
รูป ค-30 การเปลี่ยนแปลงของท้องถิ่นบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี A-24-0.005



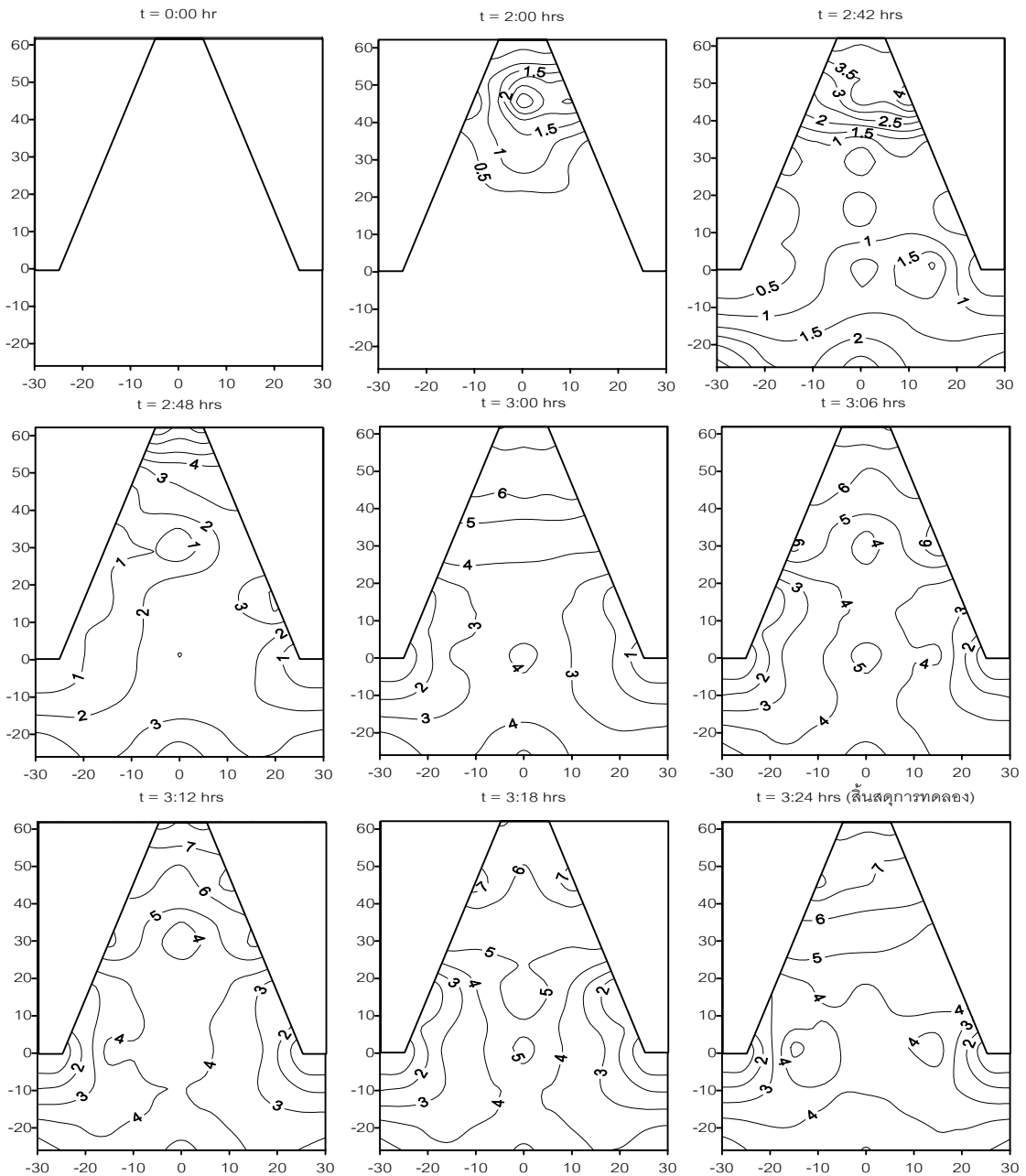
รูป ค-31 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี A-26-0.003



รูป ค-32 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี A-26-0.005

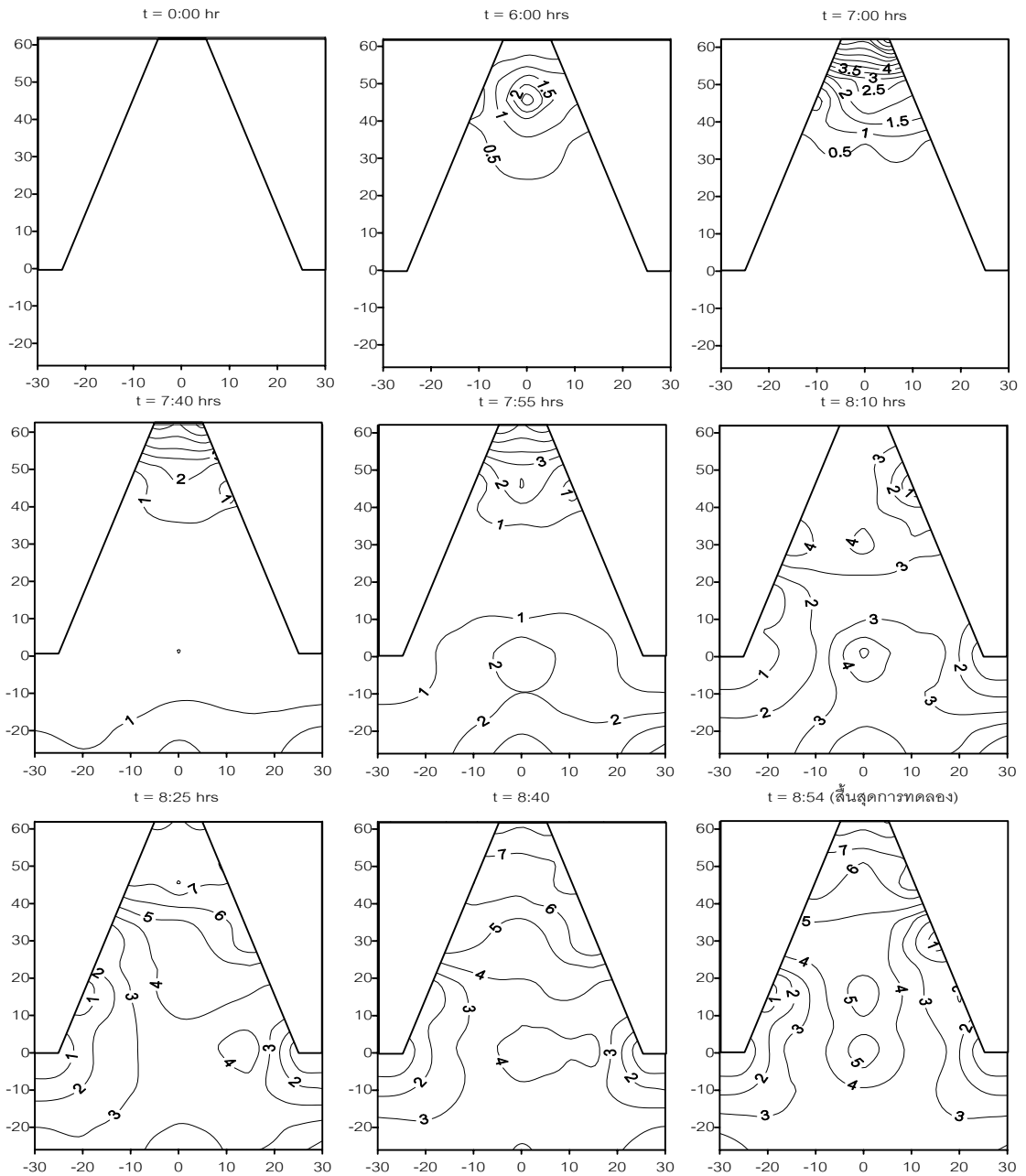


รูป ค-33 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี A-28-0.003

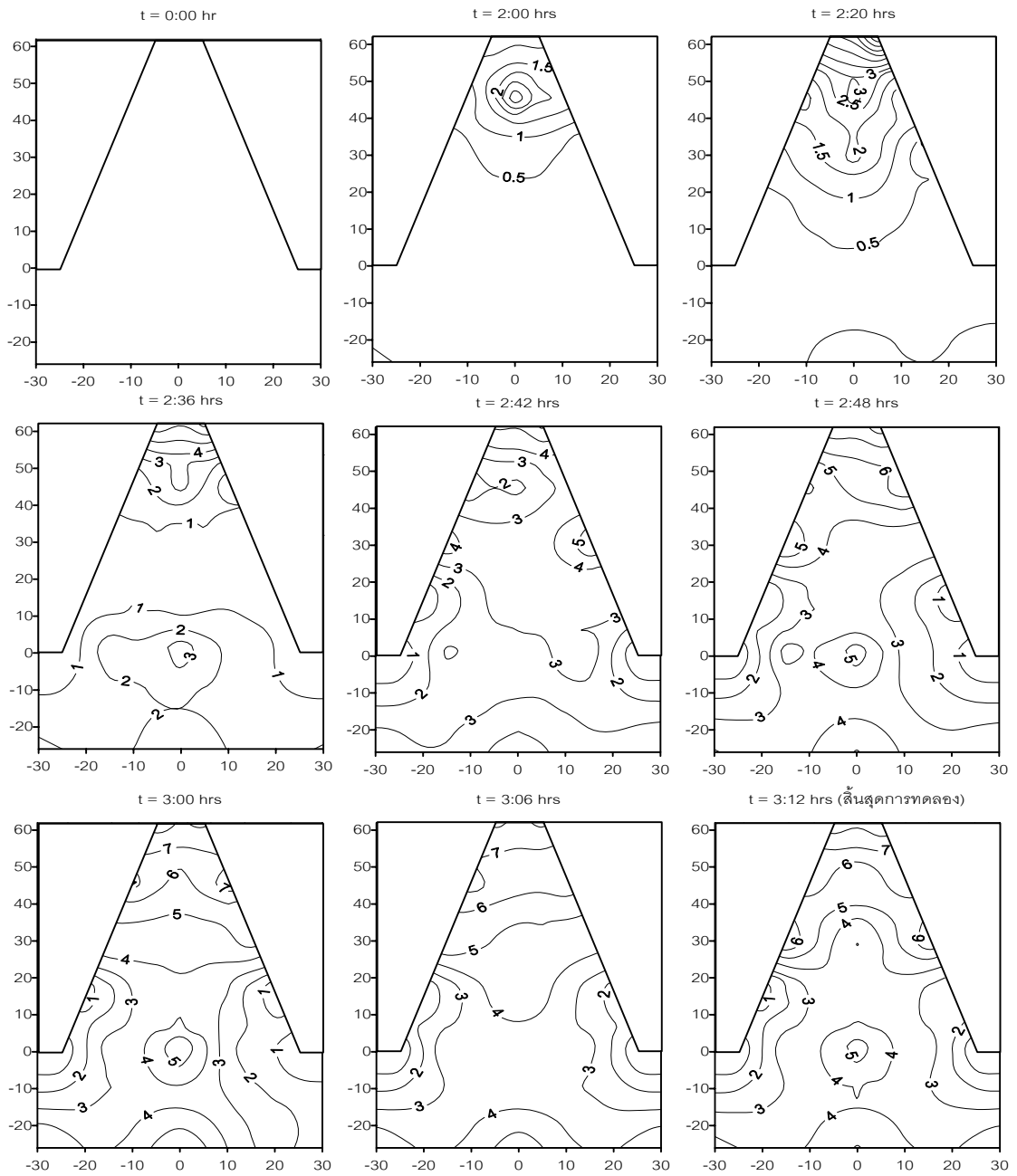


รูป ค-34 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี A-28-0.005

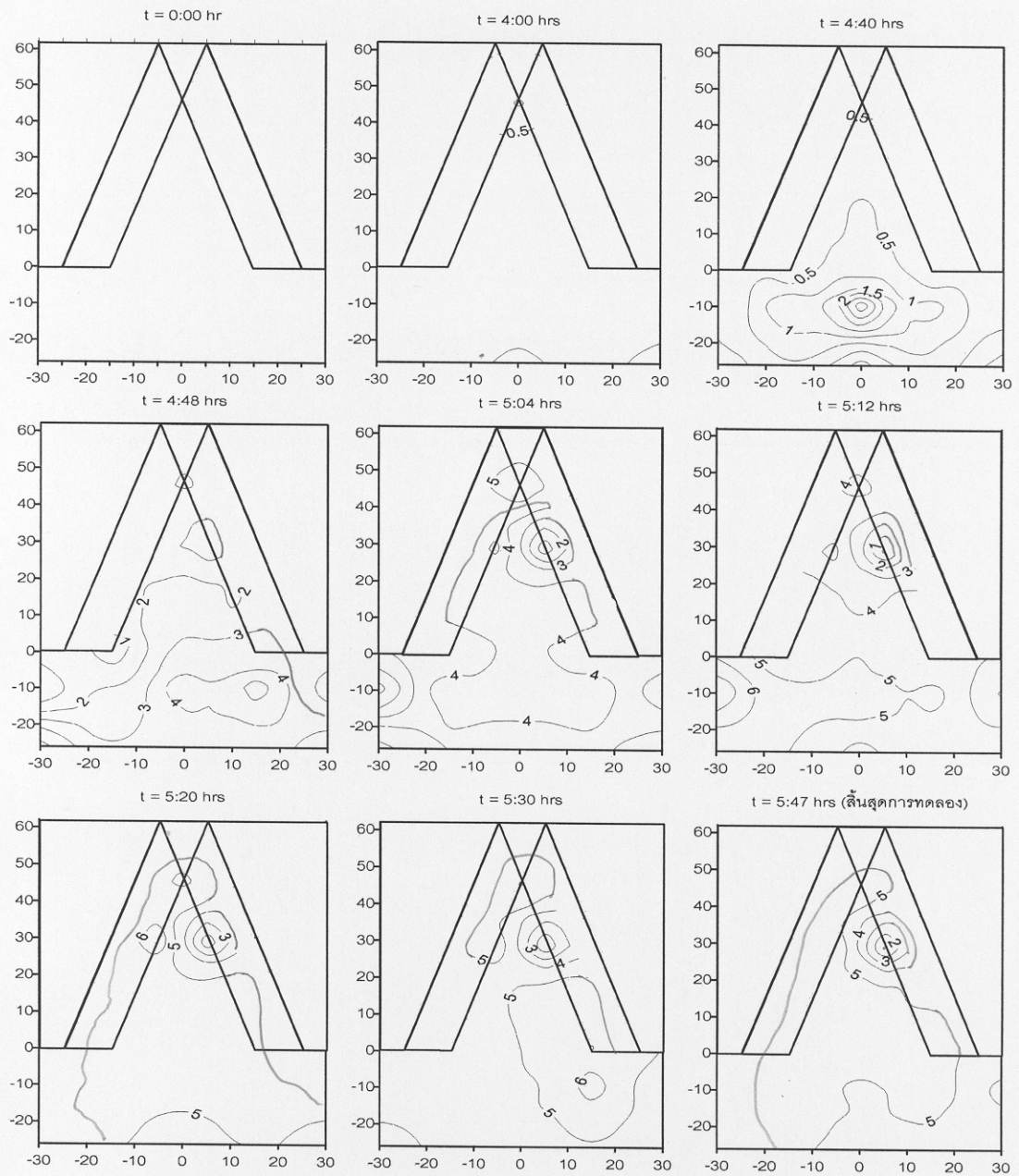




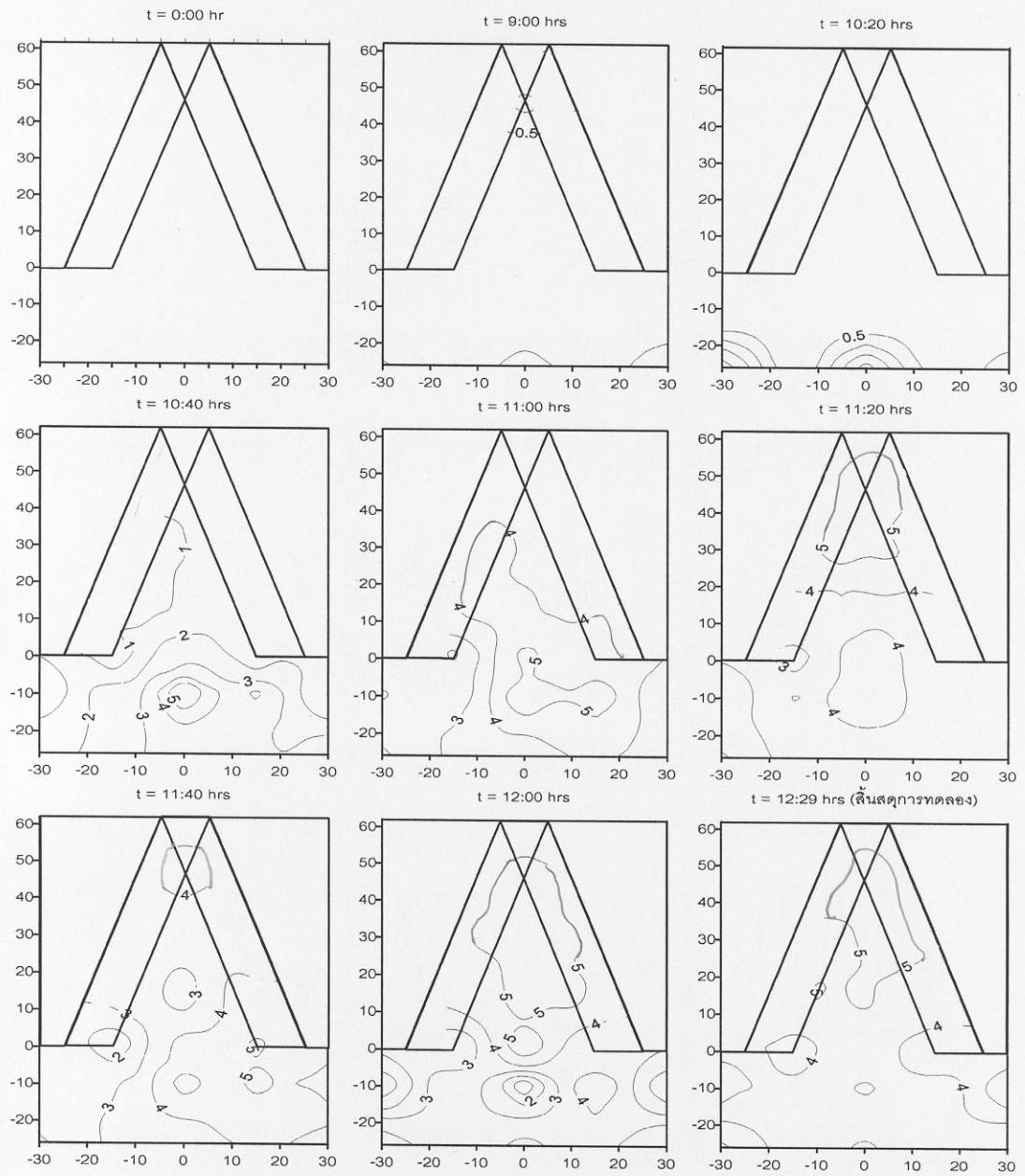
รูป ค-35 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี A-30-0.003



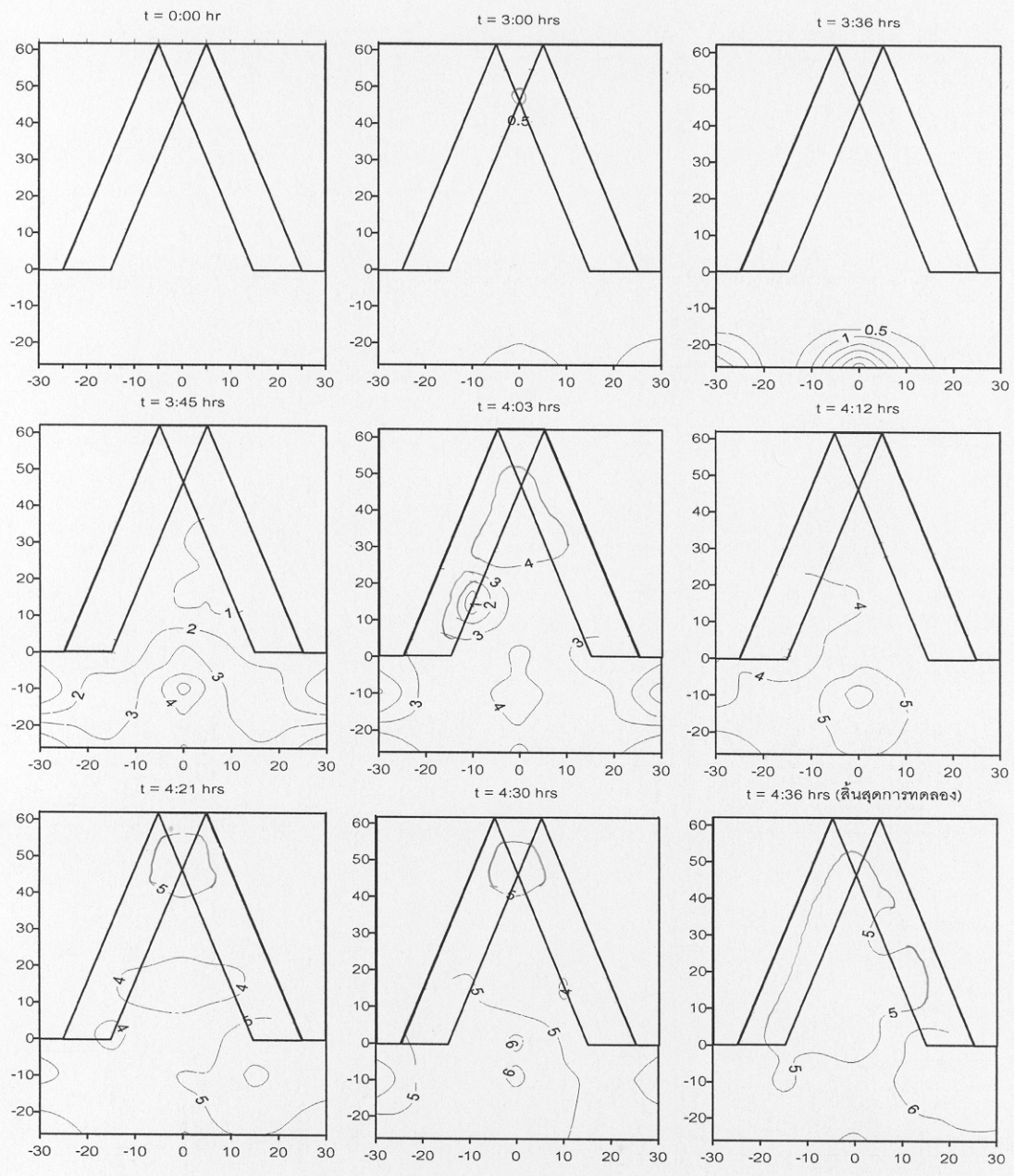
รูป ค-36 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี A-30-0.005



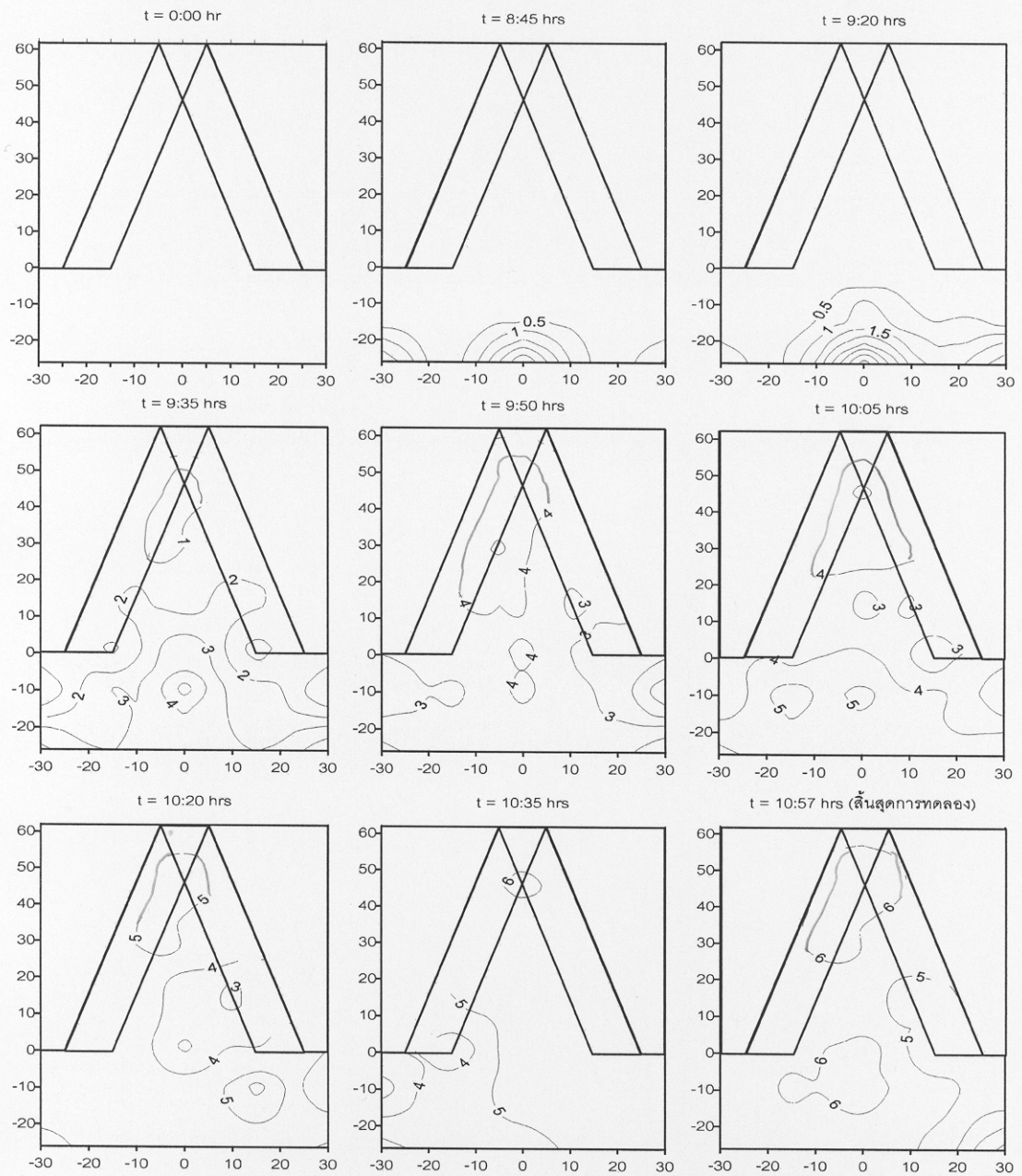
รูป ค-37 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี B-24-0.005



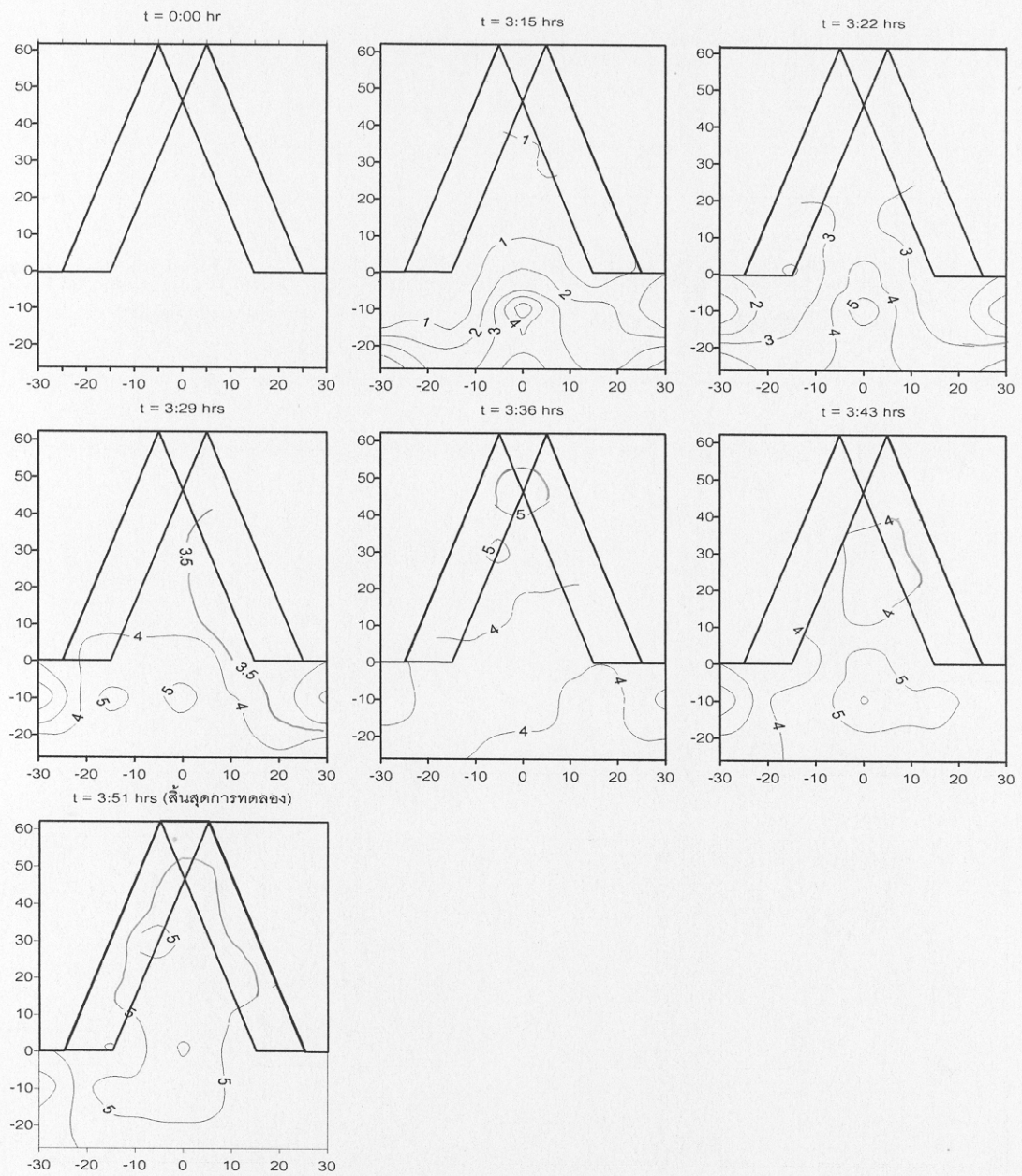
รูป ค-38 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี B-26-0.003



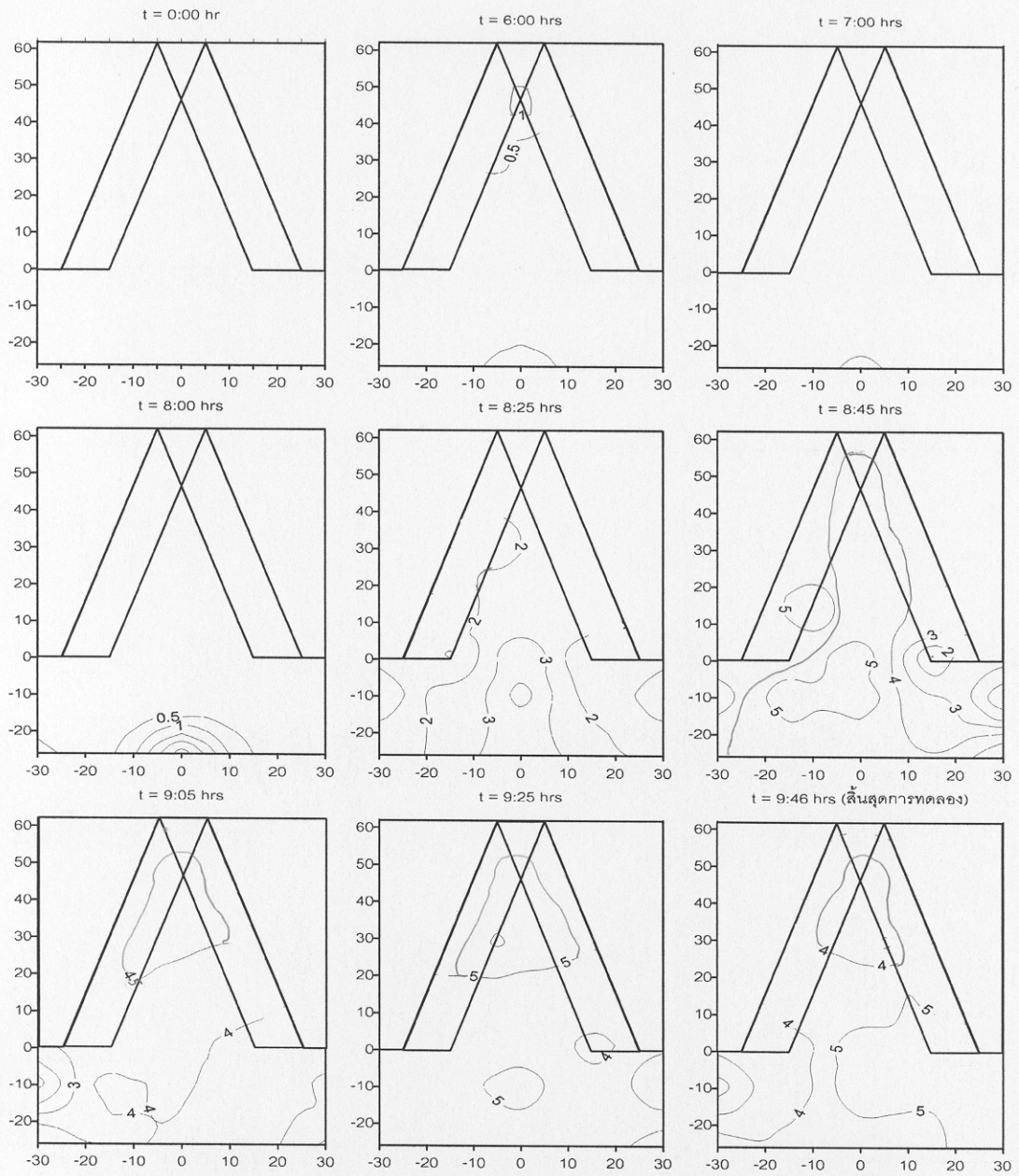
รูป ค-39 การเปลี่ยนแปลงของท่อน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี B-26-0.005



รูป ค-40 การเปลี่ยนแปลงของท้องถิ่นบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี B-28-0.003

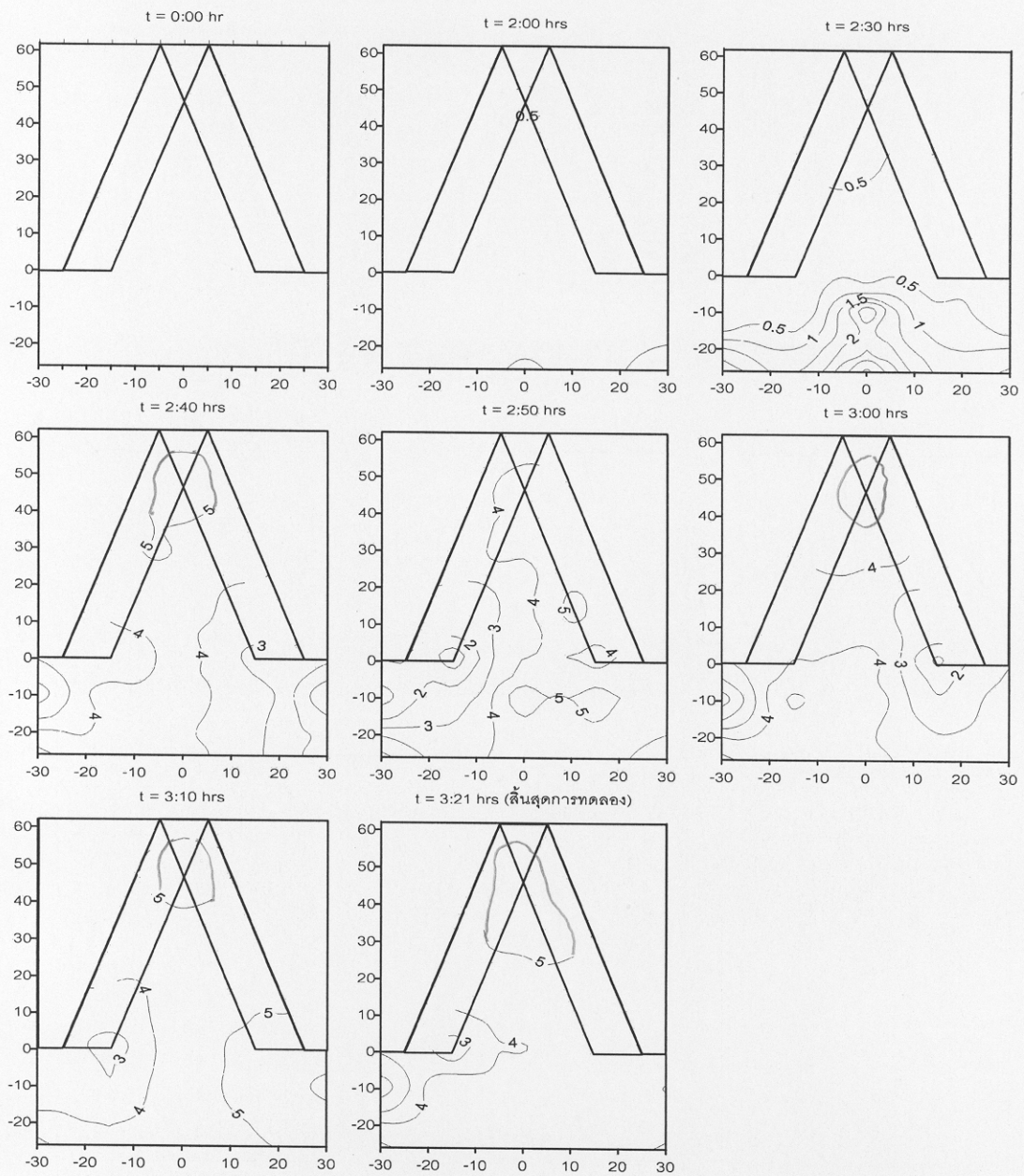


รูป ค-41 การเปลี่ยนแปลงของห้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี B-28-0.005

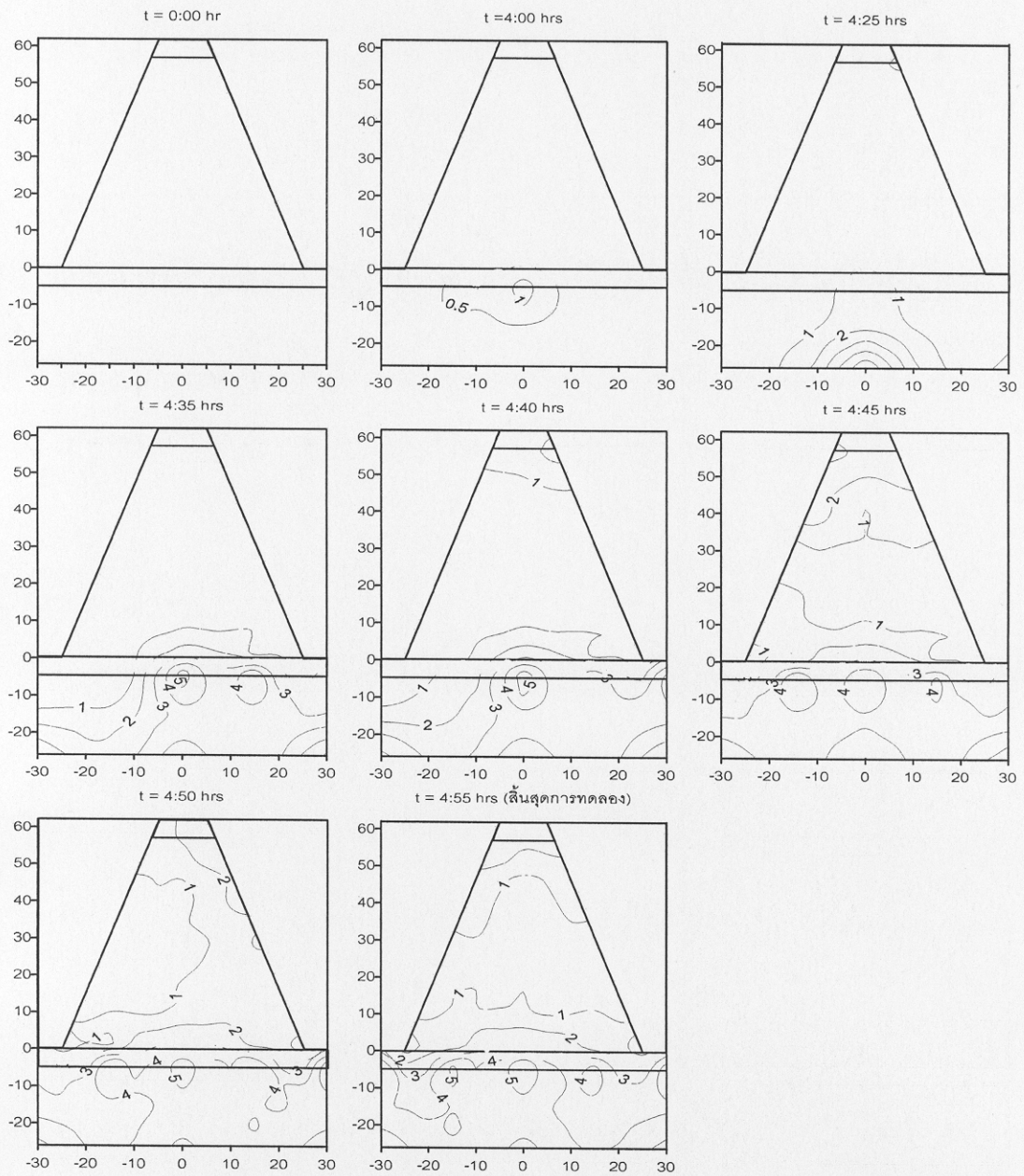


รูป ค-42 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี B-30-0.003

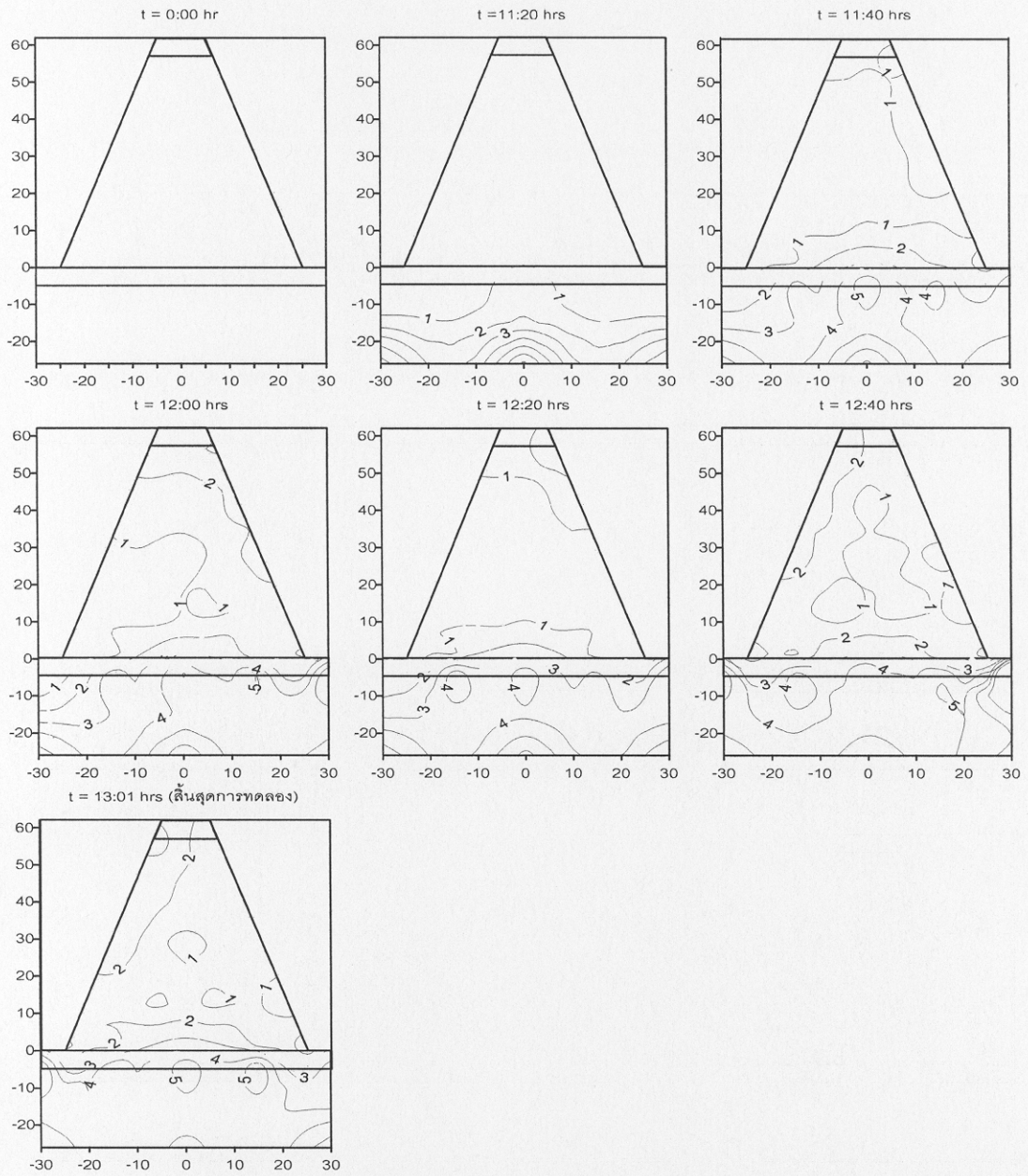




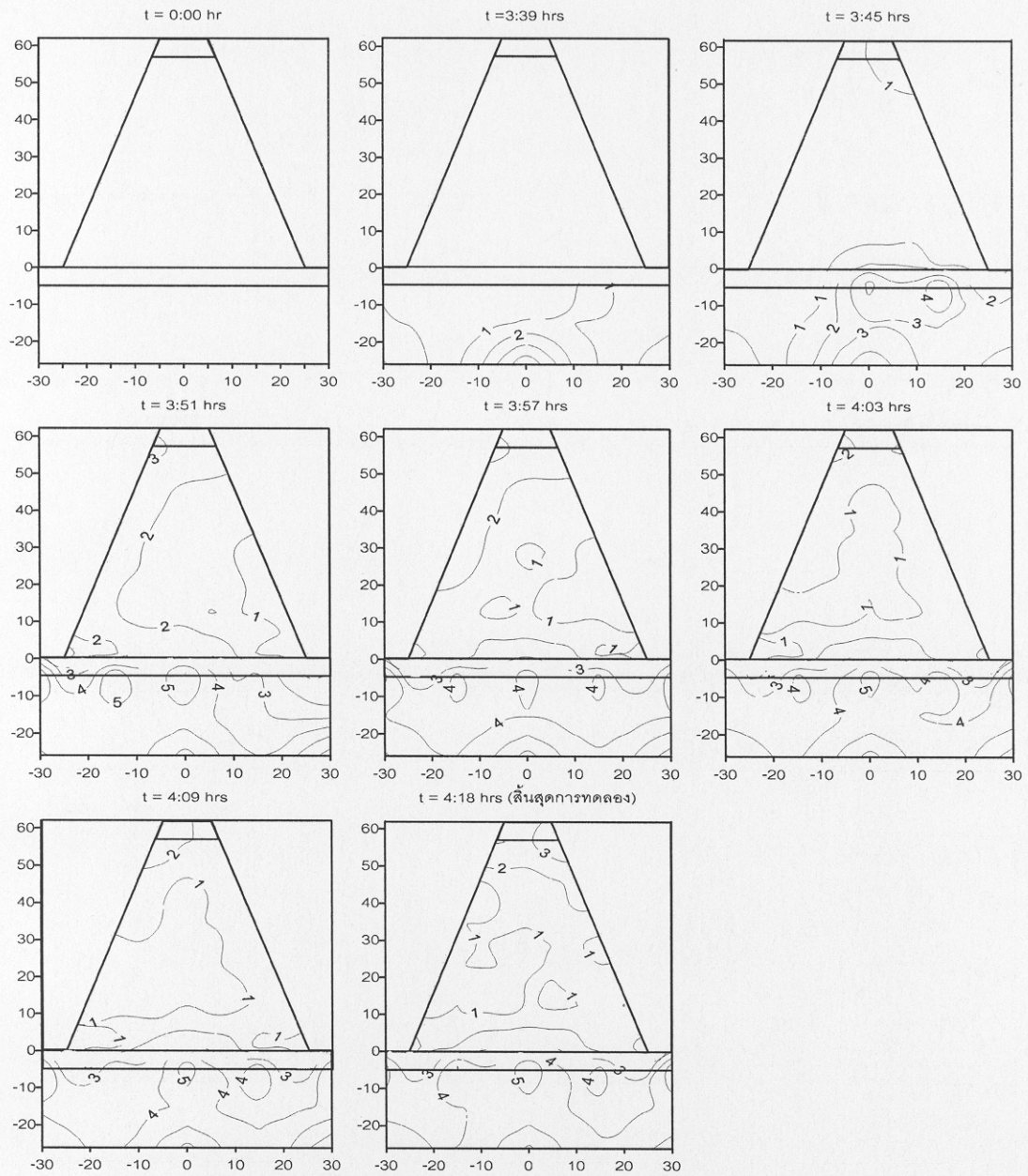
รูป ค-43 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี B-30-0.005



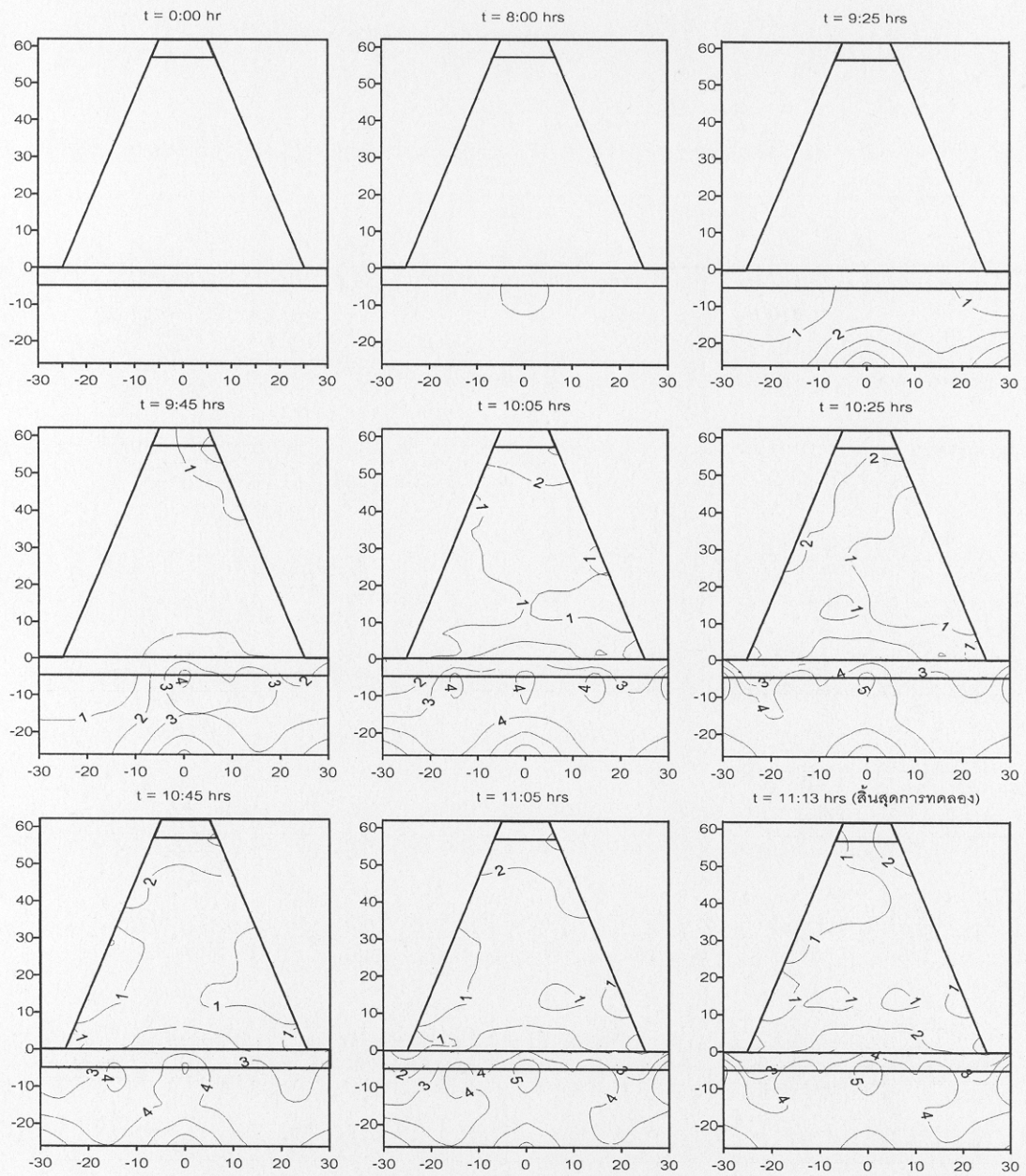
รูป ค-44 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่าง ๆ กัน กรณี C-24-0.005



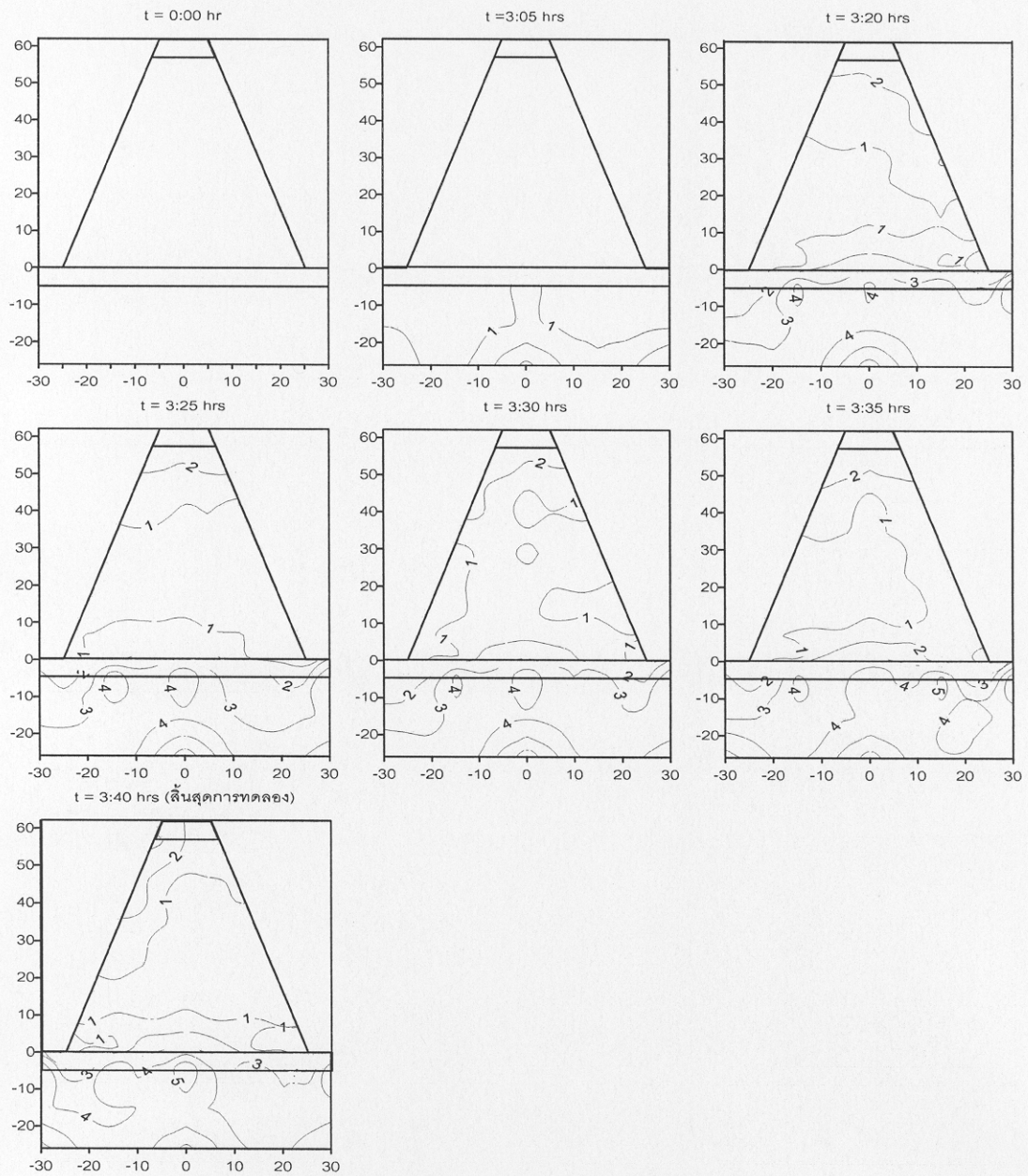
รูป ค-45 การเปลี่ยนแปลงของท้องถิ่นบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี C-26-0.003



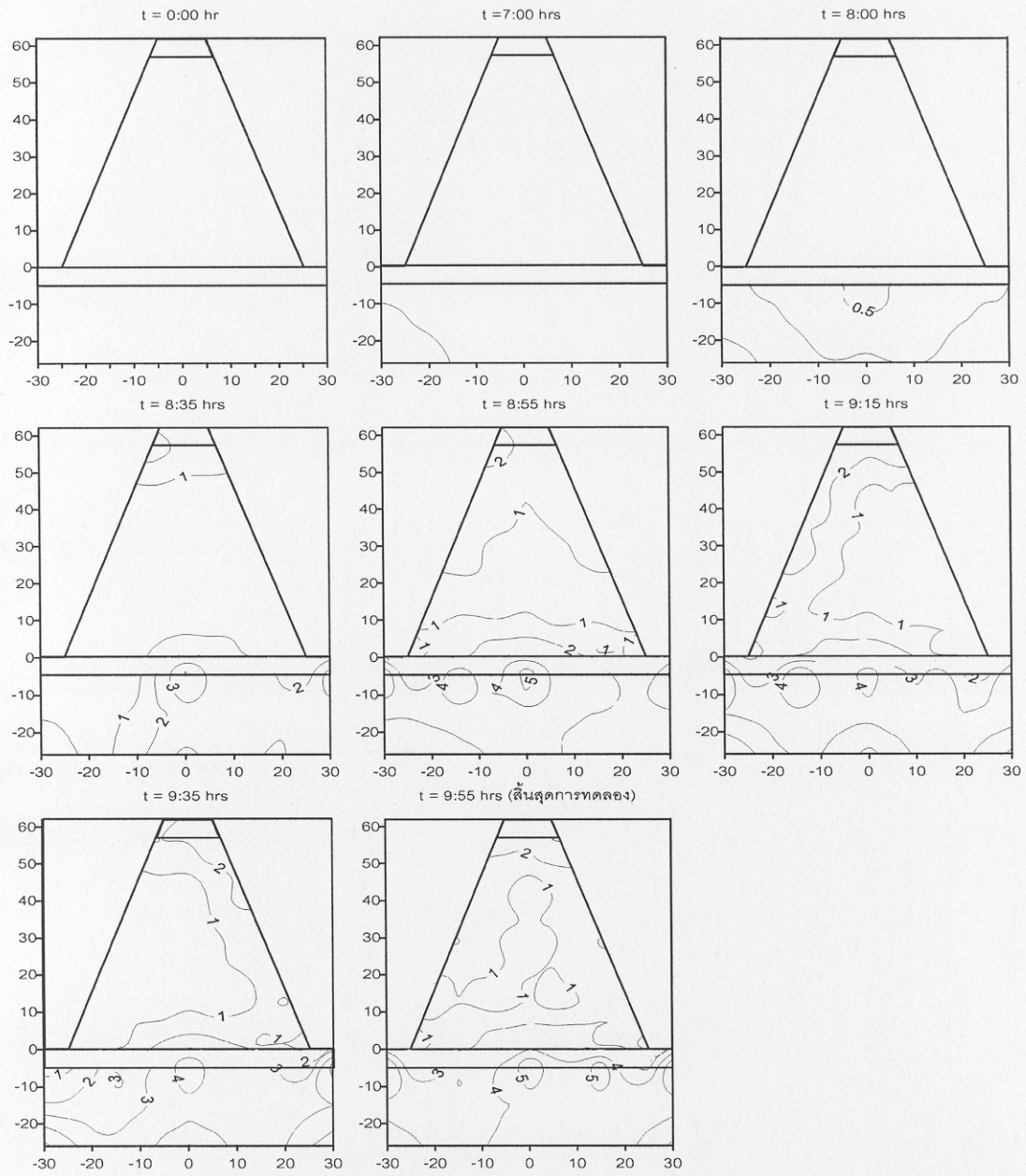
รูป ค-46 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี C-26-0.005



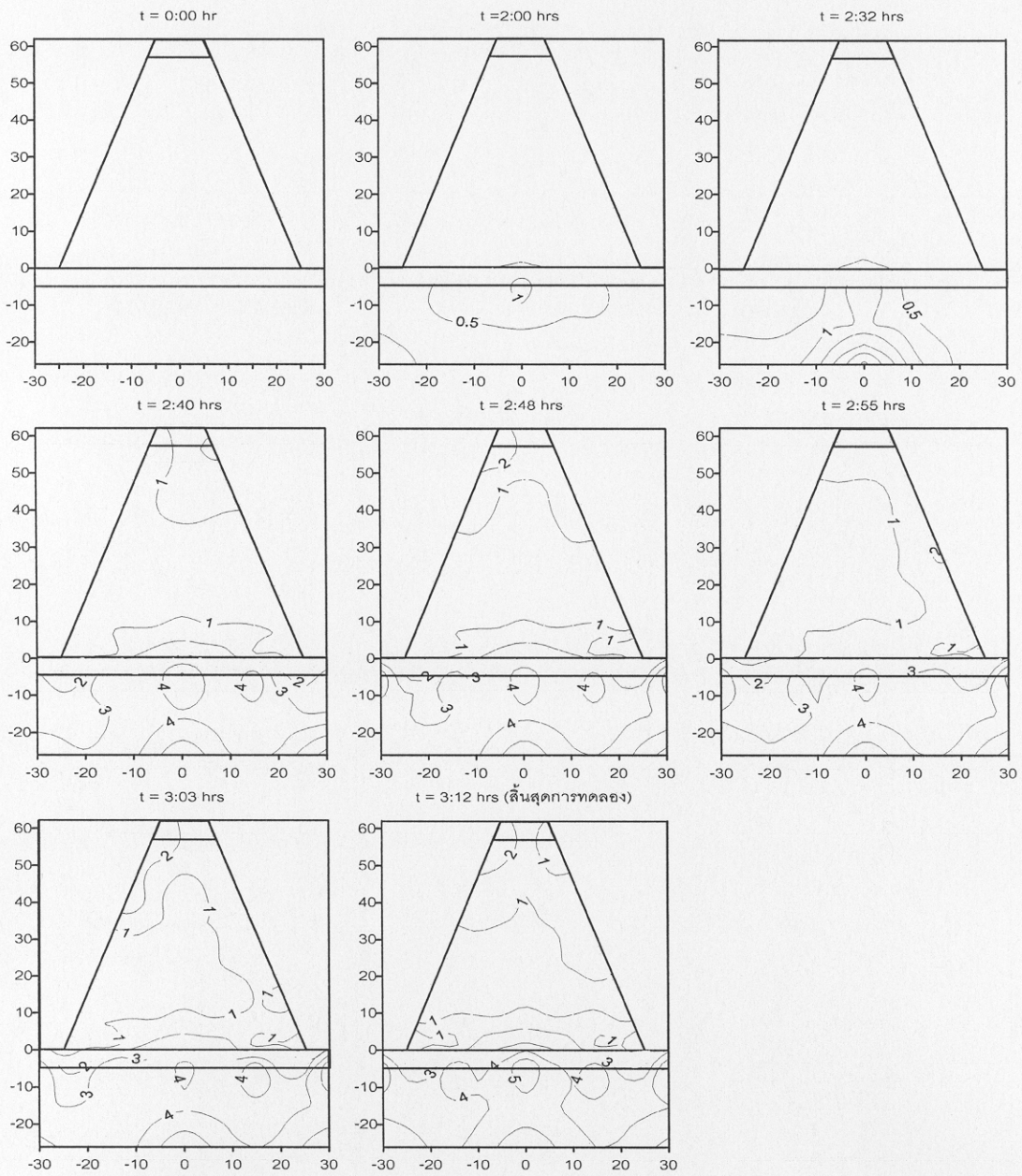
รูป ค-47 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี C-28-0.003



รูป ค-48 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่าง ๆ กัน กรณี C-28-0.005

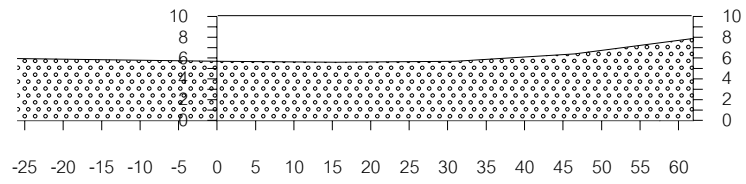


รูป ค-49 การเปลี่ยนแปลงของท้องน้ำบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี C-30-0.003

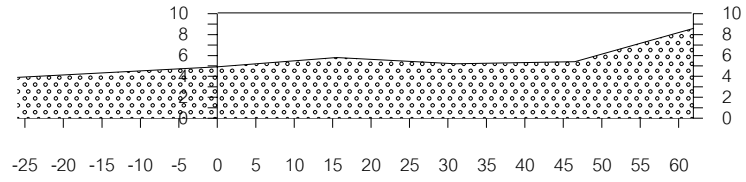


รูป ค-50 การเปลี่ยนแปลงของท้องถิ่นบริเวณฝาย ที่เวลาต่างๆกัน กรณี C-30-0.005

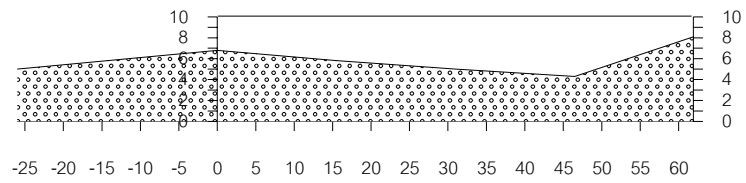




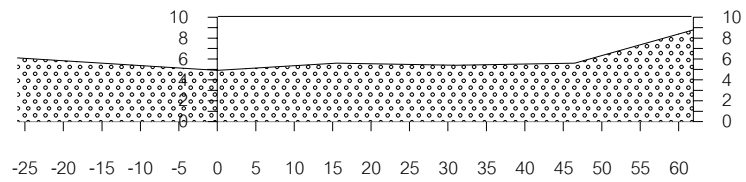
A-24-0.005



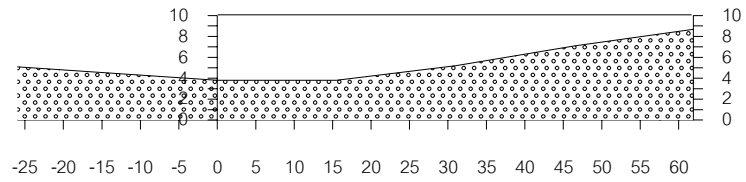
A-26-0.003



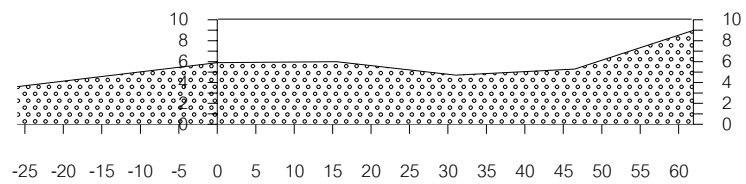
A-26-0.005



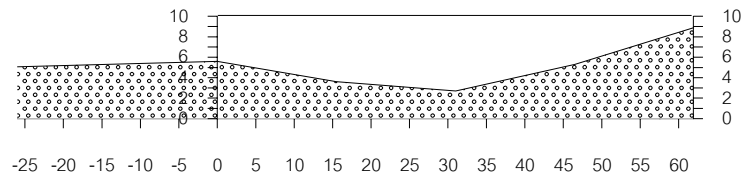
A-28-0.003



A-28-0.005

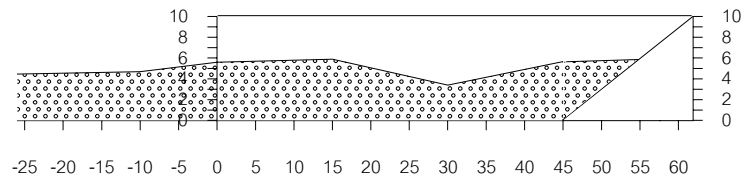


A-30-0.003

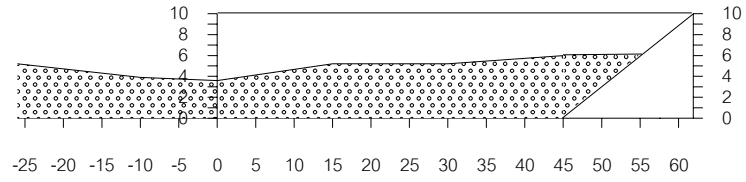


A-30-0.005

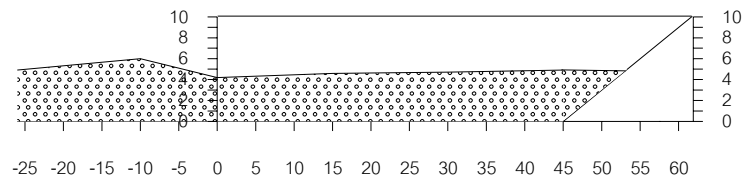
รูป ค-51 ภาพตัดด้านข้างบริเวณตัวฝาย ที่เวลาหยุดการทดลองแต่ละกรณี ของฝาย A



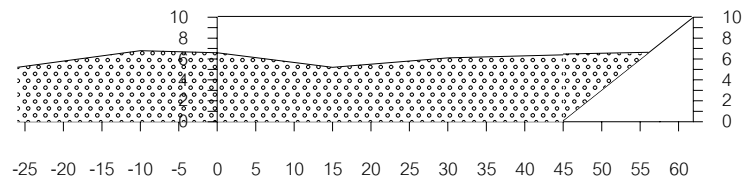
B-24-0.005



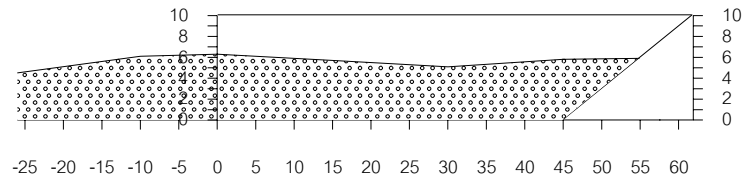
B-26-0.003



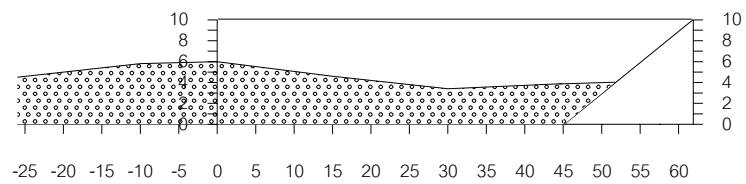
B-26-0.005



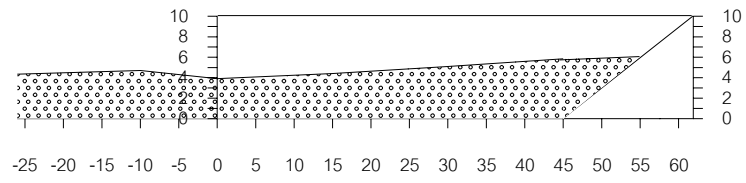
B-28-0.003



B-28-0.005

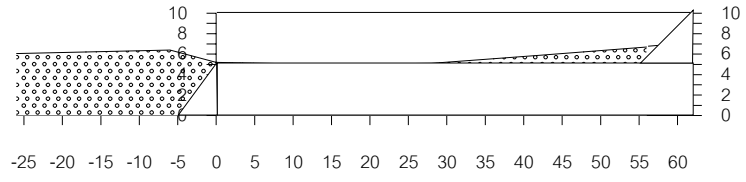
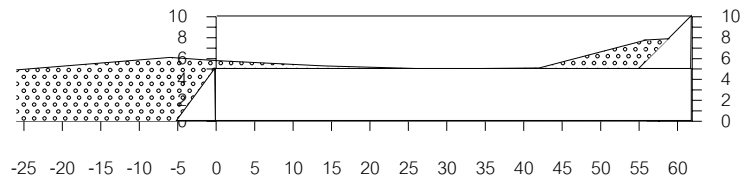
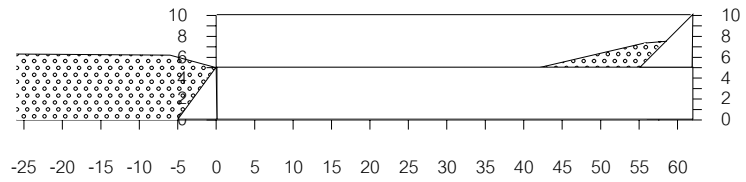
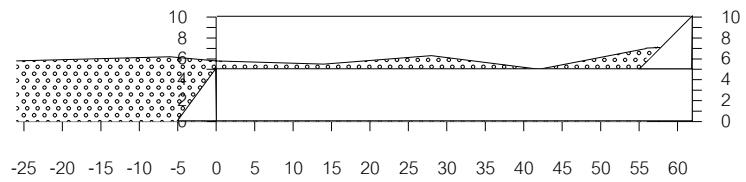
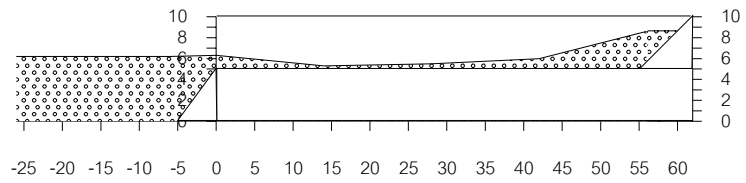
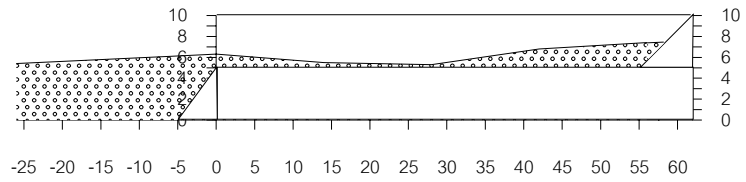
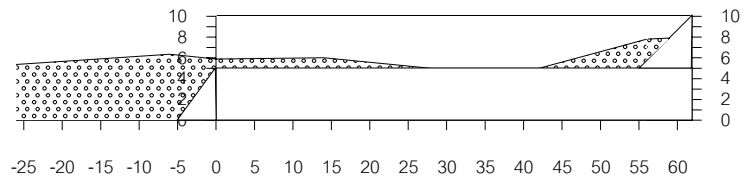


B-30-0.003



B-30-0.005

รูป ค-52 ภาพตัดด้านข้างบริเวณตัวฝาย ที่เวลาหยุดการทดลองแต่ละกรณี ของฝาย B



รูป ค-53 ภาพตัดด้านข้างบริเวณตัวฝาย ที่เวลาหยุดการทดลองแต่ละกรณี ของฝาย C

ภาคผนวก ง

ภาพประกอบการวิจัย



รูป ง-1 แสดงภาพน้ำไหลข้ามฝายจำลอง



รูป ง-2 แสดงสภาพห้องน้ำเมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง



รูป ง-3 ฝ่ายหยักที่มีการก่อสร้างในต่างประเทศ



รูป ง-4 ฝ่ายหยักที่มีการก่อสร้างในประเทศไทย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย โชติกร แดงประไพ เกิดเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2518 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียน สอนกุลหลาบวิทยาลัย สำเร็จระดับปริญญาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) และ บริหารธุรกิจบัณฑิต (การจัดการงานก่อสร้าง) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2544 ระหว่างศึกษาได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากสำนักงานจัดการศึกษาทั่วไป ระหว่างปีการศึกษา 2544-2546 รวมทั้งสิ้น 4 ภาคการศึกษา