

ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง



นายชัชชัย หอมสุต

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

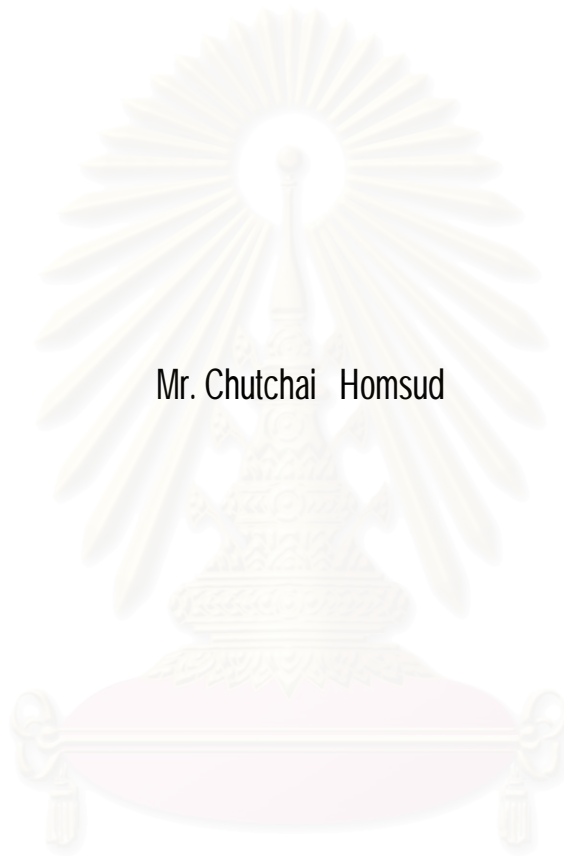
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2608-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HYDRAULICS OF FLOW IN AN OPEN CHANNEL WITH A CLOSURE DAM UNDER TIDAL EFFECTS



Mr. Chutchai Homsud

สถาบันวิทยบริการ
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 2002

ISBN 974-17-2608-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง
โดย	นายชัชชัย หอมสุต
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รัทวิชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสวี จันทร์โยธิน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รัทวิชัย)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คุณธนกุลวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

ชัชชัย หอมสุด : ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง (HYDRAULICS OF FLOW IN AN OPEN CHANNEL WITH A CLOSURE DAM UNDER TIDAL EFFECTS) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ชัยพันธุ์ รักวิจัย, 168 หน้า. ISBN 974-17-2608-2.

ในงานป้องกันการรुकล้าของน้ำเค็มในแม่น้ำ มักใช้โครงสร้างปิดกั้นลำน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้ความเค็มขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำ แต่ผลจากการสร้างโครงสร้างที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง อาจเกิดผลกระทบต่อลำน้ำด้านท้ายน้ำ โดยเฉพาะบริเวณท้ายโครงสร้างปิดกั้นลำน้ำ สำหรับการศึกษานี้มุ่งศึกษาผลของการปิดกั้นลำน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยศึกษาจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแบบจำลองชลศาสตร์ ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์ และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อกำหนดให้อัตราการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ และระยะเวลาเปิดปิดบานประตูระบายน้ำ เป็นตัวแปรชลศาสตร์การไหล ส่วนคาบคลื่น และความสูงคลื่นเป็นตัวแปรสภาพคลื่น

แบบจำลองชลศาสตร์ในการวิจัยประกอบด้วย แบบจำลองแม่น้ำ แบบจำลองทะเลหรือแอ่งคลื่น เครื่องกำเนิดคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ชุดควบคุมอัตราการไหล เครื่องมือวัดความสูงคลื่น และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งแผงวงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลในการวัดข้อมูลคลื่น โดยแบบจำลองแม่น้ำ สร้างขึ้นด้วยพลาสติกขนาด 0.30 ม x 19.5 ม x 0.20 ม กำหนดอัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.30 – 1.20 ลิตรต่อวินาที สัมประสิทธิ์ความขรุขระอยู่ในช่วง 0.0132 – 0.0211 และมีการเปิดปิดประตูระบายน้ำ 0 – 100% โดยผันแปรค่าความสูงคลื่น ในช่วง 0.5 – 2.0 ซม. และคาบคลื่นในช่วง 70 – 600 วินาที

ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ เนื่องจากการปิดกั้นลำน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากการทดลอง 270 กรณีการศึกษา สรุปได้ว่า อัตราส่วนคลื่นขยายตัว ณ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำเทียบกับปากแม่น้ำ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาปิดกั้นลำน้ำเทียบกับความยาวคลื่นเป็นสำคัญ และสามารถอธิบายอัตราส่วนคลื่นขยายตัว ได้ด้วยรูปสมการ $Hr=1+ae^{-b(L/Lc)}$ ซึ่งในการศึกษาพยายามศึกษาว่า ค่าพารามิเตอร์ a และ b มีความสัมพันธ์กับตัวแปรชลศาสตร์การไหล(ค่าฟรูดนัมเบอร์ ระยะเวลาเปิดปิดบานประตูระบายน้ำ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ)อย่างไร ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์น้อย เนื่องจากการทดลองมีผลไม่คงเส้นคงวา เมื่อศึกษาเฉพาะผลของการเปิดปิดบานประตูระบายน้ำกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำพบว่า ระยะเวลาปิดบานที่มากขึ้นจะมีผลต่ออัตราส่วนคลื่นขยายตัวมากขึ้น และหากปิดกั้นลำน้ำทั้งหมด ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่ท้ายน้ำของประตูเพิ่มขึ้นสูงสุด ผลการศึกษามีข้อสรุปเพื่อนำไปพิจารณาเป็นแนวทางโครงการปิดกั้นลำน้ำกับเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำได้

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2545.....

4270278021 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: HYDRAULICS / CLOSURE DAM / HYDRAULIC MODEL\TIDAL EFFECTS

CHUTCHAI HOMSUD : HYDRAULICS OF FLOW IN AN OPEN CHANNEL WITH A CLOSURE DAM UNDER TIDAL EFFECTS. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.Dr. CHAIPAN RUKVICHAI, 168 pp. ISBN 974-17-2608-2.

In salt intrusion mitigation of a river, tidal barriers are usually used to prevent saline intrusion to upstream. However, it may cause some effects in downstream reaches, especially at the structure toe. This investigation aimed at studying the hydraulics of flow in an open channel with a closure dam under tidal effects. A change of water level was studied using a hydraulic model at the Hydraulic and Coastal Model Laboratory, Department of Water Resources Engineering, Chulalongkorn University. In the experiment, the hydraulic parameters were discharge, roughness coefficient and gate opening while tidal wave height and tidal wave period were parameters of wave condition

The hydraulic model used in this study consist of a river model, a sea model or wave basin ,a tidal wave generator, a discharge controller, wave height meters, and an IBM-PC computer with an analog to digital conversion card for measuring wave data. The river model was made of plastic with dimension 0.3 m X 19.5 m X 0.20 m The range of flow was 0.30 – 1.20 l/s. The range of roughness coefficient was 0.0132 – 0.0211 . The range of gate opening was 0 – 100%. For each experiment, wave height was varied between 0.5–2.0 cm and wave period was varied between 70 – 600 seconds.

The study of the change of water level with a closure dam under the tidal effect was made from the total 270 experiment cases. It was concluded that the increasing wave height at the closure station compare to that at the river mouth depended on the closure distance from the river mouth compared to the wave length. The increasing wave height was defined by an exponential equation, $H_r = 1 + ae^{-b(L/L_c)}$. Attempt was made to relate the parameters a and b with the hydraulic parameters of flow (Froude number, gate opening, roughness coefficient). However, insignificant relationships were found probably due to inconsistency in the experiments. The effect of gate closure upon the changes of water level was clearly identified. More closing of the gate resulted rising of the wave height. If the gate was totally closed, the maximum wave height occurred at the gate toe. The study result had some conclusions to be considered for a closure dam project regarding the change of the water level.

Department.....Water Resources Engineering..... Student's signature.....
 Field of study.....Water Resources Engineering..... Advisor's signature.....
 Academic year.....2002.....

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า ได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลต่าง ๆ หลายท่านที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา และแก้ไขรายละเอียดหรือข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธุ์ รัทวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ สนับสนุน การตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ และได้กรุณาสั่งสอนปรัชญาในการดำรงชีวิตและการงาน

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรโยธา รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการให้คำแนะนำปรึกษา และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิทยาการต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในด้านสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และ สาธารณูปโภคต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและทบวงมหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณตั้ง วรชิตตานนท์ และพี่ ๆ คุรุปฏิบัติกรทุกท่านที่ได้ช่วยแนะนำ สั่งสอน ให้การสร้างแบบจำลองครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ อาจารย์บุศวรรณ โพธิทอง ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ สั่งสอน ทั้งความรู้และปรัชญาชีวิต รวมทั้งให้กำลังใจเสมอมา คุณศุภกร ศิริพจนกุล ผู้ซึ่งเป็นทั้งพี่ เพื่อนและน้อง ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ตลอดจนพี่ เพื่อน น้อง ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ ในขณะที่ทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่ ของข้าพเจ้าที่ให้โอกาส ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของข้าพเจ้ามาโดยตลอด

ชัชชัย หอมสุต

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา.....	2
1.3 ขอบข่ายการศึกษา.....	2
1.4 การดำเนินงานศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา.....	5
2.1 การไหลในทางน้ำเปิด.....	5
2.2 ลักษณะคลื่น.....	7
2.3 การวิเคราะห์สเปกตรัม.....	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของทางน้ำฉบับพลัน.....	11
2.5 การปิดกั้นทางน้ำเปิดที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง.....	11
2.6 การศึกษาที่ผ่านมา.....	15
บทที่ 3 แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง.....	22
3.1 แบบจำลองชลศาสตร์.....	22
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	29
3.3 การดำเนินงานสร้างแบบจำลองและการทดลอง.....	29
3.4 วิธีการทดลองและกรณีทดลองขั้นสุดท้าย.....	35
บทที่ 4 แนวทางและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
4.1 ลักษณะข้อมูลจากการบันทึก.....	41

สารบัญ (ต่อ)

๗

	หน้า
4.2 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม.....	43
4.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำของแบบจำลอง.....	48
4.4 การเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำของโปรแกรม ISIS.....	53
บทที่ 5 ผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำ.....	55
5.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทางน้ำเปิด.....	55
5.2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนคลื่นขยายตัวกับผลของประตูระบายน้ำ.....	58
5.3 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์กับชลศาสตร์การไหล.....	64
5.4 ผลของการเปิดปิดประตูระบายน้ำ.....	67
5.5 การสะท้อนกลับตามระยะทาง.....	71
5.6 ผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำ.....	73
บทที่ 6 สรุปการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	75
6.1 แบบจำลองชลศาสตร์ของแม่น้ำและทะเล.....	75
6.2 การดำเนินการทดลอง.....	75
6.3 ผลการศึกษา.....	77
6.4 ข้อเสนอแนะ.....	78
6.5 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	81
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก การสอบเทียบอุปกรณ์และเครื่องมือ.....	85
ภาคผนวก ข ผลการศึกษากرณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที.....	94
ภาคผนวก ค ผลการศึกษากรณีอัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที.....	113
ภาคผนวก ง ผลการศึกษากรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที.....	132
ภาคผนวก จ แบบจำลอง ISIS.....	151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	168

ตาราง 1-1	ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	4
ตาราง 3-1	ช่วงเวลาการดำเนินงานสร้างแบบจำลองและการทดลอง.....	30
ตาราง 3-2	กรณีการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง.....	38
ตาราง 3-3	กรณีการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง.....	39
ตาราง 3-4	กรณีการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง.....	40
ตาราง 4-1	ตัวอย่างคุณสมบัติคลื่น กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1).....	49
ตาราง 4-2	ตัวอย่างรายละเอียดคลื่นจากการวิเคราะห์สเปกตรัม กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1).....	50
ตาราง 5-1	สมการความสัมพันธ์ของ Hr กับ L/Lc ที่นำมาพิจารณาเลือกสมการที่เหมาะสมใน การอธิบายลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น.....	63
ตาราง 5-2	ตัวอย่างตารางความสัมพันธ์ Hr กับตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1).....	72
ตาราง 6-1	การประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการศึกษา.....	76

สารบัญรูป

ญ
หน้า

รูป 2-1	แรงและตัวแปรต่าง ๆ ในทางน้ำเปิดที่ใช้ในสมการ Saint Venant.....	6
รูป 2-2	นิยามและค่าตัวแปรต่าง ๆ ของคลื่น.....	8
รูป 2-3	คลื่นไม่สม่ำเสมอและองค์ประกอบคลื่นในทะเล.....	10
รูป 2-4	ระบบโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์.....	10
รูป 2-5	การวิเคราะห์สเปกตรัมของข้อมูลวงจร.....	12
รูป 2-6	รูปการสะท้อนกลับในทางน้ำที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างฉับพลัน.....	12
รูป 2-7	การเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในทางน้ำที่มีการปิดกั้นใกล้ปากแม่น้ำ.....	14
รูป 2-8	ลักษณะการเกิดการสะท้อนกรณีทางน้ำที่เปลี่ยนผืนผ้าและที่เปลี่ยนคางหมู.....	16
รูป 2-9	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา.....	20
รูป 2-10	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ กรณีการก่อสร้างประตูระบายน้ำอุทกวิทยาประสิทธิ์ ที่ตำแหน่งต่าง ๆ.....	20
รูป 3-1	แบบจำลองการไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง.....	23
รูป 3-2	แผนผังแสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของแบบจำลองและตำแหน่งวัดระดับน้ำ.....	24
รูป 3-3	แบบจำลองชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายใต้อิทธิพลของ น้ำขึ้นน้ำลง.....	26
รูป 3-4	แบบจำลองทะเล.....	26
รูป 3-5	ชุดควบคุมอัตราการไหล.....	28
รูป 3-6	แบบจำลองประตูระบายน้ำ.....	28
รูป 3-7	เครื่องมือวัดความสูงคลื่น.....	32
รูป 3-8	วัสดุท้องน้ำ.....	32
รูป 3-9	แนวหินลาดสลายพลังงาน.....	32
รูป 3-10	การบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 กรณีเปิดบานประตูระบายน้ำ อัตราการไหล 0.21 ลิตร/วินาที $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.....	34
รูป 3-11	ท่อควบคุมระดับน้ำ.....	35
รูป 3-12	การชิงผ้าขวางทางน้ำเพื่อลดการปั่นป่วนของน้ำด้านเหนือบาน.....	35
รูป 4-1	ตัวอย่างผลจากการบันทึกที่ระดับน้ำด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น กรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที $n = 0.0201$ ระยะการเปิดบาน 3.4 ซม. การแทนที่น้ำ 9 ซม.....	42
รูป 4-2	ผังการวิเคราะห์สเปกตรัม.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

ฎ

หน้า

รูป 4-3	การทดสอบคลื่นแทรกจากชุดเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลงและเครื่องมือวัด ความสูงคลื่น.....	45
รูป 4-4	ความผิดพลาดเนื่องจากการทดลองพิจารณาตัดข้อมูลตั้งแต่ส่วนที่ผิดพลาดออก.....	46
รูป 4-5	ตัวอย่างการวิเคราะห์สเปกตรัม ตำแหน่งแ่งคลื่น กรณีปิดบาน ไม่มีอัตราการไหล $n = 0.0211$ การแทนที่น้ำ 27 ซม. คาบคลื่น 600 วินาที.....	47
รูป 4-6	ตัวอย่างกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.....	51
รูป 4-7	ตัวอย่างกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที.....	54
รูป 5-1	แผนที่แสดงสถานีตรวจวัดระดับน้ำ.....	56
รูป 5-2	ค่าระดับน้ำรายชั่วโมงของสถานีวัดระดับน้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เดือนมกราคม พ.ศ.2535.....	56
รูป 5-3	ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว (Hr) กับตำแหน่งปตร. (L/Lc) กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที เส้นสมการ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$	59
รูป 5-4	ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว (Hr) กับตำแหน่งปตร. (L/Lc) กรณีอัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที เส้นสมการ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$	60
รูป 5-5	ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว (Hr) กับตำแหน่งปตร. (L/Lc) กรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที เส้นสมการ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$	61
รูป 5-6	ความสัมพันธ์ a กับ Fr จากสมการ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$	65
รูป 5-7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a ของข้อมูล กับ a1 a2 และ a3.....	66
รูป 5-8	ความสัมพันธ์ b กับ Fr จากสมการ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$	68
รูป 5-9	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า b ของข้อมูล กับ b1 b2 และ b3.....	69
รูป 5-10	ความสัมพันธ์ Hr กับ L/Lc กรณีระยะเวลาการเปิดบานต่างๆ ตามความสัมพันธ์ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในธรรมชาติ แม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเลจะได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง เป็นผลทำให้ระดับน้ำในแม่น้ำเปลี่ยนแปลงตามจังหวะการขึ้น-ลงของระดับน้ำทะเล และเกิดการรุกคืบของน้ำเค็มเข้าไปในแม่น้ำ เป็นผลให้ระดับความเค็มในแม่น้ำบางช่วงเวลาไม่มีความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก และการอุปโภคบริโภค โดยความรุนแรงมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง ส่งผลต่อการพัฒนาพื้นที่เหล่านี้ วิธีการหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาในปัจจุบันคือการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็ม โดยการปิดประตูระบายน้ำในช่วงน้ำทะเลหนุนหรือเมื่อต้องการกักเก็บน้ำจืด อย่างไรก็ตาม โครงสร้างเหล่านี้ย่อมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลของน้ำในแม่น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณช่วงของแม่น้ำที่ยังได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลงจะมีความซับซ้อนของการไหลอย่างมาก เนื่องจากมีความผันแปรทางด้านศาสตร์สูง แต่ที่ผ่านมากการวางแผนก่อสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็มยังไม่มีการศึกษาถึงพฤติกรรมของระดับน้ำท้ายน้ำอย่างจริงจัง ส่วนใหญ่มักใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ช่วยในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลพื้นฐานเท่านั้น ซึ่งภายหลังการก่อสร้างปรากฏว่ามีปัญหาผลกระทบทั้งทางกายภาพและคุณภาพน้ำ ทำให้ไม่สามารถดำเนินงานเขื่อนได้ตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากยังไม่สามารถระบุผลกระทบของโครงสร้างที่มีต่อพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในบริเวณนี้ได้ชัดเจน ดังนั้นในปัจจุบันจึงเกิดกระแสการต่อต้านโครงการในลักษณะนี้อย่างรุนแรง ทำให้หลายโครงการต้องหยุดชะงักไป

สำหรับในประเทศไทย พบปัญหาที่สงสัยว่าอาจจะเป็นผลกระทบจากการสร้างเขื่อน 2 แห่ง ได้แก่ เขื่อนทดน้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ที่ตั้งห่างจากปากแม่น้ำ 72 กิโลเมตร มีมูลค่าโครงการประมาณ 4,300 ล้านบาท ได้ทดลองปิดประตูระบายน้ำในปี 2542 แล้วมีการกล่าวอ้างว่าเป็นสาเหตุทำให้ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดมากกว่าปกติ และเกิดการพังทลายของตลิ่งทั้งสองข้างด้านท้ายเขื่อนเป็นระยะ 30 กิโลเมตรจากประตูระบายน้ำ อีกโครงการหนึ่งคือ โครงการประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ์ จ.นครศรีธรรมราช ที่ตั้งโครงการอยู่ห่างจากปากแม่น้ำ 7 กิโลเมตร มูลค่าโครงการประมาณ 13,000 ล้านบาท หลังจากดำเนินการปิดเขื่อนในปี 2543 มีการเรียกร้องจากคนในพื้นที่ว่าเป็นสาเหตุทำให้น้ำท่วมอำเภอปากพนัง นอกจากนี้ยังมีโครงการประตูระบายน้ำท่าจีนซึ่งต้องชะลอการก่อสร้าง เนื่องจากยังไม่มีความชัดเจนในเรื่องผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากโครงการ

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า โครงการที่เกิดปัญหาดังกล่าวเป็นโครงการขนาดใหญ่ เมื่อมีการดำเนินการก่อสร้างแล้วไม่สามารถดำเนินงานได้ตามวัตถุประสงค์ ก็ถือว่าเป็นความเสียหายของโครงการอย่างมาก เนื่องจากงบประมาณในการก่อสร้างและดำเนินการไปมีมูลค่ามหาศาล

ในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้ จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาชลศาสตร์การไหลของทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนปิดกั้นลำน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยใช้แบบจำลองกายภาพ เพื่อใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการตัดสินใจสร้างเขื่อนปิดกั้นลำน้ำ หรือโครงสร้างปิดกั้นลำน้ำอื่นๆ ที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา

- 1) ศึกษาพฤติกรรมของระดับน้ำอันเนื่องมาจากการปิดกั้นลำน้ำที่ตำแหน่งต่างๆ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง
- 2) ศึกษาพฤติกรรมของระดับน้ำอันเนื่องมาจากการเปิดปิดประตูระบายน้ำ ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง
- 3) ศึกษาการสร้างแบบจำลองชลศาสตร์ และจำลองสภาพทางชลศาสตร์

1.3 ขอบข่ายการศึกษา

สำหรับการศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองแม่น้ำ และแบบจำลองทะเล เพื่อศึกษาผลของการปิดกั้นลำน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

- 1) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาผลของการปิดกั้นลำน้ำที่ได้รับอิทธิพลจากน้ำขึ้นน้ำลง โดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์ที่สร้างขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 2) แบบจำลองชลศาสตร์ประกอบด้วย แบบจำลองทางน้ำแนวตรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 19.50 เมตร สูง 0.20 เมตร ไม่มีอัตราการไหลเข้า-ออกระหว่างทางน้ำ และแบบจำลองแอ่งคลื่นขนาดกว้าง 2.00 เมตร ยาว 2.50 เมตร สูง 0.60 เมตร โดยสร้างคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงด้วยหลักการแทนที่น้ำ
- 3) ตัวแปรกำหนดเงื่อนไขสภาพการไหลได้แก่ ความสูงคลื่น คาบคลื่น อัตราการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ และระยะการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำ
- 4) ความสูงคลื่น (h) และคาบคลื่น (T) ผันแปรเป็นช่วงตามที่สามารถสร้างขึ้นได้โดยเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง โดยการปรับระยะการแทนที่น้ำและความเร็วรอบของมอเตอร์
- 5) ศึกษาผลกระทบของตัวแปรกำหนดสภาพการไหลที่มีต่อระดับน้ำในทางน้ำเท่านั้น

1.4 การดำเนินงานศึกษา

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มีแนวทางการศึกษาเพื่อให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์และขอบข่าย ดังนี้

- 1) ศึกษาหลักการ ทฤษฎี และการศึกษาที่ผ่านมาเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาวิจัย
- 2) ศึกษาการสร้างเครื่องมือ อุปกรณ์การทดลอง และสร้างแบบจำลองกายภาพ โดยเริ่มจากการศึกษาแนวทางการสร้างเครื่องมือ หาแหล่งจำหน่ายวัสดุอุปกรณ์ ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ และชำนาญในงานด้านเทคนิค ตลอดจนหาแหล่งเงินทุนที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลอง
- 3) ศึกษาและทดสอบเครื่องมือที่นำมาใช้ ในการวัดข้อมูลในแบบจำลอง
- 4) ศึกษาจำลองสภาพการทดลองตามเงื่อนไข ตัวแปรที่กำหนด เพื่อให้ครอบคลุมจุดประสงค์
- 5) ศึกษาโปรแกรม ISIS FLOW เพื่อทดลองจำลองสภาพทางพลศาสตร์ของแบบจำลอง
- 6) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองพลศาสตร์ และ โปรแกรม ISIS FLOW
- 7) จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการดำเนินงานศึกษา แสดงในตาราง 1-1

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) การดำเนินงานศึกษาครั้งนี้เป็นการริเริ่มการประยุกต์ใช้แบบจำลองกายภาพ (physical model) หรือแบบจำลองพลศาสตร์ วิเคราะห์ปัญหาทางพลศาสตร์ในงานพัฒนาและจัดการแหล่งน้ำ และเพิ่มพูนประสบการณ์ให้กับห้องปฏิบัติการแบบจำลองพลศาสตร์และชายฝั่งทะเล
- 2) มีความเข้าใจเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางพลศาสตร์แม่น้ำ ที่อยู่ภายใต้อิทธิพลน้ำขึ้นน้ำลง ตลอดจนผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้จากการสร้างเขื่อนและประตูน้ำในลำน้ำ
- 3) ผลการศึกษาอาจเป็นแนวทางพิจารณาแก้ไขผลกระทบของโครงการเขื่อนและประตูน้ำต่างๆ ตลอดจนการกำหนดแนวทางการใช้งานโครงการ

บทที่ 2

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษาและการศึกษาที่ผ่านมา

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับการไหลในทางน้ำเปิด ลักษณะคลื่น การวิเคราะห์สเปกตรัม การเปลี่ยนแปลงของรูปร่างทางน้ำฉบับพลัน และการปิดกั้นแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งทฤษฎีเหล่านี้เป็นทฤษฎีการศึกษากระบวนการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าไปในทางน้ำ ดังจะกล่าวต่อไป

2.4 การไหลในทางน้ำเปิด

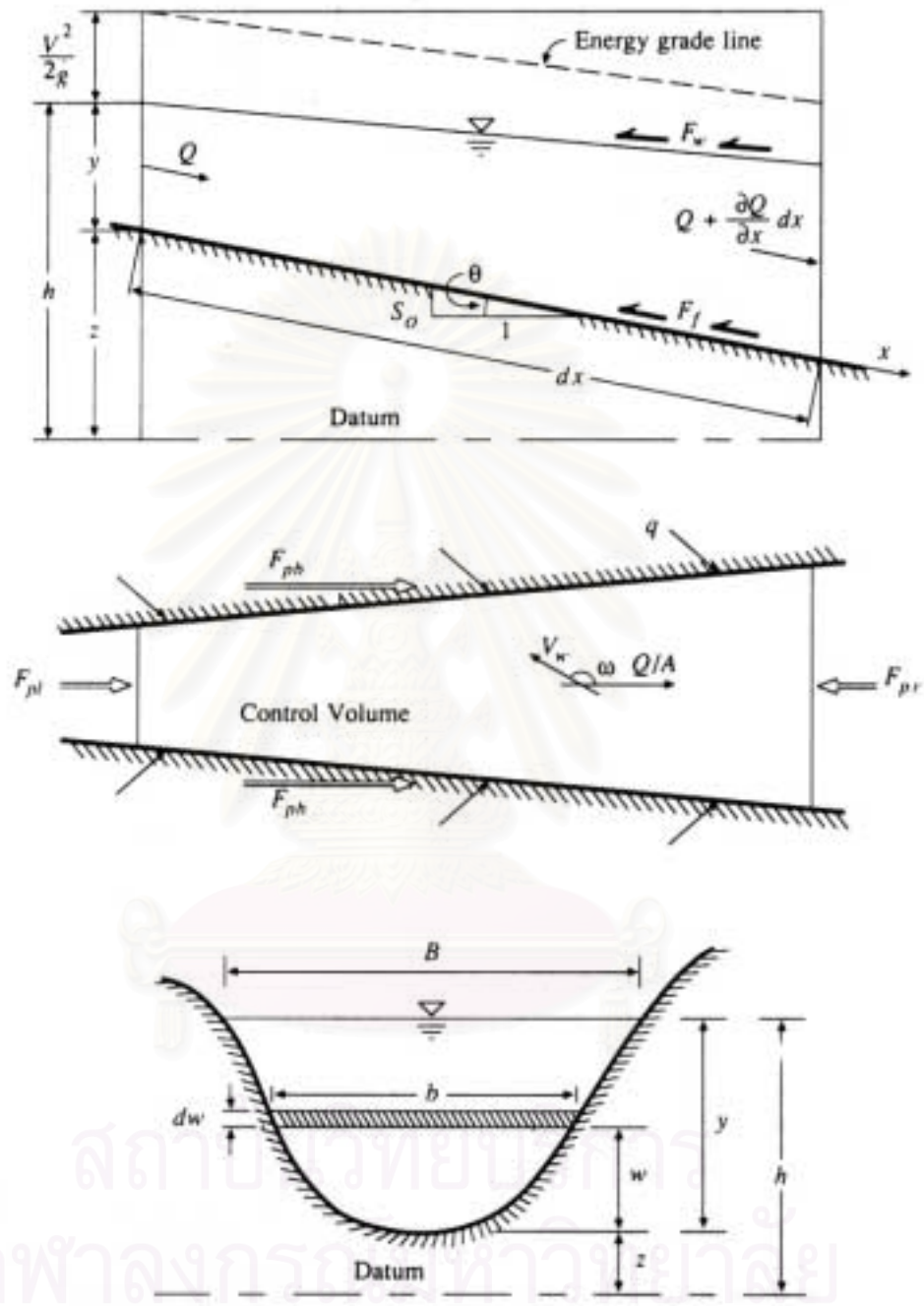
การไหลในทางน้ำเปิด แบ่งออกเป็นกรไหลแบบคงที่ (steady flow) และการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะการไหลแบบไม่คงที่ ซึ่งสมการที่ใช้สำหรับการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่ จะใช้สมการคือ "Saint Venant Equation" (Chow, 1988) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Barre de Saint-Venant ในปี 1871 อธิบายการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่คงที่ 1 มิติ ดังรูป 2-1 โดยมีสมมติฐานของสมการดังนี้

1. การไหลเป็นแบบ 1 มิติ พิจารณาความลึกการไหลและความเร็วการไหลในทิศทางตามยาวของทางน้ำ
2. สมมติการไหลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากตลอดทางน้ำ ดังนั้นมีความดันเนื่องจากความลึกน้ำ และไม่พิจารณาความเร่งในแนวตั้ง
3. สมมติทางน้ำเป็นแนวตรงตามความยาว
4. ความลาดชันท้องน้ำน้อยมากและมีค่าคงที่ ไม่มีผลเนื่องจากการกัดเซาะและการทับถม
5. สัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนสม่ำเสมอคงที่ (steady uniform turbulent flow)
6. ของไหลเป็นแบบอัดตัวไม่ได้และมีความหนาแน่นคงที่

การวิเคราะห์เริ่มต้นจากการพิจารณาสมการต่อเนื่อง (continuity equation) ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots (2-1)$$

และพิจารณาหลักการสมดุลของแรงโมเมนตัมที่มีผลต่อการไหลในทางน้ำเปิด ซึ่งประกอบด้วยแรง 5 แรง คือ แรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force) แรงเสียดทาน (friction force) แรงเนื่องจากการบีบหรือขยายหน้าตัดทางน้ำ (contraction/expansion force) แรงเฉือนเนื่องจากลม (wind shear) และแรงดัน (pressure) จะได้สมการโมเมนตัม (momentum equation) ดังนี้



จาก V.T.Chow, 1988

รูป 2-1 แรงและตัวแปรต่างๆ ในทางน้ำเปิดที่ใช้ในสมการ Saint Venant

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad \dots\dots\dots (2-2)$$

2.2 ลักษณะคลื่น

ลักษณะของคลื่นโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ คลื่นสม่ำเสมอ และคลื่นไม่สม่ำเสมอ โดยที่คลื่นสม่ำเสมอ (regular wave หรือ simple harmonic wave) เป็นคลื่นที่มีขนาดคลื่นขนาดเดียวกัน ดังรูป 2-2 ซึ่งจะกล่าวถึงลักษณะคลื่นใน 2 มิติ คือในแกน X และแกน Z โดยมีนิยามของตัวแปรต่างๆ เสนอในรูปสมการ wave profile สำหรับคลื่นสม่ำเสมอ โดยทั่วไปมักจะแสดงดังนี้

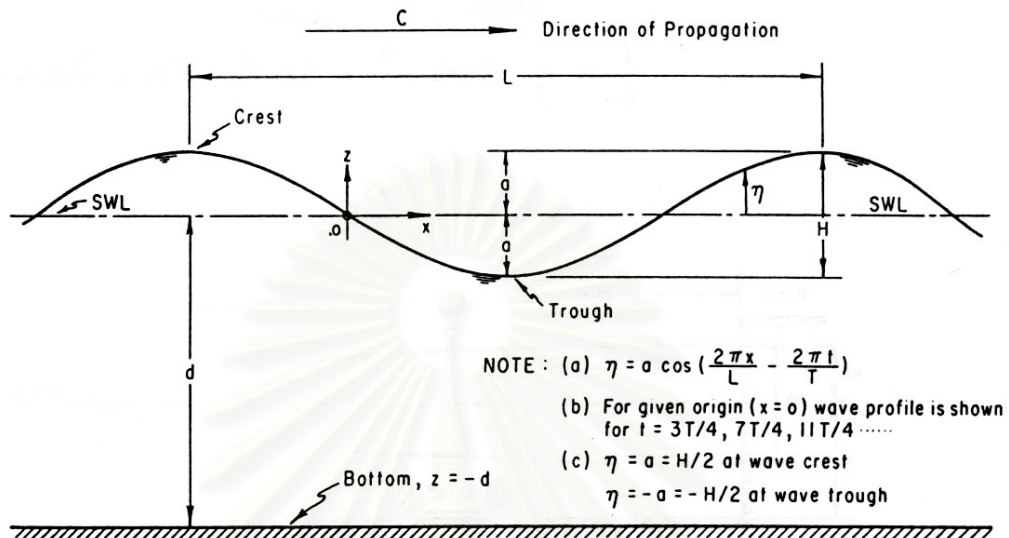
$$\eta = a \cos(kx - \sigma t) = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma t) \quad \dots\dots\dots (2-3)$$

คลื่นไม่สม่ำเสมอ (irregular wave) เช่น คลื่นในทะเลหรือในแม่น้ำธรรมชาติ เป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นหลายๆชนิดประกอบกัน ทั้งคลื่นที่มีรูปแบบความสูงคลื่นและคาบคลื่นคงที่ (regular wave) และคลื่นที่มีรูปแบบไม่แน่นอน (random wave) ในการวิเคราะห์คลื่นจึงต้องแยกคลื่นแต่ละตัวออกมาพิจารณา ตามรูปแบบของคลื่นแต่ละตัว คือมีความสูงคลื่นและคาบคลื่นแน่นอน โดยแยกคลื่นที่มีรูปแบบที่ไม่แน่นอนออกไป ดังรูป 2-3 ทั้งนี้สำหรับการทดลองในแบบจำลองที่เข้าใจว่าสามารถสร้างให้คลื่นสม่ำเสมอได้ อาจมีคลื่นที่ไม่มีรูปแบบรวมอยู่ด้วยเนื่องจากคลื่นในธรรมชาติและขนาดของแบบจำลองวิธีหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์แยกคลื่น คือการวิเคราะห์สเปกตรัม

2.3 การวิเคราะห์สเปกตรัม

การวิเคราะห์สเปกตรัม (spectrum analysis) เป็นการพิจารณาในแกนความถี่ของข้อมูลที่เกิดขึ้นเป็นวงจร(cyclicities) ในที่นี้ วงจร หมายถึง รอบของการเกิดเหตุการณ์ ซึ่งเป็นผลจากการเคลื่อนตัวของโลก ดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ โดยมีวงจรพื้นฐาน 1 วัน 7 วัน 15 วัน 30 วัน 1 ปี หรืออาจรวมวงจรอื่นๆ เช่น หลายอาทิตย์ หลายเดือน หลายปี ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่เกิดขึ้นว่าได้รับอิทธิพลจากอะไร ในทางชลศาสตร์และสมุทรศาสตร์ วงจรสำคัญได้แก่ การเกิดน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งน้ำขึ้นน้ำลงเป็นคลื่นยาว (long wave) ที่ก่อให้เกิดการสูงขึ้นและลดต่ำลงของระดับน้ำทะเล และส่งผลต่อเนื่องเข้าไปในบริเวณปากแม่น้ำด้วย ความยาวคลื่นและคาบของน้ำขึ้นน้ำลงใหญ่กว่าคลื่นธรรมดา

ระบบของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ และการโคจรของดวงจันทร์รอบโลก ซึ่งมีลักษณะวงโคจรเป็นรูปวงรี (elliptic) ดวงจันทร์และโลกต่างก็หมุนรอบแกนตัวเองไปด้วย ระนาบที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เรียกว่าระนาบ ecliptic ตำแหน่งที่ดวงจันทร์โคจรมาอยู่ใกล้โลกมากที่สุด เรียกว่า perigee และห่างจากโลกมากที่สุด เรียกว่า apogee ดังนั้นเมื่อดวงจันทร์



จาก US.CERC, 1984

รูป 2-2 นิยามและค่าตัวแปรต่างๆ ของคลื่น

- d = ความลึกของน้ำจากระดับน้ำเฉลี่ย (mean water level) ถึงก้นทะเล
 $\eta(x,t)$ = ระยะแนวตั้งของการแทนที่ของผิวน้ำเหนือระดับน้ำเฉลี่ยที่จุด x เวลา t
 a = แอมพลิจูดของคลื่น , H = ความสูงคลื่น = $2a$
 L = ความยาวคลื่น , T = ช่วงเวลาคลื่น
 C = ความเร็วที่คลื่นเคลื่อนที่ = L/T , k = จำนวนคลื่น = $2\pi/L$
 σ = ความถี่เชิงมุมของคลื่น = $2\pi/T$

อยู่ที่ perigee จะเกิดน้ำขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์มากที่สุด ส่วนตำแหน่งที่โลกโคจรอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า perihelion และห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า aphelion ดังรูป 2-4

รูปแบบของข้อมูลแบบวงจรโดยทั่วไป จะเสนอในรูปความสัมพันธ์ของระดับผิวน้ำ ซึ่งเป็นผลรวมของคลื่นแต่ละวงจร (Yevjevich, 1972) ดังสมการ 2-4

$$x_t = a_0 + \sum_{i=1}^m [a_i \cos(2\pi f_i t) + b_i \sin(2\pi f_i t)] + e_t \quad \dots\dots\dots (2-4)$$

โดยที่ x_t = ระยะในแนวดิ่งจากผิวน้ำถึงจุดอ้างอิง

$$f_i = \frac{i}{N}, \text{ เป็นความถี่ลำดับที่ } i$$

$$N = 2m + 1, \text{ } m = \text{จำนวนข้อมูล}$$

$$a_0 = \bar{x}, \text{ ค่าเฉลี่ยของ } x_t$$

$$a_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \cos(2\pi f_i t)$$

$$b_i = \frac{2}{N} \sum_{t=1}^N x_t \sin(2\pi f_i t)$$

$$e_t = \text{ค่าสุ่ม (random)}$$

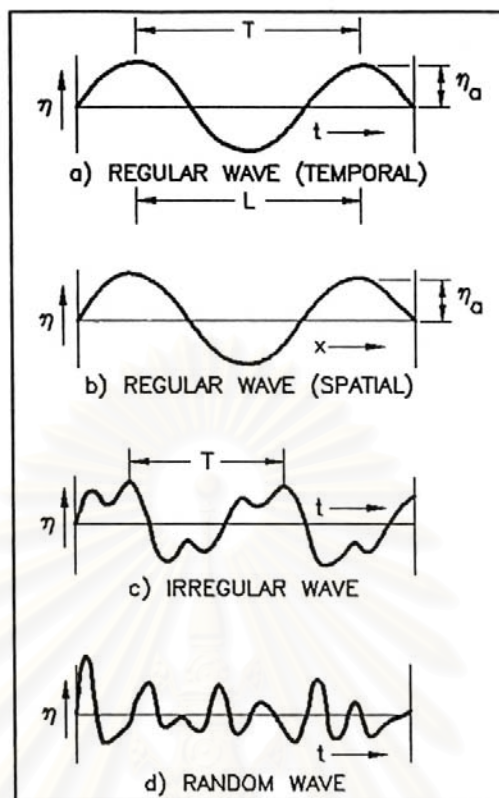
การสร้างกราฟของค่าสเปกตรัม $S(f_i)$ ที่แต่ละความถี่ หรือ spectrum density ช่วยให้เราสามารถพิจารณาคลื่นที่เกิดขึ้นทั้งหมดของข้อมูล และคลื่นที่มีนัยสำคัญในเบื้องต้นได้ ดังรูป 2-5

$$S(f_i) = \frac{N}{2} (a_i^2 + b_i^2) = \frac{C_i^2}{2}, \text{ } C = \text{แอมพลิจูดคลื่น}$$

$$\text{Var}(x_t) = \sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2 = \sum_{i=1}^m S(f_i)$$

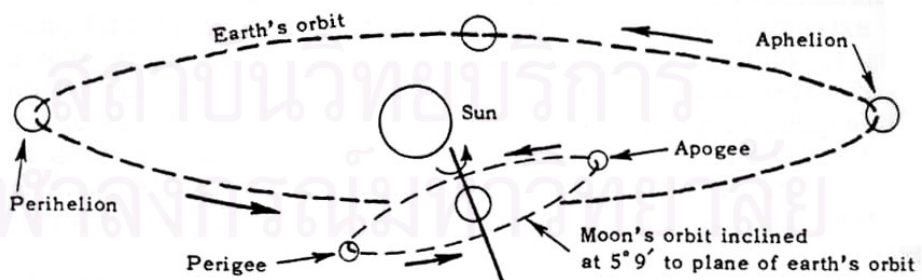
การวิเคราะห์หา phase คลื่น สามารถหาได้จากสมการ

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{b_i \sin(2\pi f_i t)}{a_i \cos(2\pi f_i t)} \right) \quad \dots\dots\dots (2-5)$$



จาก T. Ippen, 1966

รูป 2-3 คลื่นไม่สม่ำเสมอและองค์ประกอบคลื่นในทะเล



จาก T. Ippen, 1966

รูป 2-4 ระบบโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์

2.4 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของทางน้ำจับพลัน

การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของทางน้ำจับพลัน ทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับ ณ ตำแหน่งที่เปลี่ยนรูปร่างหน้าตัดหรือที่ระยะ $x = 0$ ดังรูป 2-6 (Ippen, 1966) และมีสมการความสัมพันธ์

$$\eta_i + \eta_r = \eta_t \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

- i = คลื่นที่เคลื่อนที่เข้าก่อนเปลี่ยนหน้าตัด
- r = คลื่นที่สะท้อนกลับจากการเปลี่ยนรูปร่างทางน้ำ
- t = คลื่นที่เคลื่อนที่ต่อไปหลังจากเปลี่ยนรูปร่างทางน้ำ

การหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (K_r) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (K_t) ต้องมีระยะทางของทางน้ำในแต่ละหน้าตัดยาวไม่จำกัด ทั้งสองด้านของตำแหน่ง $x=0$ สำหรับคลื่นยาว จะได้

1. ระดับน้ำในทางน้ำเมื่อ $x < 0$ และ $x > 0$; $\eta_1 = \eta_2$ เมื่อ $x = 0$

$$f_i(c_1 t) + f_r(c_1 t) = f_t(c_2 t) \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

2. การหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (K_r) และสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (K_t)

$$K_r = \frac{f_r(c_1 t)}{f_i(c_1 t)} = \frac{(B_1 C_1 - B_2 C_2)}{(B_1 C_1 + B_2 C_2)} \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

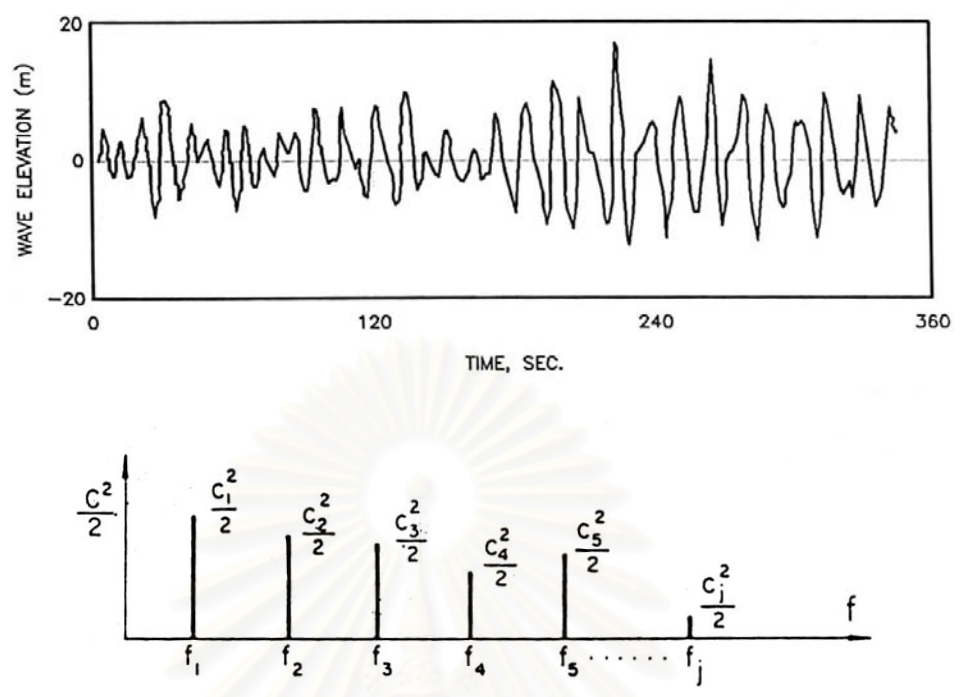
$$K_t = \frac{f_t(c_2 t)}{f_i(c_1 t)} = \frac{2B_1 C_1}{(B_1 C_1 + B_2 C_2)} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

- เมื่อ $f(c, t)$ = ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามความเร็วคลื่นและเวลา
- B = ความกว้างทางน้ำ
- C = ความเร็วคลื่น

ในธรรมชาติทางน้ำที่มีการเปลี่ยนหน้าตัดจับพลันแทบจะไม่มีเลย ยกเว้นบริเวณปากแม่น้ำต่อเนื่องกับทะเล ซึ่งอาจเป็นผลทำให้ระดับน้ำในทะเลและที่ปากแม่น้ำแตกต่างกันได้

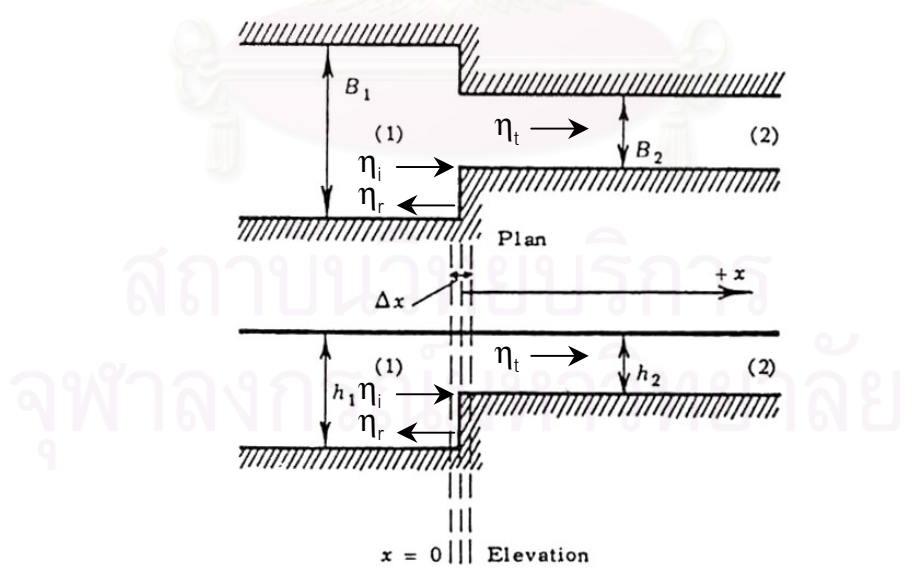
2.5 การปิดกั้นทางน้ำเปิดที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

การปิดกั้นแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง จะทำให้เกิดการสะท้อนที่ตำแหน่งปิดกั้น หรือตำแหน่ง $x = 0$ หากคลื่นตกกระทบมีแอมพลิจูด η_1 เคลื่อนที่จากทะเลเข้าไปในแม่น้ำ และเกิดคลื่นสะท้อนกลับที่มีแอมพลิจูด η_2 เคลื่อนที่ในทิศทางตรงข้าม โดยที่แอมพลิจูด η_1 และ η_2 เป็นฟังก์ชัน



จาก V.Yevjevich, 1972

รูป 2-5 การวิเคราะห์สเปกตรัมของข้อมูลวงจร



จาก T. Ippen, 1966

รูป 2-6 รูปการสะท้อนกลับในทางน้ำที่เปลี่ยนแปลงรูปร่างฉบับพลัน

ของ x และ t ซึ่งมีค่าเท่ากันที่ตำแหน่งสะท้อนกลับ คลื่นจะมีลักษณะที่เป็นคลื่นนิ่ง มีแอมพลิจูดเป็น 2 เท่าของแอมพลิจูดที่เข้ากระทำ และจะเกิดขึ้นที่ตำแหน่งเป็นจำนวนเท่าของ $L/2$ นับจากตำแหน่งปิดกั้นออกไปในทะเล ส่วนตำแหน่งที่มีแอมพลิจูดเป็น 0 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีความเร็วสูงสุดจะอยู่ที่ระยะ $L/4$ และระยะที่เป็นจำนวนเท่าคี่ของ $L/4$ ในกรณีศึกษาความยาวแม่น้ำที่มีความยาว $1/4$ ของความยาวคลื่น (Ippen, 1966) ดังรูป 2-7 จะได้

$$\eta(t,x) = \eta_1 + \eta_2 = a \cos(\sigma t - kx) + a \cos(\sigma t + kx) \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

$$\eta(t,x) = a(\cos \sigma t \cos kx + \sin \sigma t \sin kx + \cos \sigma t \cos kx - \sin \sigma t \sin kx) \quad (2-11)$$

$$\eta(t,x) = 2a \cos \sigma t \cos kx \quad \dots\dots\dots (2-12)$$

แอมพลิจูดอยู่ในรูปเฟสของจำนวนเท่าของมุม 90° ความสูงของน้ำที่ตำแหน่งต่างๆแสดงได้ดังนี้

ที่ตำแหน่งปลายปิด : $x = 0$ สำหรับ $t = 0$, $\eta_{o\max} = 2a$

ที่ตำแหน่งปลายเปิด : $x = -l$ สำหรับ $t = 0$, $\eta_{(-l)\max} = 2a \cos kl$

อัตราส่วนของน้ำขึ้นน้ำลงสูงสุดที่ปลายเปิดต่อที่ทางเข้าคือ

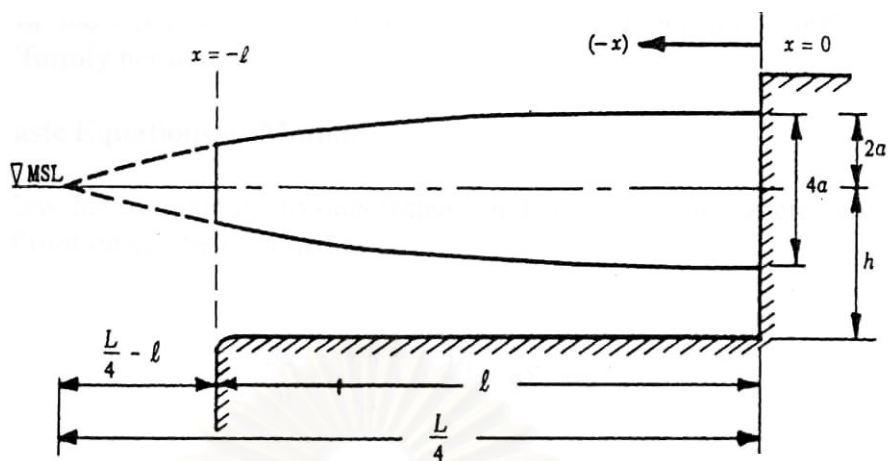
$$\frac{\eta_{o\max}}{\eta_{(-l)\max}} = \frac{1}{\cos kl} \quad \dots\dots\dots (2-13)$$

อัตราส่วนนี้สามารถใช้ได้เมื่อ $kl = \frac{\pi}{2}$ สำหรับ $\frac{l}{L} = \frac{1}{4}$

สำหรับกรณีที่เกิดลมข้างต้น เป็นกรณีที่ไม่ได้พิจารณาค่าความเสียดทานท้องน้ำ ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าความเสียดทานท้องน้ำ จะได้รูปสมการเป็น (Ippen, 1966)

$$\eta(t,x) = \eta_1 + \eta_2 = a_0 [e^{-i x} \cos(\sigma t - kx) + e^{i x} \cos(\sigma t + kx)] \dots\dots (2-14)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จาก T. Ippen, 1966

รูป 2-7 การเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในทางน้ำที่มีการปิดกั้นใกล้ปากแม่น้ำ

2.6 การศึกษาที่ผ่านมา

2.6.1 การศึกษาแบบจำลองกายภาพ

Ippen และ Harleman (1966) เสนอความสัมพันธ์ของขนาดคลื่นที่ลดลงเนื่องจากความเสียดทาน เมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในทางน้ำที่ยาวไม่จำกัด โดยขนาดของคลื่นลดลงแบบฟังก์ชันฟังก์ชันชี้กำลัง (exponential) ตามสมการ

$$\eta = a_0 e^{-\mu x} \cos(\sigma t - kx)$$

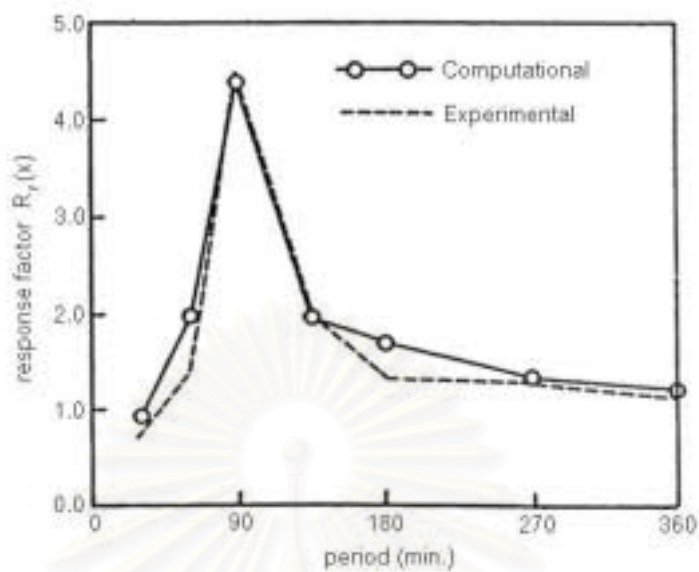
Ippen และ Harleman (1966) ศึกษาการรูก้ำของน้ำเค็มเข้าไปในแม่น้ำกับการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงด้วยแบบจำลองกายภาพ ความยาวทางน้ำ 327 ฟุต กว้าง 0.75 ฟุต ความลึก 0.5 ฟุต น้ำขึ้นน้ำลงสร้างขึ้นในแอ่งน้ำเค็มขนาดใหญ่ ปิดตันทางน้ำและมีอัตราการไหล ความลึกน้ำคงที่ พบว่า

1. การเปลี่ยนแปลงของ μ (damping factor) และ k ไม่ขึ้นอยู่กับความเร็วของน้ำเค็มและความเร็วของน้ำจืด
2. μ เพิ่มขึ้นเมื่อ แอมพลิจูดของคลื่นเพิ่มขึ้นและคาบคลื่นลดลง
3. μ เปลี่ยนแปลงตามค่า n คือ เมื่อ n เพิ่มขึ้นทำให้ μ เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้นเนื่องจากเห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเฉพาะบางกรณี

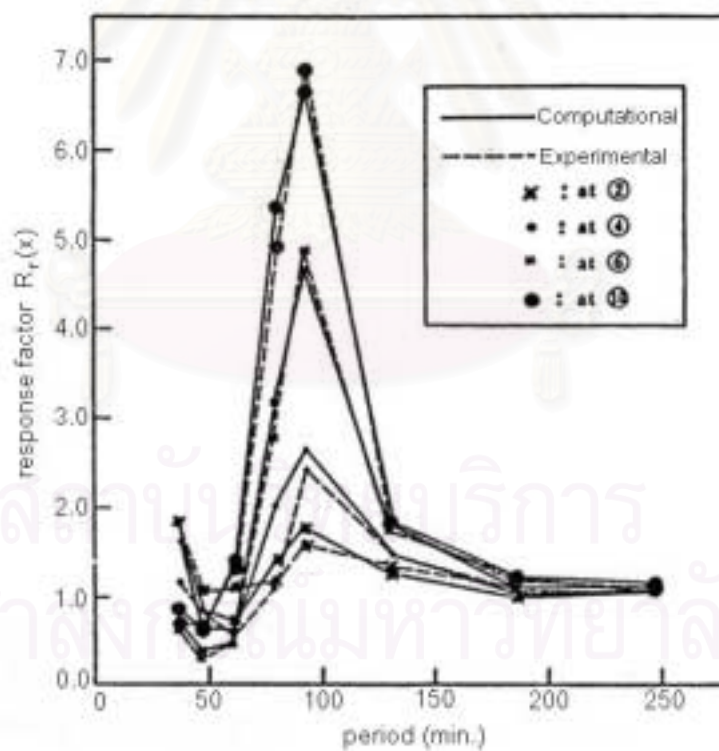
ท้ายการศึกษา Ippen กล่าวถึงข้อสรุปที่ 2 ว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวไม่น่าเป็นไปได้

Kawachi และ Minami (1973) ศึกษาการสะท้อนกลับของคลื่นจากการปิดกั้นแม่น้ำ ความยาว 9.5 กม. โดยใช้แบบจำลองกายภาพ และแบบจำลองคณิตศาสตร์ Finite Difference ของทางน้ำสี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมคางหมู เสนอกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราส่วนของความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ ต่อความสูงคลื่นที่เข้ามาในแม่น้ำ response factor, $R_r(x)$ กับคาบคลื่น ดังรูป 2-8 พบคาบคลื่นที่ทำให้เกิดคลื่นสะท้อนสูงสุด เมื่อคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าไปในแม่น้ำมีคาบคลื่นเข้าใกล้คาบคลื่นสะท้อน (resonance period) ความสูงคลื่นมากขึ้นอย่างรวดเร็วทั้งสองแบบจำลอง โดยแบบจำลองสี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีความลึกน้ำมากกว่ามีขนาดคลื่นสูงกว่า เนื่องจากการสูญเสียพลังงานต่อน้ำน้อยกว่า และปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของคลื่นสะท้อนเนื่องจากการควบคุมบานระบายน้ำ ได้แก่ จำนวนบานที่ควบคุม ความเร็วการเปิดปิดบาน ความสูงคลื่นจากปากแม่น้ำและระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ

Leblond (1978, อ้างอิงใน Vongvisessomjai, 2002) ศึกษาความสัมพันธ์การไหลกับการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำตื่นด้วยสมการไร้นิพจน์ไฮโดรไดนามิก พิจารณาการเคลื่อนที่ในทางน้ำรูปสี่เหลี่ยมแคบ 1 มิติ มีความลึกและความกว้างสม่ำเสมอ โดยทดสอบกับแม่น้ำ Saint Lawrence และ แม่น้ำ Fraser ภายใต้อสมมติฐานความเสียดทานมีนัยสำคัญ พบว่ารูปแบบการเคลื่อนที่ของคลื่นในน้ำตื่นมีลักษณะปั่นป่วนไม่สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ในแบบจำลองได้



(ก) ทางน้ำสียละลายผืนผ้า



จาก Kawachi และ Minami, 1973

(ข) ทางน้ำสียละลายคางหมู

รูป 2-8 ลักษณะการเกิดการสะท้อนกรณีทางน้ำสียละลายผืนผ้าและสียละลายคางหมู

Thuan (1992) ศึกษาปฏิกริยาระหว่างน้ำขึ้นน้ำลงและการไหลในแม่น้ำโขง โดยวิเคราะห์ข้อมูลที่วัดจากแม่น้ำโขงและแม่น้ำ Bassac จากค่าระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดที่ 4 จุดวัดตามแม่น้ำโขง พบว่าการลดลงของคลื่นขึ้นน้ำตามแม่น้ำจากปากแม่น้ำและระดับน้ำเฉลี่ยที่สูงขึ้นในปี 1986 ซึ่งในฤดูแล้งการลดลงของคลื่นและการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำเฉลี่ยน้อยกว่าในฤดูฝน

Gordin (1991) ศึกษาชลศาสตร์ของน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำ Saint John โดยใช้การวิเคราะห์ฮาร์โมนิกแยกชนิดน้ำขึ้นน้ำลง และเลือกน้ำเดี่ยวชนิด O1 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของคลื่นเข้าไปในแม่น้ำ พบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลทำให้การเคลื่อนตัวของน้ำขึ้นน้ำลงขึ้นไปเหนือน้ำลดลง

2.6.2 การศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์

Emaduddin, Ahmad (1980) ศึกษาแบบจำลองคณิตศาสตร์การไหลไม่คงที่ในแม่น้ำบางปะกงที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยเลือกใช้แบบจำลอง 2 แบบ คือ Single Reach Model และ Node and Branch Model พบว่าทั้ง 2 แบบจำลองสามารถทำนายระดับน้ำได้ดี ค่าระดับน้ำอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนค่า n ซึ่งค่า n จากแบบจำลองอาจแตกต่างจากในธรรมชาติได้ การเลือกค่าพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักมีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแอมพลิจูดคลื่น

Kim (1981) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ คำนวณแบบ Superposition ของน้ำขึ้นน้ำลงและอัตราการไหลต่างๆกันมาประยุกต์ใช้กับหลักการของเขื่อนแตก พบว่า เมื่ออัตราการไหลในแม่น้ำน้อยอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงส่งผลไปได้ไกลและค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระมีผลต่อการคำนวณระดับน้ำเพียงเล็กน้อย

Huynh Ngoc (1987) ศึกษาผลของประตูกั้นน้ำเค็มต่อไฮโดรไดนามิกและการตกตะกอนปากแม่น้ำ โดยใช้วิธี Analytical Solution (Vongvisessomjai and Rojanakamthorn, 1986) ศึกษากรณีเปิดบานหมดและกรณีเปิดบานบางส่วน สำหรับกรณีเปิดบานใช้สมการ Chezy อธิบายความเร็วการไหลและใช้สมการการเคลื่อนที่ของมวลอธิบายการตกตะกอนที่บานประตู ในกรณีเปิดบานบางส่วนใช้สมการของ Weigel อธิบายสัมประสิทธิ์การลดลงของคลื่นผ่านบานประตูดังสมการ

$$\alpha = (z/D)^{1/2}$$

α	=	สัมประสิทธิ์การลดลงของคลื่นผ่านบาน
z	=	ระยะการเปิดบาน
D	=	ความลึกน้ำทั้งหมด

Vongvisessomjai และ Phuc (1989) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากน้ำขึ้นน้ำลงและอัตราการไหลจากสถานีวัดน้ำ 5 สถานี ใช้วิธีวิเคราะห์ฮาร์มอนิก และสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ finite difference แบบ implicit scheme พบว่า อัตราการไหลในแม่น้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ระดับน้ำเฉลี่ยเพิ่มขึ้น โดยที่ทั้งความเสียดทานท้องน้ำและอัตราการไหลที่มากขึ้น ทำให้แอมพลิจูดและความเร็วคลื่นในแม่น้ำลดลง ดังรูป 2-9 ระดับน้ำในเมษายนมีขนาดคลื่นที่สถานีต่างๆมากกว่าในเดือนตุลาคม และขนาดของคลื่นในตุลาคมลดลงเร็วกว่าตามระยะทางที่เข้าไปในแม่น้ำ ซึ่งในเดือนตุลาคมเป็นเดือนที่มีอัตราการไหลสูงกว่าเดือนเมษายน ค่า damping modulus ขึ้นอยู่กับ Froude Number คลื่นแต่ละตัวที่เคลื่อนที่ขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำทำให้ขนาดคลื่นลดลงอย่างช้าๆ

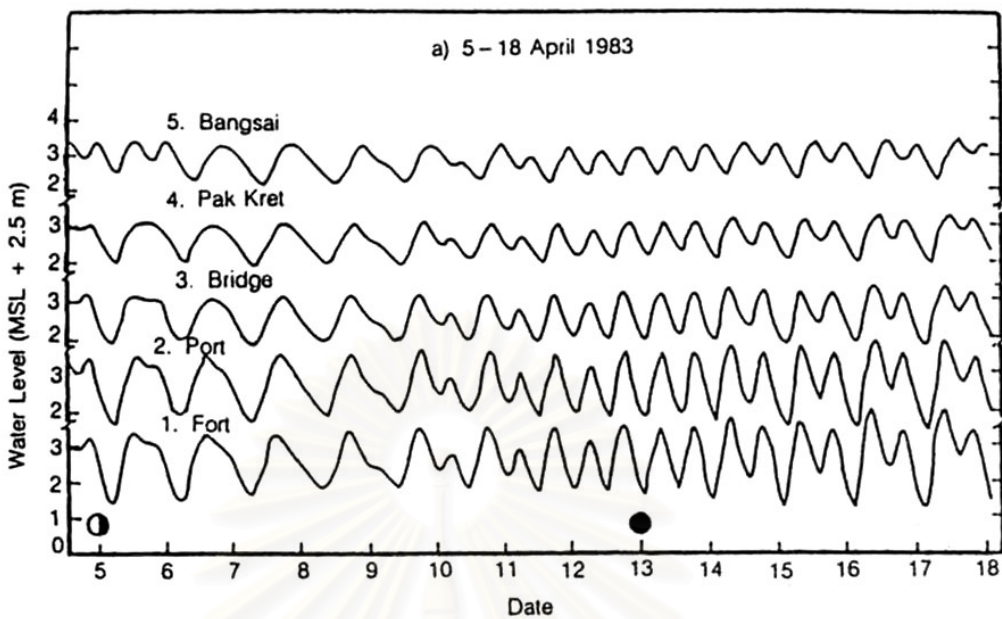
Lo Whaiching (1989) ศึกษาการไหลใกล้ประตูกันน้ำเค็มด้วยแบบจำลองกริด (grid model) โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ 1 มิติ ตรวจสอบการเอ่อของระดับน้ำเหนือบานประตูและประยุกต์ใช้แบบจำลอง 2 มิติ หากการหมุนวนใกล้บาน โดยการสมมติให้เขื่อนอยู่ที่ระยะ 34 กม.จากปากแม่น้ำเจ้าพระยา พบว่าระดับน้ำเอ่อเพิ่มขึ้นไม่แน่นอน และส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงน้ำลง ในฤดูน้ำ น้ำขึ้นน้ำลงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำน้อยมาก และระดับน้ำเหนือบานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

กรณีเปิดบานหมด , เปิดบาน 50% , เปิดบาน 25% พบว่าให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเหมือนกัน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวในการลดลงของแอมพลิจูดจากการไหลลดบานประตู พบว่าการลดลงของระดับน้ำที่ไหลลดบานประตู ขึ้นอยู่กับการสมมติเปอร์เซ็นต์การลดลงของระดับน้ำที่ไหลลดผ่านบานประตู

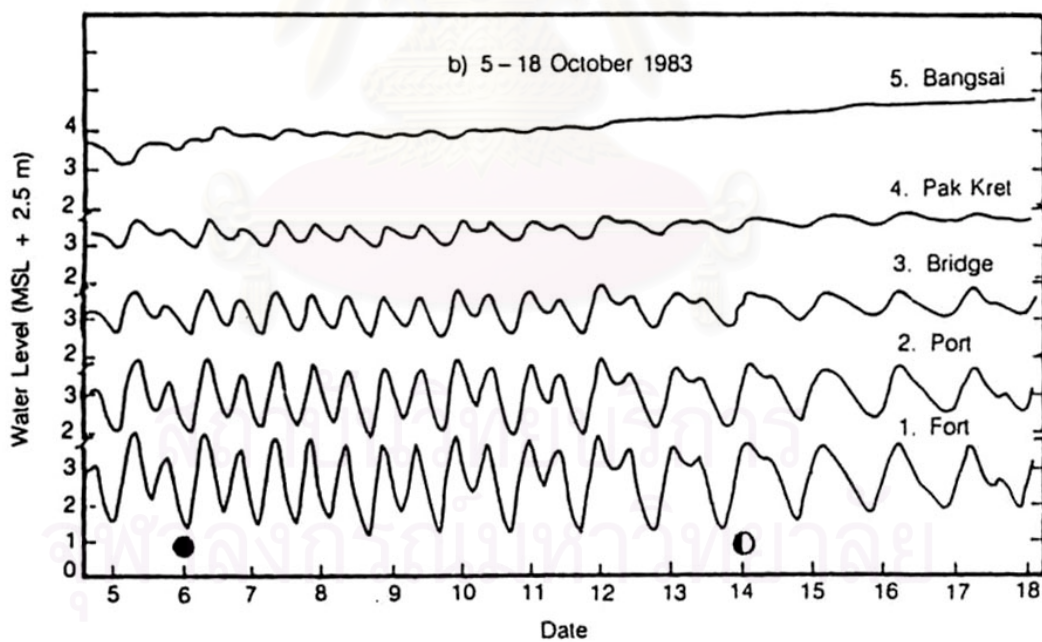
Ca (1990, อ้างอิงใน Patchanok, 2002) ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ จำลองลักษณะทางชลศาสตร์และการรูก้ำของน้ำเค็มเข้าไปใน Red River ในเดือนมีนาคม 1980 ในการศึกษาความสัมพันธ์การลดลงของคลื่น และอัตราการไหลของน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำและลำน้ำสาขา ได้แก่ Day River, Ninh Co River และ Tra Ly River โดยแยกคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง 4 แบบ ในแต่ละแบบมีการลดลงของคลื่นสัมพันธ์กับอัตราการไหลด้วยฟังก์ชันเอ็กซ์โปเนนเชียล

กรมชลประทาน (2544) ศึกษาแนวทางการดำเนินการประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ์ โดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ Node and Branch Model พบว่าการก่อสร้างประตูระบายน้ำปากพนังใกล้กับปากแม่น้ำเป็นระยะทางพอสมควรเมื่อดำเนินการปิดประตูระบายน้ำ ทำให้ระดับน้ำท้ายประตูระบายเพิ่มขึ้นหรือลดลง มากกว่าในกรณีที่มีประตูระบายน้ำอยู่ลึกเข้าไปในแม่น้ำมาก หรือกรณีไม่มีประตูระบายน้ำ ส่วนการก่อสร้างประตูระบายน้ำปากพนังใกล้กับปากแม่น้ำมากขึ้น ระดับน้ำท้ายประตูระบายน้ำเกือบจะไม่แตกต่างจากกรณีไม่มีประตูระบายน้ำเลย ดังรูป 2-10

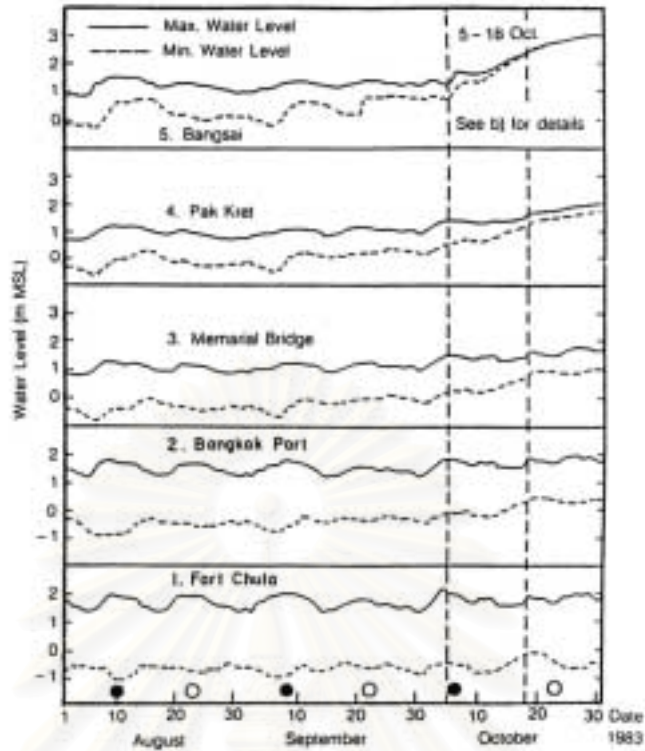
กรมชลประทาน (2544) ศึกษาผลกระทบด้านชลศาสตร์และสิ่งแวดล้อม เพื่อจัดทำประชาพิจารณ์โครงการประตูระบายน้ำท่าจีน เพื่อบรรเทาอุทกภัย สกัดกั้นน้ำเค็ม และเก็บกักน้ำจืด โดยพิจารณาเลือกตำแหน่งการก่อสร้างประตูระบายน้ำ 2 แห่ง ได้แก่ ประตูระบายน้ำท่าจีนตอนบน(site VI)



(ก) ระดับน้ำเดือนเมษายน



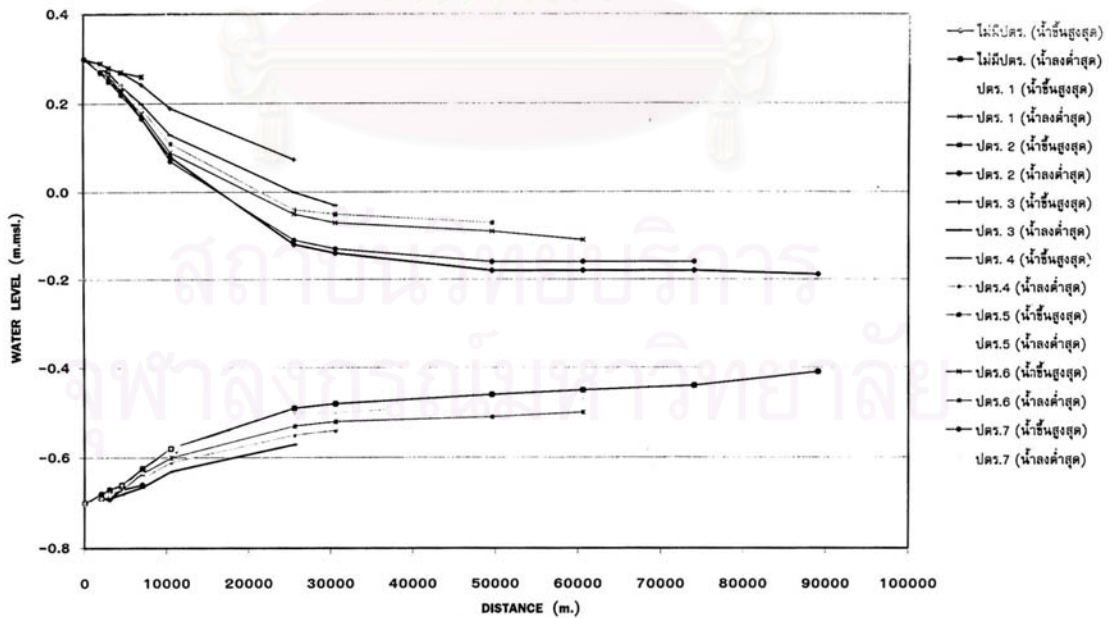
(ข) ระดับน้ำเดือนตุลาคม



จาก Vongvisessomjai และ Phuc, 1989

(ค) ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด

รูป 2-9 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา



จาก กรมชลประทาน, 2544

รูป 2-10 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ กรณีการก่อสร้างประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ์ที่ตำแหน่งต่างๆ

และประตูละบายน้ำท่าจีนตอนล่าง (site-1A) ซึ่งอยู่ใกล้ปากแม่น้ำ การศึกษาใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Mike11 ศึกษาที่รอบปีการเกิดซ้ำ 25 ปี พบว่า การปิดบานทำให้ระดับน้ำท้ายบานสูงกว่าสภาพธรรมชาติ 21 ซม. และกรณีปิดบานไม่สนิท(สูงจากพื้นท้องน้ำ 15 ซม.) ระดับน้ำท้ายบานสูงกว่าสภาพธรรมชาติ 13 ซม. และเสนอแนวทางแก้ไขผลกระทบด้านชลศาสตร์ได้แก่ การควบคุมประตูละบายน้ำให้เหมาะสมกับจังหวะการขึ้นลงของน้ำ ทำแก้มลิงและสร้างคันป้องกันตลิ่ง

Patchanok (2002) ศึกษาปฏิกริยาระหว่างน้ำขึ้นน้ำลงและเขื่อนกันน้ำเค็ม โดยวิธี analytical solution ศึกษาพฤติกรรมชลศาสตร์ของแม่น้ำบางปะกง ซึ่งได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง แยกพิจารณาคลื่นแต่ละตัวด้วยการวิเคราะห์ฮาร์มอนิก ในกรณีไม่มีบานพบว่า เมื่ออัตราการไหลมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของคลื่นน้อยลง และเมื่ออัตราการไหลน้อยลงค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของคลื่นมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบระดับน้ำจาก analytical model โดยไม่พิจารณาการดำเนินการเขื่อนพบว่า การเปิดบานบางส่วนและปล่อยอัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ยเกือบเท่ากับการไหลตามธรรมชาติเมื่อไม่มีเขื่อน ยังคงเกิดการสะท้อนกลับของคลื่นอยู่ และเสนอข้อจำกัดของ analytical model ดังนี้

1. เมื่อไม่มีอัตราการไหล ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของคลื่นเข้าไปในแม่น้ำเป็น 0 และความเร็วคลื่นไม่เปลี่ยนแปลง การนำมาใช้ต้องปรับเทียบกับค่าวัดจริง
2. สมมติฐานเป็นการไหลแบบคงที่ ดังนั้นการใช้ต้องใช้ในช่วงเวลาสั้นๆ

บทที่ 3

แบบจำลองชลศาสตร์และการทดลอง

ในการศึกษาพฤติกรรมทางชลศาสตร์ มีประเด็นการศึกษาจำนวนมากที่ยากจะอธิบายได้ด้วยทฤษฎี เนื่องจากความซับซ้อนของพฤติกรรมและปัจจัยหลายๆ ด้าน ดังนั้นวิธีการศึกษาพฤติกรรมและกระบวนการทางชลศาสตร์จึงมีความจำเป็น ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ การวัดและการสังเกตในสนาม การสร้างแบบจำลองกายภาพ และการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ การเลือกใช้วิธีการศึกษาใด ต้องพิจารณาความเหมาะสมของการใช้ในการแก้ปัญหาหรืออาจใช้ทั้ง 3 วิธี เปรียบเทียบกัน

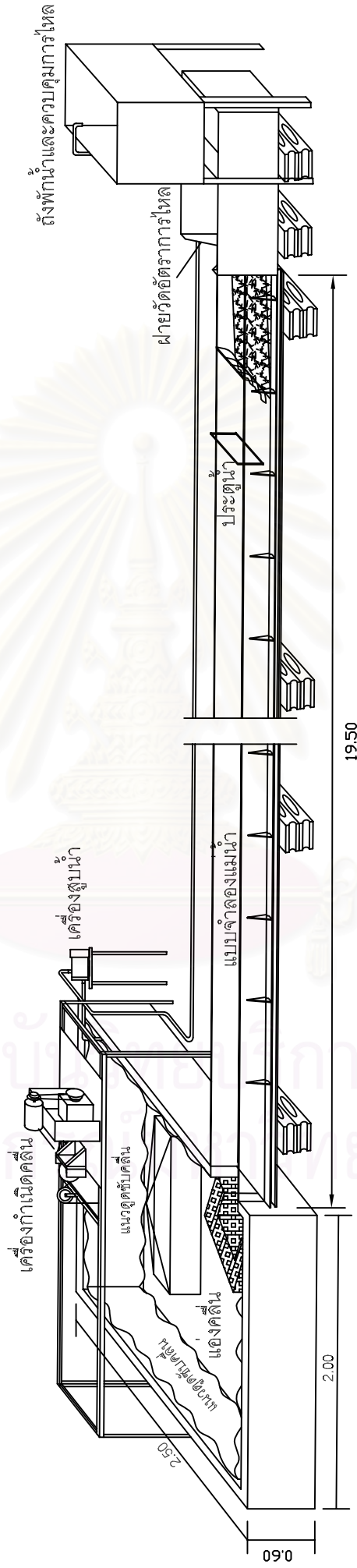
สำหรับการศึกษานี้เลือกใช้การสร้างแบบจำลองกายภาพ หรือเรียกว่าแบบจำลองชลศาสตร์ ในการจำลองสภาพทางชลศาสตร์ และทดลองใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ศึกษาปัญหาในบางกรณีของแบบจำลองกายภาพเพื่อเป็นการเปรียบเทียบ สำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์จะได้กล่าวถึงในภาคผนวก จ

3.1 แบบจำลองชลศาสตร์

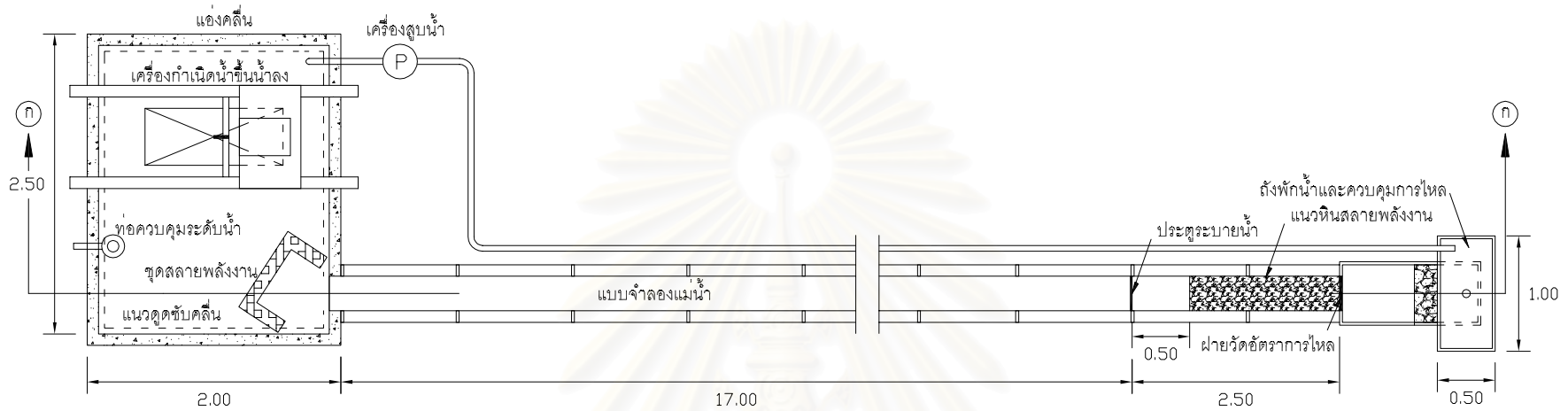
การสร้างแบบจำลองชลศาสตร์ มีจุดประสงค์เพื่อจำลองสภาพชลศาสตร์ในธรรมชาติ เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองกับพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ด้วยข้อจำกัดด้านผลกระทบที่จะเกิดขึ้น และค่าลงทุนสูง การทำแบบจำลองย่อส่วนในห้องปฏิบัติการเพื่อทดลองและเก็บข้อมูลจึงมีความจำเป็น แล้วนำผลที่ได้ปรับเปลี่ยนไปเป็นสภาพจริง (prototype) ดังนั้นการทำแบบจำลองจึงต้องมีหลักการจำลอง เพื่อให้แบบจำลองสามารถจำลองสภาพธรรมชาติได้ใกล้เคียงที่สุด หลักการที่นำมาใช้ในการสร้างและวิเคราะห์แบบจำลอง หรือ ความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์(hydraulic similarity) ได้แก่

1. ความคล้ายคลึงทางรูปทรง (geometric similarity)
2. ความคล้ายคลึงทางจลนศาสตร์ (kinematic similarity)
3. ความคล้ายคลึงทางพลศาสตร์ (dynamic similarity)

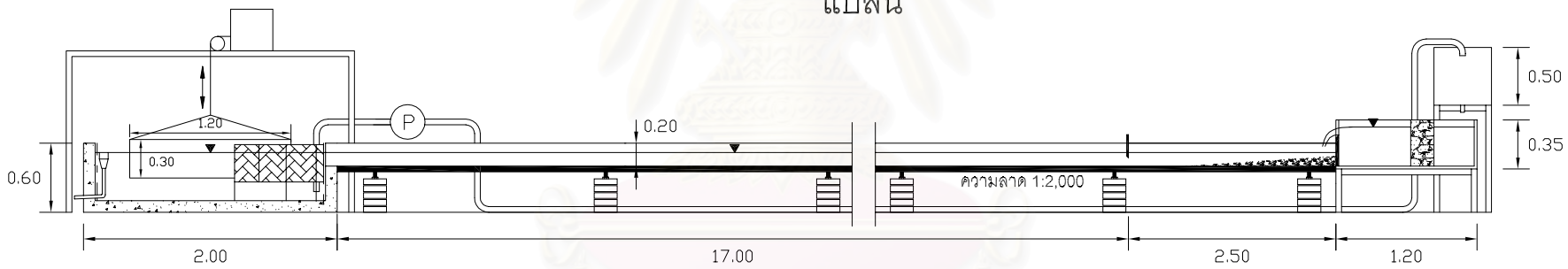
ในการศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองชลศาสตร์ สำหรับกรณีการไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้น ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงโดยทั่วไป ดังรูป 3-1 3-2 และ 3-3 โดยมีได้มีจุดมุ่งหมายจะศึกษากรณีแม่น้ำเฉพาะใดๆ จึงกำหนดเลือกขนาดของแบบจำลองตามความเหมาะสม กับพื้นที่ในห้องปฏิบัติการและงบประมาณที่มีในการศึกษา โดยไม่ได้ย่อขนาดมาตราส่วนมาจากที่ใด การสร้างแบบจำลองมีรายละเอียดดังจะกล่าวต่อไป



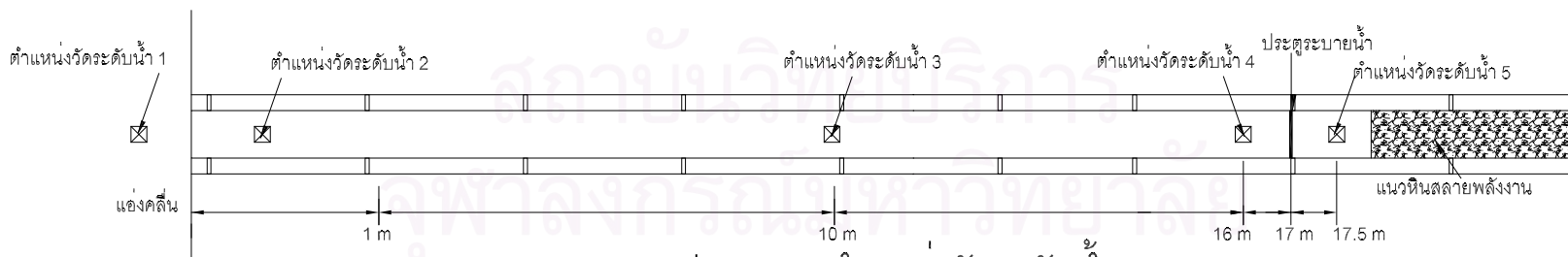
รูป 3-1 แบบจำลองการไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายในเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของน้ำขึ้นน้ำลง



แปลน



รูปตัด ก - ก



แปลนแสดงตำแหน่งวัดระดับน้ำ

รูป 3-2 แผนผังแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของแบบจำลองและตำแหน่งวัดระดับน้ำ

3.1.1 แบบจำลองแม่น้ำ

แบบจำลองแม่น้ำ ดังรูป 3-3 สร้างจากแผ่นพลาสติกหนา 5 มม. ประกอบเป็นพื้นท้องน้ำและผนังทั้งสองด้านทางน้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแนวตรง ยาว 19.5 เมตร กว้าง 0.30 เมตร สูง 0.20 เมตร โดยวางอยู่บนคานเหล็กคู่ขนานยาวตลอดทางน้ำ ท้องคานเจาะรูใส่น้ำเป็นระยะทุกๆ 2 เมตร สำหรับปรับความลาดชันท้องน้ำ ในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดความลาดท้องน้ำ 1/2000 ผนังทางน้ำทั้งสองด้านมีแท่งพลาสติกค้ำยันทุกๆระยะ 2 เมตร ตลอดแนวเช่นกันเพื่อป้องกันการโก่งตัว

3.1.2 แบบจำลองทะเล

แบบจำลองทะเล ดังรูป 3-4 ประกอบด้วยแอ่งคลื่นและเครื่องกำเนิดคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง โดยแอ่งคลื่นต่อกับปลายด้านหนึ่งของแบบจำลองแม่น้ำ ซึ่งมีความลึกน้ำจากท้องแอ่งคลื่นถึงท้องปากแม่น้ำ 34 ซม. แอ่งคลื่นสร้างด้วยอิฐก่อ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 2.0 เมตร ยาว 2.5 เมตร สูง 0.6 เมตร สำหรับเก็บกักน้ำ ในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดให้ระดับน้ำทะเลสูงกว่าท้องปากแม่น้ำ 6 ซม. และมีค่าคงที่ทุกกรณีอัตราการไหล ภายใต้สมมติฐานว่า ระดับน้ำที่ปากแม่น้ำของแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเลไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับขนาดของทะเล

เครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง สร้างน้ำขึ้นน้ำลงใช้หลักการแทนที่น้ำโดยปล่อยวัตถุ (ในที่นี้คือถังเหล็กสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.20 เมตร สูง 0.30 เมตร) ลงในน้ำทำให้เกิดน้ำขึ้นแล้วยกวัตถุขึ้นทำให้เกิดน้ำลง เช่นนี้สลับกันไป เครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง ประกอบด้วยมอเตอร์เกียร์ความเร็ว 100 รอบ/นาที ขนาด 0.25 แรงม้า แกนมอเตอร์ต่อกับมู่เล่ อัตราทด 1:1 1:2 1:3 กับเกียร์ทด 1:60 ขนาด 0.25 แรงม้า แกนออกของเกียร์ทดต่อกับควานอัตราทด 1:4.1 แล้วร้อยสายลวดสลิงขนาด 5 มม. ผ่านรอกผูกกับถังเหล็กที่ใช้แทนที่น้ำ ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์ในการแทนที่น้ำเหลือ 0.41 0.20 0.14 รอบ/นาที ตามอัตราทดของมู่เล่ตามลำดับ ชุดเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลงติดตั้งอยู่บนโครงสร้างเหล็กสร้างคร่อมแอ่งคลื่น และมีชุดสวิทช์ควบคุมต่อกับชุดเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง เพื่อควบคุมการเปลี่ยนทิศทางของมอเตอร์

3.1.3 ชุดควบคุมอัตราการไหล

ชุดควบคุมอัตราการไหล ดังรูป 3-5 ประกอบด้วย เครื่องสูบน้ำ ถังพักน้ำและควบคุมอัตราการไหล และถังจ่ายวัดน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

เครื่องสูบน้ำมีสองตัวสามารถสูบน้ำได้อัตราการไหลสูงสุดตัวละ 86/97 ลิตร/นาที และสูบน้ำได้สูง 6.7/9.7 เมตร สำหรับถังพักน้ำและควบคุมอัตราการไหล เป็นถังเหล็กมีขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.0 เมตร สูง 0.50 เมตร เป็นที่พักน้ำและควบคุมความสูงน้ำในถังเพื่อให้มีอัตราการไหลออกค่อนข้างคงที่



รูป 3-3 แบบจำลองชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง



รูป 3-4 แบบจำลองทะเล

ถังฝายวัดน้ำ มีขนาดกว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.30 เมตร สูง 0.30 เมตร ฝายวัดน้ำเป็นฝายสามเหลี่ยมสันคมมุม 54° (การสอบเทียบฝายแสดงอยู่ในภาคผนวก ก) โดยมีด้านที่เป็นฝายต่อกับอีกด้านหนึ่งของแบบจำลองแม่น้ำที่มีความลาดชันไปที่แอ่งคลื่น 1:2000 ภายในถังมีตะแกรงหินสลายพลังงานควบคุมระดับน้ำให้หนึ่งก่อนไหลผ่านฝาย เพื่อใช้อ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝายจากหลอดแก้วที่ติดตั้งอยู่ข้างถังฝาย

ระบบการทำงานของชุดควบคุมอัตราการไหล ใช้หลักการหมุนวนน้ำในแบบจำลอง โดยการติดตั้งเครื่องสูบน้ำไว้ที่แอ่งคลื่นเพื่อสูบน้ำจากแอ่งคลื่นไปปล่อยในถังพักน้ำและควบคุมอัตราการไหลที่ติดตั้งอยู่บนถังฝายวัดน้ำ พื้นถังพักน้ำมีช่องปล่อยน้ำให้น้ำไหลลงไปยังถังฝายวัดน้ำ เมื่อทำการสูบน้ำระบบจะหมุนวนการไหลจากแอ่งคลื่นเข้าสู่ถังพักน้ำแล้วปล่อยน้ำลงสู่ถังฝายวัดน้ำ น้ำที่ไหลออกจากถังฝายวัดน้ำก็ไหลผ่านแบบจำลองแม่น้ำลงสู่แอ่งคลื่น เมื่อระบบหมุนวนคงที่ระดับน้ำในระบบจะนิ่ง

3.1.4 แบบจำลองประตูระบายน้ำ

แบบจำลองประตูระบายน้ำ ดังรูป 3-6 ทำจากพลาสติกหนา 5 มม. กว้าง 0.30 เมตร สูง 0.20 เมตร บานประตูระบายน้ำที่เลือกใช้มี 2 ลักษณะ คือ

1. บานประตูแบบสันคม ใช้ในกรณีเปิดบานบางส่วน
2. บานประตูแบบสันตรง ใช้ในกรณีปิดบาน

3.1.5 เครื่องมือที่ใช้วัดข้อมูลการทดลอง

เครื่องมือหลักที่ใช้วัดในการทดลอง คือ เครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter) ดังรูป 3-7 การติดตั้งเครื่องมือวัดความสูงคลื่นในแบบจำลองโดยติดตั้งในแอ่งคลื่น 1 ตำแหน่ง และติดตั้งในแบบจำลองแม่น้ำ 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่ง 1 เมตร จากปากแม่น้ำ ตำแหน่ง 10 เมตร จากปากแม่น้ำ ตำแหน่ง 16 เมตร จากปากแม่น้ำ และตำแหน่ง 17.5 เมตรจากปากแม่น้ำ โดยมีประตูระบายน้ำติดตั้งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำ 17 เมตร ลักษณะการติดตั้งตัวรับสัญญาณ (sensor) คือ ให้เครื่องมือหันเส้นลวดรับสัญญาณเข้าหาทิศทางของคลื่นที่เข้ามากระทำ โดยส่วนที่รับสัญญาณต้องแช่อยู่ในน้ำ ไม่ต่ำกว่า 1 เซนติเมตร

หลักการการทำงานของเครื่องมือวัดความสูงคลื่นนี้ เป็นการวัดประจุไฟฟ้าบนเส้นลวดที่เปลี่ยนแปลงตามระดับผิวน้ำ จากนั้นจะส่งสัญญาณต่อไปยังส่วนแสดงผลให้แปลงสัญญาณเป็นค่าความต่างศักย์ (volt) สามารถนำไปต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ ผ่านการ์ดแปลงสัญญาณ A/D ควบคุมการทำงานโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Labtech Notebook Pro การสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่นแสดงในภาคผนวก ก



รูป 3-5 ชุดควบคุมอัตราการไหล



รูป 3-6 แบบจำลองประตูระบายน้ำ

3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

ในการออกแบบการทดลองมีตัวแปร ที่ใช้เป็นเงื่อนไขมีอยู่ 2 ชนิด คือ ตัวแปรเงื่อนไขแบบจำลองและตัวแปรสภาพคลื่น ดังนี้

3.2.1 ตัวแปรเงื่อนไขแบบจำลอง

ตัวแปรเงื่อนไขแบบจำลอง แบ่งออกเป็น

1. ระยะเวลาเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำ (g) ได้แก่ การปิดบาน การเปิดบาน 1.7 ชม. การเปิดบาน 3.4 ชม. และการเปิดบานหมด
2. ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เลือกใช้วัสดุพื้นรางน้ำ 3 ชนิด ได้แก่ พลาสติก กระดาษทรายเบอร์ 80 และกระดาษทรายเบอร์ 400 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ ดังรูป 3-8 โดยมีค่าการเปรียบเทียบแสดงในภาคผนวก ก
3. อัตราการไหล (q) กำหนดอัตราการไหล 3 ค่า ได้แก่ 0.30 0.52 และ 1.20 ลิตรต่อวินาที

3.2.2 ตัวแปรสภาพคลื่น

ตัวแปรสภาพคลื่น ได้แก่ การสร้างคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งผันแปรทั้งขนาดความสูงคลื่นและคาบคลื่น โดยการปรับระยะและความเร็วของการแทนที่น้ำ

3.3 การดำเนินงานสร้างแบบจำลองและการทดลอง

การดำเนินงานสร้างแบบจำลองและการทดลองในการศึกษานี้ ได้ใช้เวลาส่วนใหญ่ในการสร้างแบบจำลองและการทดลอง ซึ่งได้ทำการทดลองถึง 3 ครั้ง เนื่องจากพบปัญหาด้านข้อจำกัดและข้อบกพร่องของแบบจำลอง และปัญหาจากความละเอียดในการวัดข้อมูล จึงได้ทำการปรับปรุงแบบจำลองพัฒนาวิธีการวัดและขั้นตอนการดำเนินงานอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนได้เข้าร่วมแสดงนิทรรศการ "จุฬาริชาการ '45" เมื่อวันที่ 6-9 ธันวาคม 2545 สำหรับช่วงเวลาในการดำเนินงานทั้งหมดเริ่มตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2544 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2546 รวม 20 เดือน โดยแสดงเป็นตารางเวลาการดำเนินงาน ดังตาราง 3-1

3.3.1 การสร้างแบบจำลอง

การสร้างแบบจำลองเป็นสิ่งสำคัญในการศึกษานี้ เนื่องจากชุดทดลองรางน้ำต่างๆ ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถนำมาใช้ในการศึกษานี้ได้ จึงต้องทำการสร้างแบบจำลองขึ้นมาเองเพื่อใช้ในการศึกษา และจำเป็นต้องใช้ความรู้ความสามารถหลายๆ ด้านในการสร้างแบบจำลอง ได้แก่ เครื่องกลไฟฟ้า ก่อสร้าง และอิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนอุปกรณ์บางส่วน เช่น ชุดมอเตอร์และเกียร์ที่ต้องการใช้ ไม่มีขายสำเร็จรูป ต้องมีการเสาะหา จัดซื้อ ปรึกษาและดัดแปลง ประกอบกับพบปัญหาต่างๆ และขาด

ประสบการณ์ในการสร้างแบบจำลอง ทำให้ต้องมีการพัฒนาและจัดหาเครื่องมือเพิ่มเติม ดังนั้นระยะเวลาในส่วนของการสร้างแบบจำลองนี้จึงมาก

สำหรับตัวอย่างปัญหาที่พบและการพัฒนาแบบจำลองระหว่างการสร้างแบบจำลองได้แก่ การสร้างถังเหล็กแทนที่น้ำขนาดใหญ่แต่ใช้ระยะเวลาแทนที่น้ำน้อย เพื่อสร้างน้ำขึ้นน้ำลงในระดับที่ต้องการ ซึ่งได้ทำการพัฒนาให้เป็นถังขนาดเล็กแทนที่น้ำลึกขึ้น เพื่อให้มีระดับน้ำขึ้นน้ำลงเท่าเดิมเป็นการเพิ่มความถูกต้องในการวัดข้อมูล หรือการรื้อแบบจำลองแม่น้ำเพื่อทาสีกันสนิมที่รางเหล็กและเพิ่มระยะห่างของรอยต่อให้มีระยะห่างพอสมควร แล้วต่อเชื่อมด้วยซิลิโคนเพื่อลดการโก่งตัวเนื่องจากการขยายตัวของแผ่นพลาสติก เป็นต้น

3.3.2 การทดลองครั้งที่ 1

การทดลองครั้งที่ 1 เป็นการดำเนินการทดลองหลังจากสร้างแบบจำลองเสร็จ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการดำเนินการทดลอง 3 เดือน ขั้นตอนการทดลองเริ่มจากการตั้งค่าเริ่มต้นของระดับน้ำ โดยกำหนดให้ระดับน้ำที่ปากแม่น้ำมีความลึก 6 ซม. เมื่อระบบคงที่ทั้งกรณีเปิดบานและกรณีเปิดบานต่างๆ (มีอัตราการไหล) ไม่มีการสร้างน้ำขึ้นน้ำลง โดยการอ่านระดับน้ำจากสเกลที่ติดตั้งอยู่ที่ปากแม่น้ำ จากนั้นทำการสร้างน้ำขึ้นน้ำลงด้วยวิธีการแทนที่น้ำ การเปลี่ยนการทดลองใหม่มีลำดับการเปลี่ยนตัวแปร คือ ระยะเวลาเปิดปิดบานประตูระบายน้ำ อัตราการไหล ระยะเวลาแทนที่น้ำ ความเร็วมอเตอร์และวัสดุท้องน้ำตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนกราฟพบว่า กรณีการเปิดบานหมดและมีคาบคลื่นน้อยๆจะมีความสูงคลื่นที่ระยะ 10 เมตร และ 16 เมตร จากปากแม่น้ำสูงกว่าที่ระยะ 1 เมตร รวมทั้งมีคลื่นแทรกอยู่มาก

แต่ในสภาพธรรมชาติพบว่า อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ลึกเข้าไปในแม่น้ำตามระยะทาง ซึ่ง Vongvisessomjai และ Phuc , 1989 ได้ทำการศึกษาไว้ในแม่น้ำเจ้าพระยา สำหรับกรณีความสูงคลื่นในแม่น้ำสูงกว่าที่ปากแม่น้ำ Kawachi และ Minami , 1973 ได้ทำการศึกษากรณีการสร้างเขื่อนกั้นแม่น้ำแล้วเกิดการสะท้อนกลับ ทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นและต่ำกว่าปกติ จึงตั้งสมมติฐานว่า คลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่เคลื่อนที่เข้าไปในแม่น้ำ อาจไปกระทบกับฝายที่ปลายด้านเหนือแล้วเกิดการสะท้อนกลับ ทำให้ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงสูงขึ้นที่ระยะต่างๆที่ลึกเข้าไปในแม่น้ำ จึงต้องทำการปรับปรุงแบบจำลองและทดลองใหม่เป็นครั้งที่ 2 โดยการป้อนน้ำด้วยหินเล็กมีความลาดชัน 1:20 เพื่อสลายพลังงานคลื่นและลดการสะท้อนกลับของคลื่น

3.3.3 การทดลองครั้งที่ 2

การทดลองครั้งที่ 2 ใช้ระยะเวลาในการปรับปรุงและดำเนินการทดลอง 3 เดือน และยังคงใช้ค่าเริ่มต้นเช่นเดียวกับครั้งที่ 1 แต่เพิ่มการทำแนวหินลาดสลายพลังงานเหนือบานประตูระบายน้ำด้วยความลาดชัน 1:20 ดังรูป 3-9 โดยคาดว่าจะช่วยสลายพลังงานคลื่นให้หมดไปก่อนที่จะเคลื่อนที่ถึงฝาย จาก



รูป 3-7 เครื่องมือวัดความสูงคลื่น



รูป 3-8 วัสดุทองน้ำ



รูป 3-9 แนวหินลาดสลายพลังงาน

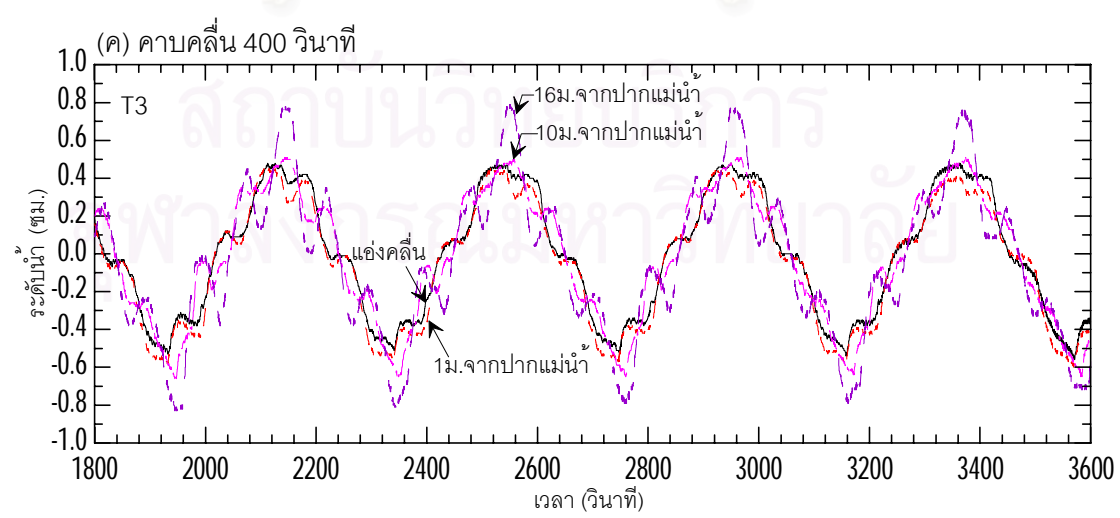
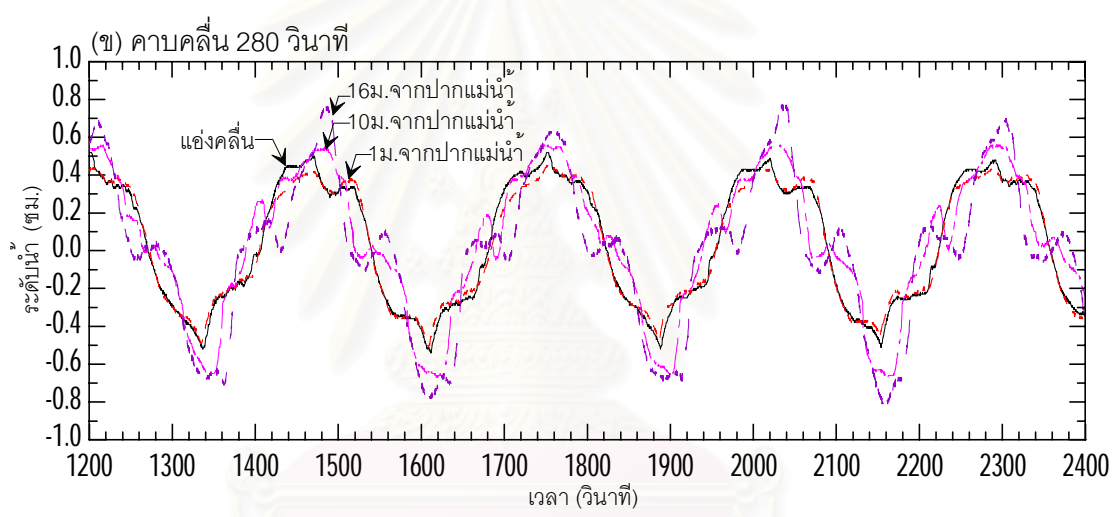
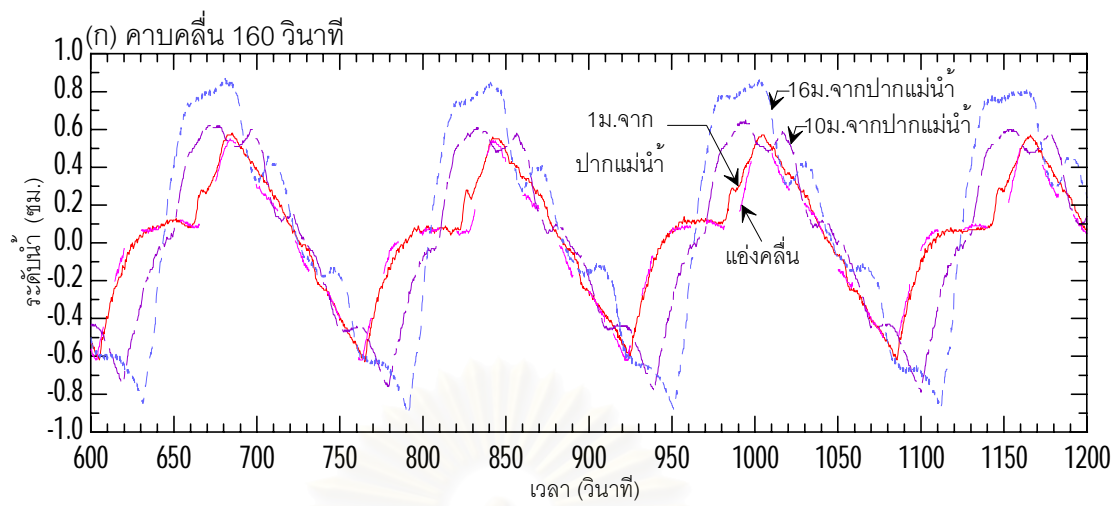
การตั้งสมมติฐานในการทดลองครั้งที่ 1 ส่วนวิธีการทดลองยังใช้ลำดับการเปลี่ยนตัวแปรเหมือนเดิม ซึ่งผลจากการทดลองในครั้งนี้พบว่า ความสูงคลื่นที่ระยะ 10 เมตร และ 16 เมตรจากปากแม่น้ำ ยังคงสูงกว่าที่ระยะ 1 เมตร คลื่นแทรกยังคงมีอยู่มาก ดังรูป 3-10 ประกอบกับการทดลองครั้งนี้ยังมีสิ่งที่น่าสนใจปรากฏหลายประการ เช่น ช่วงของอัตราการไหลใกล้เคียงกันมากและมีค่าค่อนข้างน้อย (0.16 0.19 และ 0.21 ลิตร/วินาที)จนเกือบจะเป็นค่าเดียวกัน จึงทำการทดลองใหม่ในครั้งที่ 3

3.3.4 การทดลองครั้งที่ 3

การทดลองครั้งที่ 3 เป็นพัฒนาแบบจำลองเพิ่มเติม เนื่องจากการทดลองทั้งสองวิธีข้างต้นพบว่า การวัดข้อมูลและวิธีการทดลองต้องปรับปรุงหลายอย่าง จึงทำการปรับปรุงแบบจำลอง วิธีการทดลองและการวัดข้อมูลใหม่ โดยการนำท่อควบคุมระดับน้ำมาใช้ตั้งค่าระดับน้ำ เนื่องจากการใช้วิธีการอ่านระดับน้ำและการตั้งค่าระดับน้ำจากการอ่านด้วยสายตาให้ค่าที่ไม่แน่นอน ด้วยข้อจำกัดของสายตาและการตั้งค่าระดับน้ำค่อนข้างยากใช้เวลานาน จึงใช้วิธีการนำท่อควบคุมระดับน้ำต่อผ่านแอ่งคลื่นให้ระดับน้ำบนปากท่อมามีค่าเท่ากับความลึกน้ำที่ปากแม่น้ำ 6 ซม. ดังรูป 3-11 ซึ่งเป็นการควบคุมระดับน้ำที่ดีกว่า และเพิ่มการชิงผ้าไว้รอบแอ่งคลื่น เพื่อให้ดูดซับพลังงานของคลื่นที่จะไปตกกระทบกับผนังแอ่งคลื่น เนื่องจากการทดลองการแทนที่น้ำที่ระยะการแทนที่น้ำเดียวกัน ในแต่ละการทดลองไม่สามารถกำหนดความสูงคลื่นให้มีขนาดเท่ากันในแอ่งคลื่นได้ จึงตั้งสมมติฐานว่าอาจจะเกิดจากการสะท้อนของคลื่นภายในแอ่งคลื่น

การเพิ่มเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ณ ตำแหน่งหน้าบานประตูระบายน้ำอีก 1 ตำแหน่ง ซึ่งจากการทดลองครั้งก่อนๆ ไม่ได้ทำการติดตั้งเนื่องจากเครื่องมืออยู่จำกัด ทำให้สามารถใช้ได้เพียง 4 ตัว สำหรับการวิเคราะห์ปัญหาที่มีผลจากบานประตูระบายน้ำ ควรจะวัดระดับน้ำหน้าประตูระบายน้ำด้วย โดยในการทดลองครั้งนี้สามารถเพิ่มเครื่องมือวัดความสูงคลื่นได้อีก 1 ตัว เพราะการทดลองอื่นที่ใช้เครื่องมือนี้ได้ทำการทดลองเสร็จแล้ว และได้ทำการปรับปรุงลำดับการเปลี่ยนตัวแปรในการทดลองโดยเปลี่ยนตัวแปรอัตราการไหลเป็นตัวสุดท้าย ดังจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.4 เนื่องจากการทดลองครั้งก่อนๆ ทำการปรับอัตราการไหลค่อนข้างบ่อย และการปรับอัตราการไหลในแต่ละครั้งไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ได้ จึงใช้วิธีกำหนดอัตราการไหล แล้วเปลี่ยนตัวแปรอื่นๆ จนครบแล้วจึงเปลี่ยนอัตราการไหล

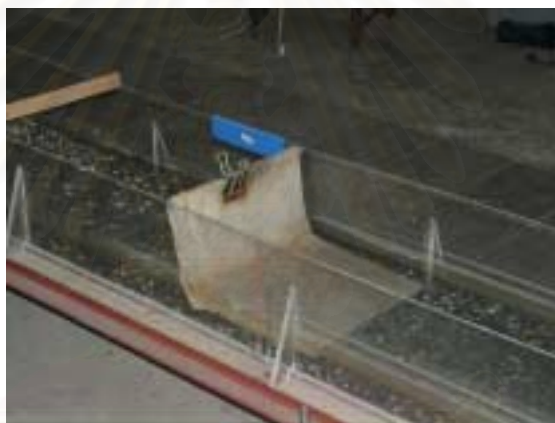
การเพิ่มเครื่องสูบน้ำอีก 1 ตัว และถอดฟุตวาล์วออกเพื่อเพิ่มอัตราการไหล เนื่องจากการทดลองครั้งก่อนๆ มีอัตราการไหลน้อยและอัตราการไหลที่เปลี่ยนไปในแต่ละกรณีการไหลค่อนข้างใกล้เคียงกันจนเกือบจะเป็นค่าเดียวกัน ซึ่งการเพิ่มอัตราการไหลทำให้ระดับน้ำด้านเหนือบานประตูระบายน้ำปั่นป่วนมาก เนื่องจากการไหลผ่านลาดหินสลายพลังงาน จึงนำผ้ามาขึงกันเพื่อช่วยให้ระดับน้ำนิ่งมากขึ้น ดังรูป 3-12 ในการศึกษาี้ ก่อนการทดลองต้องปรับเทียบเครื่องมือกับระดับน้ำนิ่ง ที่มีความ



รูป 3-10 การบันทึกผลการทดลองครั้งที่ 2 กรณีเปิดบานประตูระบายน้ำ อัตราการไหล 0.21 ลิตร/วินาที , $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



รูป 3-11 ท่อควบคุมระดับน้ำ



รูป 3-12 การขึงผ้าขวางทางน้ำเพื่อลดการปั่นป่วนของน้ำด้านเหนือบาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลึกน้ำที่ปากแม่น้ำ 6 ซม. โดยการควบคุมระดับน้ำด้วยท่อควบคุมระดับน้ำในแอ่งคลื่น แล้วบันทึกค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดความสูงคลื่นเป็นค่าระดับอ้างอิง

การวัดระดับน้ำเริ่มต้นเมื่อกำหนดระดับน้ำอ้างอิงแล้ว การวัดระดับน้ำเริ่มต้นในกรณีที่มีการไหลในแม่น้ำ ทำได้โดยการสูบน้ำจนมีอัตราการไหลที่ พร้อมทั้งปรับระดับน้ำในแอ่งคลื่นให้มีความลึก 6 ซม. ด้วยท่อควบคุมระดับน้ำในแอ่งคลื่น โดยการเติมน้ำเข้าไปในแอ่งคลื่นปล่อยให้ น้ำล้นท่อจนระดับผิวน้ำพอดีกับปากท่อ ระดับน้ำนั้นจะมีค่าประมาณ 6 ซม.ที่ปากแม่น้ำ และมีผิวน้ำอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงของการทำน้ำขึ้นน้ำลงของถึงเหล็กแทนที่น้ำ ซึ่งในการวัดระดับน้ำขณะทดลองจะทำการบันทึกที่ระดับน้ำจากเครื่องมือวัดความสูงคลื่น โดยวัดตั้งแต่การเริ่มสร้างน้ำขึ้นน้ำลงจนจบการทดลองประมาณ 8 ลูกคลื่น โดยวัดพร้อมกันหมดทั้ง 5 ตำแหน่งตลอดทางน้ำและในแอ่งคลื่น สำหรับการวัดอัตราการไหลจะทำหลังจากปล่อยให้มีการสูบน้ำจนอัตราการไหลคงที่ สังเกตจากระดับน้ำเหนือสันฝายคงที่ แล้วอ่านค่าระดับน้ำจากสเกลที่ติดไว้ข้างถังฝายวัดน้ำ เพื่อหาค่าอัตราการไหลจากกราฟระดับน้ำ-อัตราการไหลที่เปรียบเทียบไว้แล้ว ดังแสดงในภาคผนวก ก

3.4 วิธีการทดลองและกรณีทดลองขั้นสุดท้าย

วิธีการทดลองที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นรายละเอียดของการทดลองครั้งที่ 3 หลังจากได้ทำการปรับปรุงแบบจำลอง จัดรูปแบบการทดลองด้วยการเปลี่ยนลำดับตัวแปรและวิธีการวัดให้มีความละเอียด ถูกต้อง และเหมาะสมดังนี้

1. เลือกวัสดุพื้นรางน้ำที่จะทำการทดลอง โดยวางให้เต็มพื้นรางตลอดความยาว (ยกเว้นกรณีรางเปล่า)
2. เติมน้ำลงในแอ่งคลื่น ปรับท่อควบคุมระดับน้ำให้มีความลึกน้ำที่ปากแม่น้ำ 6 เซนติเมตร รอจนกระทั่งน้ำไม่ไหลล้นท่อควบคุมระดับน้ำแล้วอุดท่อ ตั้งค่าเครื่องมือวัดความสูงคลื่นที่ส่วนรับสัญญาณเท่ากับ 0 พร้อมทั้งบันทึกค่าระดับน้ำ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดความสูงคลื่นต่างๆ
3. ติดตั้งบานประตูระบายน้ำที่ตำแหน่ง 17 เมตรจากปากแม่น้ำ โดยมีระยะการเปิด-ปิดบานตามที่กำหนด (ยกเว้นกรณีเปิดบานหมดไม่ต้องติดตั้งบาน) ซึ่งการเลือกชนิดบานพิจารณาตามระยะการเปิด-ปิดบานประตูน้ำ
4. เปิดเครื่องสูบน้ำด้วยอัตราการไหลที่กำหนด (ยกเว้นกรณีปิดบาน) เติมน้ำในแอ่งคลื่นจนล้นท่อควบคุมระดับน้ำ รอจนกระทั่งน้ำไม่ไหลล้นท่อควบคุมระดับน้ำและระดับน้ำอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงการทำน้ำขึ้นน้ำลงของถึงเหล็กแล้วปิดปากท่อ บันทึกค่าระดับน้ำด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น ประมาณ 5 นาที
5. ปรับอัตราเร็วของเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลงตามที่กำหนด โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของมอเตอร์

6. เดินเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง เริ่มจากการทำน้ำขึ้นหรือการปล่อยถังเหล็กลงแทนที่น้ำก่อน พร้อมทั้งบันทึกข้อมูลจากเครื่องมือวัดความสูงคลื่น เมื่อระดับน้ำถึงตำแหน่งที่กำหนดของช่วงน้ำขึ้นน้ำลงจากสเกลที่อยู่ข้างถังเหล็กสับสวิทช์เปลี่ยนการหมุนมอเตอร์ให้ยกถังเหล็กขึ้นสร้างน้ำลง จนถึงตำแหน่งที่กำหนดจึงสับสวิทช์กลับทางหมุนมอเตอร์เช่นนี้เรื่อยไป
7. บันทึกค่าระดับน้ำเหนือสันฝาย
8. เดินเครื่องกำเนิดคลื่นจนได้จำนวนลูกคลื่นประมาณ 8 ลูกคลื่น แล้วหยุดเครื่อง
9. ปรับให้ระดับน้ำอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งกึ่งกลางช่วงน้ำขึ้นน้ำลงของถังเหล็ก แล้วรอน้ำนิ่ง
10. ทำเช่นเดียวกับข้อ 6 – 9 โดยเปลี่ยนความลึกการปล่อยถังเหล็กอีก 2 ระดับ
11. ทำเช่นเดียวกับข้อ 5 – 10 โดยเปลี่ยนอัตราเร็วเครื่องกำเนิดคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงอีก 2 ระดับ
12. ทำซ้ำข้อ 1 – 11 โดยเปลี่ยนการติดตั้งบานอีก 3 ค่า
13. ทำซ้ำข้อ 1 – 12 โดยเปลี่ยนวัสดุท้องน้ำอีก 2 ค่า
14. ทำซ้ำข้อ 1 – 13 โดยเปลี่ยนอัตราการไหลอีก 2 ค่า

กรณีการทดลองมีทั้งหมด 270 กรณี และระยะเวลาในการทดลองดังแสดงในตาราง 3-2 ถึง 3-4 ซึ่งหลังจากเสร็จการทดลองใดๆก็ตาม ก่อนจะทำการทดลองต่อไปต้องรอให้ระดับน้ำในแม่น้ำนิ่งเสียก่อน เนื่องจากหลังจากการทำการทดลองเสร็จในแต่ละกรณีอิทธิพลการเคลื่อนที่ของคลื่นในแม่น้ำยังคงมีอยู่ ซึ่งต้องใช้เวลาให้ระดับน้ำนิ่ง สำหรับระยะเวลาที่ทำให้ระดับน้ำนิ่งในแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณเท่ากับเวลาที่ทำการทดลองครั้งที่ผ่านมาหรือมากกว่า

ตาราง 3-2 กรณีการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที

กรณี				n1		n2		n3	
n	h	g	t	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)
q1	h1	g0	t1	q1n1h1g0t1	10	q1n2h1g0t1	10	q1n3h1g0t1	10
			t2	q1n1h1g0t2	20	q1n2h1g0t2	20	q1n3h1g0t2	20
			t3	q1n1h1g0t3	30	q1n2h1g0t3	30	q1n3h1g0t3	30
		g1	t1	q1n1h1g1t1	10	q2n1h1g1t1	10	q1n3h1g1t1	10
			t2	q1n1h1g1t2	20	q1n2h1g1t2	20	q1n3h1g1t2	20
			t3	q1n1h1g1t3	30	q1n2h1g1t3	30	q1n3h1g1t3	30
		g2	t1	q1n1h1g2t1	10	q1n2h1g2t1	10	q1n3h1g2t1	10
			t2	q1n1h1g2t2	20	q1n2h1g2t2	20	q1n3h1g2t2	20
			t3	q1n1h1g2t3	30	q1n2h1g2t3	30	q1n3h1g2t3	30
		g3	t1	q1n1h1g3t1	10	q1n2h1g3t1	10	q1n3h1g3t1	10
			t2	q1n1h1g3t2	20	q1n2h1g3t2	20	q1n3h1g3t2	20
			t3	q1n1h1g3t3	30	q1n2h1g3t3	30	q1n3h1g3t3	30
	h2	g0	t4	q1n1h2g0t1	20	q1n2h2g0t1	20	q1n3h2g0t1	20
			t5	q1n1h2g0t2	40	q1n2h2g0t2	40	q1n3h2g0t2	40
			t6	q1n1h2g0t3	60	q1n2h2g0t3	60	q1n3h2g0t3	60
		g1	t4	q1n1h2g1t4	20	q1n2h2g1t4	20	q1n3h2g1t4	20
			t5	q1n1h2g1t5	40	q1n2h2g1t5	40	q1n3h2g1t5	40
			t6	q1n1h2g1t6	60	q1n2h2g1t6	60	q1n3h2g1t6	60
		g2	t4	q1n1h2g2t4	20	q1n2h2g2t4	20	q1n3h2g2t4	20
			t5	q1n1h2g2t5	40	q1n2h2g2t5	40	q1n3h2g2t5	40
			t6	q1n1h2g2t6	60	q1n2h2g2t6	60	q1n3h2g2t6	60
		g3	t4	q1n1h2g3t4	20	q1n2h2g3t4	20	q1n3h2g3t4	20
			t5	q1n1h2g3t5	40	q1n2h2g3t5	40	q1n3h2g3t5	40
			t6	q1n1h2g3t6	60	q1n2h2g3t6	60	q1n3h2g3t6	60
h3	g0	t7	q1n1h3g0t7	30	q1n2h3g0t7	30	q1n3h3g0t7	30	
		t8	q1n1h3g0t8	60	q1n2h3g0t8	60	q1n3h3g0t8	60	
		t9	q1n1h3g0t9	90	q1n2h3g0t9	90	q1n3h3g0t9	90	
	g1	t7	q1n1h3g1t7	30	q1n2h3g1t7	30	q1n3h3g1t7	30	
		t8	q1n1h3g1t8	60	q1n2h3g1t8	60	q1n3h3g1t8	60	
		t9	q1n1h3g1t9	90	q1n2h3g1t9	90	q1n3h3g1t9	90	
	g2	t7	q1n1h3g2t7	30	q1n2h3g2t7	30	q1n3h3g2t7	30	
		t8	q1n1h3g2t8	60	q1n2h3g2t8	60	q1n3h3g2t8	60	
		t9	q1n1h3g2t9	90	q1n2h3g2t9	90	q1n3h3g2t9	90	
	g3	t7	q1n1h3g3t7	30	q1n2h3g3t7	30	q1n3h3g3t7	30	
		t8	q1n1h3g3t8	60	q1n2h3g3t8	60	q1n3h3g3t8	60	
		t9	q1n1h3g3t9	90	q1n2h3g3t9	90	q1n3h3g3t9	90	

หมายเหตุ

- 1) n1,n2,n3 = ค่า สปส.ความขรุขระแมนนิ่งของพลาสติก = 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ
- 2) q1 = อัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที
- 3) h1,h2,h3 = การแทนที่น้ำของถัง 9 18 และ 27 ซม. ตามลำดับ
- 4) g0, g1, g2, g3 = ปิดบาน เปิดบาน 1.7 ซม. เปิดบาน 3.4 ซม. และเปิดบานหมด ตามลำดับ
- 5) t1-t9 ขึ้นอยู่กับความลึกการแทนที่น้ำของถังและความเร็วของการแทนที่น้ำ ค่า h และ t แสดงในภาคผนวก ข

ตาราง 3-3 กรณีการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที

กรณี				n1		n2		n3	
n	h	g	t	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)
q2	h1	g0	t1	q2n1h1g0t1	10	q2n2h1g0t1	10	q2n3h1g0t1	10
			t2	q2n1h1g0t2	20	q2n2h1g0t2	20	q2n3h1g0t2	20
			t3	q2n1h1g0t3	30	q2n2h1g0t3	30	q2n3h1g0t3	30
		g1	t1	q2n1h1g1t1	10	q2n2h1g1t1	10	q2n3h1g1t1	10
			t2	q2n1h1g1t2	20	q2n2h1g1t2	20	q2n3h1g1t2	20
			t3	q2n1h1g1t3	30	q2n2h1g1t3	30	q2n3h1g1t3	30
		g2	t1	q2n1h1g2t1	10	q2n2h1g2t1	10	q2n3h1g2t1	10
			t2	q2n1h1g2t2	20	q2n2h1g2t2	20	q2n3h1g2t2	20
			t3	q2n1h1g2t3	30	q2n2h1g2t3	30	q2n3h1g2t3	30
		g3	t1	q2n1h1g3t1	10	q2n2h1g3t1	10	q2n3h1g3t1	10
			t2	q2n1h1g3t2	20	q2n2h1g3t2	20	q2n3h1g3t2	20
			t3	q2n1h1g3t3	30	q2n2h1g3t3	30	q2n3h1g3t3	30
	h2	g0	t4	q2n1h2g0t1	20	q2n2h2g0t1	20	q2n3h2g0t1	20
			t5	q2n1h2g0t2	40	q2n2h2g0t2	40	q2n3h2g0t2	40
			t6	q2n1h2g0t3	60	q2n2h2g0t3	60	q2n3h2g0t3	60
		g1	t4	q2n1h2g1t4	20	q2n2h2g1t4	20	q2n3h2g1t4	20
			t5	q2n1h2g1t5	40	q2n2h2g1t5	40	q2n3h2g1t5	40
			t6	q2n1h2g1t6	60	q2n2h2g1t6	60	q2n3h2g1t6	60
		g2	t4	q2n1h2g2t4	20	q2n2h2g2t4	20	q2n3h2g2t4	20
			t5	q2n1h2g2t5	40	q2n2h2g2t5	40	q2n3h2g2t5	40
			t6	q2n1h2g2t6	60	q2n2h2g2t6	60	q2n3h2g2t6	60
		g3	t4	q2n1h2g3t4	20	q2n2h2g3t4	20	q2n3h2g3t4	20
			t5	q2n1h2g3t5	40	q2n2h2g3t5	40	q2n3h2g3t5	40
			t6	q2n1h2g3t6	60	q2n2h2g3t6	60	q2n3h2g3t6	60
h3	g0	t7	q2n1h3g0t7	30	q2n2h3g0t7	30	q2n3h3g0t7	30	
		t8	q2n1h3g0t8	60	q2n2h3g0t8	60	q2n3h3g0t8	60	
		t9	q2n1h3g0t9	90	q2n2h3g0t9	90	q2n3h3g0t9	90	
	g1	t7	q2n1h3g1t7	30	q2n2h3g1t7	30	q2n3h3g1t7	30	
		t8	q2n1h3g1t8	60	q2n2h3g1t8	60	q2n3h3g1t8	60	
		t9	q2n1h3g1t9	90	q2n2h3g1t9	90	q2n3h3g1t9	90	
	g2	t7	q2n1h3g2t7	30	q2n2h3g2t7	30	q2n3h3g2t7	30	
		t8	q2n1h3g2t8	60	q2n2h3g2t8	60	q2n3h3g2t8	60	
		t9	q2n1h3g2t9	90	q2n2h3g2t9	90	q2n3h3g2t9	90	
	g3	t7	q2n1h3g3t7	30	q2n2h3g3t7	30	q2n3h3g3t7	30	
		t8	q2n1h3g3t8	60	q2n2h3g3t8	60	q2n3h3g3t8	60	
		t9	q2n1h3g3t9	90	q2n2h3g3t9	90	q2n3h3g3t9	90	

หมายเหตุ

- 1) n1,n2,n3 = ค่า สปส.ความขรุขระแมนนิ่งของพลาสติก = 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ
- 2) q2 = อัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที
- 3) h1,h2,h3 = การแทนที่น้ำของถัง 9 18 และ 27 ซม. ตามลำดับ
- 4) g0, g1, g2, g3 = ปิดบาน เปิดบาน 1.7 ซม. เปิดบาน 3.4 ซม. และเปิดบานหมด ตามลำดับ
- 5) t1-t9 ขึ้นอยู่กับความลึกการแทนที่น้ำของถังและความเร็วของการแทนที่น้ำ ค่า h และ t แสดงในภาคผนวก ค

ตาราง 3-4 กรณีการทดลองและระยะเวลาในการทดลอง กรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที

กรณี		n1				n2		n3	
n	h	g	t	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)	ชื่อกรณี	เวลา(นาที)
q3	h1	g0	t1	q3n1h1g0t1	10	q3n2h1g0t1	10	q3n3h1g0t1	10
			t2	q3n1h1g0t2	20	q3n2h1g0t2	20	q3n3h1g0t2	20
			t3	q3n1h1g0t3	30	q3n2h1g0t3	30	q3n3h1g0t3	30
		g1	t1	q3n1h1g1t1	10	q3n2h1g1t1	10	q3n3h1g1t1	10
			t2	q3n1h1g1t2	20	q3n2h1g1t2	20	q3n3h1g1t2	20
			t3	q3n1h1g1t3	30	q3n2h1g1t3	30	q3n3h1g1t3	30
		g2	t1	q3n1h1g2t1	10	q3n2h1g2t1	10	q3n3h1g2t1	10
			t2	q3n1h1g2t2	20	q3n2h1g2t2	20	q3n3h1g2t2	20
			t3	q3n1h1g2t3	30	q3n2h1g2t3	30	q3n3h1g2t3	30
		g3	t1	q3n1h1g3t1	10	q3n2h1g3t1	10	q3n3h1g3t1	10
			t2	q3n1h1g3t2	20	q3n2h1g3t2	20	q3n3h1g3t2	20
			t3	q3n1h1g3t3	30	q3n2h1g3t3	30	q3n3h1g3t3	30
	h2	g0	t4	q3n1h2g0t1	20	q3n2h2g0t1	20	q3n3h2g0t1	20
			t5	q3n1h2g0t2	40	q3n2h2g0t2	40	q3n3h2g0t2	40
			t6	q3n1h2g0t3	60	q3n2h2g0t3	60	q3n3h2g0t3	60
		g1	t4	q3n1h2g1t4	20	q3n2h2g1t4	20	q3n3h2g1t4	20
			t5	q3n1h2g1t5	40	q3n2h2g1t5	40	q3n3h2g1t5	40
			t6	q3n1h2g1t6	60	q3n2h2g1t6	60	q3n3h2g1t6	60
		g2	t4	q3n1h2g2t4	20	q3n2h2g2t4	20	q3n3h2g2t4	20
			t5	q3n1h2g2t5	40	q3n2h2g2t5	40	q3n3h2g2t5	40
			t6	q3n1h2g2t6	60	q3n2h2g2t6	60	q3n3h2g2t6	60
		g3	t4	q3n1h2g3t4	20	q3n2h2g3t4	20	q3n3h2g3t4	20
			t5	q3n1h2g3t5	40	q3n2h2g3t5	40	q3n3h2g3t5	40
			t6	q3n1h2g3t6	60	q3n2h2g3t6	60	q3n3h2g3t6	60
	h3	g0	t7	q3n1h3g0t7	30	q3n2h3g0t7	30	q3n3h3g0t7	30
			t8	q3n1h3g0t8	60	q3n2h3g0t8	60	q3n3h3g0t8	60
			t9	q3n1h3g0t9	90	q3n2h3g0t9	90	q3n3h3g0t9	90
g1		t7	q3n1h3g1t7	30	q3n2h3g1t7	30	q3n3h3g1t7	30	
		t8	q3n1h3g1t8	60	q3n2h3g1t8	60	q3n3h3g1t8	60	
		t9	q3n1h3g1t9	90	q3n2h3g1t9	90	q3n3h3g1t9	90	
g2		t7	q3n1h3g2t7	30	q3n2h3g2t7	30	q3n3h3g2t7	30	
		t8	q3n1h3g2t8	60	q3n2h3g2t8	60	q3n3h3g2t8	60	
		t9	q3n1h3g2t9	90	q3n2h3g2t9	90	q3n3h3g2t9	90	
g3		t7	q3n1h3g3t7	30	q3n2h3g3t7	30	q3n3h3g3t7	30	
		t8	q3n1h3g3t8	60	q3n2h3g3t8	60	q3n3h3g3t8	60	
		t9	q3n1h3g3t9	90	q3n2h3g3t9	90	q3n3h3g3t9	90	

หมายเหตุ

- 1) n1,n2,n3 = ค่า สปส.ความขรุขระแมนนิ่งของพลาสติก = 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ
- 2) q3 = อัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที
- 3) h1,h2,h3 = การแทนที่น้ำของถัง 9 18 และ 27 ซม. ตามลำดับ
- 4) g0, g1, g2, g3 = ปิดบาน เปิดบาน 1.7 ซม. เปิดบาน 3.4 ซม. และเปิดบานหมด ตามลำดับ
- 5) t1-t9 ขึ้นอยู่กับความลึกการแทนที่น้ำของถังและความเร็วของการแทนที่น้ำ ค่า h และ t แสดงในภาคผนวก ง

บทที่ 4

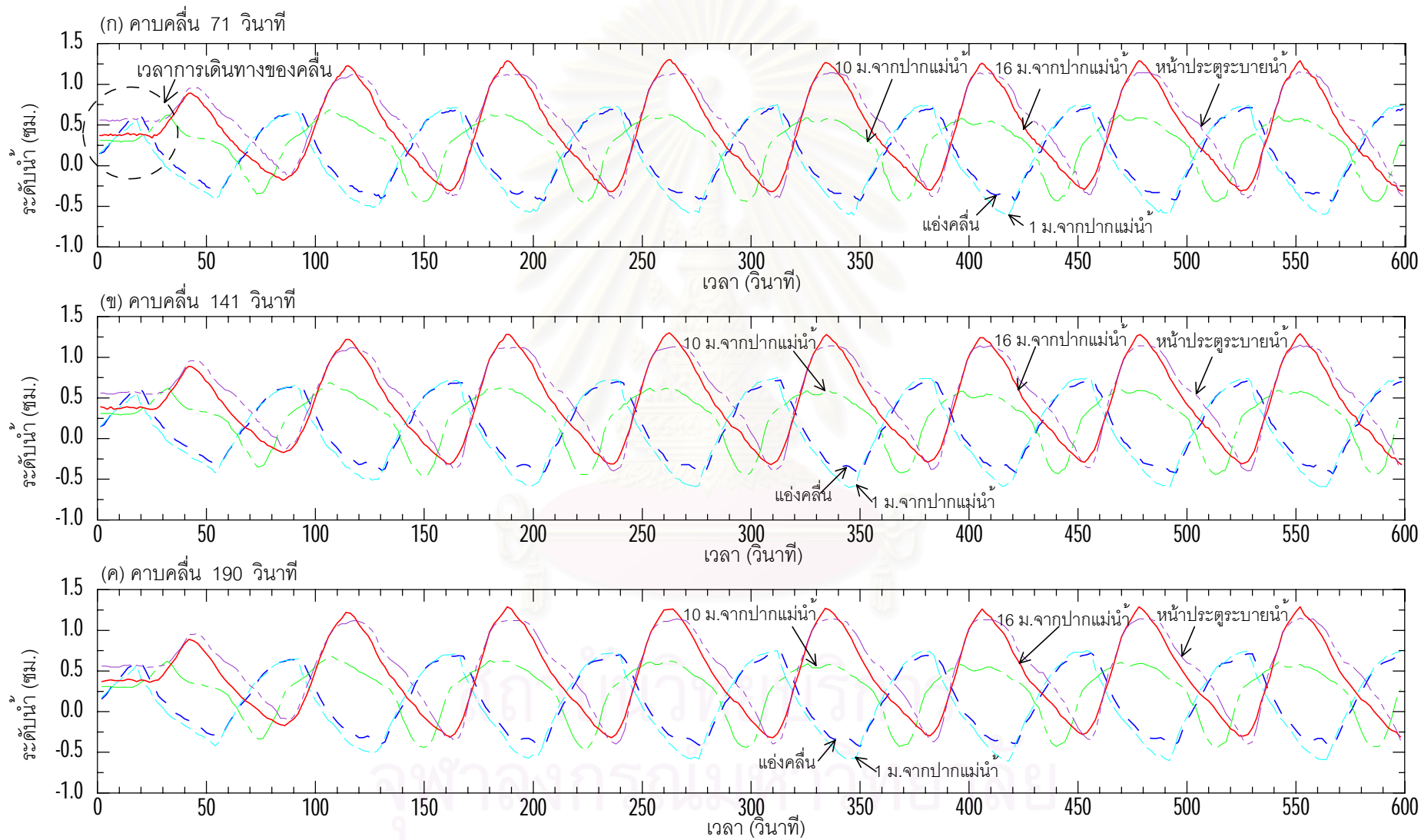
แนวทางและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษานี้ได้สร้างแบบจำลองกายภาพ เพื่อศึกษาผลกระทบของประตูประบายน้ำต่อระดับน้ำด้านท้ายประตูประบายน้ำที่เปลี่ยนไป เมื่อการติดตั้งประตูประบายน้ำได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงภายใต้เงื่อนไขการทดลองได้แก่ อัตราการไหล ระยะการเปิด-ปิดบานประตูประบายน้ำ วัสดุท้องน้ำ ระยะการแทนที่น้ำและคาบคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ดังแสดงในบทที่ 3 จากการทดลองทั้งหมด 270 กรณีการศึกษา โดยมีลักษณะการไหลเป็นการไหลลอดผ่านบานประตูประบายน้ำบานตรงแบบจมน้ำ (submerged flow) มีค่าฟรูด (Froude Number) ต่ำสุด-สูงสุดอยู่ระหว่าง 0.02-0.15 ซึ่งสภาพการไหลทั้งหมดเป็นการไหลต่ำกว่าวิกฤติ

4.1 ลักษณะข้อมูลจากการบันทึก

ลักษณะข้อมูลจากการบันทึกด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Labtech Notebook Pro โดยรับสัญญาณจากเครื่องมือวัดความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ ในแม่น้ำทั้งหมด 5 ตำแหน่ง ได้แก่ การติดตั้งในแอ่งคลื่น ตำแหน่ง 1 เมตรจากปากแม่น้ำ ตำแหน่ง 10 เมตรจากปากแม่น้ำ ตำแหน่ง 16 เมตรจากปากแม่น้ำและหน้าประตูประบายน้ำ ข้อมูลที่บันทึกเป็นข้อมูลระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ค่าระดับน้ำที่บันทึกเป็นค่าระดับน้ำเทียบกับค่าระดับน้ำอ้างอิงที่ตำแหน่งนั้นๆ โดยมีระยะเวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละการทดลองตั้งแต่ 10-90 นาที ขึ้นอยู่กับระยะการแทนที่น้ำและความเร็วของการแทนที่น้ำ โดยกำหนดการเก็บจำนวนข้อมูลคลื่นทั้งหมด 8 ลูกคลื่น ความถี่ในการบันทึกข้อมูล 4 Hz หรือ 4 ครั้งต่อวินาที ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการบันทึกดังรูป 4-1 ซึ่งเป็นกรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ 0.0201 ระยะการเปิดบาน 3.4 ซม. ระยะการแทนที่น้ำ 9 ซม. ที่คาบคลื่น 71 141 และ 190 วินาที

จากรูป 4-1 จะเห็นว่ากราฟข้อมูลคลื่นมีคลื่นอื่นแทรกอยู่ด้วย ทำให้คลื่นที่ได้เป็นคลื่นแบบหลายฮาร์มอนิกหรือคลื่นไม่สม่ำเสมอ ในการบันทึกข้อมูลได้ทำการบันทึกข้อมูลทั้ง 5 ตำแหน่งพร้อมกัน และเริ่มการบันทึกพร้อมกับการสร้างคลื่นลูกแรก พบว่าช่วงแรกๆ คลื่นมีการพัฒนารูปแบบขึ้นไปเรื่อยๆ จนมีรูปแบบที่ค่อนข้างคงที่โดยมีเวลาของการเกิดคลื่นหรือเวลาการเดินทางของคลื่นไปที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความลึกของแม่น้ำถัดกันไปตามลำดับ คือ การเกิดคลื่นเริ่มจากที่แอ่งคลื่น แล้วเดินทางไปทีระยะ 1 เมตร 10 เมตร 16 เมตร และหน้าประตูประบายน้ำตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องสร้างคลื่นจำนวนหลายลูก เพื่อให้คลื่นมีรูปแบบแน่นอน แล้วนำคลื่นที่มีรูปแบบแน่นอนนี้มาใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป ในการทดลองครั้งนี้เลือกสร้างคลื่นจำนวน 8 ลูกคลื่น ซึ่งจากการทดลองพบว่า คลื่นตั้งแต่ลูกที่ 4 เป็นต้นไปมีรูปแบบค่อนข้างแน่นอนสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้



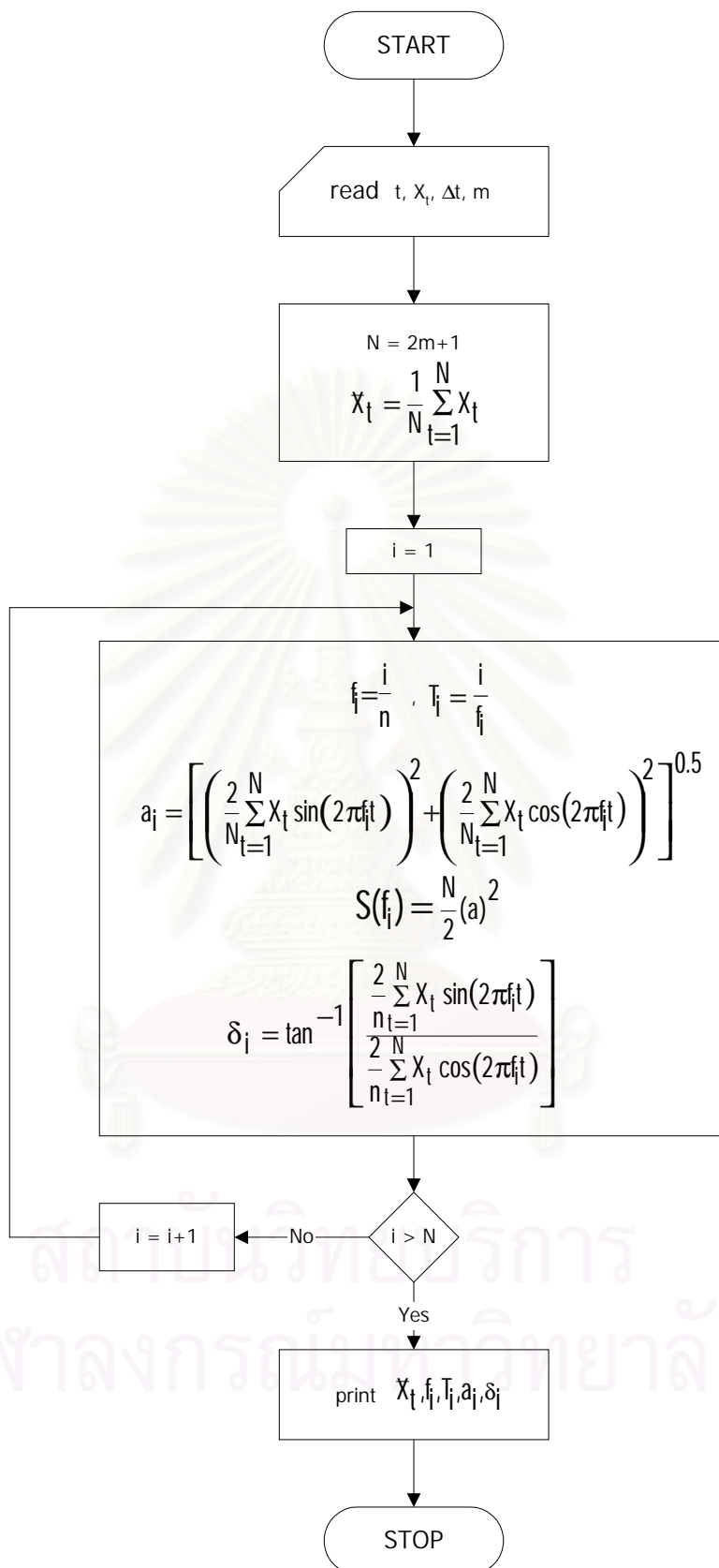
รูป 4-1 ตัวอย่างผลจากการบันทึกระดับน้ำด้วยเครื่องมือวัดความสูงคลื่น กรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที $n=0.0201$ ระยะการเปิดบาน 3.4 ซม. การแทนที่น้ำ 9 ซม.

4.2 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม

การวิเคราะห์สเปกตรัมเป็นวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลวงจร ปัจจุบันนำมาใช้ในการวิเคราะห์คลื่นในทะเล ข้อมูลวงจรทางอุทกวิทยา โดยมีแผนผังการวิเคราะห์สเปกตรัม ดังรูป 4-2 เนื่องจากคลื่นที่ได้จากการทดลองเป็นคลื่นไม่สม่ำเสมอ จึงได้นำการวิเคราะห์สเปกตรัมมาใช้ในการแยกคลื่นที่มีนัยสำคัญ และตั้งสมมติฐานว่าการที่คลื่นมีลักษณะเช่นนั้น อาจเกิดจากการสอดแทรกของคลื่น(noise) ในธรรมชาติในอาคารปฏิบัติการและเครื่องมือวัดความสูงคลื่น เช่น การสั่นสะเทือนของพื้นดิน การรับสัญญาณคลื่นไฟฟ้าของเครื่องมือวัดความสูงคลื่น และการสั่นของชุดเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐาน โดยการเก็บข้อมูลระดับน้ำกรณีน้ำนิ่งที่ไม่มีอิทธิพล และการเก็บข้อมูลระดับน้ำในแอ่งคลื่น ที่ทำการปิดปากแม่น้ำไม่ให้น้ำไหลเข้าไปในแม่น้ำ แล้วสร้างน้ำขึ้นน้ำลงจากชุดเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อพิจารณาลักษณะของคลื่นที่เกิดขึ้น ดังรูป 4-3 ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมพบว่า คลื่นแทรกที่ปรากฏอยู่ในข้อมูลเหล่านี้ ซึ่งอาจเกิดจากการสั่นสะเทือนของพื้นดิน เครื่องมือวัดความสูงคลื่น และเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับคลื่นที่สนใจศึกษา จึงถือได้ว่าไม่มีนัยสำคัญในการทดลอง

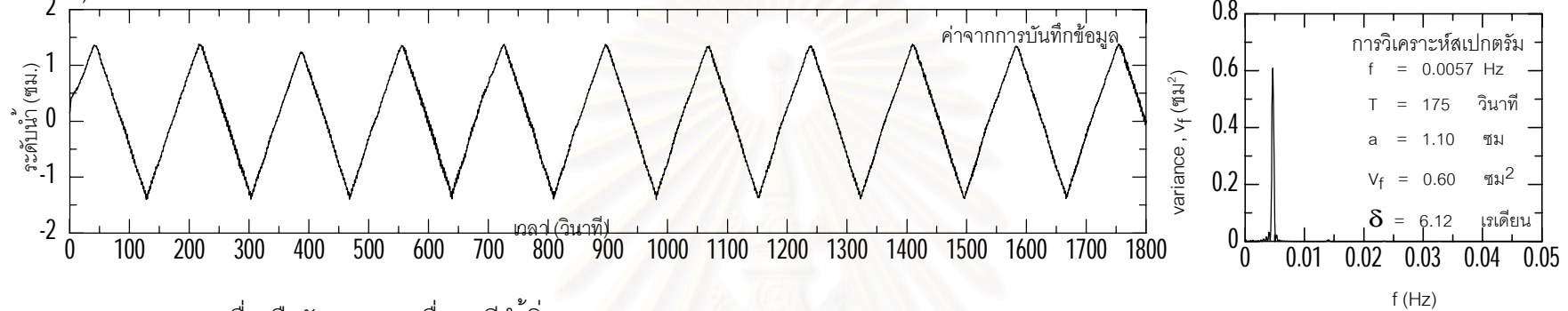
สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมของข้อมูลคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่บันทึกในการทดลอง โดยที่คลื่นมีการพัฒนารูปแบบตามเวลาจนมีรูปแบบที่แน่นอนดังกล่าวแล้วในหัวข้อ 4.1 ในการวิเคราะห์สเปกตรัมจึงเลือกเฉพาะคลื่นที่มีรูปแบบแน่นอนมาใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนใหญ่เลือกใช้คลื่น 4 ลูกสุดท้ายของการเก็บบันทึก(ลูกที่ 5-8) แต่ในบางกรณีไม่สามารถใช้คลื่น 4 ลูกสุดท้ายได้ทั้งหมด เนื่องจากความผิดพลาดในการในการทดลอง เช่น การปล่อยระยะเวลาแทนที่น้ำของถังเกินระยะที่กำหนด ดังรูป 4.4 ทำให้ไม่สามารถนำคลื่นตั้งแต่ลูกที่ทดลองผิดพลาดเป็นต้นไปมาใช้ได้ จึงเลือกพิจารณาคลื่นที่มีรูปแบบลูกที่เหลือแทน

ตัวอย่างผลการวิเคราะห์สเปกตรัมที่ตำแหน่งแอ่งคลื่น กรณีปิดบาน ไม่มีอิทธิพลจากไหล ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ = 0.0201 คาบคลื่น 600 วินาทีและการแทนที่น้ำ 27 ซม. ดังรูป 4-5 จะเห็นว่า รูป 4-5 (ก) เป็นการวัดระดับน้ำในแอ่งคลื่น พบว่ามีความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ แต่มีความสูงคลื่นค่อนข้างคงที่ จึงทำการเลือกข้อมูลและวิเคราะห์สเปกตรัม ดังรูป 4-5 (ข) จะเห็นว่า ความสูงคลื่นที่มีนัยสำคัญมีความเด่นชัดกว่าคลื่นอื่นๆ โดยที่คลื่นอื่นๆนี้เป็นคลื่นที่มีขนาดเล็กมากและมีความถี่แตกต่างกันออกไป เมื่อเปรียบเทียบคาบคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมกับคาบคลื่นที่สร้างขึ้นในการทดลองพบว่าใกล้เคียงกัน จึงสามารถเลือกคลื่นลูกนี้เป็นคลื่นที่มีนัยสำคัญและนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ แต่ผลจากการวิเคราะห์สเปกตรัมทำให้ขนาดของความสูงคลื่นลดลง ดังรูป 4-5 (ค) จะเห็นได้ว่า การแยกคลื่นโดยวิธีการวิเคราะห์สเปกตรัมในการศึกษานี้มีผลต่อขนาดความสูงคลื่น โดยทำให้ความสูงคลื่นลดลง สาเหตุหนึ่งอาจเนื่องมาจากการสร้างคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ใช้กระบวนการแทนที่น้ำแบบยกขึ้น-กดลงต่อเนื่องกันไป โดยไม่ได้ใช้ลักษณะการเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบวงกลม ทำให้คลื่นไม่เป็น

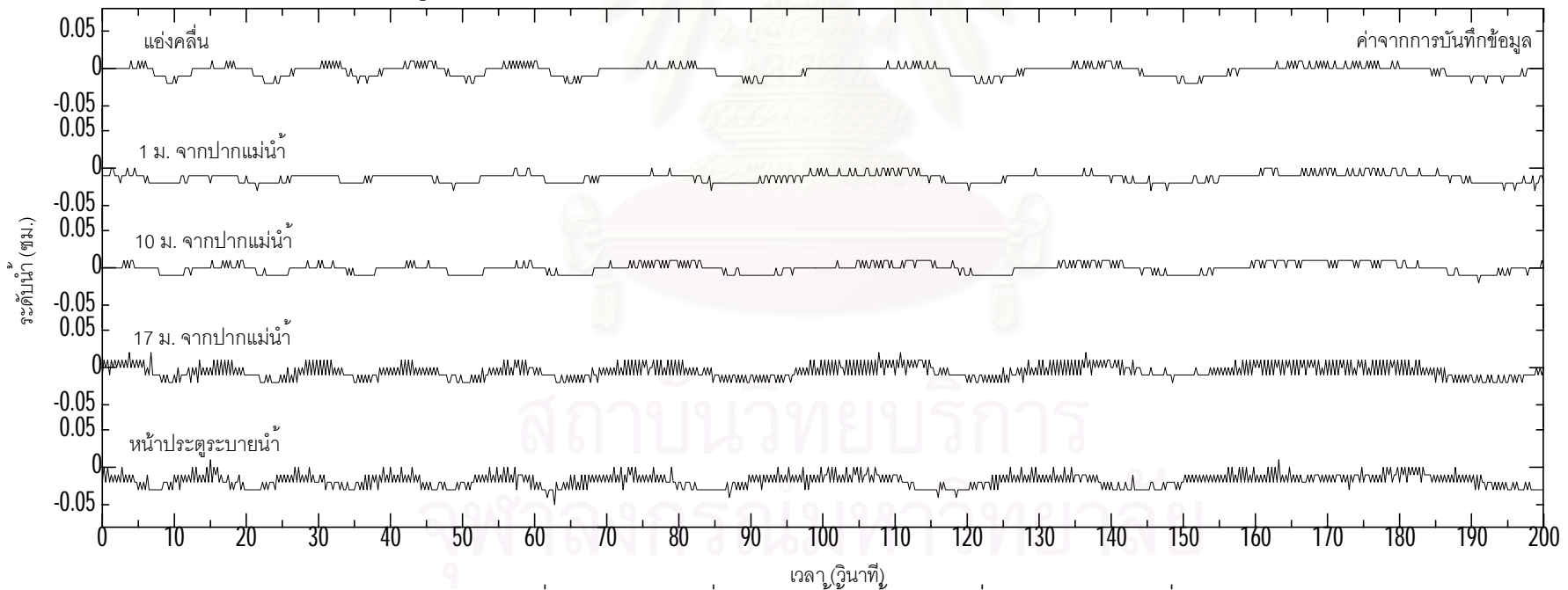


รูป 4-2 ผังการวิเคราะห์สเปกตรัม

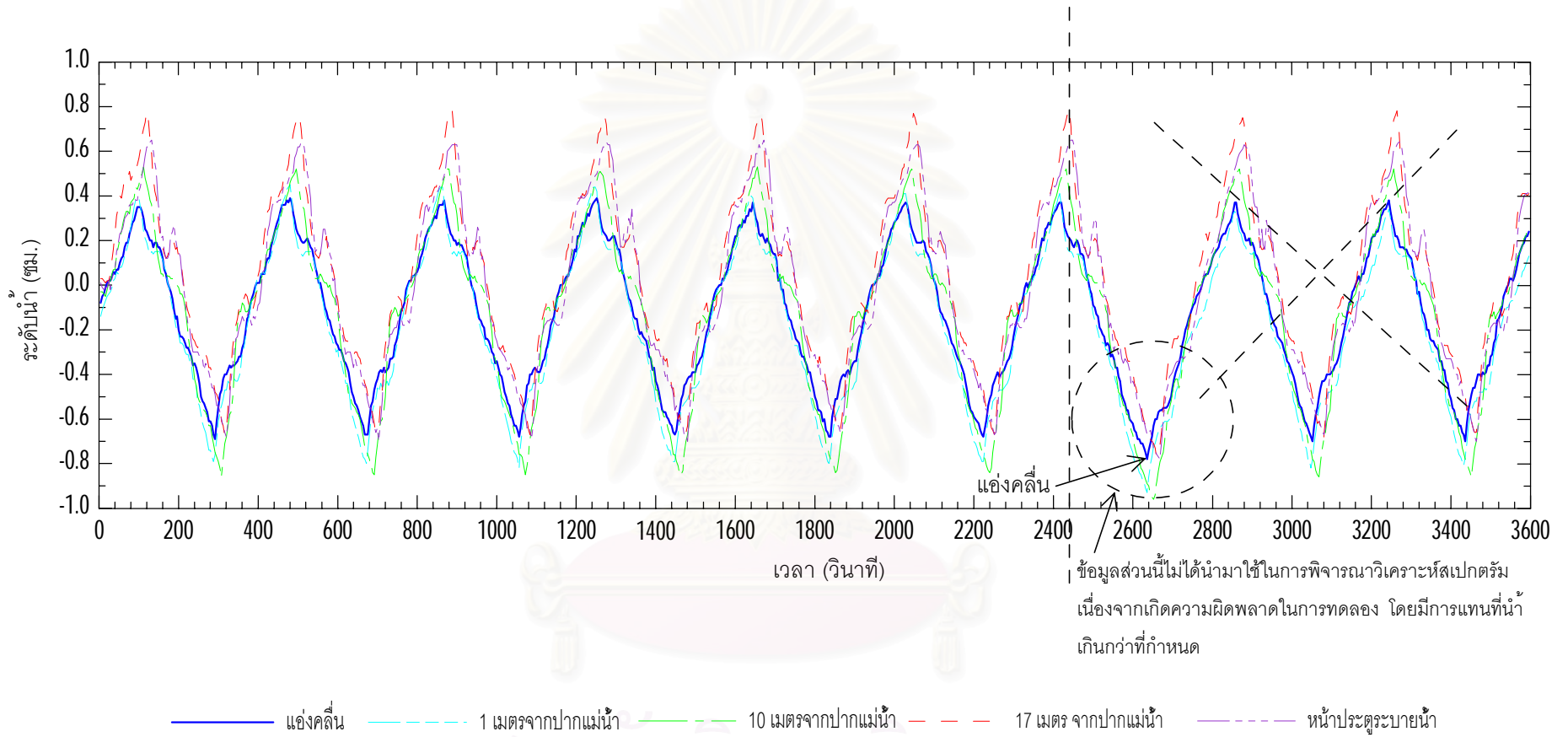
ก) การทดสอบเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง



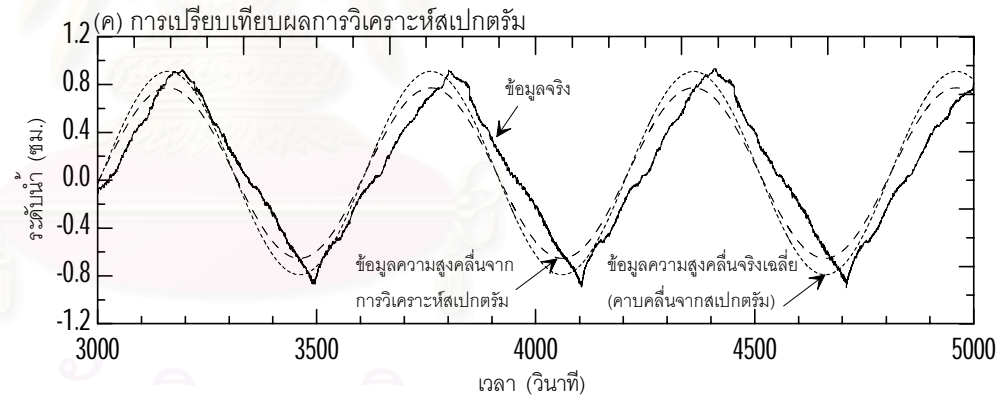
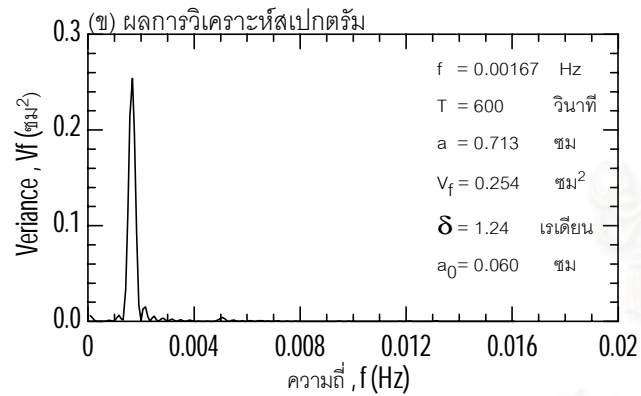
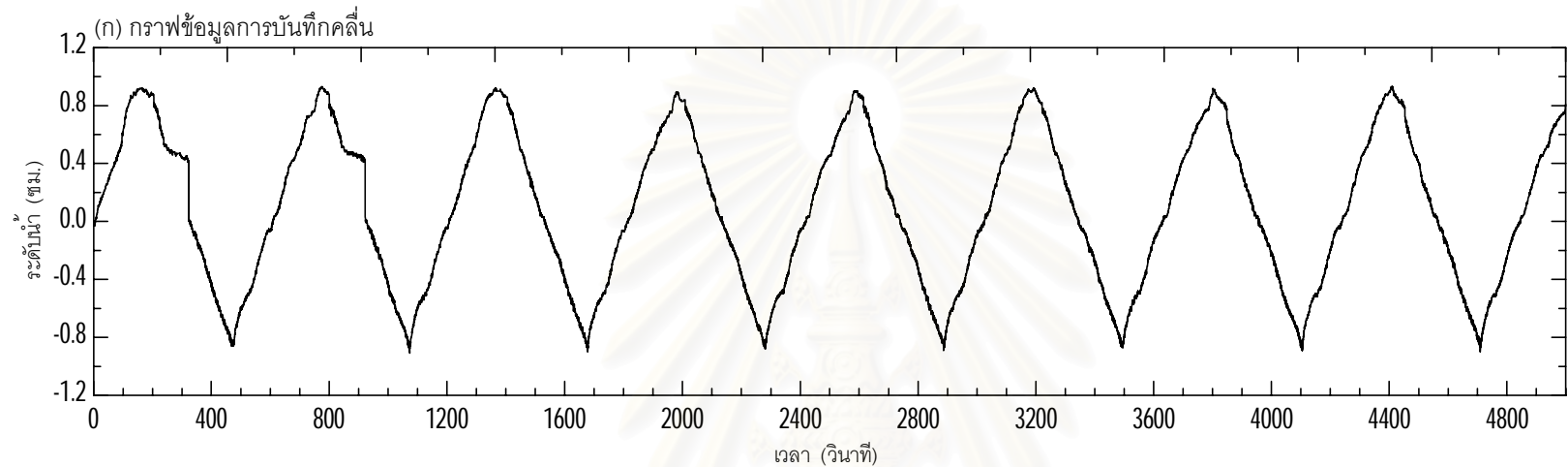
ข) การทดสอบเครื่องมือวัดความสูงคลื่นกรณีน้ำนิ่ง



รูป 4-3 การทดสอบคลื่นแทรกจากชุดเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลงและเครื่องมือวัดความสูงคลื่น



รูป 4-4 ความผิดพลาดเนื่องจากการทดลองพิจารณาตัดข้อมูลตั้งแต่ส่วนที่ผิดพลาดออก



รูป 4-5 ตัวอย่างการวิเคราะห์หส์เปกตรัม ตำแหน่งแอ่งคลื่น กรณีปิดบาน (ไม่มีอัตราการไหล)
 $n = 0.0211$ การแทนที่น้ำ 27 ซม คาบคลื่น 600 วินาที

คลื่นแบบฮาร์โมนิก (simple harmonic) ดังรูป 4-3 (ก) แต่การวิเคราะห์ฮาร์โมนิกเป็นการวิเคราะห์คลื่นแบบฟังก์ชันไซน์ (sine function) ซึ่งมียอดคลื่นโค้งมนเป็นรูปไซน์ ดังนั้นยอดคลื่นจึงไม่สูงเท่ายอดคลื่นที่ได้จากการทดลอง ทำให้ความสูงคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมน้อยกว่าความสูงคลื่นที่ได้จากการวัด

ดังนั้นในการพิจารณาความสูงคลื่นที่จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป จึงเลือกความสูงคลื่นจากระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดเฉลี่ยของคลื่น 4 ลูกสุดท้าย และใช้คาบคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัม ดังรูป 4-5 (ค) สำหรับตัวอย่างตารางการสรุปคลื่นและรายละเอียดคลื่นที่ได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมแสดงใน ตาราง 4-1 และ 4-2 สำหรับการวิเคราะห์สเปกตรัมได้เขียนเป็นโปรแกรมภาษาฟอร์แทรนช่วยในการวิเคราะห์ ดังรูป ก-4 โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลคลื่นด้วยการวิเคราะห์สเปกตรัมแสดงเป็นตารางสรุปคุณสมบัติคลื่น แสดงในตาราง ข-1 ถึง ข-3 ตาราง ค-1 ถึง ค-3 และตาราง ง-1 ถึง ง-3 สำหรับรายละเอียดคลื่นแสดงในตาราง ข-4 ถึง ข-6 ตาราง ค-4 ถึง ค-6 และตาราง ง-4 ถึง ง-6 ซึ่งจะเห็นว่า ค่าความสูงคลื่นมีขนาดไม่ตรงกันในขณะที่มีการแทนที่น้ำของกล่องเหล็กเท่ากัน ดังนั้นการกล่าวถึงกรณีความสูงคลื่นครั้งต่อไปจะทำการแทนที่น้ำแทน

4.3 การเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำของแบบจำลอง

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมและการเฉลี่ยระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดมาเขียนกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด ตามความยาวทางน้ำเปิดหรือหนึ่ง "แม่น้ำจำลอง" โดยแบ่งการพิจารณาข้อมูลในแต่ละอัตราการไหล ดังในภาคผนวก ข ค และ ง สำหรับข้อมูลหนึ่งชุดอัตราการไหล ประกอบด้วยระยะการแทนที่น้ำ คาบคลื่น วัสดุท้องน้ำและระยะการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งเป็นการพิจารณาลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้นจริงในการทดลอง เพื่อสังเกตพฤติกรรมที่เกิดขึ้นและใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ต่อไป โดยระยะทางต่างๆที่จะกล่าวต่อไปจะเป็นระยะทางที่เทียบกับปากแม่น้ำ

ในกรณีการแทนที่น้ำในอ่างคลื่นหรือหนึ่ง "ทะเลจำลอง" แบ่งออกเป็น การแทนที่น้ำ 9 ซม. 18 ซม. และ 27 ซม. มีคาบคลื่นเปลี่ยนแปลงตามระยะการแทนที่น้ำ โดยระยะการแทนที่น้ำ 9 ซม. เป็นช่วงของคาบคลื่นสั้นที่สุด คือ 70-200 วินาที และระยะการแทนที่น้ำที่สูงขึ้นจะมีคาบคลื่นที่ยาวขึ้น เมื่อนำค่าระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดมาเขียนกราฟตามระยะทาง ซึ่งมีตัวอย่างกราฟดังรูป 4-6 จะเห็นว่า กรณีคาบคลื่นสั้นที่สุด (75 วินาที) มีความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงสูงกว่ากรณีคาบคลื่นที่ยาวกว่าตลอดความยาวแม่น้ำซึ่งมีระยะการแทนที่น้ำเท่ากัน กราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดตามระยะทางดังรูป ข-1 ถึง ข-9 รูป ค-1 ถึง ค-9 และ ง-1 ถึง ง-9

เมื่อพิจารณาระดับน้ำในอ่างคลื่นที่มีระยะการแทนที่น้ำเท่ากัน พบว่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงมีความแตกต่างกันในแต่ละคาบคลื่น และระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดก็แตกต่างกันด้วยเช่นกัน ซึ่งในการออกแบบการทดลองกำหนดให้การแทนที่น้ำเท่ากันควรมีระดับน้ำขึ้นน้ำลงเท่ากัน เช่น รูป 4-6 เมื่อคาบคลื่น

ตาราง 4-1 ตัวอย่างคุณสมบัติคลื่นกรณีน้ำตกรากไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี			แอ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากแม่น้ำ			10 ม. จากปากแม่น้ำ			16 ม. จากปากแม่น้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย d _{avg} (cm)	Fr	
			T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)			
n1	g0	h1	t1	85	0.59	6.00	85	0.77	6.00	85	1.59	5.59	85	2.10	5.16	-	-	5.34	5.58	0
			t2	141	0.66	6.06	141	0.65	6.00	141	0.69	5.62	141	0.70	5.24	-	-	5.38	5.62	0
			t3	188	0.73	6.02	188	0.75	5.95	188	0.65	5.61	188	0.89	5.24	-	-	5.33	5.60	0
		h2	t4	153	1.19	5.98	153	1.35	5.97	153	1.42	5.60	153	1.65	5.15	-	-	5.28	5.57	0
			t5	282	1.03	6.06	282	1.12	5.99	282	1.20	5.66	282	1.37	5.25	-	-	5.33	5.63	0
			t6	400	0.98	6.01	400	1.00	5.92	400	1.16	5.60	400	1.24	5.22	-	-	5.32	5.58	0
		h3	t7	235	1.39	5.97	235	1.65	6.06	235	2.18	5.53	235	2.47	5.15	-	-	5.26	5.58	0
			t8	424	1.59	6.07	424	1.77	6.06	424	1.78	5.69	424	1.93	5.26	-	-	5.33	5.67	0
			t9	600	1.59	6.04	600	1.78	6.03	600	1.71	5.66	600	1.84	5.23	-	-	5.33	5.64	0
	g1	h1	t1	75	1.22	6.01	75	1.61	5.99	71	1.71	5.58	71	2.65	5.32	75	2.26	6.00	5.63	0.024
			t2	141	0.62	6.03	141	0.61	6.08	141	0.61	5.58	141	0.88	5.30	141	1.09	5.86	5.65	0.024
			t3	188	0.70	5.96	188	0.68	6.00	188	0.55	5.50	188	0.89	5.23	188	1.09	5.75	5.58	0.024
		h2	t4	153	1.24	6.03	153	1.26	6.05	153	1.26	5.59	153	1.64	5.30	153	1.52	5.88	5.65	0.024
			t5	280	1.13	6.03	280	1.14	6.07	280	1.26	5.56	280	1.52	5.30	280	1.45	5.85	5.64	0.024
			t6	400	1.13	5.92	400	1.23	5.94	400	1.24	5.46	400	1.57	5.20	400	1.55	5.70	5.54	0.025
		h3	t7	235	1.74	6.07	235	1.81	6.10	235	2.22	5.62	235	2.69	5.34	235	2.45	5.92	5.69	0.024
			t8	424	1.69	6.03	424	1.79	6.04	424	1.78	5.55	424	2.05	5.28	424	1.97	5.77	5.62	0.024
			t9	600	1.67	5.98	600	1.86	6.00	600	1.74	5.51	600	2.02	5.26	600	2.03	5.74	5.59	0.024
	g2	h1	t1	75	1.43	6.04	75	1.83	6.02	75	1.44	5.58	75	2.51	5.29	75	2.81	5.40	5.63	0.024
			t2	141	0.62	6.05	141	0.57	6.05	141	0.57	5.60	141	0.84	5.26	141	0.76	5.33	5.64	0.024
			t3	200	0.73	6.02	200	0.75	6.01	200	0.49	5.55	200	0.86	5.20	200	0.80	5.28	5.58	0.024
		h2	t4	153	1.19	6.03	153	1.24	6.04	153	1.38	5.60	153	1.68	5.29	153	1.78	5.37	5.64	0.024
			t5	282	1.13	6.07	282	1.12	6.05	282	1.23	5.61	282	1.53	5.28	283	1.32	5.32	5.64	0.024
			t6	400	1.19	5.97	400	1.22	5.95	400	1.35	5.51	400	1.77	5.22	400	1.66	5.30	5.56	0.024
		h3	t7	235	2.01	6.05	235	2.20	6.05	235	2.36	5.61	235	2.97	5.33	235	3.00	5.42	5.67	0.024
			t8	424	1.58	6.08	424	1.73	6.07	424	1.82	5.61	424	1.98	5.29	424	1.96	5.37	5.66	0.024
			t9	600	1.69	6.05	600	1.88	6.04	600	1.74	5.58	600	2.00	5.25	600	1.88	5.33	5.62	0.024
g3	h1	t1	75	1.48	6.03	75	1.78	5.92	75	1.58	5.58	75	2.61	5.29	75	2.92	5.35	5.59	0.024	
		t2	141	0.56	5.97	141	0.55	5.98	141	0.57	5.51	141	0.88	5.19	141	0.84	5.17	5.56	0.024	
		t3	191	0.42	5.97	191	0.39	5.99	191	0.36	5.52	191	0.58	5.24	191	0.61	5.15	5.58	0.024	
	h2	t4	150	1.23	6.07	150	1.23	5.99	150	1.40	5.60	150	1.65	5.28	150	1.78	5.30	5.62	0.024	
		t5	282	1.08	6.00	282	1.12	5.96	282	1.27	5.54	282	1.56	5.21	282	1.47	5.17	5.57	0.024	
		t6	400	1.10	5.97	400	1.24	5.97	400	1.32	5.50	400	1.77	5.24	400	1.67	5.16	5.57	0.024	
	h3	t7	235	1.51	6.06	235	1.69	5.97	235	2.25	5.58	235	2.59	5.27	235	2.65	5.27	5.61	0.024	
		t8	419	1.60	6.09	419	1.71	6.00	419	1.81	5.61	419	1.98	5.27	419	2.05	5.26	5.63	0.024	
		t9	600	1.61	6.01	600	1.78	6.00	600	1.76	5.55	600	1.98	5.25	600	2.00	5.19	5.60	0.024	

หมายเหตุ 1) q1 q2 q3 = อัตราการไหล 0.30 0.052 1.20 ลิตร/วินาที ตามลำดับ

2) n1 n2 n3 = ค่า สปส. ความขรุขระ Manning ของพลาสติก = 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ

3) h1 h2 h3 = การแทนที่น้ำของถังเหล็ก 9 18 และ 27 ซม. ตามลำดับ

4) g0 g1 g2 g3 = ปิดบาน เปิดบาน 1.7 ซม. เปิดบาน 3.4 ซม. และเปิดบานหมด ตามลำดับ

5) t1-t9 ขึ้นอยู่กับความลึกการแทนที่น้ำของถังและความเร็วของการแทนที่น้ำ ค่า h และ t แสดงในภาคผนวก

ตาราง 4-2 รายละเอียดคลื่นจากการวิเคราะห์สเปกตรัม กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี			แ่งกำเนิดคลื่น				1 ม. จากปากแม่น้ำ				10 ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู				
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	
n1	g0	t1	6.011	0.012	0.016	0.070	5.989	0.012	0.042	-0.050	5.595	0.012	0.270	-1.060	5.155	0.012	0.530	-0.910	5.142	0.012	0.063	1.000	
		t2	6.071	0.007	0.023	-0.490	5.986	0.007	0.016	-0.560	5.386	0.007	0.045	-0.380	5.231	0.007	0.048	-0.310	5.142	0.007	0.088	0.990	
		t3	6.030	0.005	0.029	2.290	5.940	0.005	0.023	2.200	5.618	0.005	0.046	2.550	5.236	0.005	0.037	2.960	5.142	0.005	0.056	0.990	
	g1	t1	6.006	0.014	0.205	1.050	5.994	0.013	0.336	0.860	5.584	0.013	0.269	0.090	5.315	0.013	0.717	0.310	6.000	0.001	1.205	1.130	
		t2	6.032	0.007	0.018	-0.020	6.084	0.000	0.029	1.040	5.577	0.007	0.042	0.310	5.299	0.007	0.097	0.270	5.864	0.000	0.832	1.020	
		t3	5.960	0.005	0.019	-0.160	6.005	0.005	0.017	-0.220	5.496	0.005	0.025	0.080	5.230	0.005	0.051	-0.100	5.749	0.000	0.591	1.030	
	g2	t1	6.035	0.015	0.202	0.220	6.022	0.015	0.308	0.170	5.582	0.015	0.084	-0.270	5.287	0.015	0.495	-0.400	5.401	0.015	0.633	0.000	
		t2	6.050	0.007	0.019	0.240	6.052	0.000	0.017	1.120	5.596	0.007	0.043	0.590	5.257	0.007	0.098	0.500	5.328	0.007	0.096	0.580	
		t3	6.015	0.005	0.023	0.950	6.008	0.005	0.018	10.990	5.548	0.005	0.024	1.320	5.198	0.005	0.047	-14.260	5.278	0.005	0.049	-10.720	
	g3	t1	6.030	0.015	0.209	-0.230	5.915	0.015	0.288	-0.320	5.579	0.015	0.097	-0.320	5.291	0.015	0.492	-0.530	5.353	0.015	0.652	-0.550	
		t2	5.975	0.007	0.011	-0.960	5.977	0.007	0.010	-0.490	5.512	0.007	0.036	-1.040	5.190	0.007	0.083	-0.430	5.168	0.007	0.083	-0.470	
		t3	5.971	0.005	0.018	1.700	5.989	0.006	0.017	-6.270	5.518	0.005	0.025	2.770	5.245	0.005	0.048	2.250	5.153	0.005	0.049	2.320	
	h2	g0	t4	5.996	0.007	0.076	-4.840	5.958	0.007	0.074	-7.150	5.602	0.007	0.196	-4.010	5.138	0.007	0.173	-2.900	5.284	0.007	0.032	1.030
			t5	6.074	0.004	0.106	0.600	5.984	0.004	0.108	0.590	5.666	0.004	0.136	0.650	5.243	0.004	0.128	0.660	5.325	0.004	0.054	0.970
			t6	6.020	0.003	0.010	2.110	5.914	0.003	0.102	2.160	5.604	0.003	0.113	2.220	5.215	0.003	0.104	2.280	5.316	0.003	0.049	1.080
		g1	t4	6.025	0.007	0.071	-1.110	6.046	0.006	0.063	-0.670	5.590	0.007	0.141	-0.760	5.304	0.006	0.233	-8.380	5.876	0.000	0.873	0.950
			t5	6.030	0.004	0.091	-1.010	6.072	0.004	0.090	-1.000	5.564	0.004	0.093	-0.700	5.295	0.004	0.135	-0.810	5.855	0.000	0.817	1.060
			t6	5.923	0.003	0.099	1.890	5.941	0.003	0.104	1.770	5.461	0.003	0.091	2.510	5.204	0.003	0.131	2.070	5.696	0.000	0.510	1.020
		g2	t4	6.030	0.007	0.070	-1.390	6.038	0.007	0.063	-1.620	5.599	0.007	0.153	-0.910	5.294	0.007	0.246	-0.970	5.371	0.007	0.279	0.920
			t5	6.068	0.004	0.095	-0.560	6.046	0.004	0.091	-0.590	5.607	0.004	0.099	-0.350	5.275	0.004	0.149	-0.430	5.325	0.004	0.131	-0.380
			t6	5.972	0.003	0.105	0.400	5.948	0.003	0.107	0.380	5.514	0.003	0.095	0.520	5.222	0.003	0.138	2.490	5.298	0.003	0.160	2.490
		g3	t4	6.072	0.006	0.065	-1.800	5.986	0.006	0.057	-2.350	5.601	0.006	0.149	-1.140	5.278	0.006	0.235	-1.110	5.300	0.006	0.278	-1.100
			t5	5.995	0.004	0.086	-0.420	5.962	0.004	0.097	-0.440	5.535	0.004	0.101	-0.270	5.212	0.004	0.149	-0.310	5.173	0.004	0.145	-0.270
			t6	5.971	0.003	0.095	2.070	5.966	0.003	0.104	1.940	5.501	0.003	0.094	2.630	5.236	0.003	0.132	2.210	5.164	0.003	0.143	2.340
h3	g0	t7	5.983	0.004	1.818	-0.200	6.052	0.004	0.295	-0.230	5.534	0.004	0.237	-0.270	5.142	0.004	0.282	-0.150	5.263	0.004	0.023	0.940	
		t8	6.078	0.002	0.224	0.770	6.053	0.002	0.300	0.720	5.695	0.002	0.299	0.790	5.257	0.002	0.262	0.780	5.329	0.002	0.055	0.930	
		t9	6.050	0.002	0.205	-2.700	6.017	0.002	0.290	-3.180	5.664	0.002	0.254	-2.440	5.224	0.002	0.223	-2.600	5.331	0.017	0.067	-0.140	
	g1	t7	6.075	0.004	0.196	-0.270	6.099	0.004	0.180	-0.320	5.622	0.004	0.228	-0.150	5.341	0.004	0.290	-1.420	5.921	0.000	0.979	1.030	
		t8	6.032	0.002	0.264	0.860	6.041	0.003	0.280	0.830	5.546	0.002	0.253	1.030	5.279	0.002	0.341	0.950	5.770	0.000	0.619	0.890	
		t9	5.977	0.002	0.224	0.250	6.000	0.002	0.259	0.220	5.514	0.002	0.224	0.340	5.264	0.002	0.294	0.280	5.742	0.000	0.583	0.940	
	g2	t7	6.054	0.004	0.212	-0.660	6.053	0.004	0.223	-0.750	5.612	0.004	0.234	-0.510	5.335	0.004	0.276	-0.590	5.420	0.004	0.322	-3.560	
		t8	6.077	0.002	0.198	-0.680	6.073	0.002	0.230	-0.700	5.607	0.002	0.202	-0.560	5.294	0.024	0.259	-0.610	5.366	0.002	0.283	-0.550	
		t9	6.047	0.002	0.236	-0.680	6.037	0.002	0.263	-0.700	5.577	0.002	0.227	-0.570	5.250	0.002	0.289	-0.650	5.333	0.002	0.293	-0.580	
g3	t7	6.061	0.004	0.211	4.090	5.966	0.004	0.236	3.130	5.581	0.004	0.250	5.930	5.269	0.004	0.300	5.640	5.275	0.004	0.326	5.720		
	t8	6.090	0.002	0.220	0.780	6.002	0.002	0.254	0.740	5.609	0.002	0.231	0.880	5.269	0.002	0.277	7.680	5.258	0.002	0.303	0.970		
	t9	6.006	0.002	0.221	1.120	5.995	0.002	0.263	1.070	5.546	0.002	0.228	1.270	5.249	0.002	0.281	1.180	5.187	0.002	0.288	1.330		

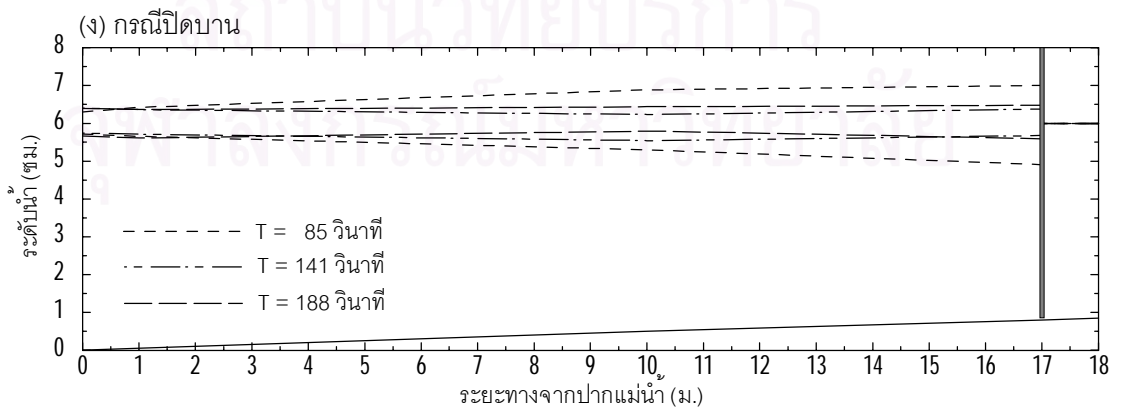
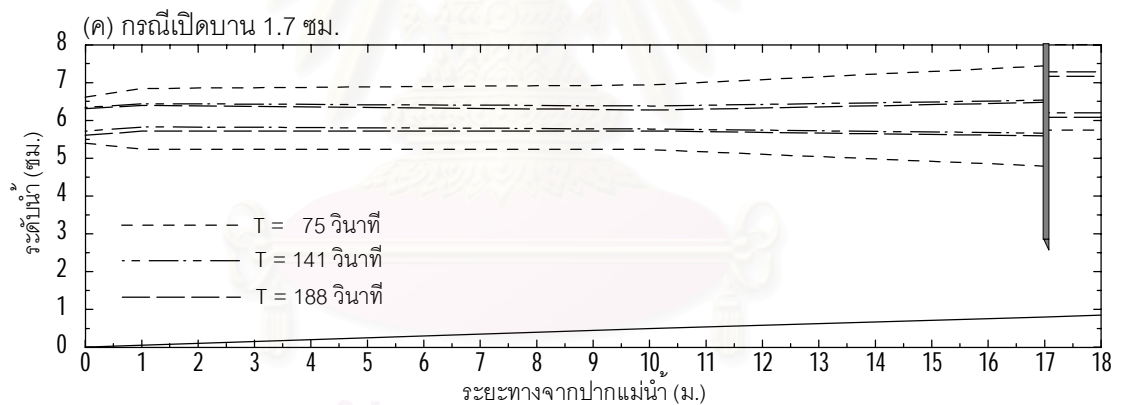
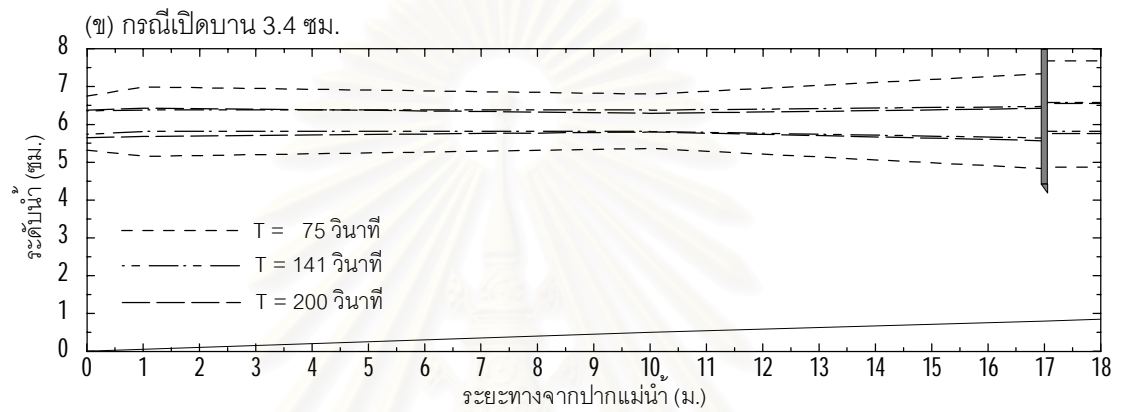
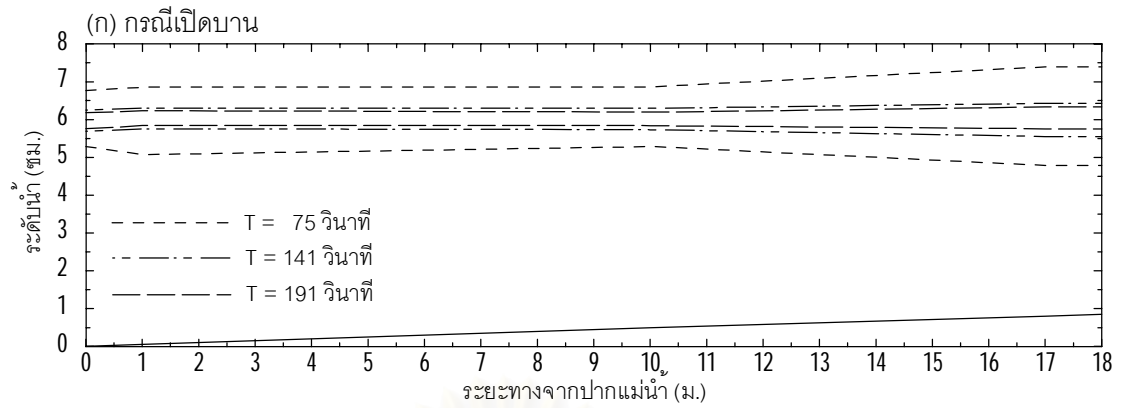
หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน



รูป 4-6 ตัวอย่างกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.

สั้นที่สุด(75 วินาที) และมีการแทนที่น้ำ 9 ซม. ปรากฏว่าค่าระดับน้ำขึ้นน้ำลงในแอ่งคลื่นมีค่าสูงกว่าค่าระดับน้ำจากการแทนที่จริง (กำหนดให้การแทนที่น้ำ 9 ซม. มีระดับน้ำสูงขึ้น 0.5 ซม.) ประมาณ 2 เท่า ส่วนในกรณีคาบคลื่นที่ยาวกว่า ค่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในแอ่งคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับค่าระดับน้ำจากการแทนที่น้ำทุกระยะการแทนที่น้ำ

การพิจารณาความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในกรณีน้ำในแอ่งคลื่นไหลเข้าไปในแม่น้ำ โดยพิจารณาเฉพาะระดับน้ำในแอ่งคลื่นกับที่ระยะ 1 เมตร พบว่า เมื่อกรณีคาบคลื่นสั้นที่สุด (75 วินาที) ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงระหว่างแอ่งคลื่นกับที่ระยะ 1 เมตรมีความแตกต่างกัน โดยที่ระดับน้ำที่ระยะ 1 เมตรส่วนใหญ่มีระดับน้ำสูงสุดสูงกว่าและระดับน้ำต่ำสุดต่ำกว่าในแอ่งคลื่น ทั้งนี้อาจเนื่องจากคุณสมบัติคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าไปในแม่น้ำซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้รูปแบบของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงเปลี่ยนแปลง สำหรับความแตกต่างของระดับน้ำที่เกิดขึ้นนี้ ควรจะเกิดที่ตำแหน่งทางเข้าแม่น้ำกับแอ่งคลื่น (ระยะ 0 เมตร) แต่เนื่องจากในการทดลองนี้ได้ติดตั้งเครื่องมือไว้ที่แอ่งคลื่นและที่ระยะ 1 เมตร ดังนั้นระดับน้ำระหว่างช่วงจึงได้จากการลากเส้นต่อของ 2 ตำแหน่งนี้ ทำให้ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่ระยะ 1 เมตร มีลักษณะเปลี่ยนแปลงระดับน้ำกระทันหัน สำหรับกรณีคาบคลื่นที่มีคาบยาวมากขึ้น ค่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในแอ่งคลื่นมีค่าใกล้เคียงกับที่ระยะ 1 เมตร ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่เคลื่อนที่เข้าไปในแม่น้ำจึงค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอ

การพิจารณาค่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำ(ช่วงระยะ 10 เมตร) พบว่า กรณีคาบคลื่นสั้นที่สุดยังคงแสดงพฤติกรรมของความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงแตกต่างจากกรณีคาบคลื่นที่ยาวกว่า พบว่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงยังคงมีระดับน้ำสูงกว่าและต่ำกว่าในกรณีคาบคลื่นยาว แต่ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในบางกรณีมีค่าลดลงจากที่ระยะ 1 เมตร ส่วนในกรณีคาบคลื่นที่ยาวกว่าจะมีความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงใกล้เคียงกับที่ระยะ 1 เมตรหรือมีความแตกต่างน้อย ขึ้นอยู่กับกรณีของการทดลอง

การพิจารณาความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่ระยะ 16 เมตร (หลังบานประตูระบายน้ำ) พบว่า กรณีคาบคลื่นสั้นที่สุดจะมีความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงมากกว่าที่ระยะ 10 เมตร และมากกว่ากรณีคาบคลื่นที่ยาวกว่าทุกเงื่อนไขของการทดลองด้วย ส่วนความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงกรณีคาบคลื่นที่ยาวกว่านั้นขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการทดลอง

การพิจารณาความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงหน้าประตูระบายน้ำ(ด้านเหนือน้ำ) ยกเว้นกรณีปิดบาน พบว่ากรณีการเปิดบานหมด ค่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงมีแนวโน้มต่อเนื่องจากตำแหน่ง 16 เมตรขึ้นไป สำหรับกรณีการเปิดบานประตูระบายน้ำ 3.4 ซม. พบว่าค่าเฉลี่ยระดับน้ำด้านเหนือน้ำยกตัวสูงขึ้นกว่าที่ตำแหน่ง 16 เมตร ส่วนกรณีการเปิดบานประตูระบายน้ำ 1.7 ซม. ค่าเฉลี่ยระดับน้ำด้านเหนือน้ำยกตัวสูงขึ้นมากกว่ากรณีการเปิดบานประตูระบายน้ำ 3.4 ซม. ค่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงขึ้นอยู่กับกรณีการทดลอง

กล่าวโดยรวมได้ว่า จากการทดลองในกรณีคาบคลื่นสั้นที่สุด พฤติกรรมของความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงจะมีค่าสูงกว่าในกรณีอื่นๆ ทุกระยะที่ทำการวัดและทุกกรณีการทดลอง โดยกรณีคาบคลื่นยาวจะมีความสูงคลื่นใกล้เคียงกันในแต่ละระยะการแทนที่น้ำ และมีพฤติกรรมเช่นนี้ในทุกกรณีเงื่อนไขการทดลอง

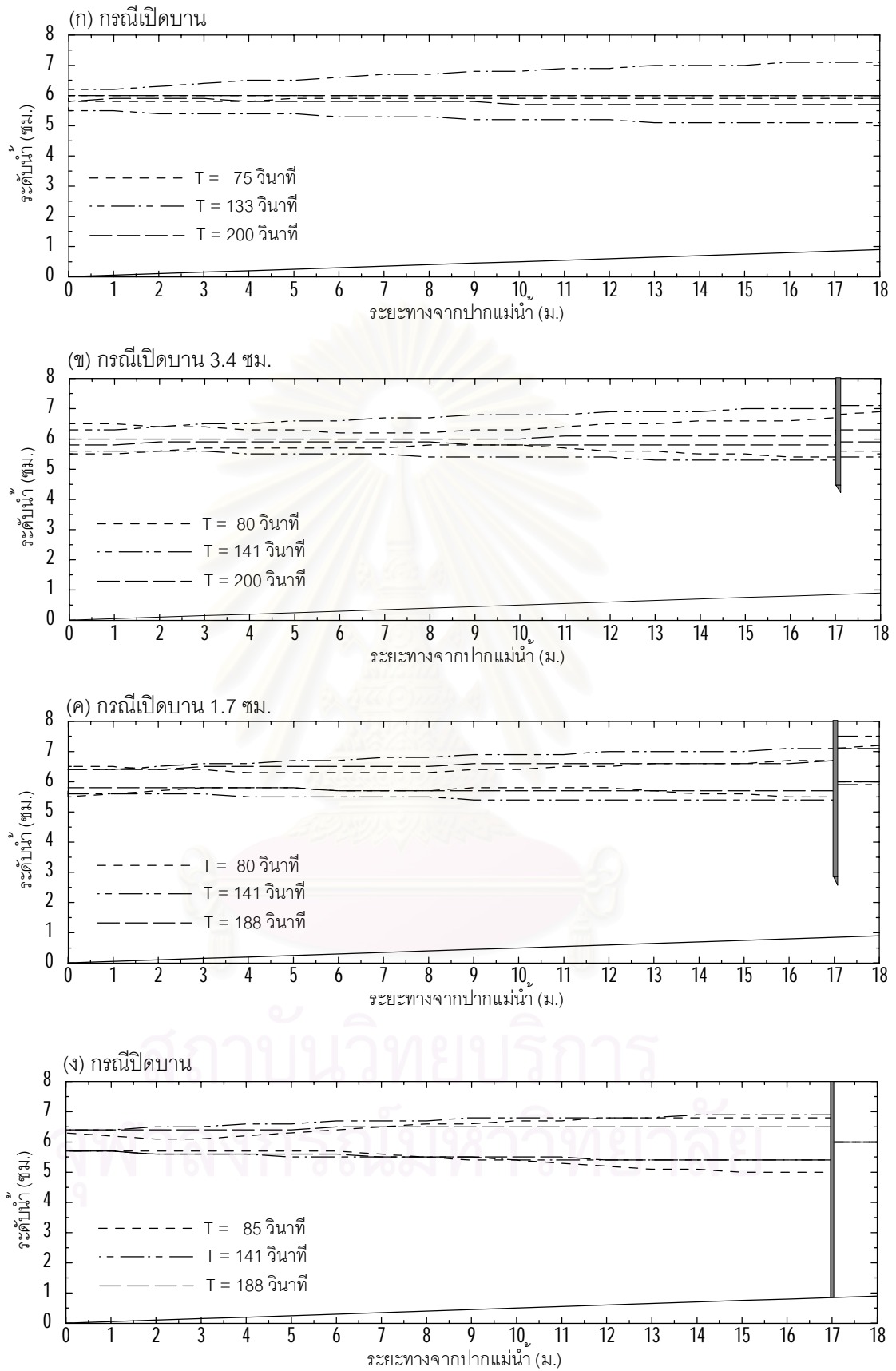
4.4 การเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในแม่น้ำของโปรแกรม ISIS

การใส่ข้อมูลในโปรแกรม ISIS ข้อมูลที่ใส่ในโปรแกรม ISIS เป็นข้อมูลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์สเปกตรัมแล้ว ข้อมูลกายภาพเป็นข้อมูลตามลักษณะของแบบจำลองและข้อมูลจากการสอบเทียบ โดยการจำลองด้วยโปรแกรม ISIS ทำการจำลองที่อัตราการไหล 1 ลิตร/วินาที เนื่องจากเป็นข้อจำกัดของการป้อนข้อมูลอัตราการไหลของโปรแกรม ที่สามารถใส่อัตราการไหลได้น้อยที่สุดเพียง 1 ลิตร/วินาที และมีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองกายภาพ แต่สามารถกำหนดเงื่อนไขอื่นๆ ได้เช่นเดียวกับการทดลอง ได้แก่ ระยะการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุท้องน้ำ คาบคลื่นและระดับน้ำ

พารามิเตอร์ที่กำหนดสภาพการคำนวณ ประกอบด้วย พารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ระยะห่างระหว่างจุดการคำนวณ (Δx) และช่วงเวลาการคำนวณ (Δt) โดยกำหนดให้ค่า Δx เท่ากับ 1 เมตร และ Δt เท่ากับ 1 วินาที ได้ค่า Courant Number (CR) เท่ากับ 0.77 ซึ่งค่าที่แนะนำสำหรับ Courant Number ที่ใช้สำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์มากที่สุดไม่เกิน 1 แต่สำหรับโปรแกรม ISIS ยอมให้มีค่า CR ได้ 5-10 ตัวอย่างผลการจำลองดังรูป 4-7

สำหรับผลการจำลองด้วยโปรแกรม ISIS ดังรูป ๑-2 ถึง ๑-10 พบว่า ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงของแต่ละคาบคลื่นมีรูปแบบเฉพาะตัวสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลอง และมีลักษณะแตกต่างจากการจำลองด้วยแบบจำลองกายภาพ จากการสังเกตพบว่ากรณีที่คาบคลื่นยาวที่สุด(600 วินาที) ค่าความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากและมีระดับน้ำประมาณระดับน้ำเฉลี่ย ส่วนกรณีคาบคลื่นสั้นที่สุด(75 วินาที) มีความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงไม่สูงมากเหมือนในการทดลอง และส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับคาบคลื่นอื่นๆ

สำหรับความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่ตำแหน่งหลังประตูระบายน้ำ หรือระยะ 16-17 เมตร พบว่ากรณีคาบคลื่นสั้นความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ขึ้นตามระยะทางจากปากแม่น้ำ คาบคลื่นอื่นๆ ส่วนใหญ่ไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับรายละเอียดผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ISIS แสดงไว้ในภาคผนวก ๑



รูป 4-7 ตัวอย่างกราฟพระระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที

บทที่ 5

ผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำ

ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีจุดประสงค์หลัก เพื่อศึกษาผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำท้ายบานประตูระบายน้ำ ตามระยะการติดตั้งประตูระบายน้ำต่างๆ กัน และศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ ตามระยะทางจากท้ายประตูระบายน้ำจนถึงปากแม่น้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนออกแบบเบื้องต้น สำหรับการสร้างเขื่อนขวางกั้นลำน้ำต่อไป

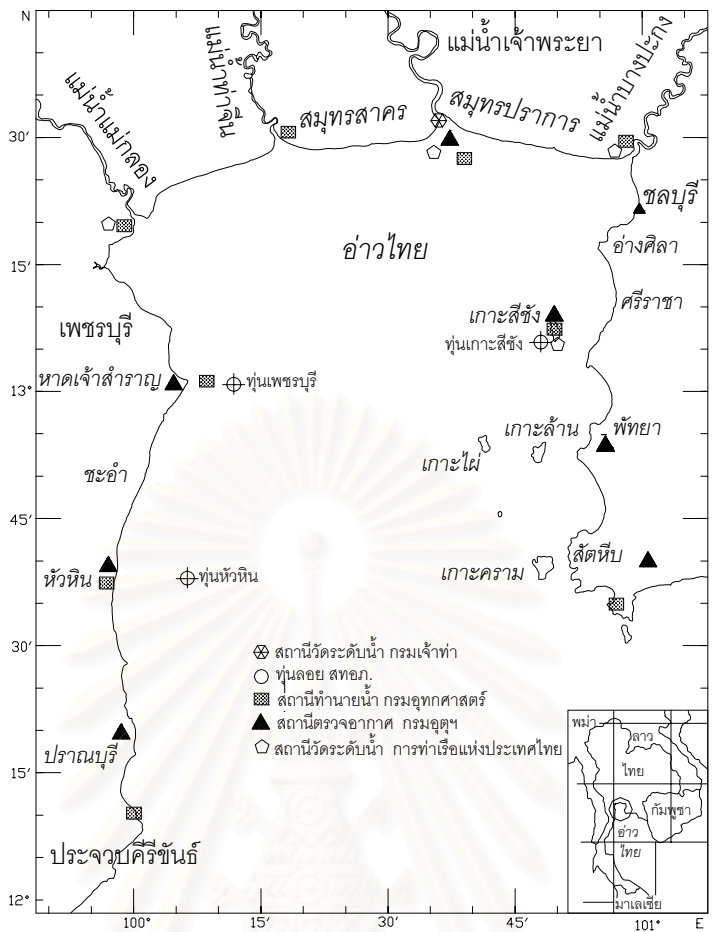
5.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทางน้ำเปิด

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในทางน้ำเปิดเนื่องมาจากคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง (tide) ในที่นี้จะพิจารณาจากระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด และความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในกรณีต่างๆ ตามระยะทาง ซึ่งกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดตามระยะทางแสดงไว้ในภาคผนวก ข ภาคผนวก ค และภาคผนวก ง สำหรับพฤติกรรมของระดับน้ำที่เกิดขึ้นได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในการทดลอง

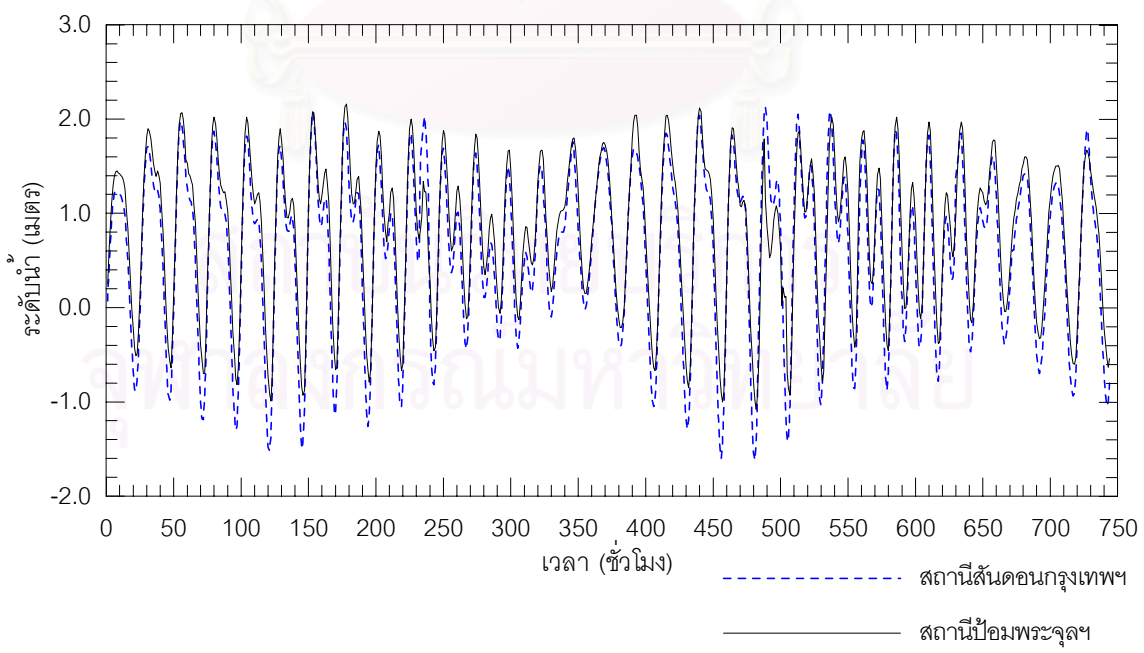
การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในการทดลอง พบว่า คลื่นน้ำขึ้นน้ำลงส่วนใหญ่ที่เคลื่อนที่จากแอ่งคลื่นเข้าไปในปากแม่น้ำมีค่าระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดค่อนข้างสม่ำเสมอ ยกเว้นกรณีคาบคลื่นที่สั้นที่สุด (ประมาณ 75 วินาที) และมีการแทนที่น้ำน้อยที่สุด (9 ซม.) จะมีความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่ระยะ 1 เมตรมากกว่าในแอ่งคลื่นทุกกรณีเงื่อนไขของการเปิด-ปิดบาน วัสดุท้องน้ำ และอัตราการไหล เมื่อพิจารณาพฤติกรรมของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่เคลื่อนที่เข้าไปในแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเปรียบเทียบจากระดับน้ำในอ่าวไทยที่สถานีสันดอนกรุงเทพ และระดับน้ำที่ปากแม่น้ำเจ้าพระยาที่สถานีป้อมพระจุล ดังรูป 5-1 และ 5-2 พบว่าระดับน้ำจากทั้ง 2 สถานีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยความสูงน้ำขึ้นน้ำลงที่สถานีสันดอนกรุงเทพสูงกว่าสถานีป้อมพระจุลเล็กน้อย ซึ่งเป็นพฤติกรรมการไหลเข้าไปในปากแม่น้ำตามธรรมชาติ สำหรับพฤติกรรมของการเกิดระดับน้ำที่สูงขึ้นนั้นอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของปากแม่น้ำฉับพลันในแบบจำลองกายภาพ รวมทั้งคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่มีคาบคลื่นพอเหมาะ เกิดการอัดตัวของน้ำเข้าไปในปากแม่น้ำ จึงทำให้ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากแม่น้ำมากกว่าในแอ่งคลื่น เมื่อตรวจสอบคลื่นในกรณีที่ทำให้เกิดระดับน้ำสูงขึ้น พบว่าค่าความชันคลื่น (h/L) ในแอ่งคลื่นมีค่าประมาณ $1/7400$ และความชันคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าไปในแม่น้ำมีค่าประมาณ $1/25$ ซึ่ง Hughes(1993) ได้แนะนำค่าความชันคลื่นสำหรับจำลองคลื่นยาวในแบบจำลองทางกายภาพว่าควรมีค่าน้อยกว่า $1/20$ ดังนั้นคลื่นในการทดลองนี้จึงเป็นคลื่นยาวทั้งหมด ตามคุณสมบัติของน้ำขึ้นน้ำลง

สำหรับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในลำน้ำของแบบจำลองพบว่า ในการทดลองส่วนใหญ่มีความสูงคลื่นเพิ่มขึ้นจากตำแหน่ง 1 เมตรขึ้นไปตามระยะทางจากปากแม่น้ำจนถึงประตูระบายน้ำ โดยความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นจะมีขนาดลดลงตามคาบคลื่นที่มากขึ้น ในบางกรณีที่คาบคลื่นสั้นๆ จะมีขนาดความสูงคลื่นลดลงที่



จาก บุศวรรณ,2544

รูป 5-1 แผนที่แสดงสถานีตรวจวัดระดับน้ำ



รูป 5-2 ค่าระดับน้ำรายชั่วโมงของสถานีวัดระดับน้ำบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยา เดือนมกราคม พ.ศ.2535

ตำแหน่ง 10 เมตร แล้วค่อยๆ เพิ่มขนาดขึ้นไปที่บ้านประตูระบายน้ำ สำหรับกรณีของการเปิดบานประตูระบายน้ำที่ระยะต่างๆ จะมีผลต่อการยกตัวของระดับน้ำเฉลี่ยเหนือประตู หากระยะการเปิดบานประตูระบายน้ำน้อย จะมีระดับน้ำเฉลี่ยเหนือประตูสูงกว่าท้ายประตูมาก และหากระยะการเปิดบานประตูระบายน้ำมาก ระดับน้ำเฉลี่ยเหนือประตูจะสูงกว่าท้ายประตูน้อยลง จนมีค่าเท่ากันเมื่อมีการเปิดบานประตูระบายน้ำหมด จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเหนือบานประตูระบายน้ำ เป็นผลมาจากระยะการเปิด

สำหรับในกรณีของการเปิดประตูระบายน้ำพื้นน้ำ พบว่าความสูงคลื่นที่ตำแหน่งของการติดตั้งประตูมีขนาดสูงกว่าที่ตำแหน่ง 1 เมตร เช่นกัน ทั้งนี้อาจเป็นผลกระทบของลาดหินด้านเหนือน้ำของประตู ที่มีความลาด 1/20 อาจไม่เพียงพอและทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นได้บางส่วน ซึ่งในสภาพธรรมชาติจริง Vongvisessomjai และ Phuc , 1989 ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาเมื่อมีการไหลและไม่มีกั้นน้ำ พบว่าความสูงคลื่นมีขนาดลดลงตามระยะทางเข้าไปทางด้านเหนือน้ำและหมดอิทธิพลที่ อ.บางไทร จ.อยุธยา ซึ่งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำเป็นระยะทางประมาณ 120 กิโลเมตร แต่ในการศึกษาครั้งนี้ข้อจำกัดในการจำลองความยาวทางน้ำ เนื่องจากมีพื้นที่น้อยในการติดตั้งลาดหินด้านเหนือน้ำ อาจส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่นได้บางส่วน ซึ่งในการทดลองได้พยายามหาวิธีแก้ไขตามที่เสนอไปแล้วในหัวข้อ 3.3 แต่แบบจำลองมีความยาวจำกัด จึงอาจจะไม่สามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้หมด

เมื่อพิจารณาการจำแนกชนิดคลื่นโดยความลึกสัมพัทธ์ (relative depth , d/L) ของคลื่นในแอ่งคลื่นและในแบบจำลองแม่น้ำ พบว่า ความลึกสัมพัทธ์ในแอ่งคลื่นอยู่ในช่วง 0.0001-0.001 และความลึกสัมพัทธ์ในแบบจำลองแม่น้ำอยู่ในช่วง 0.0003-0.003 โดยที่ Coastal Engineering Manual (2002) เสนอค่า d/L ที่น้อยกว่า 1/25 หรือ 0.04 เป็นคลื่นในน้ำตื้น ดังนั้น คลื่นในการทดลองทั้งหมดเป็นคลื่นในน้ำตื้น ทั้งในแอ่งคลื่นและแบบจำลองแม่น้ำ ดังนั้นความสูงคลื่นที่เพิ่มขึ้นลึกเข้าไปในแม่น้ำจึงไม่ได้เกิดจากการเคลื่อนที่ของคลื่นในน้ำลึกเข้าสู่ น้ำตื้น (shoaling effect)

5.1.2 การพิจารณาตัวแปรชี้วัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ

การพิจารณาตัวแปรชี้วัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ในที่นี้ได้ทำการพิจารณาจากตัวแปร 2 ชนิด ที่คาดว่าจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ได้แก่ ตัวแปรเงื่อนไขแบบจำลองประกอบด้วยระยะการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำ (G) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) และอัตราการไหล (Q) สำหรับตัวแปรอีกชนิดหนึ่งเป็นตัวแปรสภาพคลื่นประกอบด้วย ความสูงคลื่น (h) และคาบคลื่น (T) ซึ่งเป็นตัวแปรกำหนดคุณสมบัติคลื่น ดังนั้นตัวแปรที่ใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจึงเลือกความสูงคลื่น ในการทดลองนี้ใช้ระยะของการแทนที่น้ำเป็นเกณฑ์ในการกำหนดความสูงคลื่น แต่ผลจากการทดลองพบว่า ความสูงคลื่นจากระยะการแทนที่น้ำเท่ากันแต่คาบคลื่นต่างกันมีขนาดไม่เท่ากัน ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยอื่นที่มีผลต่อค่าระดับน้ำ เช่น การสะท้อนจากผนังแอ่งคลื่น ดังนั้นจึงต้องหาตัวแปรอื่นมาใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ โดยในขั้นต้นได้เลือกไว้ 2 ตัวแปร คือ

1. อัตราส่วนความสูงคลื่นกรณีเปิดบานประตูที่ระดับต่างๆ ต่อความสูงคลื่นกรณีเปิดบานประตูหมด (กรณีอ้างอิง)
2. อัตราส่วนความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ ในลำน้ำ ต่อความสูงคลื่นที่ปากแม่น้ำ

เมื่อพิจารณาผลจากการทดลองพบว่า อัตราส่วนความสูงคลื่นที่กรณีเปิดบานประตูที่ระดับต่างๆ ต่อความสูงคลื่นกรณีเปิดบานประตูหมด ไม่สามารถนำมาใช้เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำได้ เนื่องจากการทดลองไม่สามารถควบคุมสภาพทางกายภาพของการทดลองให้เหมือนกันได้ทั้งหมด เช่น การสร้างคลื่นโดยการกำหนดระยะเวลาการแทนที่น้ำ ใช้วิธีการอ่านค่าระดับน้ำแล้วสับสวิทช์เปลี่ยนทิศทางการขึ้นลงของการแทนที่น้ำ ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนหรือไม่แน่นอนในแต่ละการทดลอง ส่วนอัตราส่วนความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ ในลำน้ำ ต่อความสูงคลื่นที่ตำแหน่ง 1 เมตรจากปากแม่น้ำ เป็นการทดลองเดียวกัน คลื่นที่เกิดขึ้นที่ระยะต่างๆ เกิดจากคลื่นตัวเดียวกันภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนความสูงคลื่นที่ตำแหน่งต่างๆ ในลำน้ำต่อความสูงคลื่นที่ตำแหน่ง 1 เมตรจากปากแม่น้ำ หรือเรียกว่า “อัตราส่วนคลื่นขยายตัว” เป็นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ โดยเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

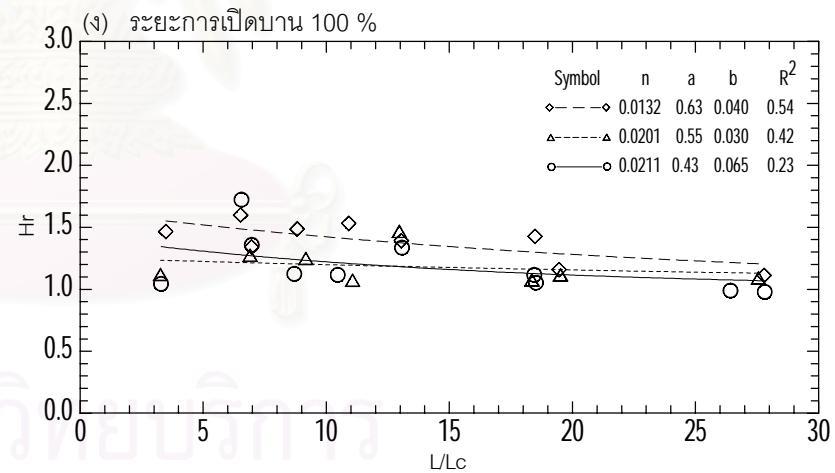
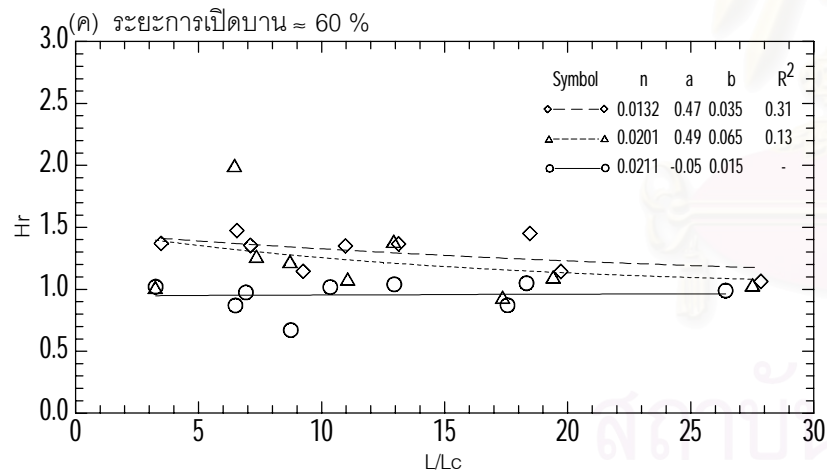
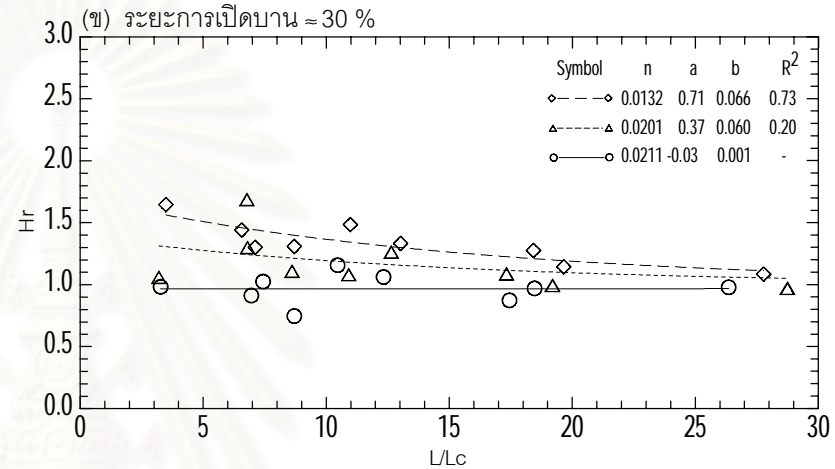
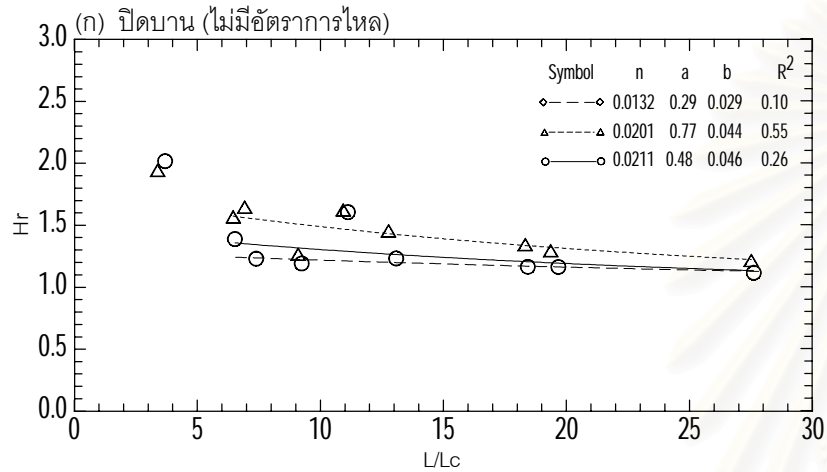
$$H_r = \frac{H_x}{H_1} \quad \dots\dots\dots (5-1)$$

โดยที่ H_r = อัตราส่วนคลื่นขยายตัว
 H_x = ความสูงคลื่นที่ตำแหน่งใด ๆ ในลำน้ำ
 H_1 = ความสูงคลื่นที่ปากแม่น้ำ (ในที่นี้คือที่ระยะ 1 เมตรจากปากแม่น้ำ)

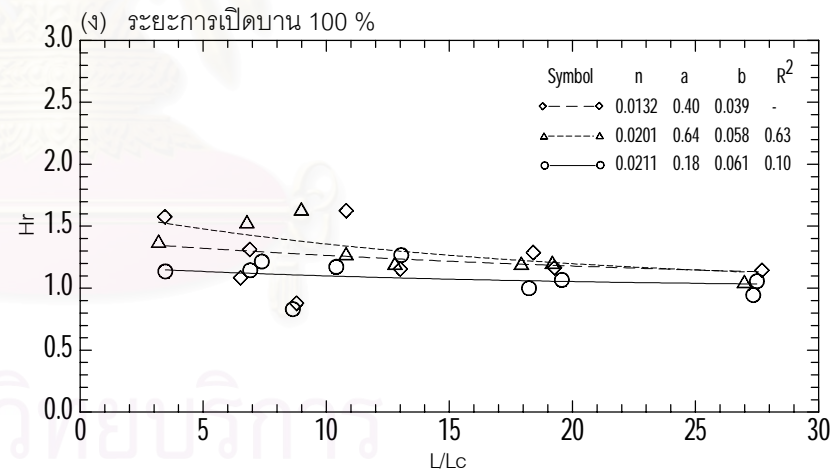
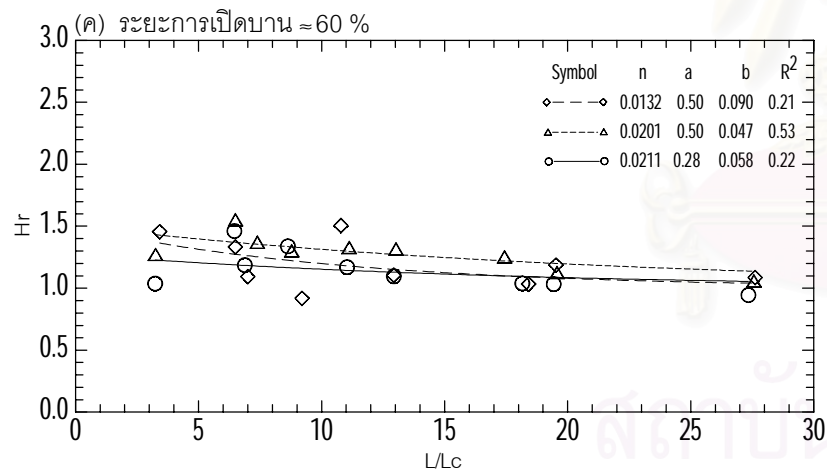
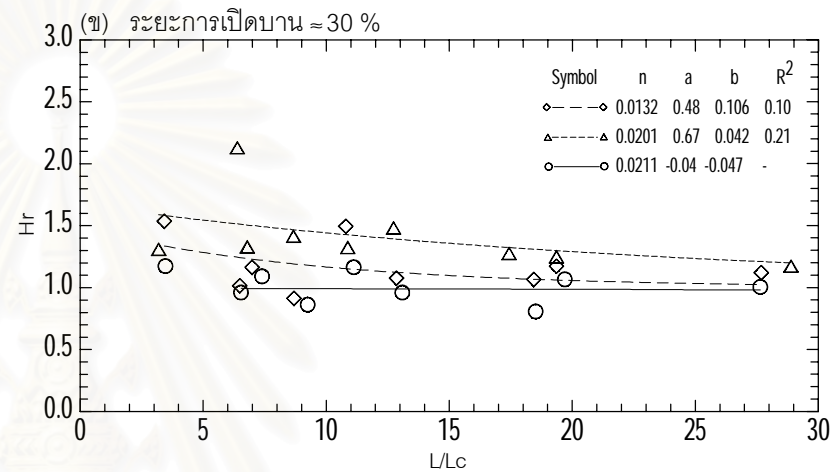
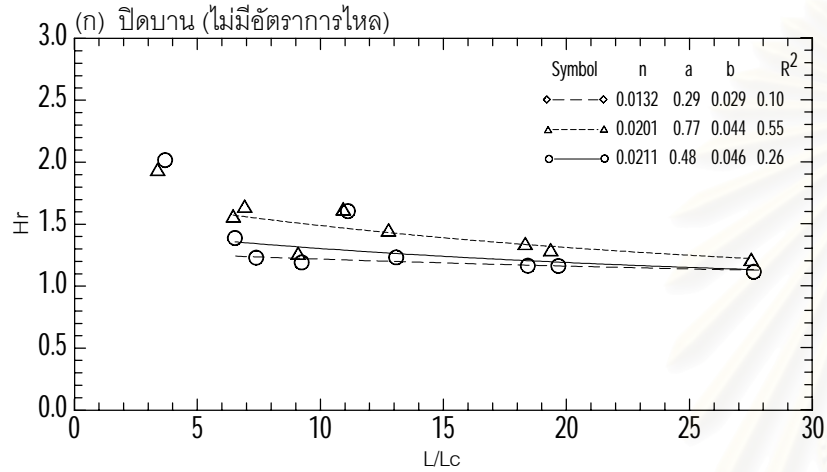
5.2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนคลื่นขยายตัวกับผลของประตูระบายน้ำ

การศึกษาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนคลื่นขยายตัวกับผลของประตูระบายน้ำ เป็นประเด็นที่น่าสนใจในการกำหนดระยะเวลาการติดตั้งประตูระบายน้ำที่จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ในการพิจารณาระยะเวลาของการติดตั้งบานประตูระบายน้ำ ได้ใช้อัตราส่วนของความยาวคลื่น (L) ต่อระยะเวลาของการติดตั้งประตูระบายน้ำ (L_c) มาเป็นตัวแทนในการบอกตำแหน่งของประตูระบายน้ำ เนื่องจากการทดลองทำในห้องปฏิบัติการที่มีพื้นที่จำกัด สามารถสร้างทางน้ำได้ยาวเพียง 19.5 เมตร ส่วนความยาวคลื่นหาได้จากสมการ $L = T\sqrt{gd}$ ซึ่งเป็นสมการหาความยาวคลื่นในน้ำตื้น เมื่อ d เป็นความลึกน้ำเฉลี่ย

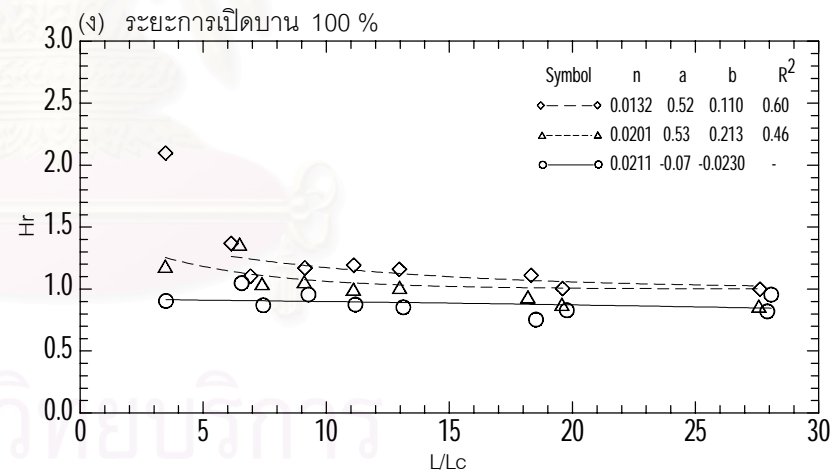
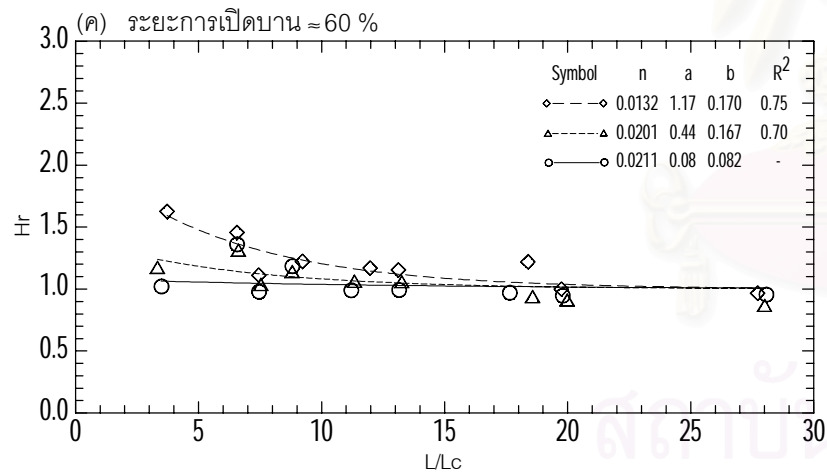
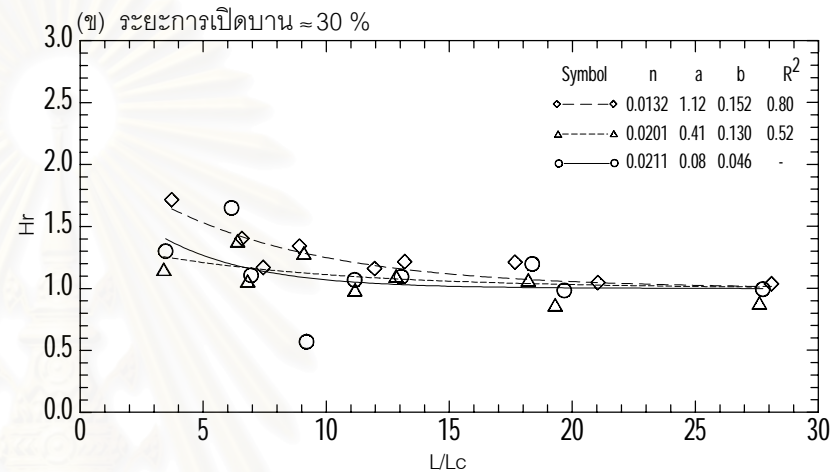
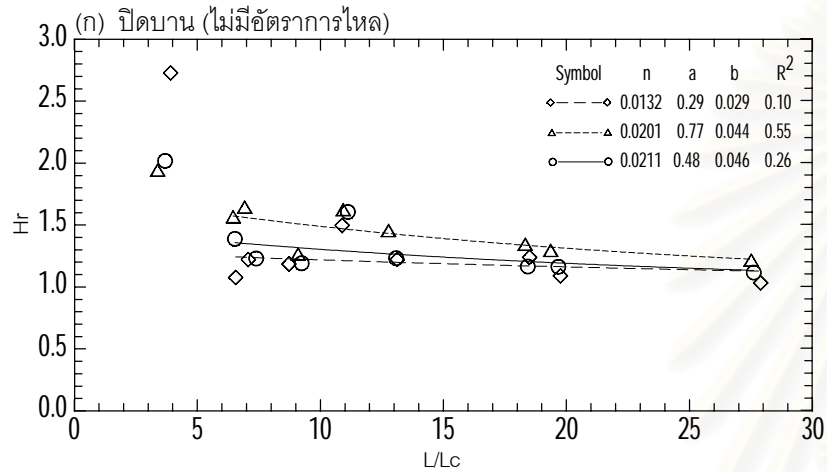
เมื่อนำอัตราส่วนคลื่นขยายตัว (H_r) และอัตราส่วนความยาวคลื่นต่อระยะติดตั้งประตูระบายน้ำ (L/L_c) (ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า “ตำแหน่งประตูระบายน้ำ”) มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ดังรูป 5-3 ถึง 5-5 พบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรมีลักษณะโค้งลงตามตำแหน่งประตูระบายน้ำลู่เข้าหา 1 คล้ายฟังก์ชันเอ็กซโปเนนเชียล (exponential function) จึงทำการเลือกสมการที่จะนำมาใช้เป็นตัวแทนบอกความสัมพันธ์ทางกายภาพที่เกิดขึ้นในการทดลอง ในการศึกษาครั้งนี้เลือกได้ 4 รูปแบบ คือ



รูป 5-3 ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว (H_r) กับ ตำแหน่ง ปตร.(L/L_c) กรณี อัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที เส้นสมการ $H_r = 1 + ae^{-b(L/L_c)}$



รูป 5-4 ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว (H_r) กับ ตำแหน่ง ประตู (L/L_c) กรณี อัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที เส้นสมการ $H_r = 1 + ae^{-b(L/L_c)}$



รูป 5-5 ความสัมพันธ์ อัตราส่วนคลื่นขยายตัว (Hr) กับ ตำแหน่ง ปตร.(L/Lc) กรณี อัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที เส้นสมการ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$

$$Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)} \quad \dots\dots\dots (5-2)$$

$$Hr = 1 + e^{-c(L/Lc)} \quad \dots\dots\dots (5-3)$$

$$Hr = 1 + e^{-d(L/Lc)} \quad \dots\dots\dots (5-4)$$

$$Hr = 2 - \frac{L/Lc}{f + L/Lc} \quad \dots\dots\dots (5-5)$$

ซึ่งสมการที่ 5-3 และ 5-4 แตกต่างกันที่ค่าพารามิเตอร์ c และ d ค่าพารามิเตอร์ในสมการที่ 5-2 5-3 และ 5-5 ได้จากการคำนวณ R^2 สูงสุดที่เหมาะสมกับข้อมูล ส่วนสมการที่ 5-4 ซึ่งคำนวณค่า d โดยการเปลี่ยนสมการเป็นฟังก์ชันลอการิทึม แก้สมการหาค่า d จาก $d = -\frac{\ln(Hr - 1)}{L/Lc}$ ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 5-1

สมการที่ 5-2 เป็นสมการหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ค่า Hr มีค่าสูงสุดเท่าที่เป็นไปได้ แสดงด้วยค่าพารามิเตอร์ a และมีรูปร่างของเส้นสมการ แสดงด้วยค่าพารามิเตอร์ b ที่เหมาะสมกับข้อมูล ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าพารามิเตอร์แบบอิสระ โดยเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากข้อมูลจริง สำหรับสมการที่ 5-3 และ 5-4 เป็นสมการที่กำหนดค่าคงที่ a เท่ากับ 1 ทำให้สมการเข้าสู่ 2 ($Hr = 2$) หรือมีความหมายทางกายภาพว่าผลของบานประตูระบายน้ำทำให้เกิดคลื่นขยายตัว 2 เท่า เมื่อค่า $L/Lc = 0$ หรืออีกนัยหนึ่งว่า $L \rightarrow 0$ หรือเป็นคลื่นสั้น (short wave) ซึ่งเป็นค่าการสะท้อนกลับสูงสุดของบานประตู (Ippen, 1966) และให้รูปร่างของเส้นสมการเป็นอิสระมีค่าเหมาะสมกับข้อมูล จากการศึกษาพบว่าทั้ง 2 วิธีนี้มีความสัมพันธ์ของสมการกับชุดข้อมูลการทดลองไม่ค่อยดี เนื่องจากสมการที่นำมาใช้ไม่เหมาะสมกับชุดข้อมูล โดยเฉพาะจากสมการที่ 5-4 เส้นสมการแทบไม่มีความสัมพันธ์กับข้อมูลจากการทดลองเลย ส่วนสมการที่ 5-5 มีความสัมพันธ์กับข้อมูลดีกว่าสมการที่ 5-4 แต่ไม่สามารถอธิบายลักษณะทางกายภาพได้

ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกสมการที่ 5-2 มาใช้เป็นตัวแทนความสัมพันธ์ของข้อมูล เนื่องจากสมการมีความสัมพันธ์กับข้อมูลจริงมากกว่ากรณีอื่น และมีความเป็นอิสระของสมการ ทำให้อธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงได้ดังรูป 5-3 ถึงรูป 5-5 ในการหาความสัมพันธ์สมการกับข้อมูลการทดลองจะไม่พิจารณาข้อมูลที่มีค่า Hr มากกว่า 2 และน้อยกว่า 1 เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ไม่สมเหตุผลในทางกายภาพ คือ คลื่นที่เข้ามากระทบกับบานประตูระบายน้ำ ไม่ควรจะมีขนาดสูงเกินกว่า 2 เท่าของคลื่นที่ปากแม่น้ำ และไม่ควรมีระดับน้ำต่ำกว่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ ทั้งนี้อาจเกิดจากความผิดพลาดในการวัดข้อมูล เช่น การส่งสัญญาณคลื่นไฟฟ้าของเครื่องมืออาจเกิดคลื่นแทรก

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่มีระยะการปิดกั้นลำน้ำในช่วง $L/4 - L/30$ ตามระยะทางจากปากแม่น้ำ พบว่าแนวโน้มของอัตราการขยายตัวของคลื่นมีค่าสูงขึ้น เมื่อระยะการปิดกั้นลำ

ตาราง 5-1 สมการความสัมพันธ์ของ Hr กับ L/Lc ที่นำมาพิจารณาเลือกสมการที่เหมาะสมในการอธิบายลักษณะทางกายภาพที่เกิดขึ้น

กรณี	Hr = 1+ae ^{-b(L/Lc)}						Hr = 1+e ^{-c(L/Lc)}						Hr = 1+e ^{-d(L/Lc)}					Hr = 2-((L/Lc)/(f+(L/Lc)))				
	a	b	R ²	n	Fr	G	c	R ²	n	Fr	G	d*	R ^{2**}	n	Fr	G	f	R ²	n	Fr	G	
ไม่มีอัตราการไหล																						
q0n1g0	0.290	0.029	0.10	0.0132	0.000	0.00	0.100	0.34	0.0132	0.000	0.00	0.128	(-0.81)	0.0132	0.000	0.00	2.635	0.00	0.0132	0.000	0.00	
q0n2g0	0.765	0.044	0.55	0.0201	0.000	0.00	0.065	0.69	0.0201	0.000	0.00	0.066	0.70	0.0201	0.000	0.00	9.140	0.54	0.0201	0.000	0.00	
q0n3g0	0.480	0.046	0.26	0.0211	0.000	0.00	0.100	0.55	0.0211	0.000	0.00	0.105	(-0.81)	0.0211	0.000	0.00	4.200	0.21	0.0211	0.000	0.00	
อัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที																						
q1n1g1	0.708	0.066	0.10	0.0132	0.024	0.30	0.103	0.34	0.0132	0.024	0.30	0.107	0.58	0.0132	0.024	0.30	5.230	0.73	0.0132	0.024	0.30	
q1n2g1	0.369	0.060	0.54	0.0201	0.026	0.32	0.190	0.00	0.0201	0.026	0.32	0.262	(-0.38)	0.0201	0.026	0.32	1.940	0.07	0.0201	0.026	0.32	
q1n3g1	-	-	-	0.0211	0.024	0.31	-	-	0.0211	0.024	0.31	0.298	(-0.37)	0.0211	0.024	0.31	-0.179	0.21	0.0211	0.024	0.31	
q1n1g2	0.465	0.035	0.10	0.0132	0.024	0.60	0.117	0.34	0.0132	0.024	0.60	0.129	(-0.62)	0.0132	0.024	0.60	4.230	0.05	0.0132	0.024	0.60	
q1n2g2	0.491	0.065	0.38	0.0201	0.025	0.62	0.143	0.69	0.0201	0.025	0.62	0.268	(-0.38)	0.0201	0.025	0.62	2.940	0.04	0.0201	0.025	0.62	
q1n3g2	-	-	-	0.0211	0.024	0.61	-	-	0.0211	0.024	0.61	0.497	(-4.20)	0.0211	0.024	0.61	-0.140	0.17	0.0211	0.024	0.61	
q1n1g3	0.634	0.040	0.73	0.0132	0.024	1.00	0.082	0.58	0.0132	0.024	1.00	0.098	(-0.01)	0.0132	0.024	1.00	6.760	0.73	0.0132	0.024	1.00	
q1n2g3	0.550	0.302	0.20	0.0201	0.025	1.00	0.101	0.10	0.0201	0.025	1.00	0.174	(-1.64)	0.0201	0.025	1.00	6.870	0.07	0.0201	0.025	1.00	
q1n3g3	0.426	0.065	0.23	0.0211	0.024	1.00	0.167	0.00	0.0211	0.024	1.00	0.243	(-0.51)	0.0211	0.024	1.00	2.330	0.10	0.0211	0.024	1.00	
อัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที																						
q2n1g1	0.484	0.106	0.80	0.0132	0.043	0.31	0.235	0.80	0.0132	0.043	0.31	0.207	0.06	0.0132	0.043	0.31	1.937	0.19	0.0132	0.043	0.31	
q2n2g1	0.672	0.042	0.52	0.0201	0.044	0.32	0.070	0.15	0.0201	0.044	0.32	0.108	(-3.41)	0.0201	0.044	0.32	7.429	0.13	0.0201	0.044	0.32	
q2n3g1	-	-	-	0.0211	0.042	0.30	0.531	0.20	0.0211	0.042	0.30	0.262	(-0.67)	0.0211	0.042	0.30	0.302	0.10	0.0211	0.042	0.30	
q2n1g2	0.498	0.090	0.31	0.0132	0.043	0.62	0.199	0.00	0.0132	0.043	0.62	0.167	0.13	0.0132	0.043	0.62	2.258	0.06	0.0132	0.043	0.62	
q2n2g2	0.500	0.047	0.13	0.0201	0.042	0.61	0.120	0.00	0.0201	0.042	0.61	0.137	(-0.38)	0.0201	0.042	0.61	3.980	0.05	0.0201	0.042	0.61	
q2n3g2	0.276	0.058	0.22	0.0211	0.043	0.62	0.344	0.00	0.0211	0.043	0.62	0.274	(-0.42)	0.0211	0.043	0.62	1.197	0.11	0.0211	0.043	0.62	
q2n1g3	0.391	0.039	0.21	0.0132	0.043	1.00	0.168	0.13	0.0132	0.043	1.00	0.141	(-0.17)	0.0132	0.043	1.00	2.998	0.25	0.0132	0.043	1.00	
q2n2g3	0.640	0.058	0.53	0.0201	0.045	1.00	0.100	0.32	0.0201	0.045	1.00	0.120	0.21	0.0201	0.045	1.00	5.000	0.18	0.0201	0.045	1.00	
q2n3g3	0.183	0.061	0.22	0.0211	0.043	1.00	0.415	-	0.0211	0.043	1.00	0.225	(-0.96)	0.0211	0.043	1.00	0.873	0.00	0.0211	0.043	1.00	
อัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที																						
q3n1g1	1.120	0.152	0.54	0.0132	0.094	0.30	0.134	0.09	0.0132	0.094	0.30	0.134	0.80	0.0132	0.094	0.30	3.800	0.35	0.0132	0.094	0.30	
q3n2g1	0.414	0.130	0.42	0.0201	0.100	0.31	0.282	0.06	0.0201	0.100	0.31	0.261	-0.87	0.0201	0.100	0.31	1.149	0.23	0.0201	0.100	0.31	
q3n3g1	0.076	0.046	0.23	0.0211	0.097	0.31	0.264	0.20	0.0211	0.097	0.31	0.207	0.15	0.0211	0.097	0.31	0.369	0.09	0.0211	0.097	0.31	
q3n1g2	1.170	0.169	0.07	0.0132	0.096	0.61	0.153	0.75	0.0132	0.096	0.61	0.153	0.70	0.0132	0.096	0.61	3.092	0.10	0.0132	0.096	0.61	
q3n2g2	0.441	0.167	0.63	0.0201	0.093	0.59	0.326	0.32	0.0201	0.093	0.59	0.300	(-0.49)	0.0201	0.093	0.59	0.892	0.38	0.0201	0.093	0.59	
q3n3g2	-	-	-	0.0211	0.095	0.60	-	-	0.0211	0.095	0.60	0.483	(-0.08)	0.0211	0.095	0.60	-0.085	-	0.0211	0.095	0.60	
q3n1g3	0.516	0.109	0.60	0.0132	0.098	1.00	0.144	0.64	0.0132	0.098	1.00	0.166	0.42	0.0132	0.098	1.00	3.717	0.50	0.0132	0.098	1.00	
q3n2g3	-	-	-	0.0201	0.099	1.00	0.328	0.40	0.0201	0.099	1.00	0.339	0.93	0.0201	0.099	1.00	0.010	-	0.0201	0.099	1.00	
q3n3g3	-	-	-	0.0211	0.095	1.00	-	-	0.0211	0.095	1.00	0.462	(-3.81)	0.0211	0.095	1.00	-0.750	-	0.0211	0.095	1.00	
Max	1.170	0.302	-	-	-	-	0.531	-	-	-	-	0.925	-	-	-	-	9.140	-	-	-	-	
Min	0.076	0.029	-	-	-	-	0.065	-	-	-	-	-0.870	-	-	-	-	-0.750	-	-	-	-	
Avg	0.523	0.084	-	-	-	-	0.192	-	-	-	-	0.345	-	-	-	-	2.804	-	-	-	-	

หมายเหตุ (*) ค่า d = -(ln(Hr-1))/(L/Lc)

(**) R² มีค่าลบ แสดงถึงเส้นฟังก์ชันไม่เหมาะสมที่จะใช้แทนจุดข้อมูลความสัมพันธ์ คำนวณจาก R² = (SST-SSE)/SST

น้ำอยู่ลึกเข้าไปในแม่น้ำ Ippen (1996) ได้เสนอว่าอัตราการขยายตัวของคลื่นสูงสุดจะเกิดที่ระยะการปิดกั้นลำน้ำเท่ากับ $L/4$ หรือ $L/Lc = 4$ ซึ่งเป็นระยะที่ใกล้เคียงกับระยะที่ทำการทดลอง จากกราฟจะเห็นว่าหากต่อเส้นตามค่า L/Lc ที่น้อยกว่า 4 จนเกือบใกล้ศูนย์ ค่า Hr มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งไม่สมเหตุผล เนื่องจากเมื่อ L/Lc น้อยลง หรือระยะการปิดกั้นลำน้ำอยู่ลึกจากปากแม่น้ำมากขึ้น จนตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำไม่ได้รับอิทธิพลของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง และไม่เกิดการขยายตัวของคลื่นที่ตำแหน่งปิดกั้น ความสูงคลื่นควรมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นเส้นกราฟควรลู่เข้าหาจุดกำเนิด จึงจะสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพ สำหรับประเด็นนี้ควรมีการนำมาศึกษาวิจัยต่อไป

5.3 ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์กับชลศาสตร์การไหล

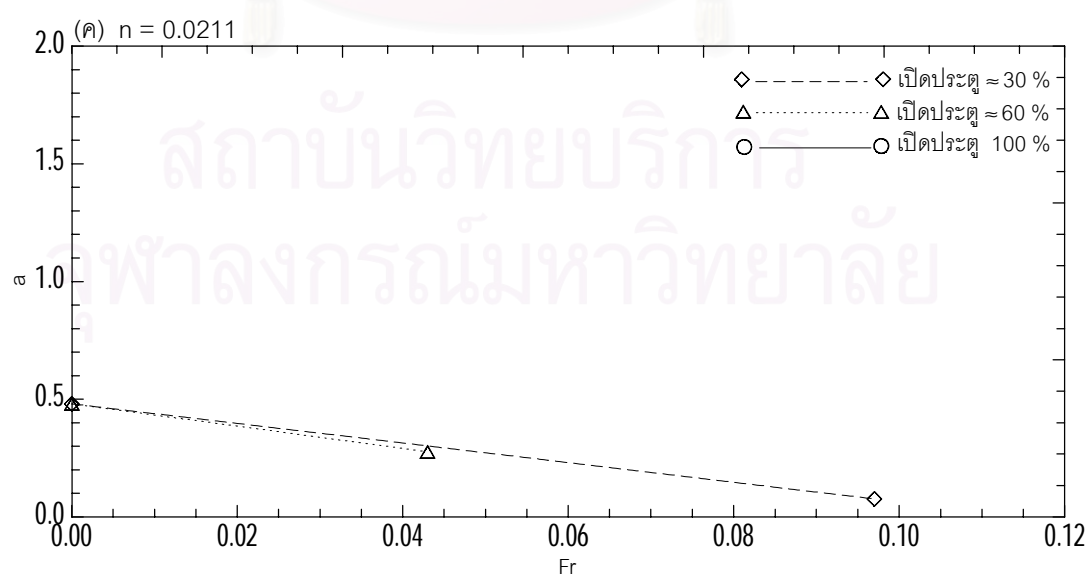
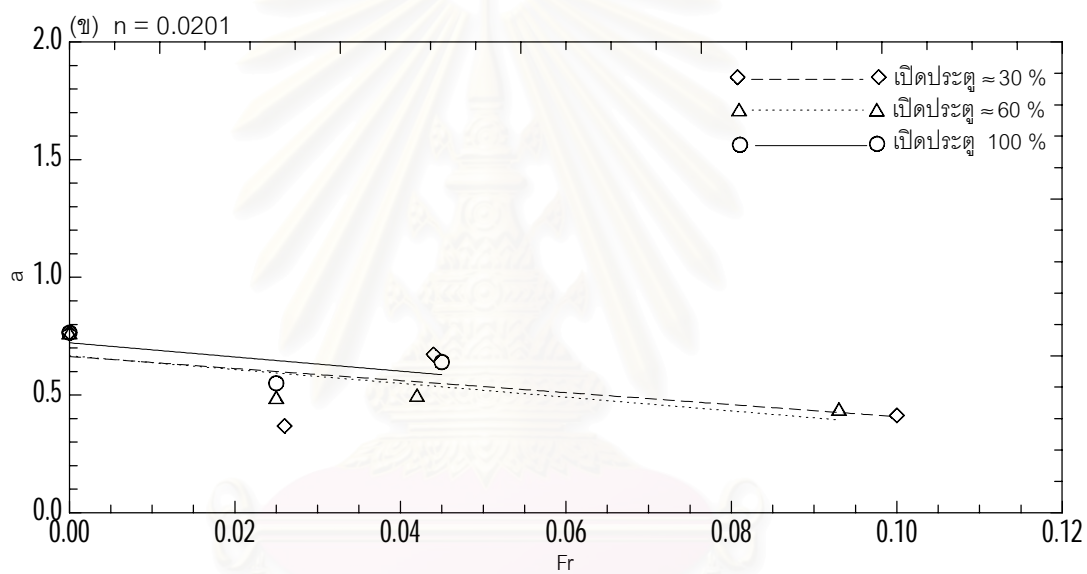
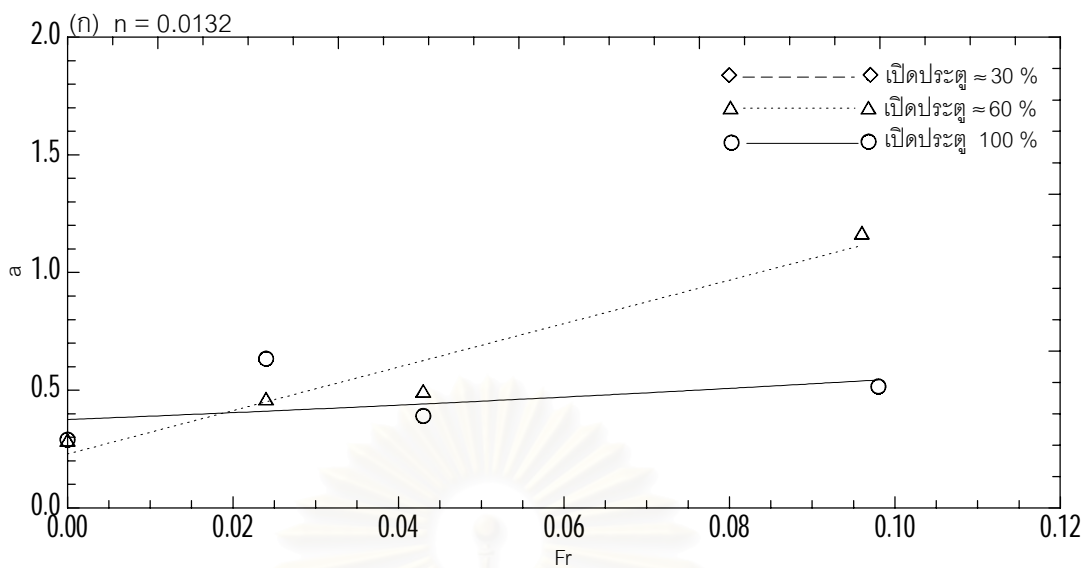
จากกราฟความสัมพันธ์ในรูป 5-3 ถึงรูป 5-5 นำมาหาความสัมพันธ์กับตัวแปรชลศาสตร์การไหล ซึ่งเป็นเงื่อนไขการทดลอง โดยกำหนดความสัมพันธ์ ดังนี้

$$Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)} = f(L/Lc | n, Fr, G) \quad \dots\dots\dots (5-6)$$

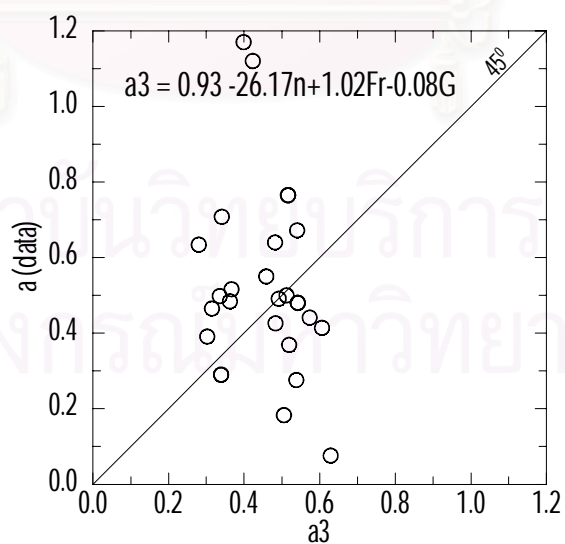
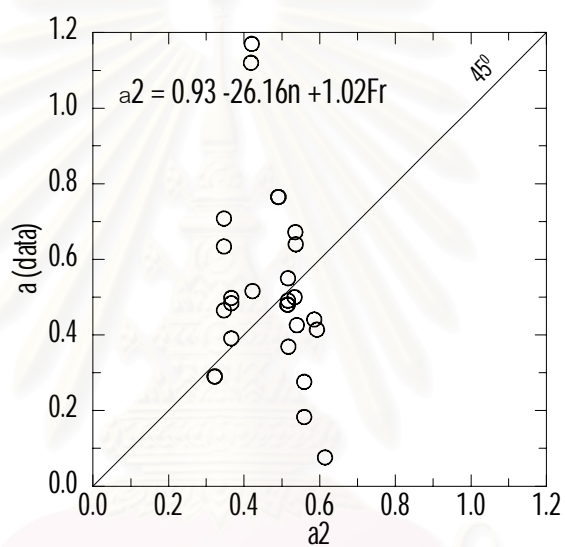
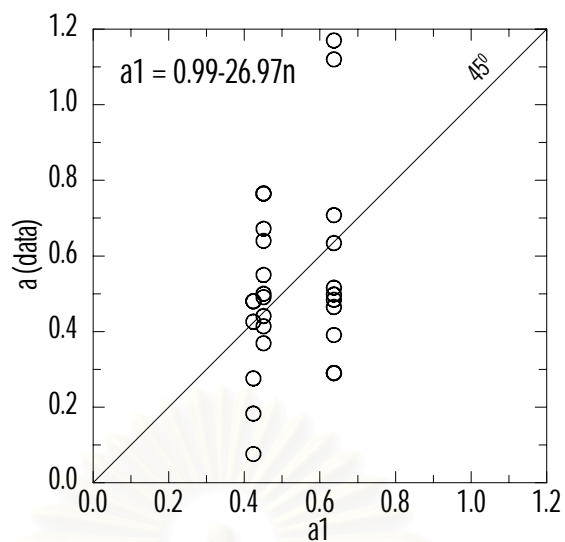
จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ a และ b ในแต่ละกรณีศึกษามีค่าแตกต่างกัน จึงเป็นที่น่าสนใจว่าค่า a และ b ผันแปรกับตัวแปรชลศาสตร์การไหล ได้แก่ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ ค่าฟรูดนัมเบอร์ และระยะการเปิดบานประตูระบายน้ำ

เมื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ a กับตัวแปรชลศาสตร์การไหล (n, Fr, G) ดังแสดงในรูป 5-6 พบว่าค่าพารามิเตอร์ a มีความสัมพันธ์กับค่าฟรูดนัมเบอร์เป็นเส้นตรง และกรณีการเปิดบานระดับต่างๆ แทบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า a เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression, MR) โดยการเพิ่มตัวแปร n Fr และ G ที่ละตัวแปร ตามลำดับ จะได้ความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ a กับตัวแปรชลศาสตร์ n ที่มีค่า R^2 เท่ากับ 0.158 เมื่อหาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ a กับตัวแปรชลศาสตร์ n Fr และ G พร้อมกัน ค่า R^2 มีค่าเท่ากับ 0.176 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมน้อยมาก แสดงว่า Fr และ G แทบจะไม่มีความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ a เลย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ a น่าจะขึ้นกับ n จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการเพิ่มตัวแปรชลศาสตร์ n Fr และ G ที่ละตัว จะได้ค่าพารามิเตอร์ a_1 a_2 และ a_3 ตามลำดับ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ทั้ง 3 มาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์กับค่าพารามิเตอร์ a จากข้อมูลจริง ดังรูป 5-7

จากการวิเคราะห์ที่แสดงในรูป 5-7 และรูปแบบสมการที่ได้ พบว่าค่า a_1 จากความสัมพันธ์ n เพียงค่าเดียว มีค่าค่อนข้างคงที่กับค่าพารามิเตอร์ a จากข้อมูล เมื่อพิจารณาจากสมการ $a_1 = 0.993 - 26.97n$ จะเห็นว่าค่า n มีค่า 0.013 - 0.021 ซึ่งมีช่วงของการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ทำให้มีความสัมพันธ์แบบเกาะกลุ่ม โดยได้ $a_1 \approx 0.4 - 0.6$ เท่านั้น เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์ a_2 กับ a และ a_3 กับ a พบว่าการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลอยู่ภายในกลุ่มช่วงแคบๆ เช่นกัน จึงสรุปว่าค่าพารามิเตอร์ a มีความสัมพันธ์ต่อชลศาสตร์การไหลน้อยมาก



รูป 5-6 ความสัมพันธ์ a กับ Fr จากสมการ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$



รูป 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า a ของข้อมูล กับ a_1 a_2 และ a_3

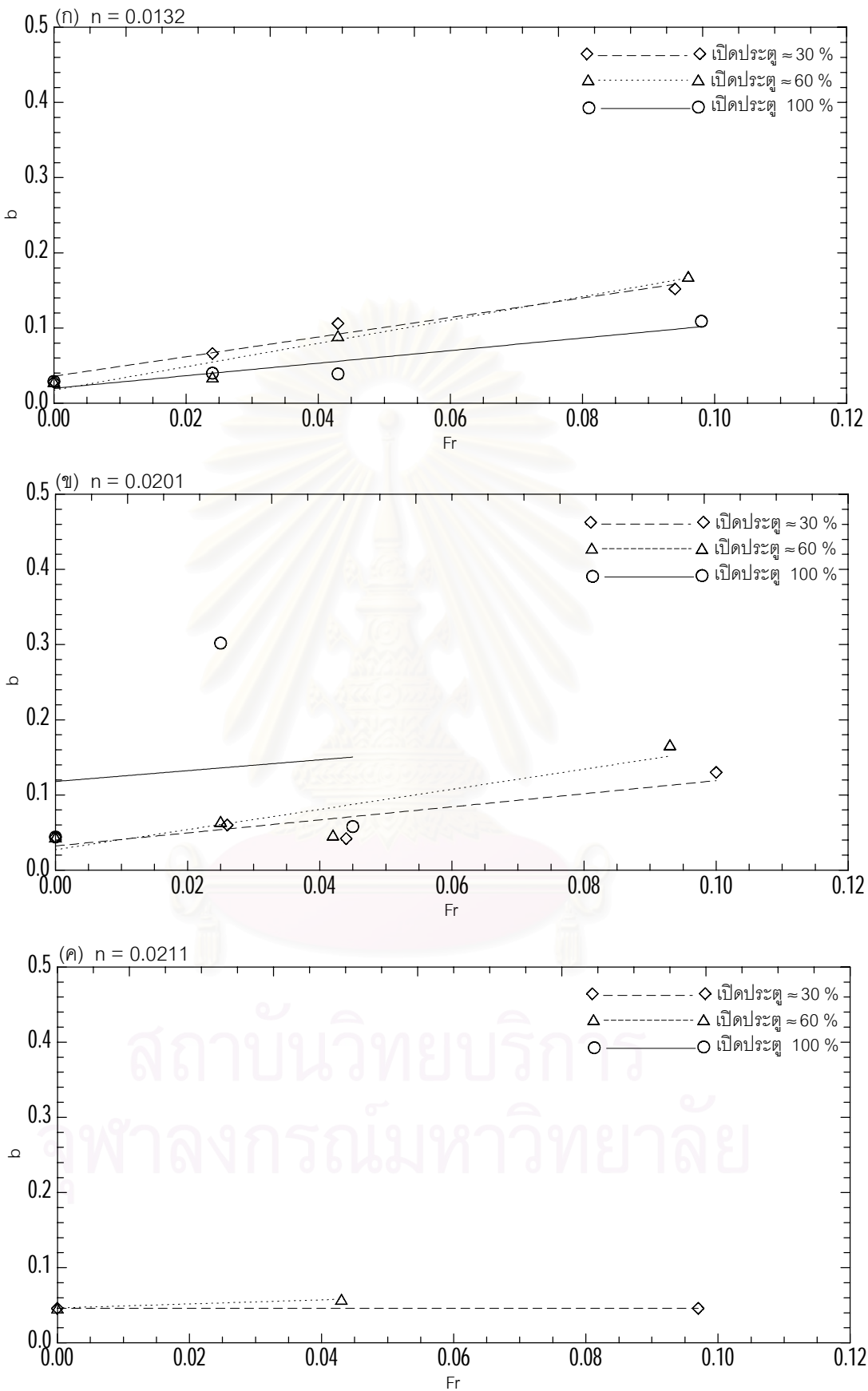
เมื่อพิจารณาค่าพารามิเตอร์ b โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์กับค่า n , Fr และ G ดังรูป 5-8 พบว่าความสัมพันธ์ของ Fr ต่อการเปลี่ยนแปลงของ b อยู่ในช่วงแคบๆ และมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง เมื่อนำตัวแปรต่างๆ ไปวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน โดยวิเคราะห์เพิ่มตัวแปร Fr , G และ n ทีละตัว ได้สมการ b_1 , b_2 และ b_3 ตามลำดับ เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพารามิเตอร์ b จากข้อมูลการทดลองและค่าพารามิเตอร์ b จากทฤษฎีวิเคราะห์สถิติดังรูป 5-9 พบว่าความสัมพันธ์ b กับ b_1 (พิจารณาค่า Fr เพียงอย่างเดียว) ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.161 และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง b กับ b_3 (พิจารณาจากทั้ง 3 ตัวแปร) ได้ค่า R^2 เท่ากับ 0.185 ซึ่งเปลี่ยนแปลงจากเดิมน้อยมาก จากนั้นเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง b กับ b_1 , b_2 และ b_3 ดังรูป 5-9 พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์เกาะกลุ่มอยู่ในช่วงแคบๆ เช่นกัน (ประมาณ 0-0.2) จึงสรุปว่าตัวแปรชลศาสตร์การไหลดังกล่าว มีผลน้อยมากต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ b

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ a, b ในทุกกรณี(ยกเว้นกรณีปิดบาน) อาจได้รับผลกระทบเนื่องจากลาดหินสลายพลังงานเหนือประตูระบายน้ำ จึงทำให้การหาความสัมพันธ์ของตัวแปรชลศาสตร์กับค่า a, b มีความสัมพันธ์น้อย สำหรับในการทดลองนี้ไม่สามารถบอกได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่า a, b เป็นผลมาจากสาเหตุใดแน่ชัด ส่วนความสัมพันธ์ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$ อาจใช้ได้เพียงกรณีปิดบานเท่านั้น ส่วนความสัมพันธ์ของ Hr และ L/Lc ในกรณีเปิดบานต่างๆอาจมีรูปแบบต่างออกไป เนื่องจากในการทดลองนี้ได้รับผลกระทบจากลาดหินสลายพลังงาน

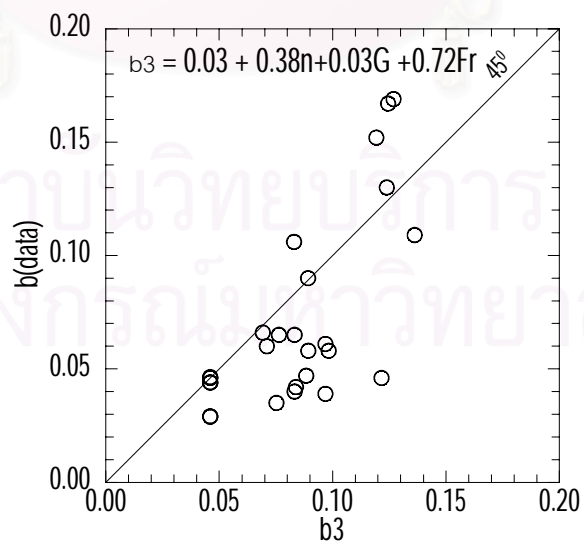
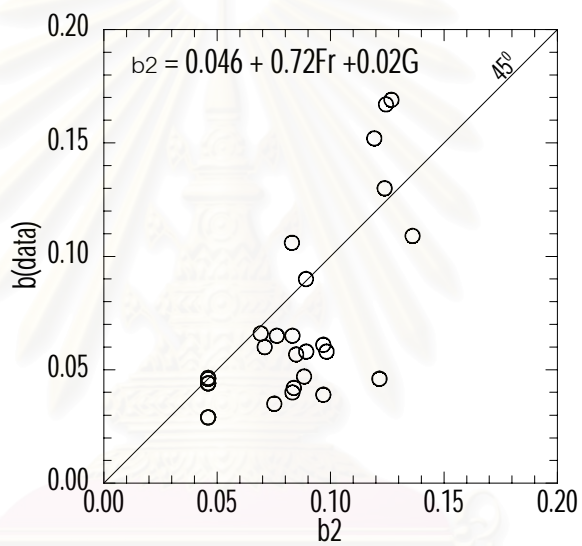
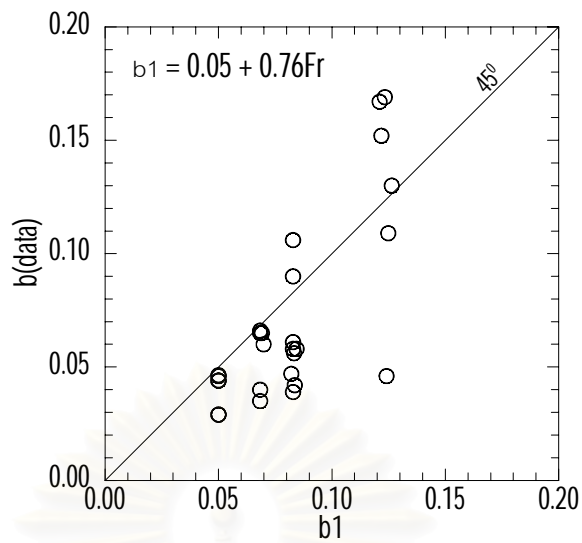
5.4 ผลของการเปิดปิดประตูระบายน้ำ

ในหัวข้อ 5.2 เป็นการศึกษาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ เมื่อมีการปิดกั้นลำน้ำกับค่าอัตราส่วนของความยาวคลื่นต่อระยะของการปิดกั้นจากปากแม่น้ำ (L/Lc) คือ $Hr = 1 + ae^{-b(L/Lc)}$ พบว่ามีความสัมพันธ์ที่ดี และได้นำเอาพารามิเตอร์ a และ b มาทำการศึกษาความสัมพันธ์กับตัวแปรชลศาสตร์การไหล ดังกล่าวในหัวข้อ 5.3 แต่ไม่พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญ

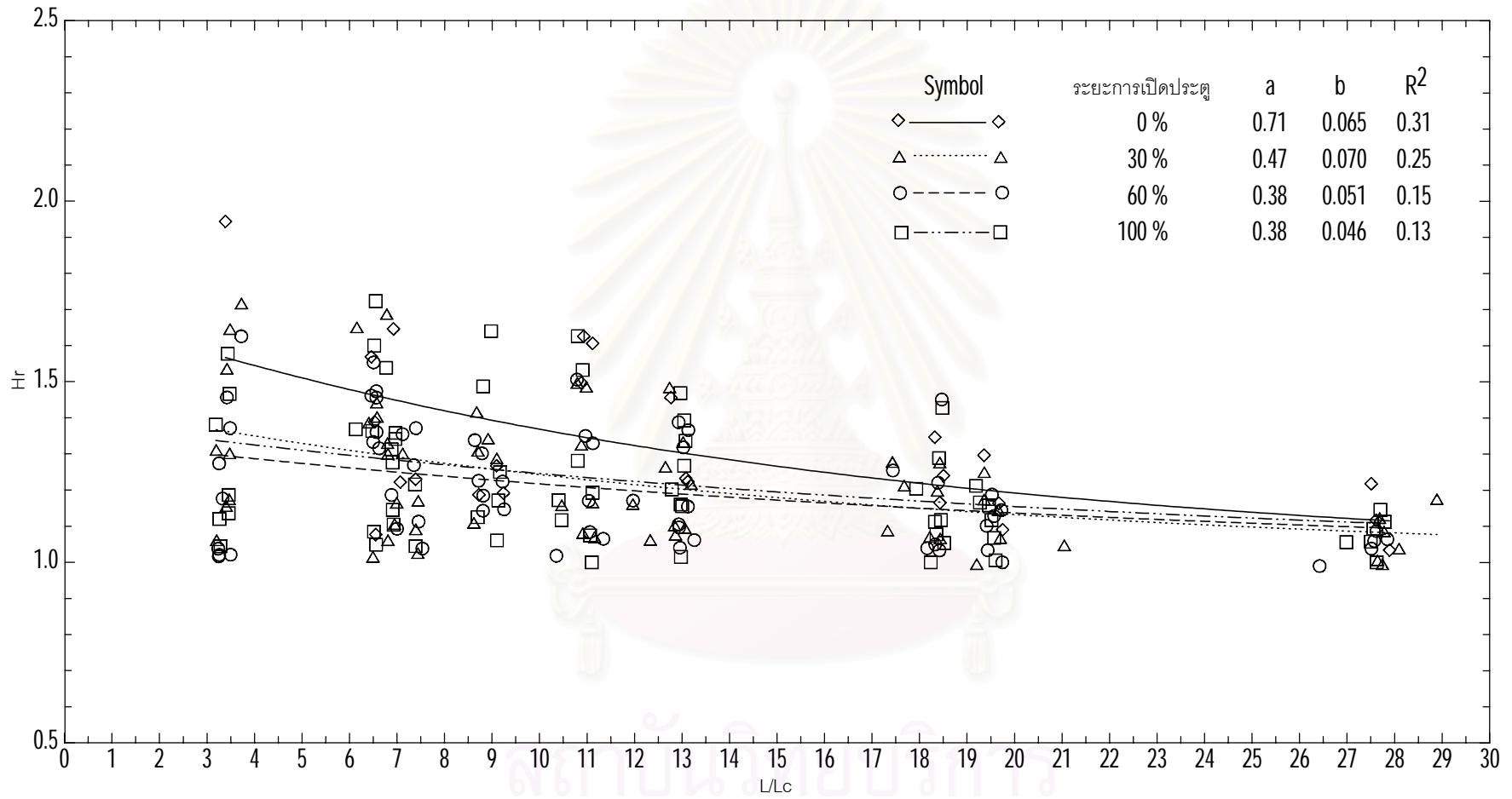
ดังนั้นในการศึกษาถึงผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำ จึงได้พยายามศึกษาความสัมพันธ์ของการเปิด-ปิดบานประตูต่างๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ โดยพิจารณาจากค่าอัตราการขยายตัวของคลื่นที่ได้แยกคลื่นที่ไม่มีนัยสำคัญออก และไม่พิจารณาตัวแปรชลศาสตร์การไหลอื่นๆ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายตัวของคลื่น (Hr) กับตำแหน่งของการปิดกั้นลำน้ำ (L/Lc) ดังแสดงในรูป 5-10 โดยแบ่งกรณีเปิด-ปิดบาน เป็นกรณีปิดบานประตูระบายน้ำ เปิดบาน 30% เปิดบาน 60% และเปิดบาน 100% พบว่าความสัมพันธ์ของระยะการปิดกั้นลำน้ำกับอัตราการขยายตัวของคลื่นมีความไม่คงเส้นคงวา ซึ่งอัตราการขยายตัวของคลื่นมีค่าลดลงตามระยะของการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำ ยกเว้นในกรณีเปิดบานหมด เส้นความสัมพันธ์ควรต่ำกว่าในกรณีอื่นๆ แต่กลับมีค่าสูงกว่ากรณีการเปิดบาน 60% ทั้งนี้อาจเกิดจากผลกระทบของการสะท้อนกลับจากลาดหินสลายพลังงานที่ต้นน้ำดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 5.1.1



รูป 5-8 ความสัมพันธ์ b กับ Fr จากสมการ $H_r = 1 + ae^{-b(L/L_c)}$



รูป 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า b ของข้อมูล กับ b_1 b_2 และ b_3



รูป 5-10 ความสัมพันธ์ Hr กับ L/Lc กรณีระยะการเปิดบานต่าง ๆ ตามความสัมพันธ์ $H_r = 1 + ae^{-b(L/L_c)}$

หากไม่พิจารณากรณีของการเปิดบานหมด จะเห็นว่าระยะของการเปิด-ปิดบาน มีผลต่ออัตราการขยายตัวของคลื่นที่ตำแหน่งปิดกั้น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการขยายตัวมีค่าสูงสุดในกรณีเปิดบาน และมีค่าลดลงตามระยะการเปิดบานที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่การเปิดบานบางส่วนก็อาจได้รับผลกระทบเนื่องจากการสะท้อนกลับจากลาดหินด้านต้นน้ำด้วย ซึ่งหากในการทดลองนี้ไม่ได้รับผลกระทบจากลาดหินด้านต้นน้ำหรืออยู่ห่างมากๆ แนวโน้มการลดลงของการขยายตัวของคลื่นน่าจะขึ้นอยู่กับระยะการเปิดบานที่เพิ่มขึ้น

5.5 การสะท้อนกลับตามระยะทาง

ในหัวข้อที่ผ่านมา เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำต่อการเปลี่ยนแปลงของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ณ ตำแหน่งปิดกั้น เมื่อมีตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำต่างๆ กันออกไป สำหรับผลของการสะท้อนกลับเนื่องจากการปิดกั้นลำน้ำตามระยะทางด้านท้ายน้ำเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ ดังนั้นจึงทำการศึกษาโดยเปรียบเทียบอัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่ตำแหน่งต่างๆ กับอัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่บานประตูระบายน้ำ โดยกำหนดความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามระยะทางระหว่างประตูกับปากแม่น้ำ (x/L_c) เทียบกับค่าอัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ เป็นดังสมการ

$$R = f(x/L_c) = \frac{Hr_x - 1}{Hr_c - 1} \quad \dots\dots\dots (5-7)$$

โดยที่ R = สัมประสิทธิ์อัตราส่วนคลื่นขยายตัวตามระยะทางเทียบกับที่ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ
 Hr_x = อัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่ตำแหน่ง x ใดๆ ในลำน้ำ
 Hr_c = อัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ

เนื่องจากจำนวนเครื่องมือวัดความสูงคลื่นมีจำกัด จำนวนข้อมูลระหว่างปากแม่น้ำและประตูระบายน้ำจึงมีเพียง 1 จุดเท่านั้น จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล R ดังตัวอย่างในตาราง 5-2 (สำหรับตารางผลการคำนวณ Hr และ R ของข้อมูลทั้งหมดแสดงในตาราง ข-7 ถึง ข-9 ตาราง ค-7 ถึง ค-9 และตาราง ง-7 ถึง ง-9) พบว่าค่า R ที่ระยะ 10 เมตร มีความผิดปกติของข้อมูลอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งค่า R ควรอยู่ในช่วง 0 - 1 เท่านั้น แต่ในการศึกษานี้พบว่า ค่า R ส่วนใหญ่มีค่าอยู่นอกช่วงมาก ทั้งค่าบวกและลบ โดยเฉพาะในกรณี g_1 , g_2 และ g_3 ของตาราง 5-2 เกือบทุกค่ามีค่า R อยู่นอกช่วงมากจนผิดปกติ เมื่อตรวจสอบข้อมูลการวัดความสูงคลื่นจริง ปรากฏว่า ระดับน้ำ ณ ตำแหน่ง 10 เมตร มีความไม่คงเส้นคงวาของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากปากแม่น้ำจนถึงบานประตู มีหลายกรณีที่ระดับน้ำที่ตำแหน่ง 10 เมตร สูงกว่าและต่ำกว่าตำแหน่งข้างเคียง ซึ่งอาจเกิดจากเครื่องมือวัดข้อมูล มีปัญหาในระหว่างทำการทดลอง เนื่องจากก่อนการทดลองได้ทำการสอบเทียบเครื่องมือแล้ว ดังรูป ก-1 ดังนั้นการพิจารณาค่า R จึงไม่สามารถทำได้

ปัญหาของเครื่องมือวัดข้อมูลคลื่น อาจเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เนื่องจากในการวัดข้อมูลต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองต่อเนื่องติดต่อกันเป็นระยะ

ตาราง 5-2 ตัวอย่างตารางความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ			
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
n3	g0	t1	80	5.53	-	0.78	59.02	1.00	5.90	1.58	3.69	2.02	0.00	0.00	0.67	0.57	1.00	1.00
		t2	141	5.57	-	1.07	104.40	1.00	10.44	1.67	6.52	1.39	0.00	0.00	0.67	1.71	1.00	1.00
		t3	200	5.57	-	0.85	147.85	1.00	14.78	1.12	9.24	1.19	0.00	0.00	0.67	0.64	1.00	1.00
		t4	160	5.56	-	1.03	118.24	1.00	11.82	1.17	7.39	1.23	0.00	0.00	0.67	0.76	1.00	1.00
		t5	282	5.60	-	0.90	209.26	1.00	20.93	1.17	13.08	1.23	0.00	0.00	0.67	0.74	1.00	1.00
		t6	400	5.54	-	0.90	294.88	1.00	29.49	1.16	18.43	1.17	0.00	0.00	0.67	0.95	1.00	1.00
		t7	240	5.60	-	0.93	177.88	1.00	17.79	1.38	11.12	1.61	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t8	424	5.63	-	0.94	314.72	1.00	31.47	1.05	19.67	1.16	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	1.00
		t9	600	5.53	-	0.96	441.79	1.00	44.18	1.02	27.61	1.12	0.00	0.00	0.67	0.21	1.00	1.00
	g1	t1	71	5.60	-	0.68	52.37	1.00	5.24	0.50	3.27	0.98	0.00	0.00	0.67	31.00	1.00	1.00
		t2	150	5.61	-	0.62	111.35	1.00	11.13	0.72	6.96	0.91	0.00	0.00	0.67	3.17	1.00	1.00
		t3	190	5.50	-	0.68	139.26	1.00	13.93	0.57	8.70	0.75	0.00	0.00	0.67	1.72	1.00	1.00
		t4	160	5.64	-	0.75	119.01	1.00	11.90	0.79	7.44	1.03	0.00	0.00	0.67	-8.00	1.00	1.00
		t5	267	5.58	-	0.78	197.31	1.00	19.73	0.88	12.33	1.06	0.00	0.00	0.67	-2.00	1.00	1.00
		t6	379	5.53	-	0.78	279.23	1.00	27.92	0.76	17.45	0.87	0.00	0.00	0.67	1.90	1.00	1.00
		t7	225	5.65	-	0.89	167.49	1.00	16.75	0.83	10.47	1.16	0.00	0.00	0.67	-1.06	1.00	1.00
		t8	400	5.56	-	0.82	295.52	1.00	29.55	0.83	18.47	0.97	0.00	0.00	0.67	5.67	1.00	1.00
		t9	572	5.55	-	0.93	421.70	1.00	42.17	0.86	26.36	0.98	0.00	0.00	0.67	6.75	1.00	1.00
	g2	t1	71	5.55	-	0.67	52.13	1.00	5.21	0.55	3.26	1.02	0.00	0.00	0.67	-22.00	1.00	1.00
		t2	141	5.53	-	0.67	104.01	1.00	10.40	0.86	6.50	0.87	0.00	0.00	0.67	1.08	1.00	1.00
		t3	190	5.56	-	0.68	140.03	1.00	14.00	0.54	8.75	0.67	0.00	0.00	0.67	1.40	1.00	1.00
		t4	150	5.56	-	0.77	110.83	1.00	11.08	0.81	6.93	0.97	0.00	0.00	0.67	7.75	1.00	1.00
		t5	282	5.49	-	0.76	207.28	1.00	20.73	0.87	12.96	1.04	0.00	0.00	0.67	-3.17	1.00	1.00
		t6	379	5.60	-	0.80	280.93	1.00	28.09	0.73	17.56	0.87	0.00	0.00	0.67	2.10	1.00	1.00
		t7	225	5.52	-	0.96	165.67	1.00	16.57	0.79	10.35	1.02	0.00	0.00	0.67	-11.50	1.00	1.00
		t8	400	5.48	-	0.96	293.27	1.00	29.33	0.88	18.33	1.05	0.00	0.00	0.67	-2.50	1.00	1.00
		t9	572	5.58	-	0.94	422.75	1.00	42.28	0.85	26.42	0.99	0.00	0.00	0.67	14.50	1.00	1.00
g3	t1	71	5.63	-	0.73	52.52	1.00	5.25	0.55	3.28	1.04	0.00	0.00	0.67	-10.13	1.00	1.00	
	t2	141	5.61	-	1.28	104.82	1.00	10.48	1.55	6.55	1.72	0.00	0.00	0.67	0.76	1.00	1.00	
	t3	188	5.57	-	1.08	139.16	1.00	13.92	0.78	8.70	1.13	0.00	0.00	0.67	-1.75	1.00	1.00	
	t4	150	5.63	-	1.00	111.52	1.00	11.15	1.06	6.97	1.36	0.00	0.00	0.67	0.16	1.00	1.00	
	t5	282	5.59	-	0.98	209.19	1.00	20.92	1.09	13.07	1.34	0.00	0.00	0.67	0.26	1.00	1.00	
	t6	400	5.55	-	0.91	295.20	1.00	29.52	0.90	18.45	1.12	0.00	0.00	0.67	-0.88	1.00	1.00	
	t7	225	5.64	-	0.88	167.43	1.00	16.74	0.78	10.46	1.12	0.00	0.00	0.67	-1.88	1.00	1.00	
	t8	400	5.59	-	0.88	296.29	1.00	29.63	0.84	18.52	1.05	0.00	0.00	0.67	-3.00	1.00	1.00	
	t9	600	5.61	-	0.98	445.06	1.00	44.51	0.88	27.82	0.98	0.00	0.00	0.67	5.75	1.00	1.00	

หมายเหตุ

เวลานานหลายเดือน ประกอบกับการทดลองที่นำมาใช้ศึกษานี้เป็นการทดลองในครั้งที่ 3 ซึ่งมีระยะเวลาในการทดลองจำกัด ไม่สามารถทำให้ตรวจสอบเครื่องมือระหว่างการทดลองได้ เนื่องจากต้องทำการทดลองต่อเนื่อง จึงอาจมีข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลองครั้งสุดท้าย แม้ว่าจะมีการตรวจสอบเครื่องมือในระยะแรกแล้ว

5.6 ผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำ

ในธรรมชาติแม่น้ำที่ไหลลงสู่ทะเล จะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง เข้าไปในลำน้ำ และนำความเค็มของน้ำทะเลเข้าไปในแม่น้ำด้วย ซึ่งอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจะลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทางลึกเข้าไปในแม่น้ำ การรुक้าของน้ำเค็มขึ้นไปทางด้านเหนือน้ำสร้างความเสียหายต่อการเกษตรกรรม และการอุปโภคบริโภค ดังนั้นการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็มจึงเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาการรुक้าของน้ำเค็ม โดยการปิดประตูระบายน้ำในช่วงน้ำทะเลหนุนหรือต้องการเก็บกักน้ำจืด แต่การศึกษาถึงผลกระทบของการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็มที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจัง ดังนั้นจึงทำให้เกิดปัญหาตามมาจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็มหลายแห่ง และมีการชะลอโครงการบางโครงการเพื่อศึกษาปัญหาที่จะเกิดขึ้นจากการการสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็ม

ปัญหาที่พบในประเทศไทย ได้แก่การสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ที่ได้รับผลกระทบจากการทดลองปิดประตูระบายน้ำในปี 2542 มีการกล่าวอ้างว่าเป็นสาเหตุทำให้มีระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด มากกว่าปกติ และเกิดการพังทลายของตลิ่งด้านท้ายเขื่อนเป็นระยะทางจากประตูระบายน้ำ 30 กม. โครงการประตูระบายน้ำอุทกวิภาชประสิทธิ์ จ.นครศรีธรรมราช มีเหตุการณ์น้ำท่วมเมืองเมื่อปี 2543 หลังจากเริ่มดำเนินการปิดประตูระบายน้ำ ทำให้คนในพื้นที่เข้าใจว่าเป็นผลจากการสร้างประตูระบายน้ำ และโครงการประตูระบายน้ำท่าจีนที่กำลังทำการศึกษา ก็มีความกังวลว่าจะมีผลกระทบจากการสร้างเขื่อน จะเห็นได้ว่าปัญหาเนื่องจากการสร้างเขื่อนและประตูระบายน้ำในลำน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง เป็นปัญหาใหญ่ที่ควรได้รับการศึกษาอย่างจริงจัง

ในการศึกษารุ่นนี้ได้พยายามศึกษาผลกระทบจากการสร้างเขื่อนกั้นน้ำ ที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยแบบจำลองกายภาพ พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำคือ ตำแหน่งของการสร้างเขื่อน โดยมีช่วงของตำแหน่งการติดตั้งประตูระบายน้ำประมาณ $L/4 - L/30$ และมีค่าอัตราส่วนคลื่นขยายตัวมากที่สุดที่ตำแหน่ง $L/4$ ดังรูป 5-10 สำหรับในกรณีปิดประตูระบายน้ำจะมีอัตราส่วนคลื่นขยายตัวดังสมการ

$$Hr = 1 + 0.71e^{-0.065(L/Lc)} \quad \dots\dots\dots (5-8)$$

จากกรณีการสร้างประตูระบายน้ำหรือเขื่อนทดน้ำในประเทศไทย ซึ่งได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง เช่นเขื่อนทดน้ำบางปะกงซึ่งมีระยะของการติดตั้งบานประตูระบายน้ำ 72 กม.จากปากแม่น้ำ โดยที่คลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในอ่าวไทยมีความคลื่นของน้ำคุ้เฉลี่ย 12 ซม. และน้ำเดี่ยวเฉลี่ย 24 ซม. หรือมีความยาวคลื่น 383 กม.

และ 765 กม. ตามลำดับ เมื่อตรวจสอบอัตราส่วนของความยาวคลื่นกับระยะของการติดตั้งบาน (L/Lc) พบว่า สำหรับน้ำคูจะมีค่าประมาณ 5.32 และน้ำเด็ยวมีค่าประมาณ 10.63 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะการติดตั้งบานของแม่น้ำบางปะกง อยู่ในช่วงที่ทำการศึกษา ดังนั้นหากมีการปิดบานประตูระบายน้ำจะทำให้มีความสูงคลื่นเพิ่มสูงขึ้น 1.50 เท่าจากคลื่นที่ปากแม่น้ำในกรณีน้ำคู และเพิ่มขึ้น 1.36 เท่า

สำหรับในกรณีแม่น้ำปากพนังมีตำแหน่งการสร้างเขื่อนอยู่ที่ระยะห่างจากปากแม่น้ำ 7 กม. เมื่อพิจารณาความยาวคลื่นเทียบกับตำแหน่งการสร้างเขื่อน พบว่ามีค่า L/Lc สำหรับคลื่นที่เป็นน้ำคูเท่ากับ 54 และน้ำเด็ยวเท่ากับ 109 ซึ่งอยู่นอกช่วงที่ทำการศึกษา และไม่คาดว่าจะได้รับผลกระทบจากการสร้างเขื่อน ดังนั้นในการพิจารณาสร้างเขื่อนปิดกั้นลำน้ำ จึงควรพิจารณาถึงตำแหน่งที่ตั้งของเขื่อนให้เหมาะสม เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากการสะท้อนกลับของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 แบบจำลองชลศาสตร์ของแม่น้ำและทะเล

การศึกษาชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดที่มีเขื่อนกั้นภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยใช้แบบจำลองทางกายภาพนั้น ได้ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลอง ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบบจำลองชลศาสตร์ที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

- 1) แบบจำลองแม่น้ำ สร้างด้วยพลาสติก มีความยาว 19.5 เมตร กว้าง 0.30 เมตร สูง 0.20 เมตร ผันแปรความขรุขระของทางน้ำ โดยการเปลี่ยนพื้นผิวทางน้ำเป็นพลาสติก ($n=0.0132$) กระดาษทรายเบอร์ 80 ($n = 0.0201$) และเบอร์ 400 ($n = 0.0211$)
- 2) แบบจำลองทะเล ประกอบด้วย แอ่งคลื่นและเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง โดยแบบจำลองแอ่งคลื่นสร้างด้วยอิฐก่อ รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 2.30 เมตร ยาว 2.50 เมตร สูง 0.60 เมตร โดยมีผนังด้านหนึ่งต่อเชื่อมกับแบบจำลองแม่น้ำ ส่วนเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลงใช้หลักการแทนที่น้ำ โดยใช้กล่องเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 0.50 เมตร ยาว 1.20 เมตร สูง 0.30 เมตร ควบคุมด้วยมอเตอร์ปรับความเร็ว
- 3) ชุดควบคุมอัตราการไหล ใช้วิธีการสูบน้ำจากแอ่งคลื่นใส่ในถังพักน้ำควบคุมอัตราการไหลผ่านฝาย และปล่อยน้ำไหลลงสู่ทางน้ำผ่านฝายวัดอัตราการไหล ซึ่งต่ออยู่ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของแบบจำลองแม่น้ำ เป็นการไหลแบบหมุนเวียนอย่างต่อเนื่อง
- 4) แบบจำลองประตูระบายน้ำ ใช้แบบจำลองประตูระบายน้ำแบบสันคม สำหรับกรณีการเปิดบานต่างๆ และสันตรงสำหรับกรณีปิดบาน
- 5) เครื่องมือที่ใช้วัดข้อมูลจากการทดลอง ในที่นี้ใช้เครื่องมือวัดความสูงคลื่น (wave height meter) จำนวน 5 ตัว วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Card) PC-Lab พร้อมโปรแกรม Labtech Notebook Pro ซึ่งเป็นโปรแกรมระบบปฏิบัติการ MS DOS ในการบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์

6.2 การดำเนินการทดลอง

การศึกษานี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแบบจำลอง โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดลองให้ทางน้ำมีการผันแปรอัตราการไหลตั้งแต่ 0.3 – 1.2 ลิตร/วินาที และความขรุขระของทาง

น้ำผืนแปรอยู่ในช่วง 0.0132 – 0.0211 ส่วนสภาพเงื่อนไขของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ผันแปรความสูงคลื่นในช่วง 0.5 – 2 ซม. คาบคลื่น 70 – 600 วินาที ความยาวคลื่น 50-450 เมตร และเงื่อนไขสภาพการควบคุมระดับน้ำคือ ระยะเวลาของการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำตั้งแต่ 0-100 % รวมกรณีศึกษาทั้งสิ้น 270 กรณี

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้สร้างแบบจำลองสภาพทางน้ำ และน้ำขึ้นน้ำลงขึ้นใหม่ทั้งหมด ดังนั้นด้วยข้อจำกัดด้านงบประมาณ และสถานที่ในการสร้างแบบจำลอง ทำให้การดำเนินการทดลองไม่สมบูรณ์แบบ เนื่องจากมีสิ่งรบกวนที่ไม่คาดคิด เช่น คลื่นแทรกจากภายนอกทำให้ระดับน้ำไม่คงที่ การสะท้อนของคลื่นจากท้ายน้ำเป็นต้น ซึ่งได้มีการพัฒนาวิธีการทดลองและแบบจำลองทั้งหมด 3 ครั้ง เพื่อพยายามลดผลกระทบต่างๆ ต่อการทดลอง โดยระยะเวลาในการดำเนินงาน จัดสร้างแบบจำลองและทำการทดลอง ใช้เวลาทั้งสิ้น 9 เดือน สำหรับงบประมาณในการสร้างแบบจำลองประมาณ 60,000 บาท จากการประเมินโดยหยาบๆ ค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ทั้งหมดประมาณ 160,000 บาท ดังแสดงในตาราง 6-1 ซึ่งได้รับการอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย 13,600 บาท จากทบวงมหาวิทยาลัย 32,250 บาท งบประมาณที่ผู้ศึกษาออกเอง นอกนั้นเป็นการสนับสนุนของภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และเพื่อนิสิตบัณฑิตศึกษาในรูปของแรงงาน สาธารณูปโภค เครื่องมือ และสถานที่ ประมาณ 80,000 บาท

ตาราง 6-1 การประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการศึกษา

รายการ	เป็นเงิน (บาท)
1. ค่าหนังสือ และสำเนาเอกสาร	5,000
2. ค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลอง	60,000
3. ค่าอุปกรณ์เครื่องเขียนและกระดาษ	5,000
4. ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องแบบจำลอง	10,000*
5. ค่าการใช้โปรแกรม ISIS	20,000*
6. ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์เก็บข้อมูล	50,000*
7. ค่าจัดทำวิทยานิพนธ์	5,000
8. เบ็ดเตล็ด	5,000
รวมทั้งสิ้น	160,000

หมายเหตุ * สนับสนุนโดยงบประมาณดำเนินงานประจำปี ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และการสนับสนุนทางอ้อมในรูปของแรงงาน และการดำเนินงานประจำทั่วไป

6.3 ผลการศึกษา

- 1) ในทางน้ำเปิดทดลอง ได้กำหนดให้มีเขื่อนหรือประตูระบายน้ำขวางลำน้ำที่ตำแหน่ง $L_c = 16$ เมตร จากปากแม่น้ำ พบว่าเกิดผลกระทบความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง (tidal wave) ที่ท้ายประตูสูงชันกว่าปกติ จึงได้กำหนดตัวแปรอัตราส่วนคลื่นขยายตัว (H_r) เท่ากับอัตราส่วนความสูงคลื่นที่ประตูต่อความสูงคลื่นที่ปากแม่น้ำ โดยการทดลองได้ผันแปรขนาดความยาวคลื่น (L) โดยเปลี่ยนค่าคาบเวลาคลื่น (T)
- 2) จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าอัตราการขยายตัวของคลื่น (H_r) เป็นดัชนีชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในลำน้ำ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนคลื่นขยายตัวกับตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ (L/L_c) พบว่าสามารถเขียนให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์ดังนี้

$$H_r = 1 + ae^{-b(L/L_c)} = f(L/L_c | n, Fr, G) \quad \dots\dots\dots(6.1)$$

โดยที่ H_r เป็นฟังก์ชันของ L/L_c เมื่อกำหนดตัวแปรชลศาสตร์การไหล n Fr และ G ขึ้นอยู่กับระยะการเปิดกั้นลำน้ำ โดยตำแหน่งการปิดกั้นลำน้ำของการศึกษานี้อยู่ในช่วง $L/4$ ถึง $L/30$ และค่าอัตราส่วนคลื่นขยายตัวอยู่ในช่วง 1 ถึง 2 สำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ a และ b ในสมการ 6-1 กับตัวแปรชลศาสตร์การไหล พบว่า มีความสัมพันธ์กับตัวแปรชลศาสตร์การไหลน้อยมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระและอัตราการไหลที่ใช้ในการทดลองนี้ อาจอยู่ในช่วงที่แคบเกินไป และการทดลองไม่สมบูรณ์แม่นยำเพียงพอ อันเนื่องมาจากยังขาดประสบการณ์ในการทดลองด้วยแบบจำลองชลศาสตร์และการใช้เครื่องมือ

- 3) เมื่อพิจารณาผลของการเปิดปิดบานประตูระบายน้ำโดยไม่พิจารณากรณีของการเปิดบานหมด พบว่า ระยะของการเปิดปิดบานประตูระบายน้ำมีผลต่ออัตราการขยายตัวของคลื่นที่ตำแหน่งปิดกั้น โดยจะมีค่าอัตราการขยายตัวของคลื่นสูงสุดในกรณีปิดบาน และมีค่าลดลงตามระยะการเปิดบานที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ ซึ่งกรณีการเปิดบานบางส่วนอาจได้รับผลกระทบ เนื่องจากการสะท้อนกลับจากหินลาดด้านต้นน้ำ คาดว่าหากในการทดลองนี้ไม่ได้รับผลกระทบจากแนวหินลาดต้นน้ำ แนวโน้มการลดลงของอัตราการขยายตัวของคลื่น น่าจะขึ้นอยู่กับระยะการเปิดบานที่เพิ่มขึ้น

- 4) เมื่อพิจารณาผลการสะท้อนกลับตามระยะทางด้านท้ายน้ำของประตู ที่ระยะ x จากปากแม่น้ำ โดยพิจารณาให้อยู่ในรูปความสัมพันธ์

$$R = f(x/L_c) = \frac{H_{r_x} - 1}{H_{r_c} - 1} \quad \dots\dots\dots(6-2)$$

R = สัมประสิทธิ์อัตราส่วนคลื่นขยายตัวตามระยะทางเทียบกับที่ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ

H_{r_x} = อัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่ตำแหน่ง x ใด ๆ ในลำน้ำ

H_{r_c} = อัตราส่วนคลื่นขยายตัวที่ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ

จากสมการความสัมพันธ์ ค่า R ควรอยู่ในช่วง $0 - 1$ แต่เมื่อพิจารณาผลการทดลองพบว่า ค่า R ที่ตำแหน่ง 10 เมตร ส่วนใหญ่มีค่าอยู่นอกช่วงนี้มากทั้งบวกและลบ จึงไม่สามารถวิเคราะห์คลื่นสะท้อนกลับตามระยะทางได้ ซึ่งอาจเกิดจากเครื่องมือวัดข้อมูลที่ตำแหน่ง 10 เมตรนี้ มีปัญหาระหว่างทำการทดลอง

- 5) การจำลองสภาพด้วยโปรแกรม ISIS พบว่าระดับน้ำสูงสุด - ต่ำสุด จากการทดลองไม่มีความคงเส้นคงวาตลอดความยาวลำน้ำ และมีกรณีที่ไม่น่าเป็นไปได้ คือ กรณีคาบคลื่น 600 วินาที มีระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด เกือบทับกัน แบบจำลองกายภาพในห้องปฏิบัติการซึ่งมีการย่อส่วนขนาดเล็กในห้องปฏิบัติการ ไม่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโปรแกรม ISIS เนื่องจากในขณะที่ ISIS มีรูปแบบการรับข้อมูลที่สร้างไว้ใช้งานกับมาตราส่วนจริง และด้วยความยาวของแบบจำลองชลศาสตร์สั้น ซึ่งในการจำลองด้วยโปรแกรม ISIS ระดับน้ำที่ขอบเขตด้านเหนือน้ำได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจากด้านท้ายน้ำ ทำให้การคำนวณระดับน้ำอาจไม่ถูกต้อง
- 6) การพิจารณาผลกระทบของการปิดกั้นลำน้ำ โดยพิจารณาเปรียบเทียบกับผลกระทบที่เกิดจากโครงการสร้างเขื่อนกั้นลำน้ำในประเทศไทย 2 แห่ง พบว่า โครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้เกิดผลกระทบของการขยายตัวของคลื่นประมาณ 1.5 เท่าจากคลื่นที่ปากแม่น้ำ ส่วนประจําประจําหน้าปากพนังน้ำจะไม่ได้รับผลกระทบจากการสร้างเขื่อน

6.4 ข้อเสนอแนะ

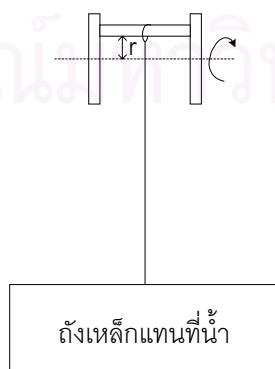
6.4.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากการทดลอง

- 1) ในการศึกษาสามารถยืนยันได้ว่า การปิดกั้นลำน้ำโดยเขื่อนหรือประตูระบายน้ำ มีผลกระทบทำให้ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงเพิ่มขึ้น และได้เสนอรูปแบบสมการเพื่อการวิเคราะห์ ดังสมการ 6-1 และ 6-2 แต่การศึกษาทดลองครั้งนี้ยังไม่สามารถสร้างความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ในสมการ เช่น ค่า a และ b กับตัวแปรชลศาสตร์การไหลได้ชัดเจน แต่ค่า a และ b อาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ซึ่งไม่ได้นำมาพิจารณาในการศึกษานี้ เช่น ความแตกต่างของระดับน้ำเหนือประตูและท้ายประตูระบายน้ำ หรือระยะการเปิดประตูระบายน้ำเทียบกับระดับน้ำเหนือประตูระบายน้ำ ดังนั้นในการศึกษาต่อไปควรพิจารณาตัวแปรเหล่านี้ หรือตัวแปรอื่นๆเพิ่มเติม
- 2) การสร้างแบบจำลองชลศาสตร์จำเป็นต้องใช้ความรู้ ความชำนาญ จากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางหลายด้าน อาทิ ช่างไฟฟ้า ช่างกล ช่างก่อสร้าง ดังนั้นหากผู้วิจัยได้มีความรู้พื้นฐานเหล่านี้อยู่บ้าง จะทำให้การวิจัยดำเนินไปอย่างรวดเร็ว

- 3) เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลองชลศาสตร์ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรมหาแหล่งเงินทุนให้เพียงพอ ตลอดจนมีสถานที่ที่ใหญ่มากกว่าที่เป็นอยู่เพื่อลดข้อจำกัดในการศึกษาวิจัย
- 4) งานพัฒนาแหล่งน้ำเป็นโครงการที่มีมูลค่าสูง หากโครงการไม่สามารถดำเนินการได้ตามวัตถุประสงค์จะสูญเสียงบประมาณมหาศาล ที่ผ่านการมาศึกษาพฤติกรรมหรือผลกระทบของโครงการ มักศึกษาโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งยังมีข้อจำกัดในการจำลองพฤติกรรมการไหลที่ซับซ้อน ดังนั้นเพื่อลดข้อผิดพลาดอันเนื่องมาข้อจำกัดดังกล่าว จึงควรใช้งบประมาณส่วนหนึ่งจากการก่อสร้างโครงการ เช่น ประมาณ 0.5 % ของงบประมาณโครงการ สร้างแบบจำลองกายภาพเพื่อศึกษาผลกระทบของโครงการประกอบด้วย จะช่วยให้สามารถตัดสินใจดำเนินงานโครงการได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น
- 5) เครื่องมือที่ใช้วัด และอุปกรณ์การทดลองทางด้านชลศาสตร์ มีลักษณะเฉพาะและราคาแพง ซึ่งภาควิชา มีงบประมาณและเครื่องมือจำกัด หากได้รับการสนับสนุนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจะทำให้การดำเนินการวิจัยด้านนี้ก้าวหน้ามากขึ้น
- 6) ในการศึกษาทดลองด้วยแบบจำลองทางกายภาพ ควรทำการทดลองจำนวนกรณีน้อยๆ และนำผลมาวิเคราะห์ก่อนทำการทดลองชุดต่อไป เพื่อทำการตรวจสอบและพิจารณาความเป็นไปได้ของข้อมูลและความผิดพลาดต่าง ๆ ก่อนดำเนินการต่อไป จะช่วยลดระยะเวลาศึกษาได้มาก

6.4.2 ข้อเสนอแนะในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง

- 1) ปัญหาคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงไม่เป็นรูปไซน์ เนื่องจากการสร้างคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงในทางนี้ เป็นการแทนที่น้ำแบบยกขึ้น-กดลงคลื่นจึงมีลักษณะซิกแซก ดังนั้นการแก้ปัญหาการสร้างคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงควรให้มีการแทนที่น้ำแบบเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นวงกลม มีขนาดความสูงคลื่นเท่ากับ πr โดยที่ r เป็นรัศมีของการเคลื่อนที่แบบวงกลม จะทำให้คลื่นมีลักษณะเป็นรูปไซน์คล้ายธรรมชาติ ดังรูป 6-1



รูป 6-1 การสร้างคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงโดยใช้การแทนที่น้ำเคลื่อนที่ขึ้นลงแบบวงกลม

- 2) ปัญหาการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำเมื่อคลื่นเคลื่อนที่จากแอ่งคลื่นเข้าสู่ปากแม่น้ำ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากการเคลื่อนที่ของคลื่นผ่านการเปลี่ยนหน้าตัดทางน้ำฉับพลัน การแก้ปัญหานี้ควรสร้างให้บริเวณปากแม่น้ำค่อยๆ ฝายออกลงสู่แอ่งคลื่น ให้มีลักษณะคล้ายกับปากแม่น้ำในธรรมชาติ เพื่อให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอ ดังรูป 6-2



รูป 6-2 การสร้างบริเวณปากแม่น้ำของแบบจำลองให้ฝายออกสู่แอ่งคลื่น เพื่อแก้ปัญหการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดทางน้ำฉับพลัน

- 3) ปัญหาความสูงที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อคลื่นเคลื่อนที่ลึกเข้าไปในแม่น้ำเกือบทุกกรณีการทดลอง ในธรรมชาติกรณีการเปิดประตูระบายน้ำความสูงคลื่นควรลดลงตามความลึกขึ้นไปด้านเหนือน้ำ ดังนั้นปัญหาที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก การสะท้อนจากการมีลาดหินสลายพลังงานด้านเหนือประตูระบายน้ำ สำหรับการแก้ปัญหการสะท้อนของคลื่น อาจสร้างแอ่งน้ำขนาดใหญ่ด้านเหนือน้ำ หรือการสร้างทางน้ำให้ปลายด้านเหนือน้ำห่างจากประตูระบายน้ำมากขึ้น โดยอาจพิจารณาจากสมการ $a(x) = a_0 e^{-\mu x}$ ซึ่ง Vongvisessomjai , 1989 ได้ทำการศึกษา กับแม่น้ำเจ้าพระยา โดยที่ $a(x)$ เป็นแอมพลิจูดคลื่นที่ระยะ x ใดๆ , a_0 เป็นแอมพลิจูดคลื่นที่ปากแม่น้ำ และ μ เป็นโมดูลัสการลดขนาดคลื่น หาค่าได้จาก

$$\frac{\mu}{k_0} = 30 \left(\frac{U_F}{\sqrt{gh}} \right) \quad \text{สำหรับ } \frac{U_F}{\sqrt{gh}} > 0.022$$

$$= 0.66 \quad \text{สำหรับ } \frac{U_F}{\sqrt{gh}} \leq 0.022$$

เมื่อ $k_0 = 2\pi/L_0$, $L_0 =$ ความยาวคลื่นที่ปากแม่น้ำ

$h =$ ความลึกน้ำเฉลี่ย , $U_F =$ ความเร็วการไหลในแม่น้ำ

ซึ่งค่า μ อาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ ด้วย เช่น ค่า สปส.ความขรุขระ ความสูงคลื่น ดังนั้นในการศึกษาต่อไป ควรศึกษาความสัมพันธ์ของ μ กับตัวแปรชลศาสตร์อื่นๆ เพิ่มขึ้น

สำหรับการศึกษาที่มีขนาดของแบบจำลองใกล้เคียงกับการศึกษานี้ ได้แก่การศึกษาของ Ippen และ Harleman (1966) ศึกษาการรुकูล้ำของน้ำเค็มเข้าไปในแม่น้ำกับการเคลื่อนที่ของคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงโดยแบบจำลองกายภาพ ความยาวทางน้ำ 327 ฟุต กว้าง 0.75 ฟุต ความลึก 0.5 ฟุต และสร้างน้ำขึ้นน้ำลงในแอ่งน้ำเค็มขนาดใหญ่

- 4) การควบคุมระดับน้ำท้ายประตูระบายน้ำให้มีความลึกสม่ำเสมอ ก่อนที่ระดับน้ำจะเอ่อที่ปากแม่น้ำ สามารถทำได้หลังจากเพิ่มความยาวแบบจำลอง โดยอาจเพิ่มระดับน้ำเฉลี่ยและควบคุมอัตราการไหลให้สูงขึ้น

6.5 ข้อจำกัดของการศึกษา

- 1) เนื่องจากพื้นที่การศึกษาเป็นห้องปฏิบัติการมีพื้นที่จำกัด สามารถสร้างแบบจำลองชลศาสตร์ได้ความยาวเพียง 19.5 เมตร ซึ่งไม่เพียงพอในการจำลองสภาพให้เหมือนสภาพธรรมชาติ
- 2) จำนวนเครื่องมือที่ใช้ทำการวัดข้อมูลของภาควิชามีจำนวนจำกัด ทำให้การวัดข้อมูลมีจำนวนตำแหน่งการวัดน้อยเกินไป ทำให้ไม่เห็นแนวโน้มของข้อมูลชัดเจน และอาจผิดพลาดในส่วนของ การวิเคราะห์พฤติกรรมกรมการไหลได้สูงขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กীরติ ลีวัจนกุล. ชลศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541.

ชลประทาน, กรม. ข้อเสนอด้านเทคนิค โครงการศึกษาแนวทางการดำเนินการประตูระบายน้ำอุทก
วิทยาประสิทธิ์. จัดทำโดยบริษัท ร็อบจ แอนด์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด, บริษัท พอล คอนซัลแตนท์
จำกัด และบริษัท แอสตีคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด, 2544.

ชลประทาน, กรม. ข้อเสนอด้านเทคนิค โครงการศึกษาผลกระทบด้านชลศาสตร์และสิ่งแวดล้อมเพื่อจัด
ทำประชาพิจารณ์ โครงการประตูระบายน้ำแม่ น้ำท่าจีน. จัดทำโดย บริษัท ทีเอ็ม คอนซัลตติ้ง
เอนจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด, 2544.

ชัยพันธุ์ รักวิจัย. ชลศาสตร์ของทางน้ำเปิด. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
เดือน สีนุพันธ์ประทุม. เทคนิคฟอร์แทรน 77. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2537.

บุศวรรณ โพธิทอง. รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัยสาเหตุการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งทะเลอ่าวไทย
ตอนบน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

ภาษาต่างประเทศ

Ahmad, E. Mathematical Modeling of Unsteady Flow in a Tidal Reach of the Bang Pakong
River, Thailand. Thesis. No. WM-79-29. Thailand: Asian Institute of Technology, 1980.

Beng, K.E. Superposition of Tidal and Flood Waves in Estuary. Thesis No. WM-80-7 Thailand:
Asian Institute of Technology, 1881.

Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. Applied Hydrology. Singapore: McGraw-Hill
Book, 1988.

Chow, V.T. Open-Channel Hydraulics. USA: McGraw-Hill Book, 1959.

Godin, G. Modification of river tides by the discharge. Journal of Waterway, Port, Coastal, and
Ocean Engineering. 111, 2(1985): 257-274.

Godin, G. Tidal hydraulics of Saint John River. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean
Engineering. 117, 1(1991): 19-28.

Henderson, F.M. Open Channel Flow. New York: Macmillan, 1966.

Hicks, S.D., Mosbacher, B.A., and Tippic, V.K. Tide Glossary. (1996).

- Horikawa, K. Coastal Engineering: An Introduction to Ocean Engineering. Japan: University of Tokyo Press, 1978.
- Hughes, S.A. Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering. Singapore: JBW Printer and Binders, 1966.
- Ippen, A.T. Estuary and Coastline Hydrodynamics. New York: McGraw-Hill Book, 1966.
- Japan International Cooperation Agency(JICA). Study on the Bang Pakong Diversion Dam project. Thailand: Team Consulting engineering and management (Thailand) and Sanyu Consultants (Thailand), 2001.
- Kawachi, T., and Minami, I. Effect of inland-water release on secondary undulation in tidal channels. Trans. JSIDRE (1979): 24-32.
- Khaleque, A. A Mathematical Model of Salinity Intrusion in the Bang Pakong River. Thesis. No. WA-79-28. Thailand: Asian Institute of Technology, 1979.
- Linsley, R.K., Franzini, J.B., Freyberg, D.L., and Tchobanoglous, G. Water Resources Engineering – Fourth Edition. Singapore: McGraw-Hill Book, 1992.
- Massic, W.W. Coastal Engineering Volume 1 - Introduction. Netherlands: Delft University of Technology, 1976.
- Patchanok, S. The Interaction Between Tide and Salinity Barriers. Thesis. No.WM-1-05. Thailand: Asian Institute of Technology, 2002.
- Phuc, T.V. Interaction of Tide and River Flow. Thesis. No. WM-85-54. Thailand: Asian Institute of Technology, 1985.
- Royal Irrigation, Department. The Feasibility on the Agricultural Water Development Project of Bang Pakong River Basin. Thailand, 1990.
- Salas, J.D., Delleur, J.W., Yevjevich, V., and Lane, W.L. Applied Modeling of Hydrologic Time Series. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, U.S.A., 1980.
- Sawaragi, T. Coastal Engineering-Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions. Development in Geotechnical Engineering, 78. Japan: Development of Civil Engineering, Osaka University, 1995.
- Silvester, R. Coastal Engineering, 2 -Sediment, Estuary, Tides, Effluents and Modeling. Development in Geotechnical Engineering. Vol.4B. Amsterdam Oxford, New York: Elsevier Scientific, 1974.
- Sorensen, R.M. Basic Coastal Engineering. Singapore: John Wiley and Son, 1991.
- Trien, H.N. Effects of Tidal Barrier on Estuarine Hydrodynamics and Sedimentation. Thesis. No. WA-87. Thailand: Asian Institute of Technology, 1987.

- US. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Manual, Part 3 –Distribution Restriction Statement. Washington: Development of the US. Army Corp of Engineers, 1998.
- US. Army Corps of Engineers. Tidal Hydraulics-Engineering Manual. Washington,DC: Department of the US. Army Corp of Engineering, 1991.
- US. Development of the Interior, Department. Hydraulic Laboratory Techniques. Colorado: Department of the US. Department of the Interior, 1980.
- Vongvisessomjai, S. Interaction of tide and river flow. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. 115, 1(1989): 86-104.
- Vongvisessomjai, S. Tidal Hydraulics and Estuarine Pollution Analysis. Thailand: Asian Institute of Technology,2002.
- Wallingford. ISIS Version 1.4-Release Notes. Wallingford, 1999.
- Whaiching, L. A Variable Grid Model of Flow near Tidal Barrier. Thesis. No. WA-89-11. Thailand: Asian Institute of Technology, 1969.
- Yevjevich, V. Stochastic Process in Hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins,Colorado, U.S.A., 1972.




สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
การสอบเทียบอุปกรณ์และเครื่องมือ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การสอบเทียบอุปกรณ์และเครื่องมือ

ในการศึกษาครั้งนี้ อุปกรณ์และเครื่องมือมีความจำเป็นมากในการวัดข้อมูล เนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่ที่ต้องการวัดเป็นแบบพลศาสตร์และมีขนาดเล็กมาก อุปกรณ์และเครื่องมือในการวัดต้องมีความละเอียดเพียงพอและสามารถวัดได้ต่อเนื่อง แต่ก่อนที่จะนำเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ไปในการวัดข้อมูล ต้องทำการสอบเทียบอุปกรณ์และเครื่องมือก่อน อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้ได้แก่ เครื่องมือวัดความสูงคลื่น ฝ่ายวัดน้ำ และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุท้องน้ำ นอกจากนี้ยังเขียนโปรแกรมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วย ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

ก-1 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น

การสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น เพื่อนำมาหาค่าระดับน้ำที่ถูกต้อง จากการส่งสัญญาณของเครื่องส่งสัญญาณจากค่าระดับน้ำทั้งหมด 5 ตัว โดยเครื่องส่งสัญญาณจะส่งข้อมูลเป็นค่าศักย์ไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับน้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำที่วัดได้จริง (H) ดังตาราง ก-1 จากนั้น สร้างกราฟความสัมพันธ์ของระดับน้ำและศักย์ไฟฟ้า ดังรูป ก-1 จะได้สมการ

$$H = 10V$$

เมื่อ H มีหน่วยเป็น เซนติเมตร และ V มีหน่วยเป็นโวลต์ จากความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงนำแฟคเตอร์เท่ากับ 10 คูณกับค่าศักย์ไฟฟ้าในโปรแกรม Labtech Notebook Pro ดังนั้นค่าที่บันทึกออกมาจึงเป็นค่าระดับน้ำมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ก-2 การสอบเทียบฝ่ายสันคม

การสอบเทียบฝ่ายสันคมซึ่งใช้ในการวัดอัตราการไหล โดยฝ่ายที่ใช้เป็นฝ่ายสันคมสามเหลี่ยมมุม 54° จะใช้ควบคู่กับการวัดน้ำเพื่อใช้ในการควบคุมระดับน้ำให้หนึ่ง และอ่านค่าระดับน้ำเหนือสันฝายฝายที่ใช้นี้ทำการติดตั้งอยู่ทางด้านเหนือน้ำของแบบจำลองแม่น้ำ ผลที่ได้จากการสอบเทียบฝ่ายสันคม ดังรูป ก-2 ได้ความสัมพันธ์สมการ

$$Q = 0.0094H^{2.49}$$

โดยที่ Q คือ อัตราการไหลมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที และ H คือระดับน้ำเหนือสันฝายมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

ก-3 การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุท้องน้ำ

การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของวัสดุท้องน้ำ เพื่อหาค่าที่เป็นตัวแทนของวัสดุท้องน้ำ โดยวัสดุท้องน้ำที่ใช้ได้แก่ พลาสติก กระดาษทรายเบอร์ 80 และกระดาษทรายเบอร์ 400 ทำการสอบเทียบในลักษณะการไหลในทางน้ำเปิด โดยการหาค่าความลาดชันท้องน้ำจากการชั่งน้ำไว้ในรางน้ำ ดังรูป ก-3 จากนั้นปล่อยอัตราการไหลในรางวัดค่าระดับน้ำ ดังรูป ก-4 วัดค่าอัตราการไหลด้วยการชั่งน้ำหนักน้ำ และหาความลาดชันพลังงาน (energy slope) จากสมการ

$$S = S_0 + \left[\frac{\left(y_A + \frac{V_A^2}{2g} \right) - \left(y_B + \frac{V_B^2}{2g} \right)}{L} \right]$$

คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (manning 's coefficient) จากสมการ

$$n = \sqrt{\frac{R_{av}^{4/3} S}{V_{av}^2}}$$

โดยมีรายละเอียดการคำนวณของวัสดุท้องน้ำแต่ละชนิด ได้แก่ พลาสติก กระดาษทรายเบอร์ 80 และ กระดาษทรายเบอร์ 400 ตามตาราง ก-2 ก-3 และ ก-4 ตามลำดับ และจะได้ตารางสรุปดังนี้

วัสดุท้องน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n)
พลาสติก	0.0132
กระดาษทรายเบอร์ 80	0.0201
กระดาษทรายเบอร์ 400	0.0211

ก-4 โปรแกรมการวิเคราะห์สเปกตรัม

โปรแกรมการวิเคราะห์สเปกตรัม เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแยกข้อมูลวงจร ซึ่งเขียนขึ้นโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สเปกตรัม (Yevjevich,1972) เป็นภาษาฟอร์แทรน โดยรับข้อมูลเข้าเป็นค่าระดับน้ำตามเวลา แล้วแสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าความถี่ แวเรียนซ์ (variance) เฟส (phase) คาบคลื่นแอมพลิจูด และค่าระดับน้ำเฉลี่ย

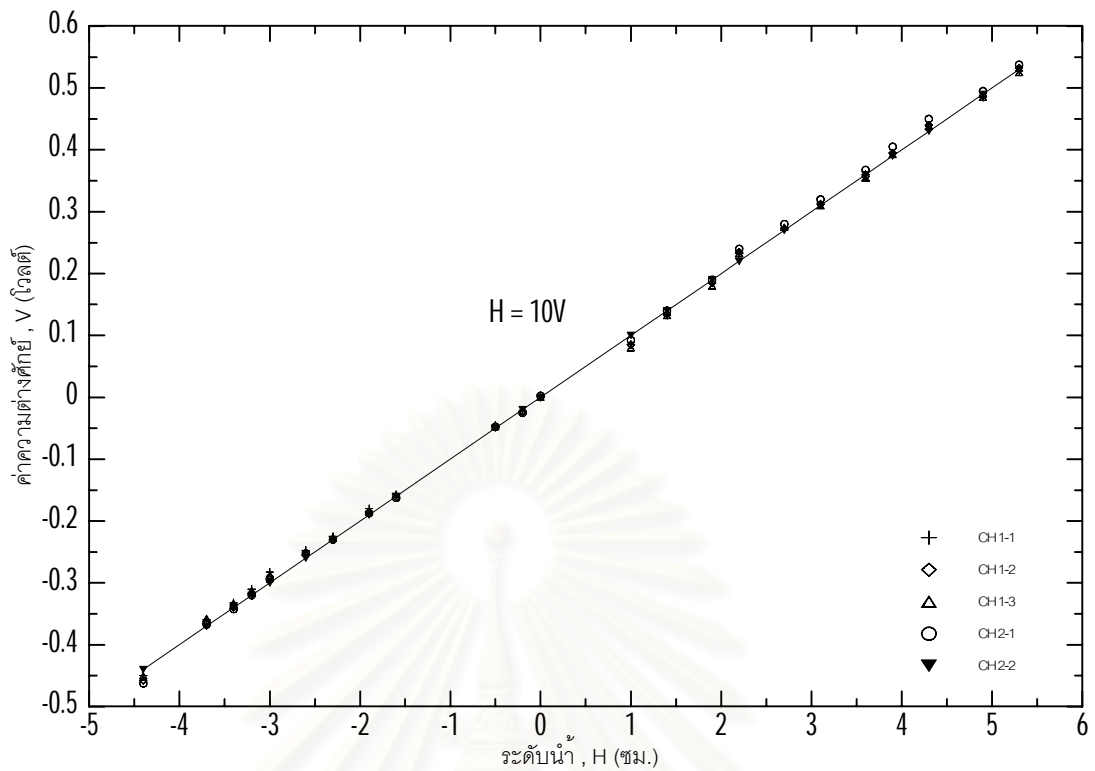
ตาราง ก-1 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น

Water Level (cm.)	CH1-1 (V)	CH1-2 (V)	CH1-3 (V)	CH2-1 (V)	CH2-2 (V)
5.30	0.53	0.53	0.53	0.54	0.53
4.90	0.49	0.49	0.49	0.50	0.49
4.30	0.44	0.44	0.44	0.45	0.43
3.90	0.40	0.40	0.39	0.41	0.39
3.60	0.36	0.36	0.36	0.37	0.36
3.10	0.31	0.31	0.31	0.32	0.31
2.70	0.27	0.27	0.28	0.28	0.27
2.20	0.23	0.24	0.23	0.24	0.22
1.90	0.19	0.19	0.18	0.19	0.19
1.40	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14
1.00	0.09	0.09	0.08	0.09	0.1
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-0.20	-0.02	-0.02	-0.02	-0.03	-0.02
-0.50	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05	-0.05
-1.60	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16	-0.16
-1.90	-0.18	-0.19	-0.19	-0.19	-0.19
-2.30	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23
-2.60	-0.25	-0.26	-0.25	-0.25	-0.26
-3.00	-0.28	-0.29	-0.29	-0.30	-0.3
-3.20	-0.31	-0.32	-0.31	-0.32	-0.32
-3.40	-0.33	-0.34	-0.33	-0.34	-0.34
-3.70	-0.36	-0.37	-0.36	-0.37	-0.37
-4.40	-0.45	-0.46	-0.45	-0.46	-0.44

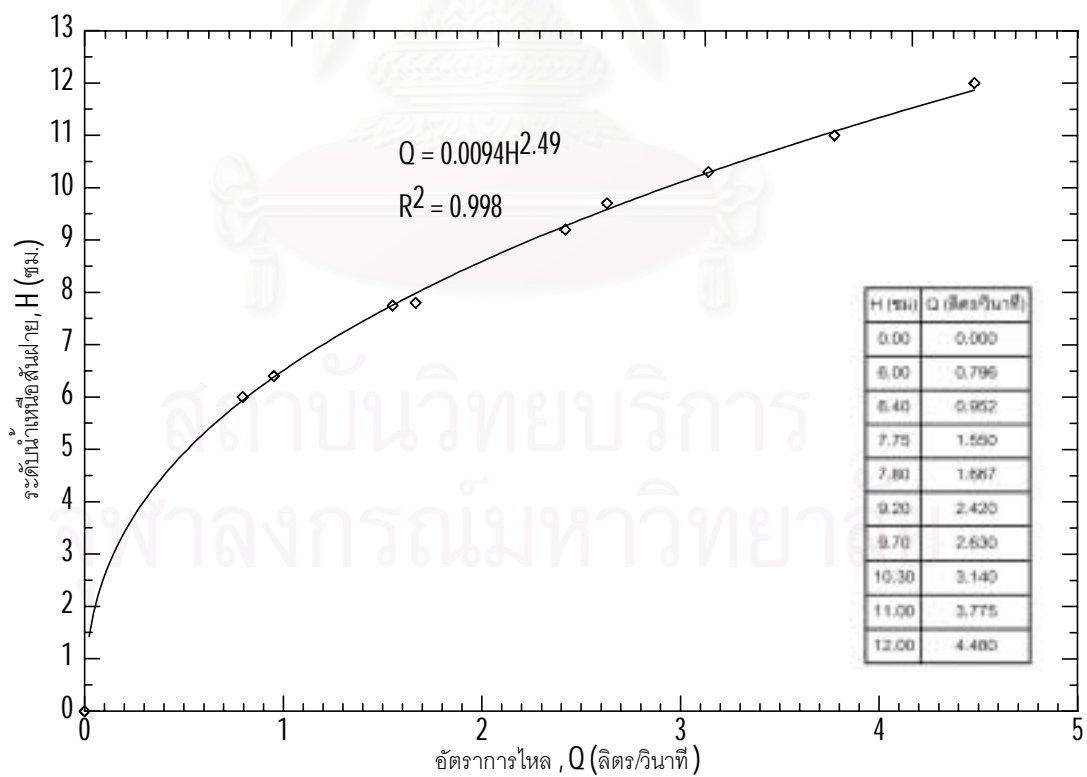
หมายเหตุ จากการสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่นจำนวน 5 เครื่อง

พบว่าเมื่อความสูงระดับน้ำเปลี่ยนแปลงไป 1 ซม. ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้จะเปลี่ยนแปลง 0.1 โวลต์

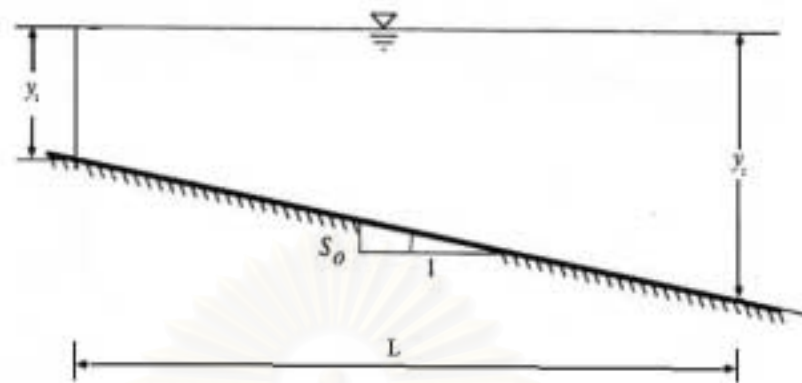
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



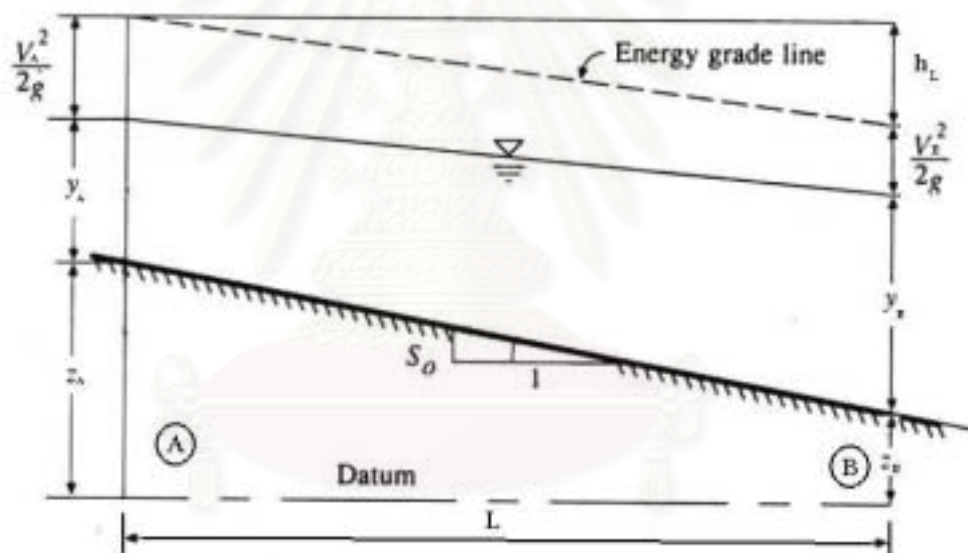
รูป ก-1 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความสูงคลื่น



รูป ก-2 การสอบเทียบฝายต้นคสามเหลี่ยม 54°



รูป ก-3 รูปสำหรับการคำนวณค่า S_0



รูป ก-4 รูปสำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-2 การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิง (n) ของวัสดุท้องน้ำพลาสติก

การคำนวณ S_o

กรณี	y_1 (ม.)	y_2 (ม.)	L (ม.)	S_o	$S_{o(ave)}$
1	0.099	0.089	10	0.0010	0.00100
	0.093	0.088	5	0.0010	
2	0.041	0.029	10	0.0012	0.00120
	0.035	0.029	5	0.0012	
3	0.037	0.024	10	0.0013	0.00135
	0.031	0.024	5	0.0014	

อุณหภูมิน้ำ 27.5°C ความหนาแน่น 996.4 กก./ลบ.ม.

การคำนวณหาค่า สปส. ความขรุขระ(manning 's n)

กรณี	y_A (ม.)	y_B (ม.)	ระยะห่าง หน้าตัด(ม.)	อัตราไหล Q ลบ.ม./วินาที	V_{ave} ม/วินาที	R_{ave} (ม.)	S	n
1	0.025	0.020	5	0.00147	0.2202	0.0195	0.0018	0.0139
	0.031	0.024	5	0.00221	0.2724	0.0232	0.0020	0.0134
	0.034	0.027	5	0.00265	0.2934	0.0253	0.0020	0.0131
2	0.024	0.020	5	0.00145	0.2220	0.0192	0.0018	0.0138
	0.028	0.023	5	0.00204	0.2695	0.0218	0.0019	0.0126
	0.032	0.027	5	0.00261	0.2975	0.0246	0.0019	0.0124
3	0.023	0.020	5	0.00145	0.2261	0.0188	0.0018	0.0133
	0.029	0.024	5	0.00196	0.2491	0.0225	0.0021	0.0147
	0.031	0.027	5	0.00272	0.3145	0.0243	0.0019	0.0115
							ค่าเฉลี่ย	0.0132

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-3 การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิง (n) ของวัสดุท้องน้ำ กระดาษทราย No.80

การคำนวณ S_o

กรณี	y_1 (ม.)	y_2 (ม.)	L (ม.)	S_o	$S_{o(ave)}$
1	0.136	0.121	10	0.0015	0.0016
	0.130	0.122	5	0.0016	
2	0.108	0.095	10	0.0013	0.0014
	0.102	0.095	5	0.0014	
3	0.048	0.039	10	0.0009	0.0009
	0.042	0.038	5	0.0008	

อุณหภูมิน้ำ 27.5 °C ความหนาแน่น 996.4 กก./ลบ.ม.

การคำนวณหาค่า ส.ป.ส ความขรุขระ (manning 's n)

กรณี	y_A (ม.)	y_B (ม.)	ระยะห่าง หน้าตัด(ม.)	อัตราไหล Q ลบ.ม./วินาที	V_{ave} ม/วินาที	R_{ave} (ม.)	S	n
1	0.028	0.025	5	0.00143	0.1810	0.0225	0.0021	0.0201
	0.034	0.03	5	0.00199	0.2083	0.0264	0.0022	0.0201
	0.038	0.033	5	0.00263	0.2478	0.0287	0.0024	0.0184
2	0.03	0.027	5	0.00140	0.1643	0.0239	0.0019	0.0220
	0.037	0.032	5	0.00216	0.2095	0.0280	0.0022	0.0208
	0.045	0.039	5	0.00323	0.2577	0.0328	0.0024	0.0193
3	0.031	0.028	5	0.00133	0.1509	0.0246	0.0014	0.0210
	0.038	0.033	5	0.00206	0.1939	0.0287	0.0017	0.0202
	0.042	0.036	5	0.00262	0.2256	0.0309	0.0019	0.0190
							ค่าเฉลี่ย	0.0201

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-4 การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) ของวัสดุท้องน้ำกระดาษทราย No.400

การคำนวณ S_o

กรณี	y_1 (ม.)	y_2 (ม.)	L (ม.)	S_o	$S_{o(ave)}$
1	0.085	0.075	10	0.0010	0.0010
	0.080	0.075	5	0.0010	
2	0.088	0.074	10	0.0014	0.0015
	0.082	0.074	5	0.0016	
3	0.063	0.044	10	0.0019	0.0020
	0.055	0.045	5	0.0020	

อุณหภูมิน้ำ 27.5 °C ความหนาแน่น 996.4 กก./ลบ.ม.

การคำนวณหาค่า สปส. ความขรุขระ (manning 's n)

กรณี	y_A (ม.)	y_B (ม.)	ระยะห่าง หน้าตัด(ม.)	อัตราไหล Q ลบ.ม./วินาที	V_{ave} ม/วินาที	R_{ave} (ม.)	S	n
1	0.031	0.025	5	0.00141	0.1700	0.0236	0.0021	0.0220
	0.037	0.03	5	0.00211	0.2120	0.0273	0.0022	0.0201
	0.041	0.033	5	0.00260	0.2374	0.0296	0.0024	0.0196
2	0.03	0.025	5	0.00135	0.1651	0.0232	0.0024	0.0241
	0.035	0.028	5	0.00205	0.2200	0.0260	0.0027	0.0207
	0.04	0.032	5	0.00267	0.2501	0.0290	0.0028	0.0200
3	0.03	0.026	5	0.00151	0.1803	0.0236	0.0027	0.0235
	0.033	0.027	5	0.00211	0.2373	0.0250	0.0029	0.0195
	0.039	0.031	5	0.00272	0.2627	0.0283	0.0032	0.0201
							ค่าเฉลี่ย	0.0211

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ผลการศึกษากรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ภาคผนวก ข

ผลการศึกษาระณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร / วินาที

ผลการศึกษาระณีอัตราการไหล 0.30 ลิตรต่อวินาที เป็นผลการศึกษาที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ สเปกตรัมแล้วซึ่งนำเสนอในรูปแบบของตาราง แยกเป็นกรณีตามค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. q1 เป็นค่าอัตราการไหลผ่านฝาย ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 0.30 ลิตรต่อวินาที
2. n1,n2,n3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของวัสดุท้องน้ำเท่ากับ 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ
3. h1,h2,h3 เป็นระยะทางการแทนที่น้ำของถังเท่ากับ 9 18 และ 27 ซม ตามลำดับ
4. g0,g1,g2,g3 เป็นระยะทางเปิดปิดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งเท่ากับการปิดบาน การเปิดบาน 1.7 เซนติเมตร การเปิดบาน 3.4 เซนติเมตร และการเปิดบานหมด
5. t1ถึง t9 เป็นคาบคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ขึ้นอยู่กับความลึกและความเร็วของการแทนที่น้ำ

ซึ่งตารางที่นำเสนอ จะแยกเป็นตารางสรุปคลื่นและตารางรายละเอียดคลื่นสำหรับตารางสรุป คลื่น จะแยกตามสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n1 n2 และ n3 เป็นตาราง ข-1 ข-2 และ ข-3 ตามลำดับ และ ตารางรายละเอียดคลื่นแยกตามค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n1 n2 และ n3 เป็นตาราง ข-4 ข-5 และ ข-6 ผลที่ได้จากตารางสรุปคลื่นสามารถนำมาเขียนกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด ตลอดความยาวแม่น้ำได้ ดังรูป ข-1 ถึง ข-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 คุณสมบัติคลื่นกรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี				อ่างกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากแม่น้ำ			10 ม. จากปากแม่น้ำ			16 ม. จากปากแม่น้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย d _{avg} (cm)	Fr
				T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)		
n1	g0	h1	t1	85	0.59	6.00	85	0.77	6.00	85	1.59	5.59	85	2.10	5.16	-	-	5.34	5.58	0
			t2	141	0.66	6.06	141	0.65	6.00	141	0.69	5.62	141	0.70	5.24	-	-	5.38	5.62	0
			t3	188	0.73	6.02	188	0.75	5.95	188	0.65	5.61	188	0.89	5.24	-	-	5.33	5.60	0
		h2	t4	153	1.19	5.98	153	1.35	5.97	153	1.42	5.60	153	1.65	5.15	-	-	5.28	5.57	0
			t5	282	1.03	6.06	282	1.12	5.99	282	1.20	5.66	282	1.37	5.25	-	-	5.33	5.63	0
			t6	400	0.98	6.01	400	1.00	5.92	400	1.16	5.60	400	1.24	5.22	-	-	5.32	5.58	0
		h3	t7	235	1.39	5.97	235	1.65	6.06	235	2.18	5.53	235	2.47	5.15	-	-	5.26	5.58	0
			t8	424	1.59	6.07	424	1.77	6.06	424	1.78	5.69	424	1.93	5.26	-	-	5.33	5.67	0
			t9	600	1.59	6.04	600	1.78	6.03	600	1.71	5.66	600	1.84	5.23	-	-	5.33	5.64	0
	g1	h1	t1	75	1.22	6.01	75	1.61	5.99	71	1.71	5.58	71	2.65	5.32	75	2.26	6.00	5.63	0.024
			t2	141	0.62	6.03	141	0.61	6.08	141	0.61	5.58	141	0.88	5.30	141	1.09	5.86	5.65	0.024
			t3	188	0.70	5.96	188	0.68	6.00	188	0.55	5.50	188	0.89	5.23	188	1.09	5.75	5.58	0.024
		h2	t4	153	1.24	6.03	153	1.26	6.05	153	1.26	5.59	153	1.64	5.30	153	1.52	5.88	5.65	0.024
			t5	280	1.13	6.03	280	1.14	6.07	280	1.26	5.56	280	1.52	5.30	280	1.45	5.85	5.64	0.024
			t6	400	1.13	5.92	400	1.23	5.94	400	1.24	5.46	400	1.57	5.20	400	1.55	5.70	5.54	0.025
		h3	t7	235	1.74	6.07	235	1.81	6.10	235	2.22	5.62	235	2.69	5.34	235	2.45	5.92	5.69	0.024
			t8	424	1.69	6.03	424	1.79	6.04	424	1.78	5.55	424	2.05	5.28	424	1.97	5.77	5.62	0.024
			t9	600	1.67	5.98	600	1.86	6.00	600	1.74	5.51	600	2.02	5.26	600	2.03	5.74	5.59	0.024
	g2	h1	t1	75	1.43	6.04	75	1.83	6.02	75	1.44	5.58	75	2.51	5.29	75	2.81	5.40	5.63	0.024
			t2	141	0.62	6.05	141	0.57	6.05	141	0.57	5.60	141	0.84	5.26	141	0.76	5.33	5.64	0.024
			t3	200	0.73	6.02	200	0.75	6.01	200	0.49	5.55	200	0.86	5.20	200	0.80	5.28	5.58	0.024
		h2	t4	153	1.19	6.03	153	1.24	6.04	153	1.38	5.60	153	1.68	5.29	153	1.78	5.37	5.64	0.024
			t5	282	1.13	6.07	282	1.12	6.05	282	1.23	5.61	282	1.53	5.28	283	1.32	5.32	5.64	0.024
			t6	400	1.19	5.97	400	1.22	5.95	400	1.35	5.51	400	1.77	5.22	400	1.66	5.30	5.56	0.024
		h3	t7	235	2.01	6.05	235	2.20	6.05	235	2.36	5.61	235	2.97	5.33	235	3.00	5.42	5.67	0.024
			t8	424	1.58	6.08	424	1.73	6.07	424	1.82	5.61	424	1.98	5.29	424	1.96	5.37	5.66	0.024
			t9	600	1.69	6.05	600	1.88	6.04	600	1.74	5.58	600	2.00	5.25	600	1.88	5.33	5.62	0.024
g3	h1	t1	75	1.48	6.03	75	1.58	5.92	75	1.58	5.58	75	2.61	5.29	75	2.92	5.35	5.59	0.024	
		t2	141	0.56	5.97	141	0.55	5.98	141	0.57	5.51	141	0.88	5.19	141	0.84	5.17	5.56	0.024	
		t3	191	0.42	5.97	191	0.39	5.99	191	0.36	5.52	191	0.58	5.24	191	0.61	5.15	5.58	0.024	
	h2	t4	150	1.23	6.07	150	1.23	5.99	150	1.40	5.60	150	1.65	5.28	150	1.78	5.30	5.62	0.024	
		t5	282	1.08	6.00	282	1.12	5.96	282	1.27	5.54	282	1.56	5.21	282	1.47	5.17	5.57	0.024	
		t6	400	1.10	5.97	400	1.24	5.97	400	1.32	5.50	400	1.77	5.24	400	1.67	5.16	5.57	0.024	
	h3	t7	235	1.51	6.06	235	1.69	5.97	235	2.25	5.58	235	2.59	5.27	235	2.65	5.27	5.61	0.024	
		t8	419	1.60	6.09	419	1.71	6.00	419	1.81	5.61	419	1.98	5.27	419	2.05	5.26	5.63	0.024	
		t9	600	1.61	6.01	600	1.78	6.00	600	1.76	5.55	600	1.98	5.25	600	2.00	5.19	5.60	0.024	

หมายเหตุ

ตาราง ข-2 คุณสมบัติคลื่นกรณีสัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณีสัตราการไหล				แอ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr
				T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	d _{avg} (cm)	
n2	g0	h1	t1	75	0.94	5.78	75	1.25	5.75	75	1.59	5.20	75	2.43	5.00	-	-	5.07	5.32	0
			t2	141	0.50	5.86	141	0.58	6.01	141	0.80	5.32	141	0.91	5.04	-	-	5.08	5.46	0
			t3	200	0.54	5.92	200	0.71	5.96	200	0.70	5.17	190	0.90	5.06	-	-	5.08	5.39	0
		h2	t4	153	0.96	5.82	153	0.99	5.81	153	1.36	5.24	153	1.63	4.98	-	-	5.05	5.34	0
			t5	280	0.85	5.86	280	0.92	5.96	280	1.25	5.32	280	1.34	4.99	-	-	5.04	5.42	0
			t6	400	0.88	5.94	400	1.01	5.96	400	1.18	5.37	400	1.36	5.09	-	-	5.08	5.47	0
		h3	t7	240	1.40	5.88	240	1.47	5.91	240	2.04	5.29	240	2.39	5.02	-	-	5.06	5.41	0
			t8	424	1.45	5.93	424	1.45	5.95	424	1.68	5.32	424	1.88	5.08	-	-	5.09	5.45	0
			t9	600	1.45	5.97	600	1.47	5.96	600	1.62	5.38	600	1.79	5.11	-	-	5.10	5.48	0
	g1	h1	t1	71	1.28	5.78	71	1.63	5.74	71	0.84	5.30	71	1.73	5.04	71	1.67	5.39	5.36	0.026
			t2	150	0.58	5.80	141	0.48	5.77	141	0.66	5.28	141	0.81	4.96	141	0.78	5.31	5.33	0.026
			t3	190	0.70	5.86	190	0.64	5.83	190	0.56	5.34	190	0.71	5.01	190	0.74	5.36	5.39	0.025
		h2	t4	150	1.25	5.80	150	1.23	5.75	150	1.31	5.32	150	1.60	5.04	150	1.66	5.39	5.37	0.026
			t5	280	1.18	5.80	280	1.21	5.75	280	1.34	5.27	280	1.53	4.95	280	1.45	5.32	5.32	0.026
			t6	381	1.28	5.87	381	1.36	5.84	381	1.25	5.33	381	1.48	5.02	400	1.36	5.34	5.40	0.025
		h3	t7	240	2.17	5.84	240	2.34	5.82	240	1.84	5.32	240	2.53	5.04	240	2.22	5.39	5.39	0.026
			t8	424	1.86	5.84	424	2.07	5.83	424	1.78	5.28	424	2.06	4.98	424	2.04	5.29	5.36	0.026
			t9	632	1.84	5.85	632	2.04	5.86	632	1.71	5.30	632	1.98	5.04	600	2.04	5.34	5.40	0.025
g2	h1	t1	71	1.32	5.88	71	1.82	5.90	71	1.06	5.44	71	1.85	5.21	71	1.96	5.21	5.51	0.025	
		t2	141	0.54	5.88	141	0.43	5.86	141	0.77	5.40	141	0.86	5.12	141	0.99	5.15	5.46	0.025	
		t3	191	0.69	5.89	191	0.62	5.86	191	0.62	5.40	191	0.76	5.12	191	0.83	5.13	5.46	0.025	
	h2	t4	160	1.24	5.93	160	1.30	5.90	160	1.31	5.44	160	1.65	5.19	160	1.80	5.21	5.51	0.025	
		t5	282	1.12	5.89	282	1.16	5.87	282	1.33	5.40	282	1.61	5.14	282	1.71	5.12	5.47	0.025	
		t6	379	1.32	5.90	379	1.59	5.88	379	1.25	5.41	379	1.49	5.13	379	1.46	5.13	5.47	0.025	
	h3	t7	240	2.32	5.96	240	2.27	5.95	240	1.73	5.45	240	2.46	5.22	240	2.41	5.22	5.54	0.024	
		t8	424	2.08	5.91	424	2.08	5.92	424	1.80	5.38	424	2.29	5.14	424	2.24	5.13	5.48	0.025	
		t9	600	2.03	5.90	600	2.12	5.95	600	1.79	5.37	600	2.20	5.14	600	2.14	5.13	5.49	0.025	
g3	h1	t1	71	1.39	5.93	71	1.75	5.99	71	1.14	5.47	71	1.96	5.23	71	2.12	5.20	5.56	0.024	
		t2	150	0.49	5.92	160	0.34	5.89	141	0.70	5.44	141	0.82	5.15	141	0.93	5.13	5.49	0.025	
		t3	200	0.71	5.91	200	0.64	5.87	213	0.68	5.42	200	0.80	5.14	200	0.94	5.09	5.48	0.025	
	h2	t4	150	1.19	5.96	150	1.23	5.91	150	1.25	5.47	150	1.57	5.21	150	1.67	5.19	5.53	0.025	
		t5	282	1.10	5.93	282	1.11	5.91	282	1.32	5.43	282	1.63	5.16	282	1.75	5.11	5.50	0.025	
		t6	400	1.25	5.92	400	1.42	5.89	400	1.27	5.43	400	1.53	5.16	400	1.67	5.10	5.49	0.025	
	h3	t7	240	2.13	5.99	240	2.15	5.97	240	1.78	5.47	240	2.31	5.20	240	2.38	5.15	5.54	0.024	
		t8	424	1.88	5.96	424	1.97	5.97	424	1.83	5.45	424	2.20	5.20	424	2.17	5.14	5.54	0.024	
		t9	600	1.93	5.93	600	1.94	5.95	600	1.71	5.39	600	2.12	5.16	600	2.16	5.11	5.50	0.025	

หมายเหตุ

ตาราง ข-3 คุณสมบัติคลื่นกรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี			แอ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr	
			T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	d _{avg} (cm)		
n3	g0	h1	t1	80	0.87	6.02	80	1.11	5.93	80	1.75	5.44	80	2.24	5.24	-	-	5.12	5.53	0
			t2	141	0.58	6.07	141	0.54	5.98	141	0.90	5.48	141	0.75	5.25	-	-	5.12	5.57	0
			t3	200	0.62	6.08	200	0.73	6.00	200	0.82	5.45	200	0.87	5.25	-	-	5.12	5.57	0
		h2	t4	160	1.30	6.10	160	1.26	6.00	150	1.48	5.44	160	1.55	5.24	-	-	5.12	5.56	0
			t5	282	1.04	6.09	282	1.16	6.03	282	1.36	5.49	282	1.43	5.26	-	-	5.12	5.60	0
			t6	400	1.03	6.04	400	1.15	6.01	400	1.33	5.41	400	1.34	5.20	-	-	5.12	5.54	0
		h3	t7	240	1.49	6.14	240	1.60	6.06	240	2.20	5.47	240	2.57	5.25	-	-	5.12	5.60	0
			t8	424	1.55	6.12	424	1.65	6.10	424	1.74	5.48	424	1.92	5.30	-	-	5.12	5.63	0
			t9	600	1.57	6.04	600	1.63	6.01	600	1.67	5.38	600	1.82	5.18	-	-	5.12	5.53	0
	g1	h1	t1	71	1.26	6.02	71	1.85	6.13	71	0.92	5.47	71	1.82	5.20	71	1.60	5.66	5.60	0.024
			t2	150	0.43	5.99	150	0.69	6.22	150	0.50	5.45	150	0.63	5.15	150	0.72	5.60	5.61	0.024
			t3	190	0.67	5.92	190	0.99	5.96	190	0.56	5.40	190	0.74	5.15	190	0.82	5.58	5.50	0.025
		h2	t4	160	1.17	6.03	160	1.55	6.16	160	1.23	5.51	160	1.59	5.25	160	1.41	5.62	5.64	0.024
			t5	267	1.13	6.00	267	1.44	6.12	267	1.26	5.47	267	1.53	5.15	267	1.50	5.61	5.58	0.024
			t6	379	1.24	5.93	379	1.59	6.03	379	1.21	5.41	379	1.39	5.16	379	1.35	5.57	5.53	0.025
		h3	t7	225	1.92	6.04	225	2.15	6.15	225	1.79	5.51	225	2.49	5.28	225	2.13	5.62	5.65	0.024
			t8	400	1.68	6.00	400	2.06	6.09	400	1.72	5.45	400	2.00	5.15	400	1.87	5.58	5.56	0.024
			t9	572	1.82	5.96	572	1.96	6.04	572	1.69	5.42	572	1.92	5.19	572	1.83	5.59	5.55	0.024
g2	h1	t1	71	1.30	5.94	71	1.94	6.05	71	1.06	5.42	71	1.98	5.17	71	2.03	5.39	5.55	0.024	
		t2	141	0.62	5.91	141	0.92	6.04	141	0.79	5.43	141	0.80	5.11	141	0.77	5.27	5.53	0.025	
		t3	190	0.72	5.97	190	1.06	6.04	190	0.57	5.46	190	0.71	5.19	190	0.74	5.31	5.56	0.024	
	h2	t4	150	1.23	5.96	150	1.59	6.08	150	1.28	5.45	150	1.55	5.16	150	1.61	5.39	5.56	0.024	
		t5	282	1.13	5.91	282	1.48	6.03	282	1.29	5.38	282	1.54	5.06	282	1.45	5.25	5.49	0.025	
		t6	379	1.31	5.97	379	1.63	6.11	379	1.19	5.48	379	1.42	5.21	379	1.43	5.33	5.60	0.024	
	h3	t7	225	2.11	5.95	225	2.20	5.98	225	1.74	5.43	225	2.24	5.16	225	2.33	5.39	5.52	0.025	
		t8	400	1.94	5.90	400	2.02	5.99	400	1.77	5.36	400	2.12	5.08	400	2.07	5.27	5.48	0.025	
		t9	572	1.84	5.98	572	1.96	6.08	572	1.67	5.45	572	1.94	5.20	572	1.95	5.31	5.58	0.024	
g3	h1	t1	71	1.32	6.02	71	1.80	6.03	71	0.99	5.64	71	1.88	5.23	71	2.13	5.16	5.63	0.024	
		t2	141	0.60	5.98	141	0.47	6.00	141	0.73	5.62	141	0.81	5.22	141	1.11	5.19	5.61	0.024	
		t3	188	0.69	5.99	188	0.64	5.95	188	0.50	5.57	188	0.72	5.18	188	1.03	5.17	5.57	0.024	
	h2	t4	150	1.20	6.01	150	1.20	5.98	150	1.27	5.65	150	1.63	5.26	150	1.82	5.20	5.63	0.024	
		t5	282	1.14	5.96	282	1.16	5.99	282	1.26	5.58	282	1.55	5.21	282	1.73	5.17	5.59	0.024	
		t6	400	1.25	5.96	400	1.37	5.94	400	1.23	5.55	400	1.53	5.17	400	1.75	5.12	5.55	0.024	
	h3	t7	225	1.97	6.00	225	2.23	6.02	225	1.74	5.63	225	2.49	5.28	225	2.45	5.19	5.64	0.024	
		t8	400	1.82	5.97	400	2.06	6.00	400	1.73	5.57	400	2.17	5.21	400	2.15	5.13	5.59	0.024	
		t9	600	1.90	6.02	600	1.94	6.00	600	1.71	5.60	600	1.90	5.22	600	2.10	5.18	5.61	0.024	

หมายเหตุ

ตาราง ข-4 รายละเอียดคลื่นจากการวิเคราะห์สเปกตรัม กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี			แ่งกำเนิดคลื่น				1 ม. จากปากแม่น้ำ				10 ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู			
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	
n1	h1	g0	t1	6.011	0.012	0.016	0.070	5.989	0.012	0.042	-0.050	5.595	0.012	0.270	-1.060	5.155	0.012	0.530	-0.910	5.142	0.012	0.063
			t2	6.071	0.007	0.023	-0.490	5.986	0.007	0.016	-0.560	5.386	0.007	0.045	-0.380	5.231	0.007	0.048	-0.310	5.142	0.007	0.088
			t3	6.030	0.005	0.029	2.290	5.940	0.005	0.023	2.200	5.618	0.005	0.046	2.550	5.236	0.005	0.037	2.960	5.142	0.005	0.056
		g1	t1	6.006	0.014	0.205	1.050	5.994	0.013	0.336	0.860	5.584	0.013	0.269	0.090	5.315	0.013	0.717	0.310	6.000	0.001	1.205
			t2	6.032	0.007	0.018	-0.020	6.084	0.000	0.029	1.040	5.577	0.007	0.042	0.310	5.299	0.007	0.097	0.270	5.864	0.000	0.832
			t3	5.960	0.005	0.019	-0.160	6.005	0.005	0.017	-0.220	5.496	0.005	0.025	0.080	5.230	0.005	0.051	-0.100	5.749	0.000	0.591
		g2	t1	6.035	0.015	0.202	0.220	6.022	0.015	0.308	0.170	5.582	0.015	0.084	-0.270	5.287	0.015	0.495	-0.400	5.401	0.015	0.633
			t2	6.050	0.007	0.019	0.240	6.052	0.000	0.017	1.120	5.596	0.007	0.043	0.590	5.257	0.007	0.098	0.500	5.328	0.007	0.096
			t3	6.015	0.005	0.023	0.950	6.008	0.005	0.018	10.990	5.548	0.005	0.024	1.320	5.198	0.005	0.047	-14.260	5.278	0.005	0.049
		g3	t1	6.030	0.015	0.209	-0.230	5.915	0.015	0.288	-0.320	5.579	0.015	0.097	-0.320	5.291	0.015	0.492	-0.530	5.353	0.015	0.652
			t2	5.975	0.007	0.011	-0.960	5.977	0.007	0.010	-0.490	5.512	0.007	0.036	-1.040	5.190	0.007	0.083	-0.430	5.168	0.007	0.083
			t3	5.971	0.005	0.018	1.700	5.989	0.006	0.017	-6.270	5.518	0.005	0.025	2.770	5.245	0.005	0.048	2.250	5.153	0.005	0.049
	h2	g0	t4	5.996	0.007	0.076	-4.840	5.958	0.007	0.074	-7.150	5.602	0.007	0.196	-4.010	5.138	0.007	0.173	-2.900	5.284	0.007	0.032
			t5	6.074	0.004	0.106	0.600	5.984	0.004	0.108	0.590	5.666	0.004	0.136	0.650	5.243	0.004	0.128	0.660	5.325	0.004	0.054
			t6	6.020	0.003	0.010	2.110	5.914	0.003	0.102	2.160	5.604	0.003	0.113	2.220	5.215	0.003	0.104	2.280	5.316	0.003	0.049
		g1	t4	6.025	0.007	0.071	-1.110	6.046	0.006	0.063	-0.670	5.590	0.007	0.141	-0.760	5.304	0.006	0.233	-8.380	5.876	0.000	0.873
			t5	6.030	0.004	0.091	-1.010	6.072	0.004	0.090	-1.000	5.564	0.004	0.093	-0.700	5.295	0.004	0.135	-0.810	5.855	0.000	0.817
			t6	5.923	0.003	0.099	1.890	5.941	0.003	0.104	1.770	5.461	0.003	0.091	2.510	5.204	0.003	0.131	2.070	5.696	0.000	0.510
		g2	t4	6.030	0.007	0.070	-1.390	6.038	0.007	0.063	-1.620	5.599	0.007	0.153	-0.910	5.294	0.007	0.246	-0.970	5.371	0.007	0.279
			t5	6.068	0.004	0.095	-0.560	6.046	0.004	0.091	-0.590	5.607	0.004	0.099	-0.350	5.275	0.004	0.149	-0.430	5.325	0.004	0.131
			t6	5.972	0.003	0.105	0.400	5.948	0.003	0.107	0.380	5.514	0.003	0.095	0.520	5.222	0.003	0.138	2.490	5.298	0.003	0.160
		g3	t4	6.072	0.006	0.065	-1.800	5.986	0.006	0.057	-2.350	5.601	0.006	0.149	-1.140	5.278	0.006	0.235	-1.110	5.300	0.006	0.278
			t5	5.995	0.004	0.086	-0.420	5.962	0.004	0.097	-0.440	5.535	0.004	0.101	-0.270	5.212	0.004	0.149	-0.310	5.173	0.004	0.145
			t6	5.971	0.003	0.095	2.070	5.966	0.003	0.104	1.940	5.501	0.003	0.094	2.630	5.236	0.003	0.132	2.210	5.164	0.003	0.143
h3	g0	t7	5.983	0.004	1.818	-0.200	6.052	0.004	0.295	-0.230	5.534	0.004	0.237	-0.270	5.142	0.004	0.282	-0.150	5.263	0.004	0.023	
		t8	6.078	0.002	0.224	0.770	6.053	0.002	0.300	0.720	5.695	0.002	0.299	0.790	5.257	0.002	0.262	0.780	5.329	0.002	0.055	
		t9	6.050	0.002	0.205	-2.700	6.017	0.002	0.290	-3.180	5.664	0.002	0.254	-2.440	5.224	0.002	0.223	-2.600	5.331	0.017	0.067	
	g1	t7	6.075	0.004	0.196	-0.270	6.099	0.004	0.180	-0.320	5.622	0.004	0.228	-0.150	5.341	0.004	0.290	-1.420	5.921	0.000	0.979	
		t8	6.032	0.002	0.264	0.860	6.041	0.003	0.280	0.830	5.546	0.002	0.253	1.030	5.279	0.002	0.341	0.950	5.770	0.000	0.619	
		t9	5.977	0.002	0.224	0.250	6.000	0.002	0.259	0.220	5.514	0.002	0.224	0.340	5.264	0.002	0.294	0.280	5.742	0.000	0.583	
	g2	t7	6.054	0.004	0.212	-0.660	6.053	0.004	0.223	-0.750	5.612	0.004	0.234	-0.510	5.335	0.004	0.276	-0.590	5.420	0.004	0.322	
		t8	6.077	0.002	0.198	-0.680	6.073	0.002	0.230	-0.700	5.607	0.002	0.202	-0.560	5.294	0.024	0.259	-0.610	5.366	0.002	0.283	
		t9	6.047	0.002	0.236	-0.680	6.037	0.002	0.263	-0.700	5.577	0.002	0.227	-0.570	5.250	0.002	0.289	-0.650	5.333	0.002	0.293	
	g3	t7	6.061	0.004	0.211	4.090	5.966	0.004	0.236	3.130	5.581	0.004	0.250	5.930	5.269	0.004	0.300	5.640	5.275	0.004	0.326	
		t8	6.090	0.002	0.220	0.780	6.002	0.002	0.254	0.740	5.609	0.002	0.231	0.880	5.269	0.002	0.277	7.680	5.258	0.002	0.303	
		t9	6.006	0.002	0.221	1.120	5.995	0.002	0.263	1.070	5.546	0.002	0.228	1.270	5.249	0.002	0.281	1.180	5.187	0.002	0.288	

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน

ตาราง ข-5 รายละเอียดคลื่นจากการวิเคราะห์สเปกตรัม กรณีอัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี				แ่งกำเนิดคลื่น				1 ม. จากปากแม่น้ำ				10 ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู		
				d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2
n2	h1	g0	t1	5.80	0.013	0.111	-8.300	5.74	0.213	0.192	-56.82	5.19	0.013	0.268	1.100	4.99	0.013	0.711	1.690	5.07	0.013	0.094
			t2	5.88	0.007	0.014	-0.690	6.01	0.007	0.021	-0.640	5.31	0.007	0.065	-0.320	5.04	0.007	0.111	-0.230	5.08	0.007	0.065
			t3	5.94	0.005	0.020	0.150	5.95	0.005	0.033	0.090	5.15	0.005	0.046	0.280	5.06	0.005	0.063	1.600	5.08	0.005	0.044
		g1	t1	5.78	0.014	0.167	-1.020	5.74	0.014	0.220	-1.220	5.30	0.001	0.064	1.120	5.04	0.014	0.282	-1.870	5.39	0.014	0.263
			t2	5.80	0.000	0.072	1.030	5.77	0.000	0.053	1.020	5.28	0.000	0.075	1.000	4.96	0.008	0.089	-2.350	5.31	0.008	0.078
			t3	5.86	0.000	0.038	0.950	5.83	0.000	0.022	0.970	5.34	0.000	0.041	0.920	5.01	0.005	0.043	-0.090	5.36	0.000	0.074
		g2	t1	5.88	0.015	0.173	-0.320	5.90	0.015	0.296	-0.390	5.44	0.014	0.060	19.210	5.21	0.014	0.333	-3.970	5.21	0.014	0.403
			t2	5.88	0.000	0.027	0.980	5.86	0.000	0.013	0.970	5.40	0.008	0.061	-0.600	5.12	0.008	0.094	-0.470	5.15	0.008	0.131
			t3	5.89	0.000	0.025	1.030	5.86	0.006	0.012	-0.380	5.40	0.006	0.031	-0.170	5.12	0.006	0.043	-0.110	5.13	0.006	0.060
	g3	t1	5.93	0.014	0.183	-1.210	5.99	0.014	0.287	-1.000	5.47	0.014	0.070	-8.180	5.23	0.014	0.371	-2.120	5.20	0.014	0.443	
		t2	5.92	0.001	0.014	1.360	5.89	0.008	0.005	-2.550	5.44	0.008	0.062	-0.960	5.15	0.008	0.091	-0.790	5.13	0.008	0.120	
		t3	5.91	0.000	0.019	0.950	5.87	0.005	0.013	-0.170	5.42	0.005	0.035	0.030	5.14	0.005	0.049	0.070	5.09	0.005	0.064	
	h2	g0	t4	5.84	0.007	0.058	8.220	5.81	0.007	0.055	4.580	5.23	0.007	0.196	-14.54	4.98	0.007	0.274	-9.160	5.05	0.007	0.150
			t5	5.88	0.004	0.063	40.560	5.95	0.004	0.088	24.080	5.31	0.004	0.132	25.300	4.99	0.004	0.143	50.330	5.04	0.004	0.127
			t6	5.96	0.005	0.071	-3.490	5.96	0.003	0.099	-3.850	5.36	0.003	0.105	-3.600	5.08	0.003	0.137	-3.200	5.08	0.003	0.103
		g1	t4	5.80	0.000	0.073	1.170	5.75	0.000	0.067	1.200	5.32	0.007	0.169	-0.640	5.04	0.007	0.261	-0.570	5.39	0.007	0.272
			t5	5.80	0.004	0.110	-0.420	5.75	0.004	0.105	-1.020	5.27	0.004	0.112	-0.610	4.95	0.004	0.131	-0.610	5.32	0.004	0.126
			t6	5.87	0.003	0.108	0.330	5.84	0.003	0.100	0.330	5.33	0.003	0.105	0.460	5.02	0.003	0.124	0.430	5.34	0.003	0.143
		g2	t4	5.93	0.007	0.067	-0.230	5.90	0.007	0.054	-0.300	5.44	0.007	0.169	0.030	5.19	0.007	0.274	0.080	5.21	0.007	0.328
			t5	5.89	0.004	0.108	-0.600	5.87	0.004	0.100	-0.640	5.40	0.004	0.116	-0.460	5.14	0.004	0.137	-0.390	5.12	0.004	0.161
			t6	5.90	0.003	0.111	0.440	5.88	0.003	0.112	0.410	5.41	0.003	0.128	0.510	5.13	0.003	0.140	0.530	5.13	0.003	0.168
		g3	t4	5.96	0.007	0.071	-1.550	5.91	0.007	0.053	-1.830	5.47	0.007	0.168	-0.880	5.21	0.007	0.275	-0.780	5.19	0.007	0.326
			t5	5.93	0.004	0.103	-0.430	5.91	0.004	0.089	-0.450	5.43	0.004	0.110	-0.330	5.16	0.004	0.136	-0.260	5.11	0.004	0.158
			t6	5.92	0.003	0.104	0.160	5.89	0.003	0.100	0.180	5.43	0.003	0.122	0.220	5.16	0.003	0.136	-0.250	5.10	0.003	0.167
h3	g0	t7	5.90	0.004	0.142	0.060	5.91	0.004	0.141	0.000	5.28	0.004	0.267	0.120	5.02	0.004	0.327	0.060	5.06	0.004	0.280	
		t8	5.95	0.002	0.160	1.410	5.95	0.002	0.187	1.300	5.31	0.002	0.200	1.500	5.08	0.002	0.256	1.450	5.09	0.002	0.225	
		t9	5.99	0.002	0.152	-0.010	5.96	0.002	0.156	-0.030	5.37	0.002	0.948	0.010	5.11	0.002	0.224	0.040	5.11	0.002	0.195	
	g1	t7	5.84	0.004	0.212	-3.220	5.82	0.004	0.251	86.000	5.32	0.004	0.271	-5.390	5.04	0.004	0.334	-4.810	5.39	0.004	0.377	
		t8	5.84	0.003	0.244	-1.000	5.83	0.003	0.293	-0.870	5.28	0.003	0.229	-0.780	4.98	0.003	0.259	-0.780	5.29	0.003	0.263	
		t9	5.85	0.002	0.226	-2.110	5.86	0.002	0.272	-1.910	5.30	0.002	0.202	-1.590	5.04	0.002	0.233	-1.700	5.34	0.002	0.280	
	g2	t7	5.96	0.004	0.224	11.100	5.95	0.004	0.237	10.500	5.45	0.004	0.263	-30.41	5.22	0.004	0.346	-15.43	5.22	0.004	0.397	
		t8	5.91	0.003	0.260	-1.670	5.92	0.003	0.305	-1.460	5.38	0.003	0.235	-1.390	5.14	0.003	0.273	-1.320	5.13	0.003	0.319	
		t9	5.90	0.002	0.251	-15.13	5.95	0.002	0.326	-8.950	5.37	0.002	0.215	-6.130	5.14	0.002	0.250	-7.710	5.13	0.002	0.277	
g3	t7	5.99	0.004	0.206	3.800	5.97	0.004	0.213	3.870	5.47	0.004	0.264	8.080	5.20	0.004	0.327	9.370	5.15	0.004	0.343		
	t8	5.96	0.002	0.227	-1.480	5.97	0.002	0.264	-1.260	5.45	0.002	0.212	-1.280	5.20	0.002	0.253	-1.210	5.14	0.002	0.285		
	t9	5.93	0.002	0.243	-9.440	5.95	0.002	0.297	-5.020	5.39	0.002	0.219	-4.880	5.16	0.002	0.263	-5.540	5.11	0.002	0.307		

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน

ตาราง ข-6 รายละเอียดคลื่นจากการวิเคราะห์สเปกตรัม กรณีอัตราไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี			แ่งกำเนิดคลื่น				1ม. จากปากแม่น้ำ				10ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู			
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	
n3	h1	g0	t1	6.04	0.013	0.088	-1.440	5.93	0.013	0.160	-1.540	5.44	0.013	0.312	-0.210	5.24	0.013	0.733	-0.090	5.15	0.013	0.000
			t2	6.09	0.007	0.011	-0.410	5.98	0.007	0.014	-0.620	5.48	0.007	0.097	-0.270	5.25	0.007	0.066	-0.220	5.15	0.007	0.000
			t3	6.09	0.005	0.014	2.020	6.00	0.050	0.019	1.960	5.46	0.005	0.078	2.400	5.25	0.005	0.034	2.740	5.15	0.005	0.000
		g1	t1	6.02	0.014	0.199	0.880	6.13	0.014	0.455	0.740	5.47	0.014	0.068	0.070	5.20	0.014	0.319	0.460	5.66	0.001	0.432
			t2	5.99	0.008	0.019	14.580	6.22	0.001	0.116	1.150	5.45	0.007	0.046	2.110	5.15	0.007	0.075	2.220	5.60	0.001	0.330
			t3	5.92	0.005	0.021	0.060	5.96	0.005	0.046	0.000	5.40	0.005	0.028	0.270	5.15	0.005	0.044	0.290	5.58	0.000	0.291
		g2	t1	5.94	0.014	0.200	1.980	6.05	0.014	0.486	1.620	5.42	0.014	0.094	0.640	5.17	0.014	0.385	1.110	5.39	0.041	0.432
			t2	5.91	0.000	0.019	0.960	6.04	0.007	0.060	0.030	5.43	0.007	0.064	0.630	5.11	0.007	0.081	0.760	5.27	0.007	0.089
			t3	5.97	0.005	0.027	0.820	6.04	0.005	0.074	0.740	5.46	0.005	0.034	1.140	5.19	0.005	0.047	1.170	5.31	0.005	0.052
	g3	t1	6.02	0.014	0.193	0.210	6.03	0.014	0.300	0.150	5.64	0.014	0.061	-0.450	5.23	0.014	0.337	-0.050	5.16	0.014	0.465	
		t2	5.98	0.007	0.016	-0.220	6.00	0.007	0.008	-0.310	5.62	0.007	0.056	0.220	5.22	0.007	0.083	0.270	5.19	0.007	0.165	
		t3	5.99	0.005	0.022	0.950	5.95	0.005	0.015	0.850	5.57	0.005	0.029	1.510	5.18	0.005	0.042	1.500	5.17	0.005	0.092	
	h2	g0	t4	6.11	0.006	0.079	-1.340	6.00	0.006	0.063	-1.770	5.45	0.006	0.209	-0.980	5.24	0.006	0.207	-0.930	5.15	0.006	0.000
			t5	6.11	0.004	0.092	-0.050	6.03	0.004	0.097	-0.070	5.49	0.004	0.169	-0.030	5.26	0.004	0.150	0.000	5.15	0.004	0.000
			t6	6.06	0.003	0.085	-61.62	6.01	0.003	0.097	29.880	5.41	0.003	0.163	-36.24	5.20	0.003	0.111	-13.60	5.15	0.003	0.000
		g1	t4	6.03	0.007	0.074	-1.380	6.16	0.006	0.169	2.740	5.51	0.007	0.159	-0.770	5.25	0.007	0.258	-0.710	5.62	0.000	0.352
			t5	6.00	0.004	0.099	-0.210	6.12	0.004	0.183	-0.270	5.47	0.004	0.097	-1.200	5.15	0.004	0.110	-0.090	5.61	0.000	0.342
			t6	5.93	0.003	0.118	1.090	6.03	0.003	0.228	1.000	5.41	0.003	0.121	1.370	5.16	0.003	0.124	1.320	5.57	0.000	0.275
		g2	t4	5.96	0.007	0.069	-0.400	6.08	0.006	0.160	-5.420	5.45	0.007	0.165	-0.090	5.16	0.007	0.239	-0.010	5.39	0.006	0.283
			t5	5.91	0.004	0.093	-0.940	6.03	0.004	0.205	-0.920	5.38	0.004	0.099	-0.750	5.06	0.004	0.112	-0.670	5.25	0.004	0.119
			t6	5.97	0.003	0.106	0.240	6.11	0.003	0.227	0.190	5.48	0.003	0.117	0.320	5.21	0.003	0.124	0.330	5.33	0.003	0.139
		g3	t4	6.01	0.007	0.072	-1.090	5.98	0.006	0.052	5.210	5.65	0.007	0.160	-0.600	5.26	0.007	0.719	-0.550	5.20	0.007	0.356
			t5	5.96	0.004	0.098	-1.390	5.99	0.004	0.086	-1.530	5.58	0.004	0.099	-0.970	5.21	0.004	0.124	-1.020	5.17	0.004	0.183
			t6	5.96	0.003	0.108	1.350	5.94	0.003	0.101	1.290	5.55	0.003	0.104	1.700	5.17	0.003	0.119	1.640	5.12	0.003	0.200
h3	g0	t7	6.16	0.004	0.211	-0.130	6.06	0.004	0.197	-0.200	5.47	0.004	0.312	-0.100	5.26	0.004	0.331	-0.070	5.15	0.004	0.000	
		t8	6.13	0.002	0.213	0.880	6.10	0.002	0.257	0.770	5.49	0.002	0.271	0.880	5.30	0.002	0.292	0.830	5.15	0.002	0.000	
		t9	6.05	0.002	0.189	-1.240	6.01	0.002	0.218	-1.410	5.38	0.002	0.243	-1.230	5.19	0.002	0.212	-1.280	5.15	0.002	0.000	
	g1	t7	6.04	0.004	0.203	-8.860	6.15	0.004	0.310	-7.510	5.51	0.004	0.258	-4.030	5.28	0.004	0.336	-3.530	5.62	0.000	0.349	
		t8	6.00	0.003	0.222	-1.300	6.09	0.003	0.350	-1.300	5.45	0.003	0.217	-0.990	5.15	0.003	0.239	-0.980	5.58	0.000	0.302	
		t9	5.96	0.002	0.223	-0.890	6.04	0.002	0.346	-0.880	5.42	0.002	0.198	-0.710	5.19	0.002	0.210	-0.700	5.59	0.000	0.311	
	g2	t7	5.95	0.004	0.212	-3.670	5.98	0.004	0.293	-4.160	5.43	0.004	0.266	-2.270	5.16	0.004	0.311	-1.970	5.39	0.004	0.363	
		t8	5.90	0.003	0.253	-1.040	5.99	0.003	0.367	-1.100	5.36	0.003	0.222	-0.820	5.08	0.003	0.237	-0.770	5.27	0.003	0.241	
		t9	5.98	0.002	0.246	-5.880	6.08	0.002	0.362	5.400	5.45	0.002	0.203	-3.940	5.20	0.002	0.223	-0.357	5.31	0.002	0.228	
	g3	t7	6.00	0.004	0.201	-6.760	6.02	0.004	0.217	-15.58	5.63	0.004	0.262	-3.340	5.28	0.004	0.337	-2.930	5.19	0.004	0.435	
		t8	5.97	0.003	0.220	1.260	6.00	0.003	0.243	1.200	5.57	0.003	0.202	1.530	5.21	0.003	0.243	1.550	5.13	0.003	0.331	
		t9	6.02	0.002	0.242	-1.020	6.00	0.002	0.258	-1.050	5.60	0.002	0.235	-0.820	5.22	0.002	0.228	-0.860	5.18	0.002	0.335	

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน

ตาราง ข-7 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ			
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
n1	g0	t1	85	5.58	-	0.77	62.68	1.00	6.27	2.06	3.92	2.73	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t2	141	5.62	-	1.02	104.86	1.00	10.49	1.06	6.55	1.08	0.00	0.00	0.67	0.80	1.00	1.00
		t3	188	5.60	-	0.97	139.58	1.00	13.96	0.87	8.72	1.19	0.00	0.00	0.67	-0.71	1.00	1.00
		t4	153	5.57	-	0.88	113.10	1.00	11.31	1.05	7.07	1.22	0.00	0.00	0.67	0.23	1.00	1.00
		t5	282	5.63	-	0.92	209.97	1.00	21.00	1.07	13.12	1.22	0.00	0.00	0.67	0.32	1.00	1.00
		t6	400	5.58	-	0.98	296.04	1.00	29.60	1.16	18.50	1.24	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00
		t7	235	5.58	-	0.84	174.12	1.00	17.41	1.32	10.88	1.50	0.00	0.00	0.67	0.65	1.00	1.00
		t8	424	5.67	-	0.90	315.99	1.00	31.60	1.01	19.75	1.09	0.00	0.00	0.67	0.06	1.00	1.00
		t9	600	5.64	-	0.89	446.29	1.00	44.63	0.96	27.89	1.03	0.00	0.00	0.67	-1.17	1.00	1.00
	g1	t1	75	5.63	-	0.76	55.79	1.00	5.58	1.06	3.49	1.65	0.00	0.00	0.67	0.10	1.00	1.00
		t2	141	5.65	-	1.02	105.18	1.00	10.52	1.00	6.57	1.44	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	1.00
		t3	188	5.58	-	1.03	139.27	1.00	13.93	0.81	8.70	1.31	0.00	0.00	0.67	-0.62	1.00	1.00
		t4	153	5.65	-	0.98	113.87	1.00	11.39	1.00	7.12	1.30	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	1.00
		t5	280	5.64	-	0.99	208.38	1.00	20.84	1.11	13.02	1.33	0.00	0.00	0.67	0.32	1.00	1.00
		t6	400	5.54	-	0.92	294.80	1.00	29.48	1.01	18.43	1.28	0.00	0.00	0.67	0.03	1.00	1.00
		t7	235	5.69	-	0.96	175.80	1.00	17.58	1.23	10.99	1.49	0.00	0.00	0.67	0.47	1.00	1.00
		t8	424	5.62	-	0.94	314.57	1.00	31.46	0.99	19.66	1.15	0.00	0.00	0.67	-0.04	1.00	1.00
		t9	600	5.59	-	0.90	444.46	1.00	44.45	0.94	27.78	1.09	0.00	0.00	0.67	-0.75	1.00	1.00
	g2	t1	75	5.63	-	0.78	55.79	1.00	5.58	0.79	3.49	1.37	0.00	0.00	0.67	-0.57	1.00	1.00
		t2	141	5.64	-	1.09	105.01	1.00	10.50	1.00	6.56	1.47	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	1.00
		t3	200	5.58	-	0.97	148.08	1.00	14.81	0.65	9.25	1.15	0.00	0.00	0.67	-2.36	1.00	1.00
		t4	153	5.64	-	0.96	113.84	1.00	11.38	1.11	7.12	1.35	0.00	0.00	0.67	0.32	1.00	1.00
		t5	282	5.64	-	1.01	210.12	1.00	21.01	1.10	13.13	1.37	0.00	0.00	0.67	0.27	1.00	1.00
		t6	400	5.56	-	0.98	295.49	1.00	29.55	1.11	18.47	1.45	0.00	0.00	0.67	0.24	1.00	1.00
		t7	235	5.67	-	0.91	175.47	1.00	17.55	1.07	10.97	1.35	0.00	0.00	0.67	0.21	1.00	1.00
		t8	424	5.66	-	0.91	315.59	1.00	31.56	1.05	19.72	1.14	0.00	0.00	0.67	0.36	1.00	1.00
		t9	600	5.62	-	0.90	445.60	1.00	44.56	0.93	27.85	1.06	0.00	0.00	0.67	-1.17	1.00	1.00
g3	t1	75	5.59	-	0.83	55.61	1.00	5.56	0.89	3.48	1.47	0.00	0.00	0.67	-0.24	1.00	1.00	
	t2	141	5.56	-	1.02	104.31	1.00	10.43	1.04	6.52	1.60	0.00	0.00	0.67	0.06	1.00	1.00	
	t3	191	5.58	-	1.08	141.00	1.00	14.10	0.92	8.81	1.49	0.00	0.00	0.67	-0.16	1.00	1.00	
	t4	150	5.62	-	1.00	111.44	1.00	11.14	1.14	6.96	1.34	0.00	0.00	0.67	0.40	1.00	1.00	
	t5	282	5.57	-	0.96	208.72	1.00	20.87	1.13	13.05	1.39	0.00	0.00	0.67	0.34	1.00	1.00	
	t6	400	5.57	-	0.89	295.66	1.00	29.57	1.06	18.48	1.43	0.00	0.00	0.67	0.15	1.00	1.00	
	t7	235	5.61	-	0.89	174.52	1.00	17.45	1.33	10.91	1.53	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00	
	t8	419	5.63	-	0.94	311.37	1.00	31.14	1.06	19.46	1.16	0.00	0.00	0.67	0.37	1.00	1.00	
	t9	600	5.60	-	0.90	444.62	1.00	44.46	0.99	27.79	1.11	0.00	0.00	0.67	-0.10	1.00	1.00	

หมายเหตุ

ตาราง ข-8 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

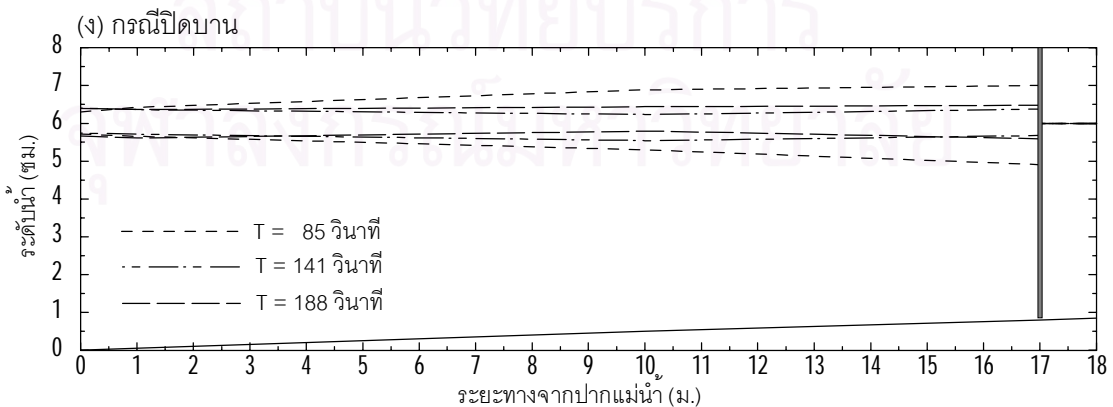
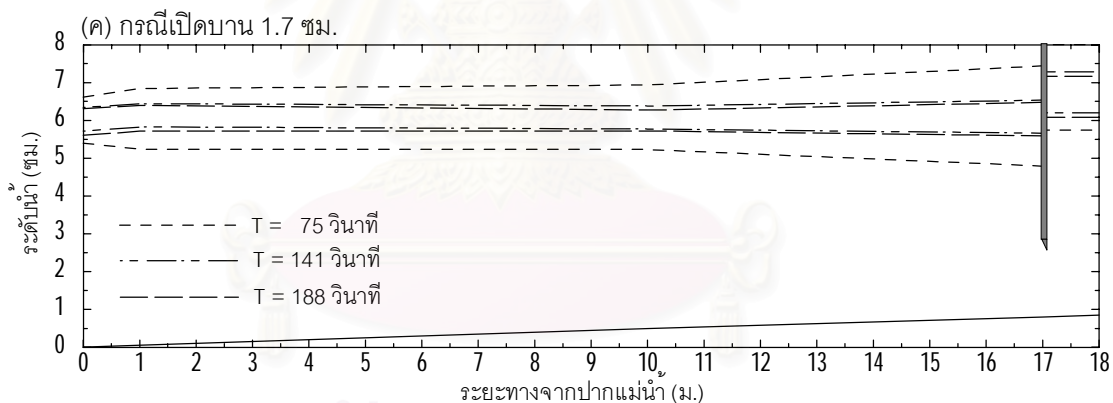
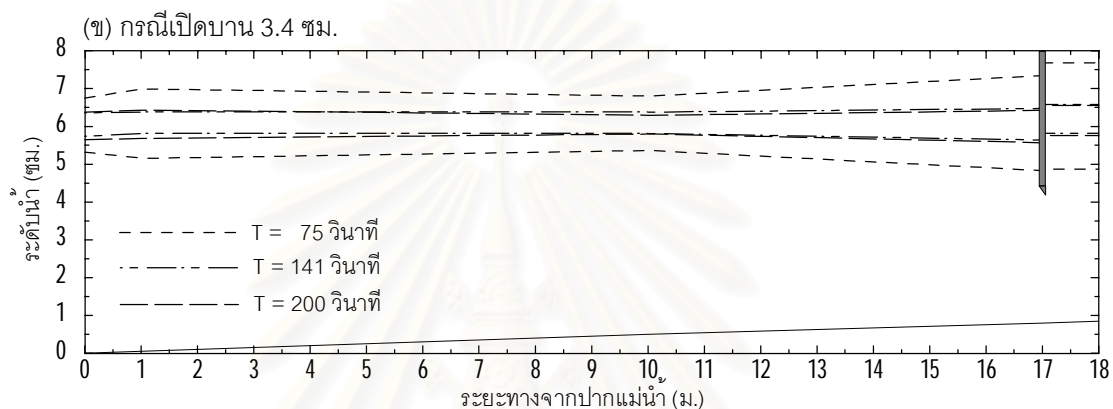
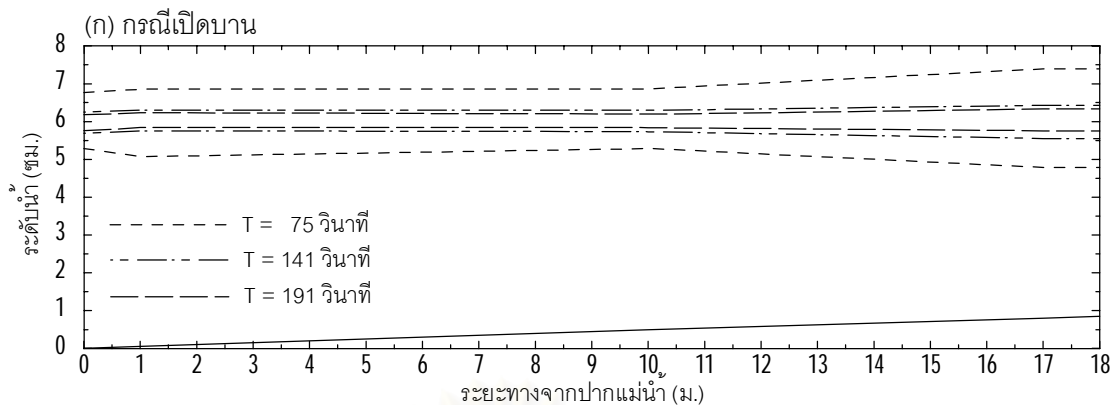
กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย d _{avg} (cm)	แอ่งคลื่น									1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		
			1 ม.จากปากแม่น้ำ			10 ม.จากปากแม่น้ำ			16 ม.จากปากแม่น้ำ			x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R	
			L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
n2	g0	t1	75	5.32	-	0.75	54.21	1.00	5.42	1.27	3.39	1.94	0.00	0.00	0.67	0.29	1.00	1.00
		t2	141	5.46	-	0.86	103.34	1.00	10.33	1.38	6.46	1.57	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00
		t3	200	5.39	-	0.76	145.54	1.00	14.55	0.99	9.10	1.27	0.00	0.00	0.67	-0.05	1.00	1.00
		t4	153	5.34	-	0.97	110.77	1.00	11.08	1.37	6.92	1.65	0.00	0.00	0.67	0.58	1.00	1.00
		t5	280	5.42	-	0.92	204.26	1.00	20.43	1.36	12.77	1.46	0.00	0.00	0.67	0.79	1.00	1.00
		t6	400	5.47	-	0.87	293.14	1.00	29.31	1.17	18.32	1.35	0.00	0.00	0.67	0.49	1.00	1.00
		t7	240	5.41	-	0.95	174.89	1.00	17.49	1.39	10.93	1.63	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t8	424	5.45	-	1.00	309.72	1.00	30.97	1.16	19.36	1.30	0.00	0.00	0.67	0.53	1.00	1.00
		t9	600	5.48	-	0.99	440.14	1.00	44.01	1.10	27.51	1.22	0.00	0.00	0.67	0.47	1.00	1.00
	g1	t1	71	5.36	-	0.79	51.23	1.00	5.12	0.52	3.20	1.06	0.00	0.00	0.67	-7.90	1.00	1.00
		t2	150	5.33	-	1.21	108.54	1.00	10.85	1.38	6.78	1.69	0.00	0.00	0.67	0.55	1.00	1.00
		t3	190	5.39	-	1.09	137.88	1.00	13.79	0.88	8.62	1.11	0.00	0.00	0.67	-1.14	1.00	1.00
		t4	150	5.37	-	1.02	108.93	1.00	10.89	1.07	6.81	1.30	0.00	0.00	0.67	0.22	1.00	1.00
		t5	280	5.32	-	0.98	202.39	1.00	20.24	1.11	12.65	1.26	0.00	0.00	0.67	0.41	1.00	1.00
		t6	381	5.40	-	0.94	277.24	1.00	27.72	0.92	17.33	1.09	0.00	0.00	0.67	-0.92	1.00	1.00
		t7	240	5.39	-	0.93	174.60	1.00	17.46	0.79	10.91	1.08	0.00	0.00	0.67	-2.63	1.00	1.00
		t8	424	5.36	-	0.90	307.24	1.00	30.72	0.86	19.20	1.00	0.00	0.00	0.67	29.00	1.00	1.00
		t9	632	5.40	-	0.90	459.91	1.00	45.99	0.84	28.74	0.97	0.00	0.00	0.67	5.50	1.00	1.00
	g2	t1	71	5.51	-	0.73	51.95	1.00	5.20	0.58	3.25	1.02	0.00	0.00	0.67	-25.33	1.00	1.00
		t2	141	5.46	-	1.26	103.38	1.00	10.34	1.79	6.46	2.00	0.00	0.00	0.67	0.79	1.00	1.00
		t3	191	5.46	-	1.11	139.45	1.00	13.94	1.00	8.72	1.23	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	1.00
		t4	160	5.51	-	0.95	117.68	1.00	11.77	1.01	7.35	1.27	0.00	0.00	0.67	0.03	1.00	1.00
		t5	282	5.47	-	0.97	206.85	1.00	20.68	1.15	12.93	1.39	0.00	0.00	0.67	0.38	1.00	1.00
		t6	379	5.47	-	0.83	277.74	1.00	27.77	0.79	17.36	0.94	0.00	0.00	0.67	3.40	1.00	1.00
		t7	240	5.54	-	1.02	176.95	1.00	17.69	0.76	11.06	1.08	0.00	0.00	0.67	-2.84	1.00	1.00
		t8	424	5.48	-	1.00	310.61	1.00	31.06	0.87	19.41	1.10	0.00	0.00	0.67	-1.33	1.00	1.00
		t9	600	5.49	-	0.96	440.21	1.00	44.02	0.84	27.51	1.04	0.00	0.00	0.67	-4.13	1.00	1.00
g3	t1	71	5.56	-	0.79	52.19	1.00	5.22	0.65	3.26	1.12	0.00	0.00	0.67	-2.90	1.00	1.00	
	t2	150	5.49	-	1.44	110.16	1.00	11.02	2.06	6.89	2.41	0.00	0.00	0.67	0.75	1.00	1.00	
	t3	200	5.48	-	1.11	146.66	1.00	14.67	1.06	9.17	1.25	0.00	0.00	0.67	0.25	1.00	1.00	
	t4	150	5.53	-	0.97	110.51	1.00	11.05	1.02	6.91	1.28	0.00	0.00	0.67	0.06	1.00	1.00	
	t5	282	5.50	-	0.99	207.45	1.00	20.75	1.19	12.97	1.47	0.00	0.00	0.67	0.40	1.00	1.00	
	t6	400	5.49	-	0.88	293.68	1.00	29.37	0.89	18.35	1.08	0.00	0.00	0.67	-1.36	1.00	1.00	
	t7	240	5.54	-	0.99	177.06	1.00	17.71	0.83	11.07	1.07	0.00	0.00	0.67	-2.31	1.00	1.00	
	t8	424	5.54	-	0.95	312.24	1.00	31.22	0.93	19.52	1.12	0.00	0.00	0.67	-0.61	1.00	1.00	
	t9	600	5.50	-	0.99	440.89	1.00	44.09	0.88	27.56	1.09	0.00	0.00	0.67	-1.28	1.00	1.00	

หมายเหตุ

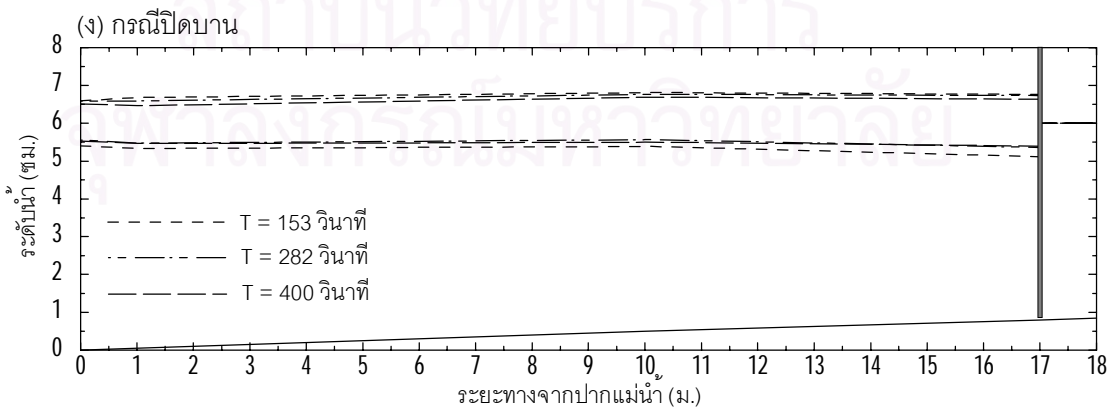
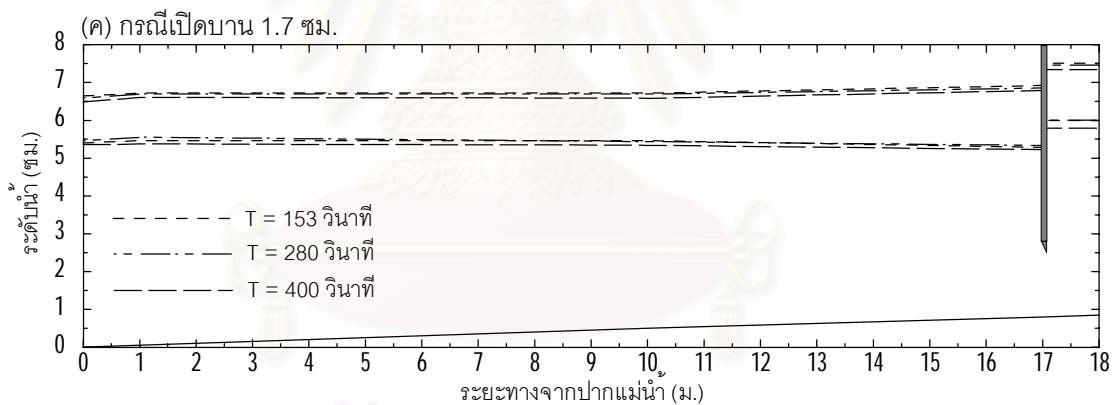
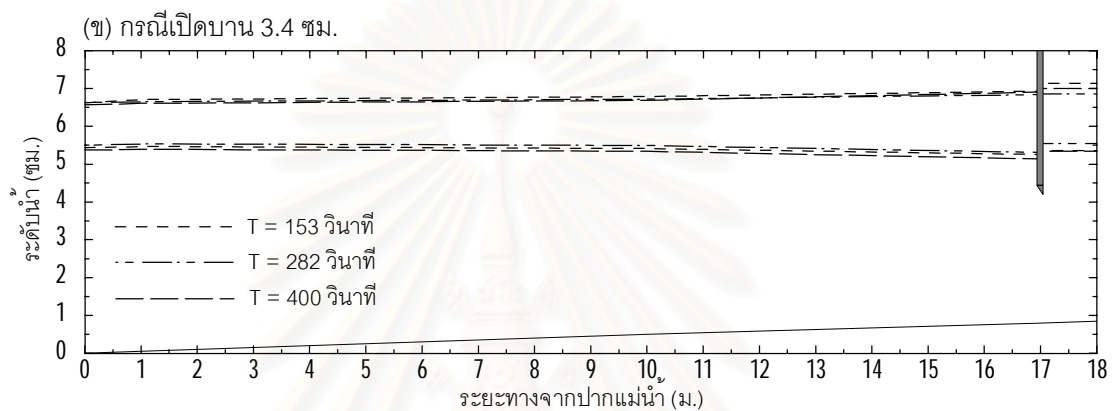
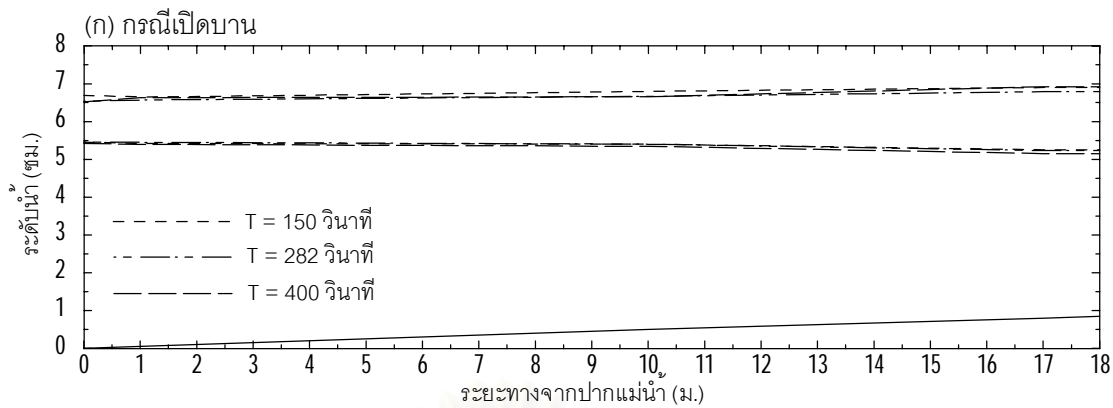
ตาราง ข-9 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 0.30 ลิตร/วินาที (q1)

กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย d _{avg} (cm)	แอ่งคลื่น									1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		
			1 ม.จากปากแม่น้ำ			10 ม.จากปากแม่น้ำ			16 ม.จากปากแม่น้ำ			x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R	
			L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
T (S)																		
g0	h1	t1	80	5.53	-	0.78	59.02	1.00	5.90	1.58	3.69	2.02	0.00	0.00	0.67	0.57	1.00	1.00
		t2	141	5.57	-	1.07	104.40	1.00	10.44	1.67	6.52	1.39	0.00	0.00	0.67	1.71	1.00	1.00
		t3	200	5.57	-	0.85	147.85	1.00	14.78	1.12	9.24	1.19	0.00	0.00	0.67	0.64	1.00	1.00
	h2	t4	160	5.56	-	1.03	118.24	1.00	11.82	1.17	7.39	1.23	0.00	0.00	0.67	0.76	1.00	1.00
		t5	282	5.60	-	0.90	209.26	1.00	20.93	1.17	13.08	1.23	0.00	0.00	0.67	0.74	1.00	1.00
		t6	400	5.54	-	0.90	294.88	1.00	29.49	1.16	18.43	1.17	0.00	0.00	0.67	0.95	1.00	1.00
	h3	t7	240	5.60	-	0.93	177.88	1.00	17.79	1.38	11.12	1.61	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t8	424	5.63	-	0.94	314.72	1.00	31.47	1.05	19.67	1.16	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	1.00
		t9	600	5.53	-	0.96	441.79	1.00	44.18	1.02	27.61	1.12	0.00	0.00	0.67	0.21	1.00	1.00
g1	h1	t1	71	5.60	-	0.68	52.37	1.00	5.24	0.50	3.27	0.98	0.00	0.00	0.67	31.00	1.00	1.00
		t2	150	5.61	-	0.62	111.35	1.00	11.13	0.72	6.96	0.91	0.00	0.00	0.67	3.17	1.00	1.00
		t3	190	5.50	-	0.68	139.26	1.00	13.93	0.57	8.70	0.75	0.00	0.00	0.67	1.72	1.00	1.00
	h2	t4	160	5.64	-	0.75	119.01	1.00	11.90	0.79	7.44	1.03	0.00	0.00	0.67	-8.00	1.00	1.00
		t5	267	5.58	-	0.78	197.31	1.00	19.73	0.88	12.33	1.06	0.00	0.00	0.67	-2.00	1.00	1.00
		t6	379	5.53	-	0.78	279.23	1.00	27.92	0.76	17.45	0.87	0.00	0.00	0.67	1.90	1.00	1.00
	h3	t7	225	5.65	-	0.89	167.49	1.00	16.75	0.83	10.47	1.16	0.00	0.00	0.67	-1.06	1.00	1.00
		t8	400	5.56	-	0.82	295.52	1.00	29.55	0.83	18.47	0.97	0.00	0.00	0.67	5.67	1.00	1.00
		t9	572	5.55	-	0.93	421.70	1.00	42.17	0.86	26.36	0.98	0.00	0.00	0.67	6.75	1.00	1.00
g2	h1	t1	71	5.55	-	0.67	52.13	1.00	5.21	0.55	3.26	1.02	0.00	0.00	0.67	-22.00	1.00	1.00
		t2	141	5.53	-	0.67	104.01	1.00	10.40	0.86	6.50	0.87	0.00	0.00	0.67	1.08	1.00	1.00
		t3	190	5.56	-	0.68	140.03	1.00	14.00	0.54	8.75	0.67	0.00	0.00	0.67	1.40	1.00	1.00
	h2	t4	150	5.56	-	0.77	110.83	1.00	11.08	0.81	6.93	0.97	0.00	0.00	0.67	7.75	1.00	1.00
		t5	282	5.49	-	0.76	207.28	1.00	20.73	0.87	12.96	1.04	0.00	0.00	0.67	-3.17	1.00	1.00
		t6	379	5.60	-	0.80	280.93	1.00	28.09	0.73	17.56	0.87	0.00	0.00	0.67	2.10	1.00	1.00
	h3	t7	225	5.52	-	0.96	165.67	1.00	16.57	0.79	10.35	1.02	0.00	0.00	0.67	-11.50	1.00	1.00
		t8	400	5.48	-	0.96	293.27	1.00	29.33	0.88	18.33	1.05	0.00	0.00	0.67	-2.50	1.00	1.00
		t9	572	5.58	-	0.94	422.75	1.00	42.28	0.85	26.42	0.99	0.00	0.00	0.67	14.50	1.00	1.00
g3	h1	t1	71	5.63	-	0.73	52.52	1.00	5.25	0.55	3.28	1.04	0.00	0.00	0.67	-10.13	1.00	1.00
		t2	141	5.61	-	1.28	104.82	1.00	10.48	1.55	6.55	1.72	0.00	0.00	0.67	0.76	1.00	1.00
		t3	188	5.57	-	1.08	139.16	1.00	13.92	0.78	8.70	1.13	0.00	0.00	0.67	-1.75	1.00	1.00
	h2	t4	150	5.63	-	1.00	111.52	1.00	11.15	1.06	6.97	1.36	0.00	0.00	0.67	0.16	1.00	1.00
		t5	282	5.59	-	0.98	209.19	1.00	20.92	1.09	13.07	1.34	0.00	0.00	0.67	0.26	1.00	1.00
		t6	400	5.55	-	0.91	295.20	1.00	29.52	0.90	18.45	1.12	0.00	0.00	0.67	-0.88	1.00	1.00
	h3	t7	225	5.64	-	0.88	167.43	1.00	16.74	0.78	10.46	1.12	0.00	0.00	0.67	-1.88	1.00	1.00
		t8	400	5.59	-	0.88	296.29	1.00	29.63	0.84	18.52	1.05	0.00	0.00	0.67	-3.00	1.00	1.00
		t9	600	5.61	-	0.98	445.06	1.00	44.51	0.88	27.82	0.98	0.00	0.00	0.67	5.75	1.00	1.00

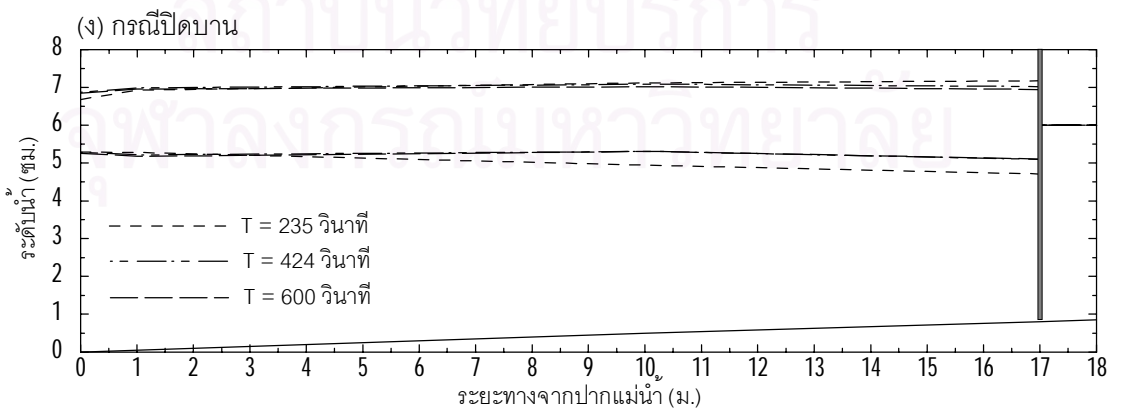
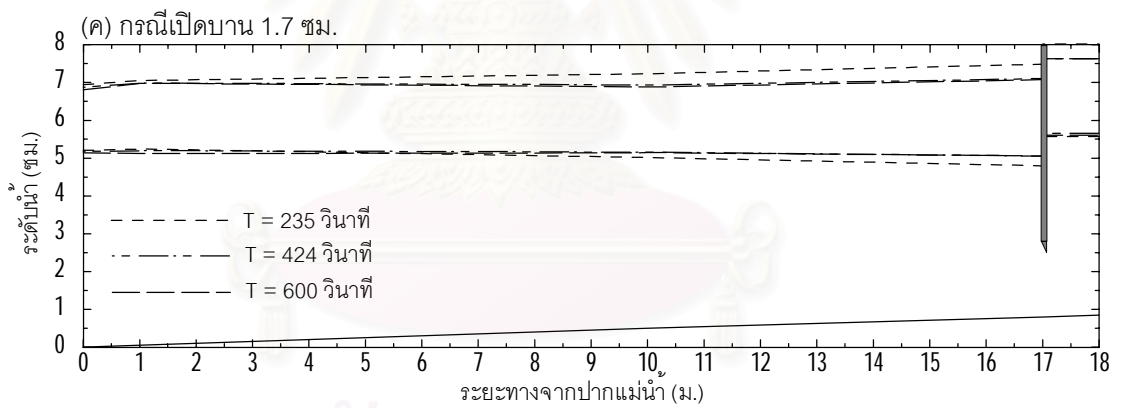
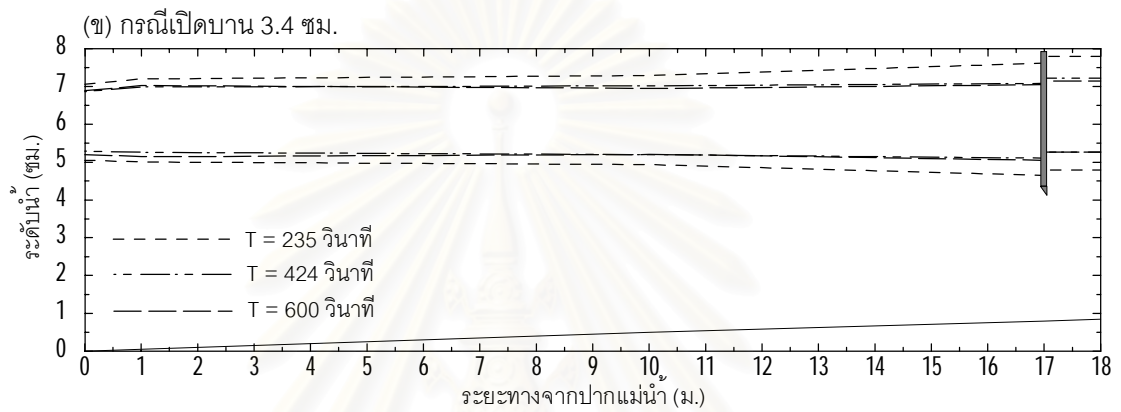
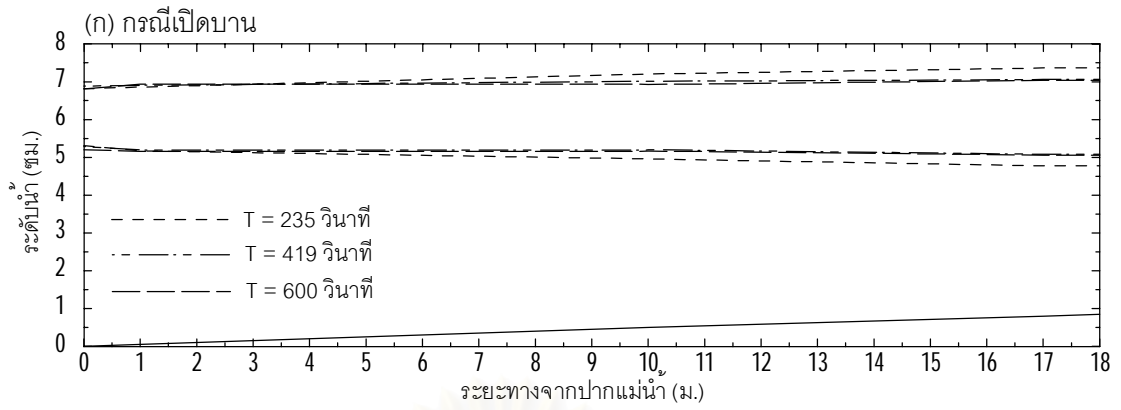
หมายเหตุ



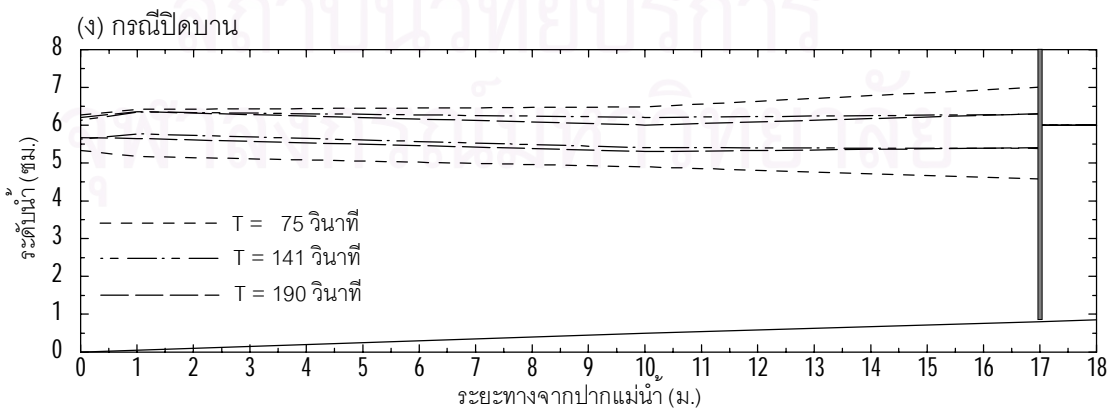
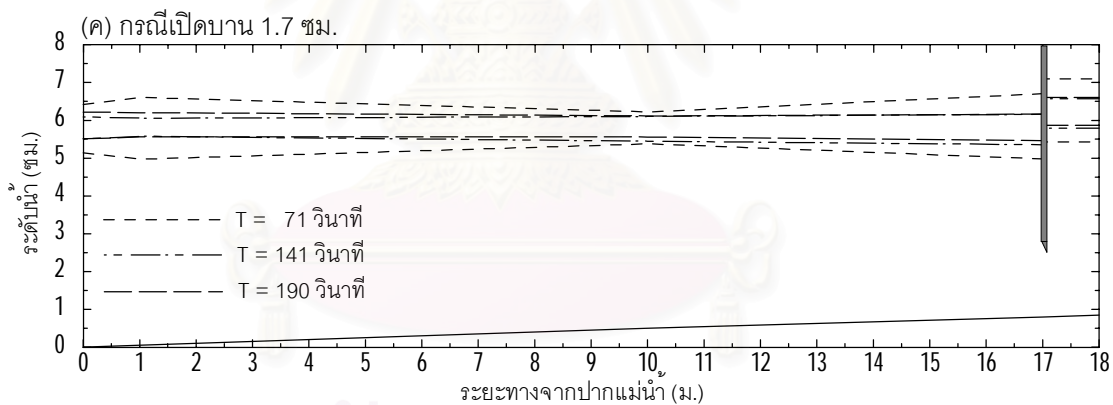
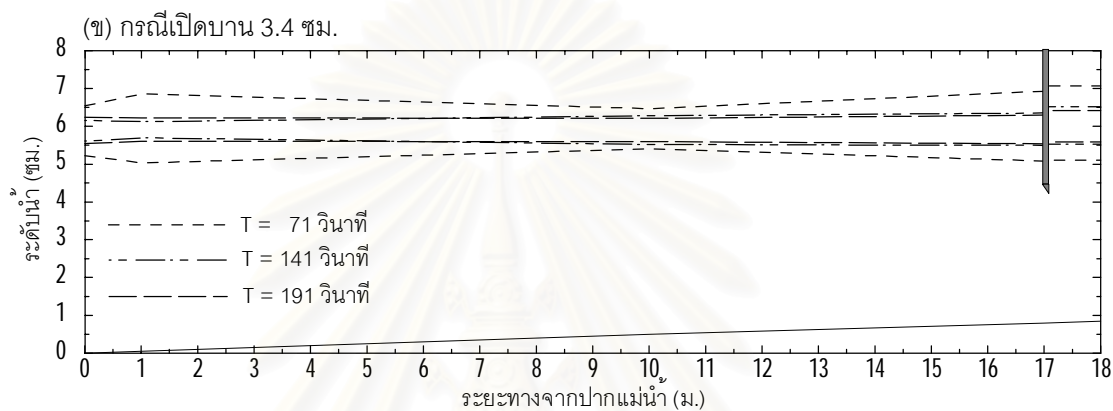
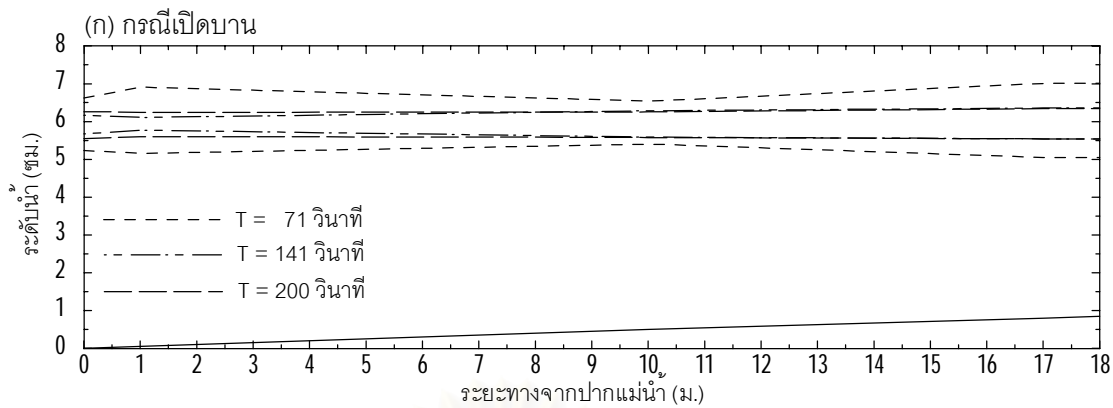
รูป ข-1 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.



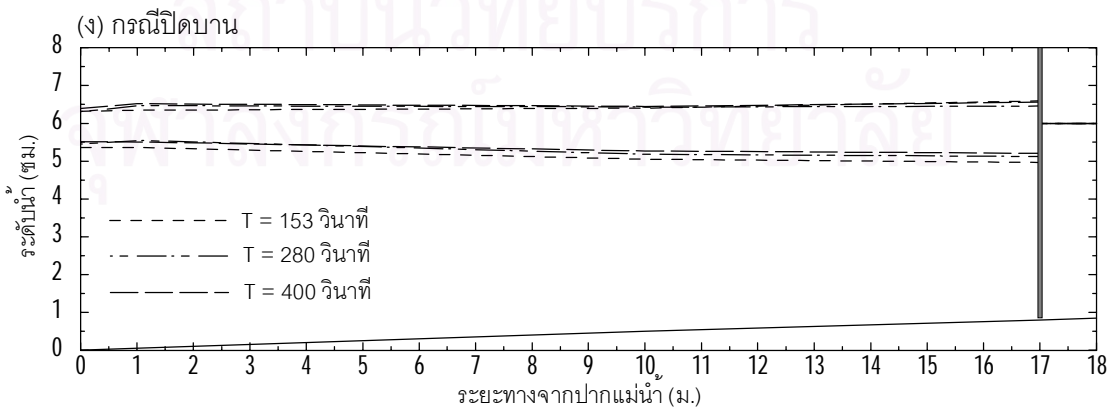
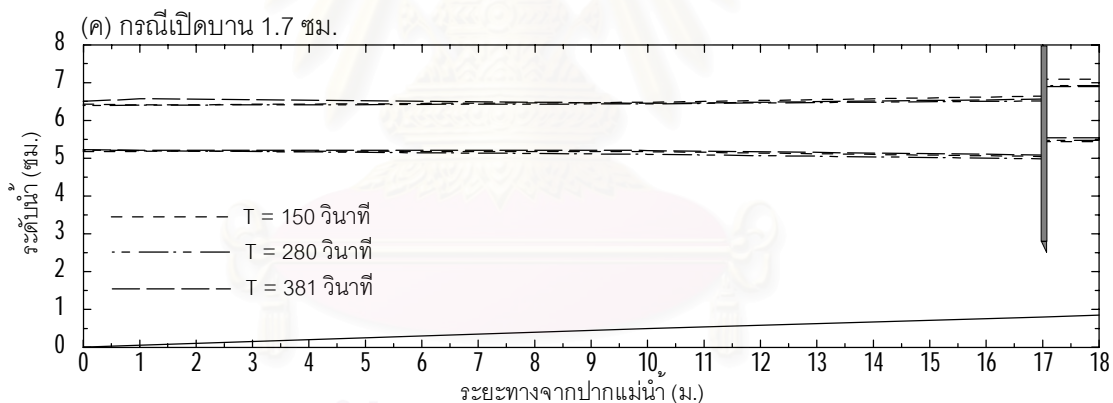
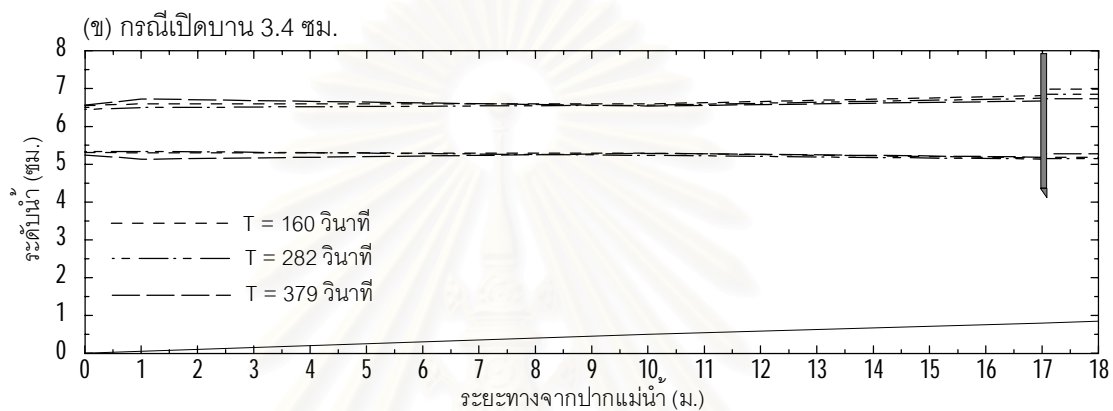
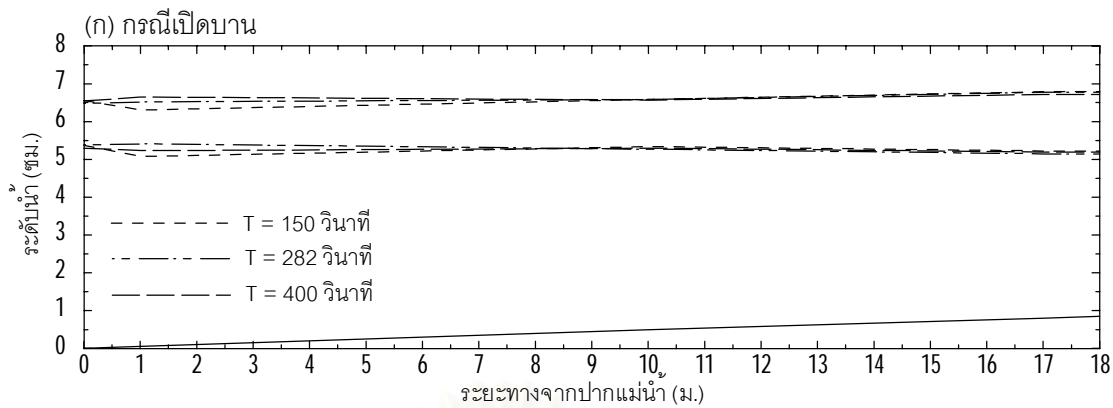
รูป ข-2 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



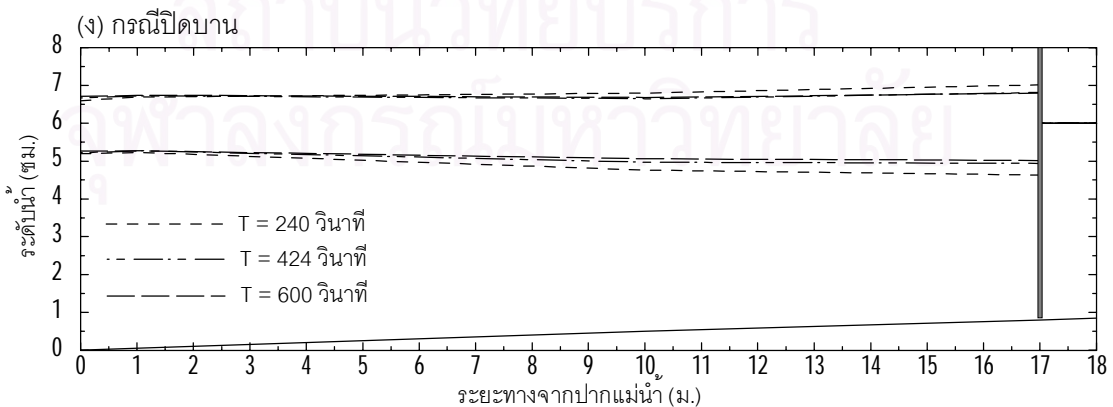
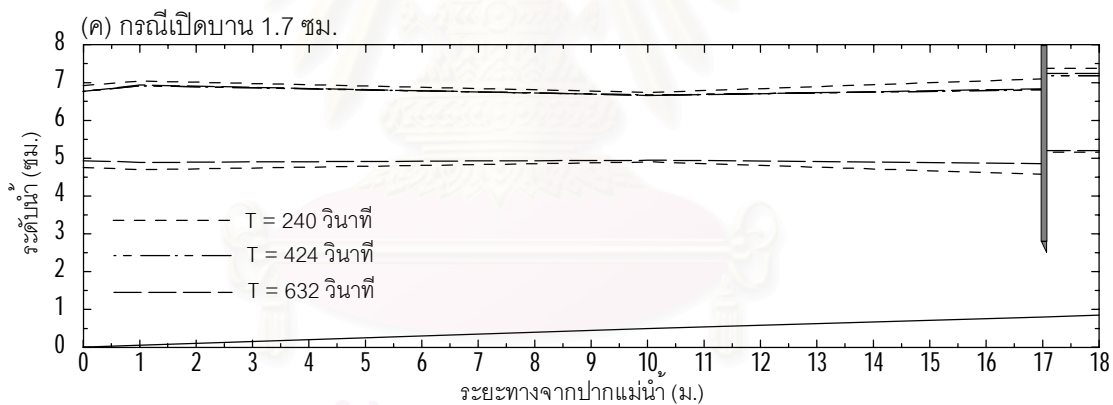
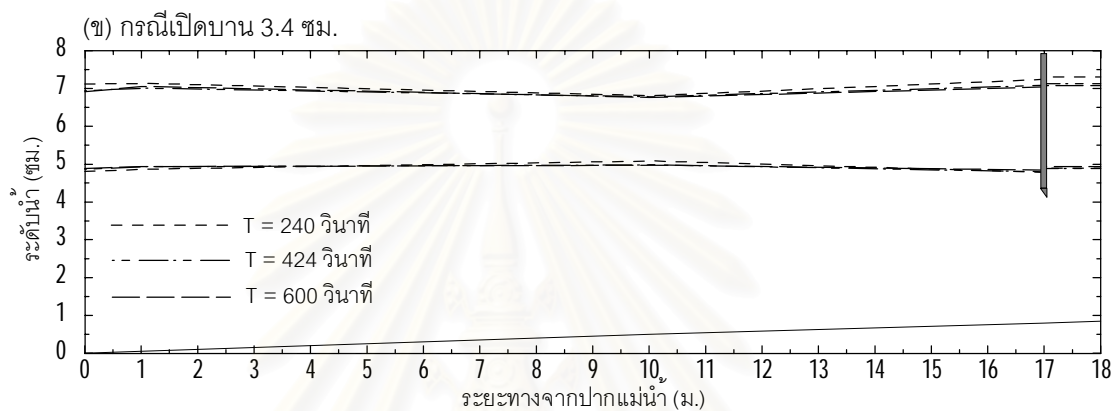
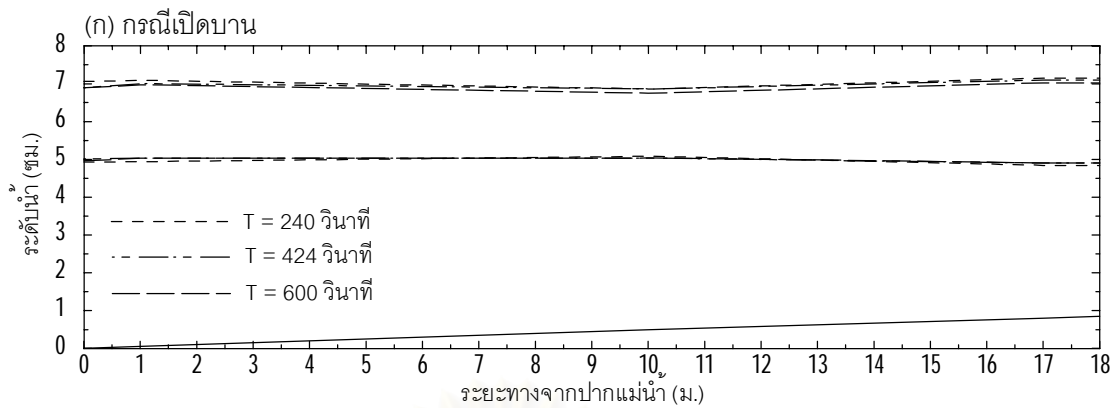
รูป ข-3 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



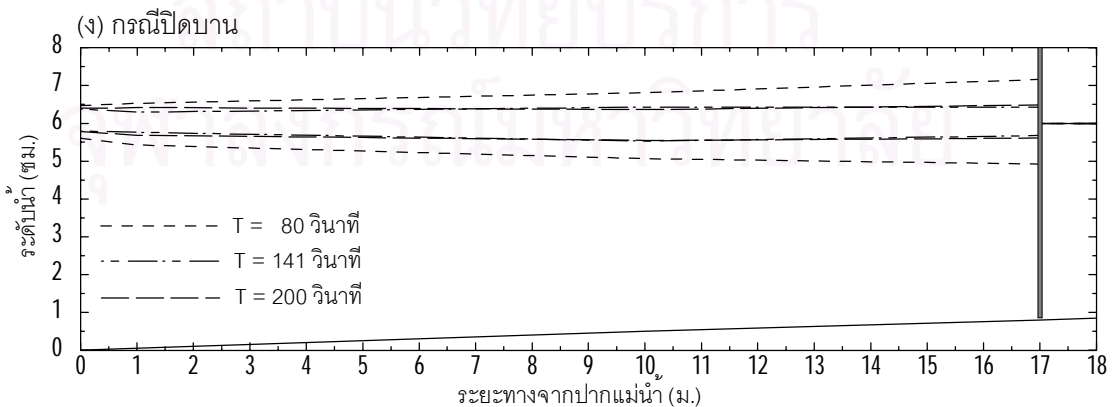
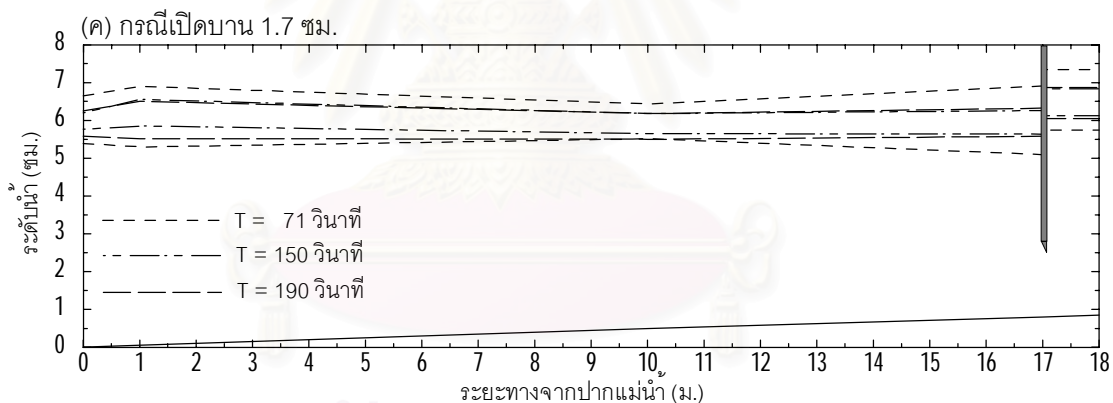
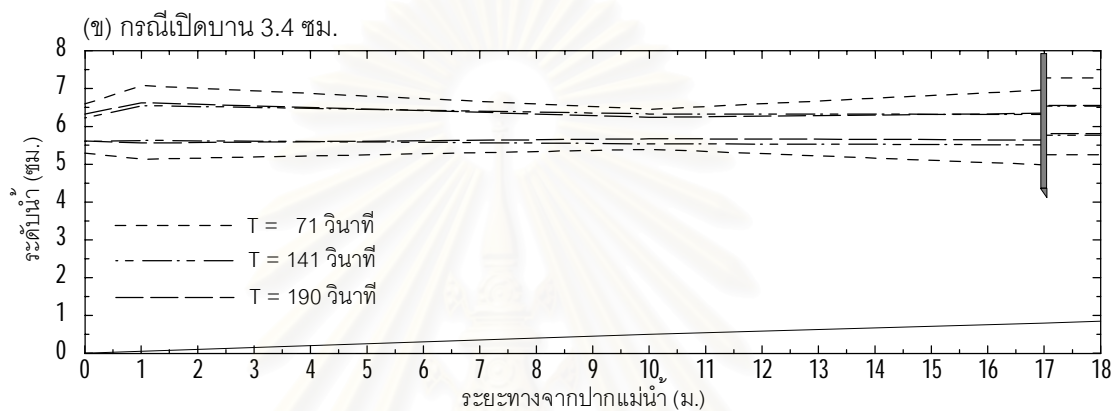
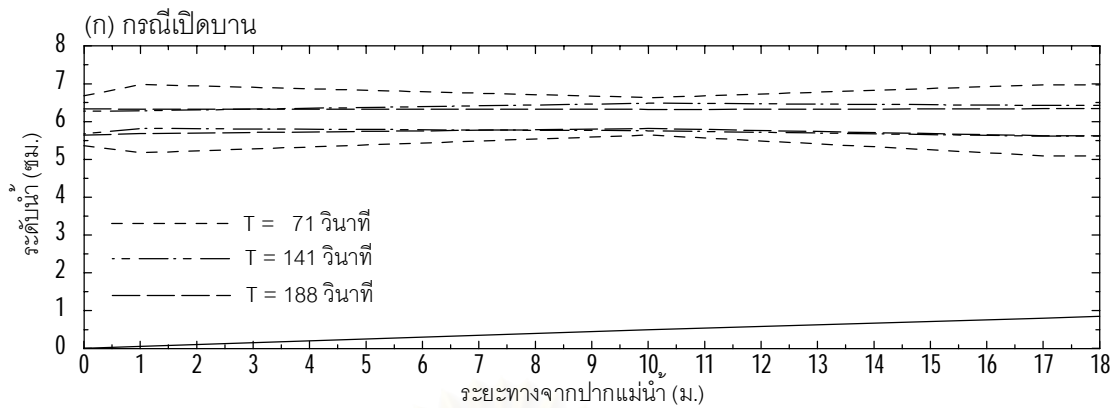
รูป ข-4 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.



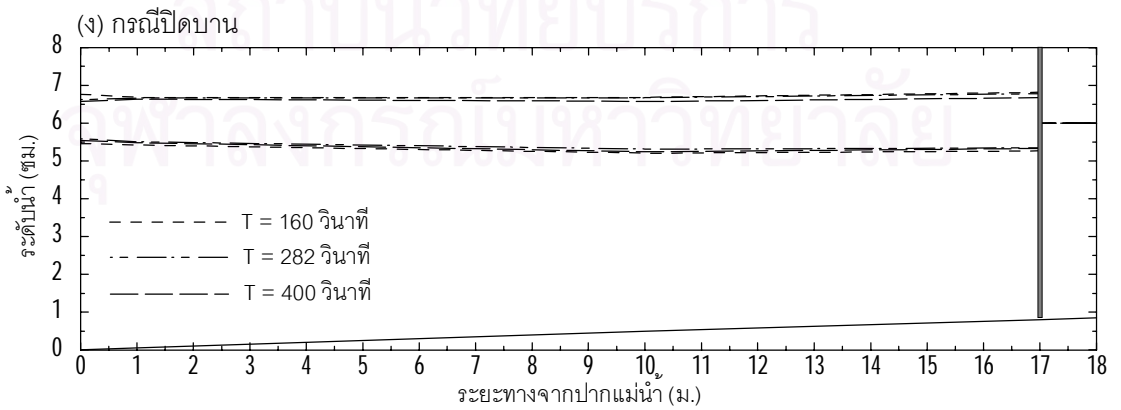
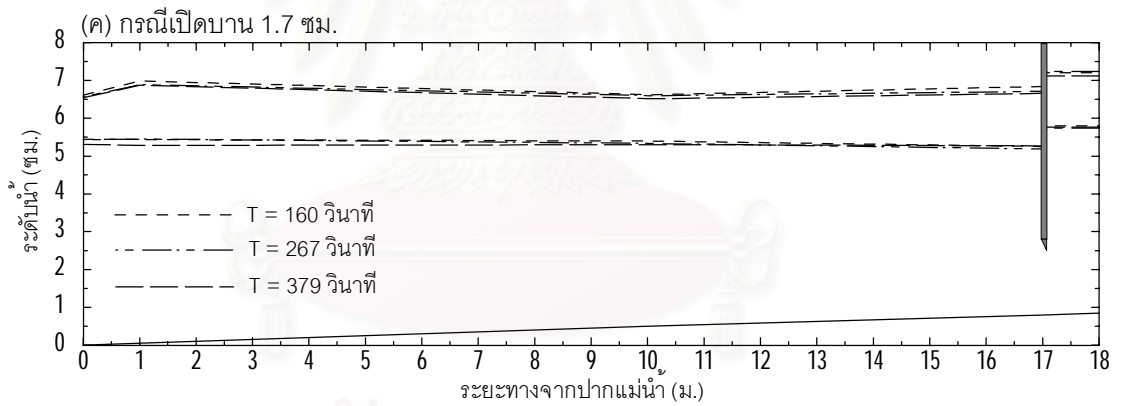
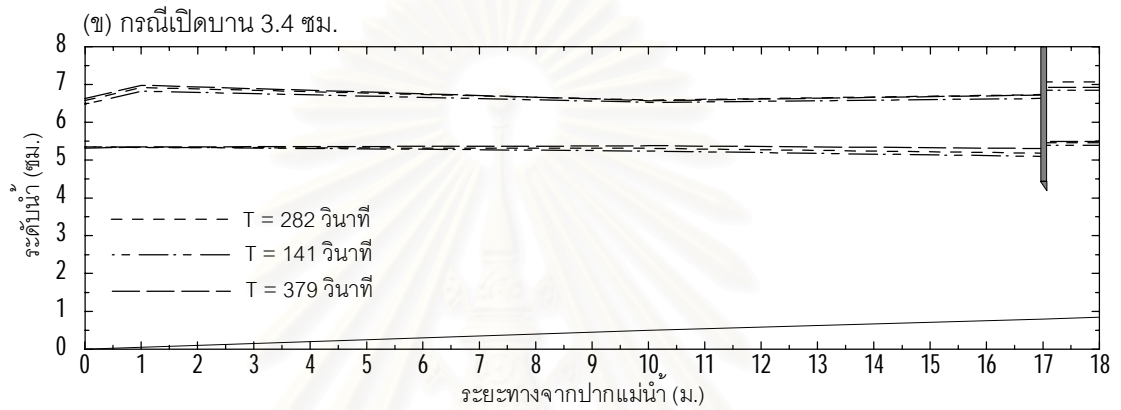
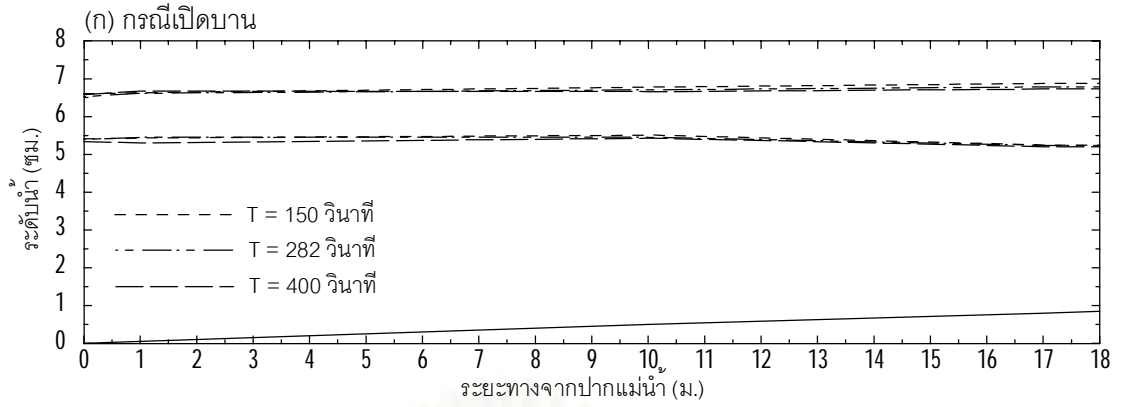
รูป ข-5 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



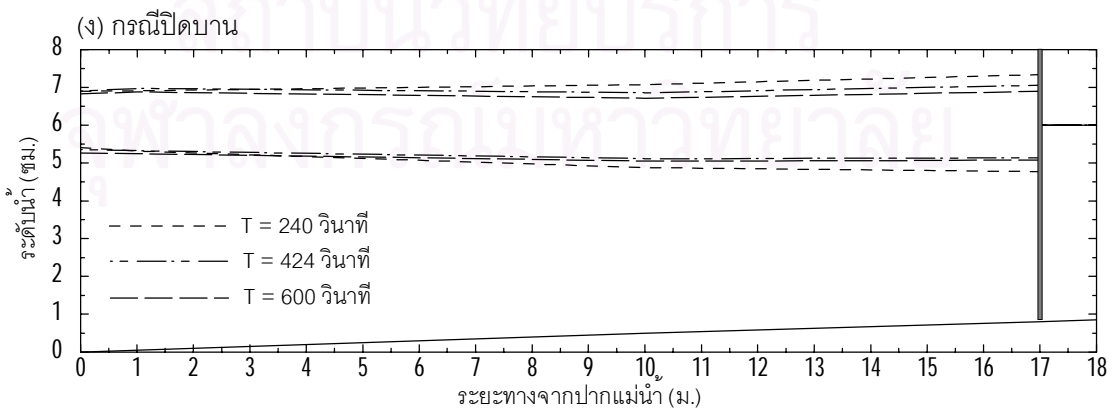
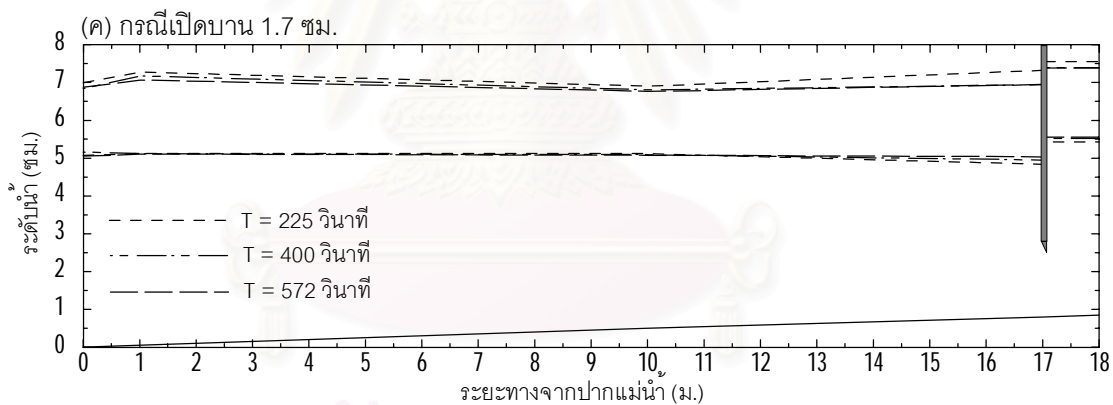
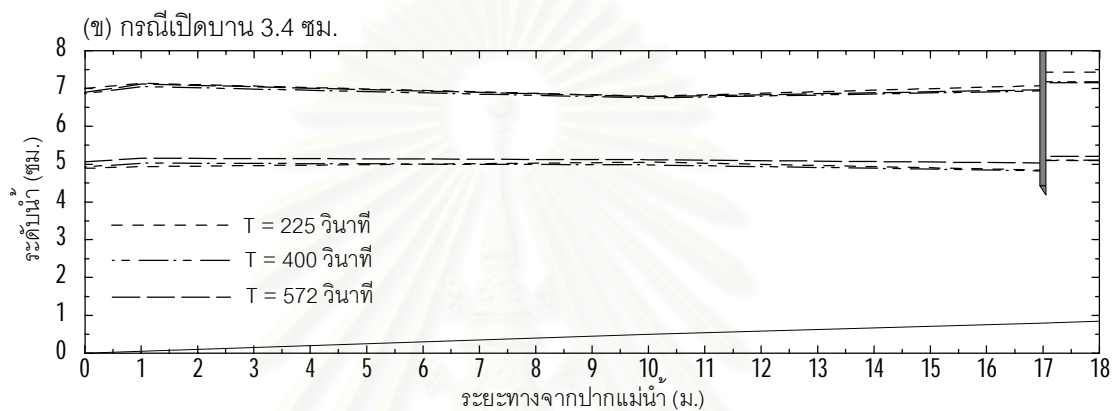
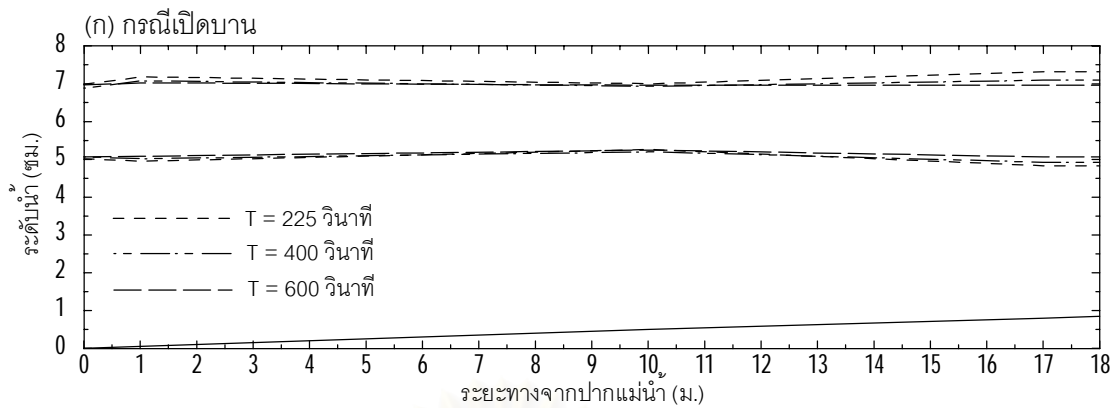
รูป ข-6 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



รูป ข-7 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.



รูป ข-8 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลองกรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



รูป ข-9 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.3$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.021$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



ภาคผนวก ค

ผลการศึกษากรณีอัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลการศึกษาระณีอัตราการไหล 0.52 ลิตร / วินาที

ผลการศึกษาระณีอัตราการไหล 0.52 ลิตรต่อวินาที เป็นผลการศึกษาที่ได้ผ่านการวิเคราะห์ สเปกตรัมแล้วซึ่งนำเสนอในรูปแบบของตาราง แยกเป็นกรณีตามค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. q_2 เป็นค่าอัตราการไหลผ่านฝาย ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 0.52 ลิตรต่อวินาที
2. n_1, n_2, n_3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของวัสดุท้องน้ำเท่ากับ 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ
3. h_1, h_2, h_3 เป็นระยะทางการแทนที่น้ำของถังเท่ากับ 9 18 และ 27 ซม ตามลำดับ
4. g_0, g_1, g_2, g_3 เป็นระยะทางเปิดปิดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งเท่ากับการปิดบาน การเปิดบาน 1.7 เซนติเมตร การเปิดบาน 3.4 เซนติเมตร และการเปิดบานหมด
5. t_1 ถึง t_9 เป็นคาบคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ขึ้นอยู่กับความลึกและความเร็วของการแทนที่น้ำ

ซึ่งตารางที่นำเสนอ จะแยกเป็นตารางสรุปคลื่นและตารางรายละเอียดคลื่นสำหรับตารางสรุป คลื่น จะแยกตามสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n_1 n_2 และ n_3 เป็นตาราง ค-1 ค-2 และ ค-3 ตามลำดับ และ ตารางรายละเอียดคลื่นแยกตามค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n_1 n_2 และ n_3 เป็นตาราง ค-4 ค-5 และ ค-6 ผลที่ได้จากตารางสรุปคลื่นสามารถนำมาเขียนกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด ตลอดความยาวแม่น้ำได้ ดังรูป ค-1 ถึง ค-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค-1 คุณสมบัติคลื่นกรณีสู่ตัวการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

กรณี				อ่างกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr
				T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	d _{avg} (cm)	
n1	g0	h1	t1	85	0.59	6.00	85	0.77	6.00	85	1.59	5.59	85	2.10	5.16	-	-	5.34	5.58	0
			t2	141	0.66	6.06	141	0.65	6.00	141	0.69	5.62	141	0.70	5.24	-	-	5.38	5.62	0
			t3	188	0.73	6.02	188	0.75	5.95	188	0.65	5.61	188	0.89	5.24	-	-	5.33	5.60	0
		h2	t4	153	1.19	5.98	153	1.35	5.97	153	1.42	5.60	153	1.65	5.15	-	-	5.28	5.57	0
			t5	282	1.03	6.06	282	1.12	5.99	282	1.20	5.66	282	1.37	5.25	-	-	5.33	5.63	0
			t6	400	0.98	6.01	400	1.00	5.92	400	1.16	5.60	400	1.24	5.22	-	-	5.32	5.58	0
		h3	t7	235	1.39	5.97	235	1.65	6.06	235	2.18	5.53	235	2.47	5.15	-	-	5.26	5.58	0
			t8	424	1.59	6.07	424	1.77	6.06	424	1.78	5.69	424	1.93	5.26	-	-	5.33	5.67	0
			t9	600	1.59	6.04	600	1.78	6.03	600	1.71	5.66	600	1.84	5.23	-	-	5.33	5.64	0
	g1	h1	t1	75	1.21	5.81	75	1.51	5.77	71	1.34	5.39	71	2.32	5.11	75	2.16	5.81	5.42	0.044
			t2	141	0.61	5.93	141	0.64	5.92	141	0.62	5.46	141	0.65	5.17	141	0.83	5.67	5.52	0.043
			t3	188	0.67	5.98	188	0.70	5.95	188	0.61	5.51	188	0.64	5.22	188	1.01	5.81	5.56	0.042
		h2	t4	153	1.14	5.86	153	1.21	5.81	153	1.19	5.41	153	1.41	5.12	153	1.51	5.78	5.45	0.043
			t5	280	1.08	5.91	280	1.17	5.91	280	1.15	5.45	280	1.26	5.15	280	1.32	5.66	5.51	0.043
			t6	400	1.04	5.95	400	1.20	5.93	400	1.17	5.49	400	1.28	5.20	400	1.38	5.72	5.54	0.042
		h3	t7	235	1.51	5.88	235	1.61	5.84	235	2.07	5.46	235	2.41	5.17	235	2.41	5.77	5.49	0.043
			t8	424	1.54	5.85	424	1.61	5.80	424	1.73	5.42	424	1.89	5.13	424	1.94	5.81	5.45	0.043
			t9	600	1.48	5.95	600	1.55	5.95	600	1.62	5.50	600	1.74	5.21	600	1.84	5.75	5.55	0.042
	g2	h1	t1	75	1.25	5.75	75	1.73	5.78	75	1.62	5.39	75	2.52	5.08	75	2.55	5.22	5.42	0.044
			t2	141	0.62	5.89	141	0.51	5.88	141	0.66	5.54	141	0.68	5.14	141	0.94	5.24	5.52	0.043
			t3	200	0.70	5.94	200	0.74	5.92	200	0.56	5.48	200	0.68	5.19	200	0.94	5.25	5.53	0.043
		h2	t4	153	1.11	5.86	153	1.29	5.85	153	1.24	5.43	153	1.41	5.11	153	1.50	5.19	5.46	0.043
			t5	282	1.04	5.86	282	1.14	5.85	282	1.17	5.44	282	1.26	5.13	283	1.45	5.18	5.47	0.043
			t6	400	1.06	5.93	400	1.21	5.92	400	1.19	5.49	400	1.25	5.19	400	1.27	5.23	5.53	0.043
h3		t7	235	1.55	5.86	235	1.68	5.87	235	2.18	5.45	235	2.53	5.13	235	2.47	5.26	5.48	0.043	
		t8	424	1.46	5.93	424	1.60	5.93	424	1.73	5.51	424	1.90	5.20	424	1.77	5.30	5.54	0.042	
		t9	600	1.53	5.93	600	1.62	5.92	600	1.65	5.49	600	1.76	5.18	600	1.61	5.21	5.53	0.043	
g3	h1	t1	75	1.32	5.87	75	1.61	5.78	75	1.64	5.52	75	2.54	5.10	75	2.64	5.09	5.47	0.043	
		t2	141	0.63	5.99	141	0.59	5.93	141	0.61	5.57	141	0.64	5.15	141	0.77	5.15	5.55	0.042	
		t3	191	0.71	5.99	191	0.74	5.94	191	0.52	5.57	191	0.65	5.16	191	0.86	5.15	5.56	0.042	
	h2	t4	150	1.14	5.95	150	1.15	5.85	150	1.33	5.54	150	1.51	5.10	150	1.60	5.10	5.49	0.043	
		t5	282	1.10	5.97	282	1.16	5.90	282	1.21	5.58	282	1.34	5.13	282	1.35	5.10	5.54	0.042	
		t6	400	1.01	5.96	400	1.04	5.89	400	1.17	5.56	400	1.34	5.12	400	1.41	5.11	5.53	0.043	
	h3	t7	235	1.59	5.90	235	1.66	5.84	235	2.21	5.54	235	2.70	5.12	235	2.63	5.12	5.50	0.043	
		t8	419	1.51	5.94	419	1.57	5.87	419	1.75	5.56	419	1.83	5.13	419	1.83	5.10	5.52	0.043	
		t9	600	1.53	6.00	600	1.58	5.92	600	1.67	5.60	600	1.81	5.16	600	1.79	5.13	5.56	0.042	

หมายเหตุ

ตาราง ค-2 คุณสมบัติคลื่นกรณีอัตราไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

กรณี			แ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr	
			T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	d _{avg} (cm)		
n2	g0	h1	t1	75	0.94	5.78	75	1.25	5.75	75	1.59	5.20	75	2.43	5.00	-	-	5.07	5.32	0
			t2	141	0.50	5.86	141	0.58	6.01	141	0.80	5.32	141	0.91	5.04	-	-	5.08	5.46	0
			t3	200	0.54	5.92	200	0.71	5.96	200	0.70	5.17	190	0.90	5.06	-	-	5.08	5.39	0
		h2	t4	153	0.96	5.82	153	0.99	5.81	153	1.36	5.24	153	1.63	4.98	-	-	5.05	5.34	0
			t5	280	0.85	5.86	280	0.92	5.96	280	1.25	5.32	280	1.34	4.99	-	-	5.04	5.42	0
			t6	400	0.88	5.94	400	1.01	5.96	400	1.18	5.37	400	1.36	5.09	-	-	5.08	5.47	0
		h3	t7	240	1.40	5.88	240	1.47	5.91	240	2.04	5.29	240	2.39	5.02	-	-	5.06	5.41	0
			t8	424	1.45	5.93	424	1.45	5.95	424	1.68	5.32	424	1.88	5.08	-	-	5.09	5.45	0
			t9	600	1.45	5.97	600	1.47	5.96	600	1.62	5.38	600	1.79	5.11	-	-	5.10	5.48	0
	g1	h1	t1	71	1.22	5.76	71	1.38	5.77	71	1.02	5.25	71	1.81	4.99	71	1.71	5.49	5.34	0.045
			t2	150	0.56	5.71	141	0.46	5.80	141	0.76	5.26	141	0.98	4.99	141	0.67	5.47	5.35	0.045
			t3	190	0.68	5.85	190	0.60	5.85	190	0.67	5.43	190	0.85	5.12	190	0.68	5.57	5.47	0.043
		h2	t4	150	1.21	5.75	150	1.18	5.78	150	1.30	5.27	150	1.57	5.02	150	1.40	5.47	5.36	0.045
			t5	280	1.14	5.80	280	0.97	5.84	280	1.16	5.31	280	1.44	5.05	280	1.22	5.55	5.40	0.044
			t6	381	1.00	5.87	381	1.08	5.88	381	1.10	5.38	381	1.38	5.13	400	1.18	5.58	5.46	0.043
		h3	t7	240	1.65	5.76	240	1.72	5.79	240	1.93	5.26	240	2.28	5.04	240	2.17	5.52	5.36	0.045
			t8	424	1.50	5.87	424	1.52	5.87	424	1.69	5.37	424	1.90	5.12	424	1.79	5.61	5.45	0.043
			t9	632	1.52	5.87	632	1.54	5.90	632	1.61	5.36	632	1.81	5.12	600	1.70	5.57	5.46	0.043
g2	h1	t1	71	1.42	5.99	71	1.57	5.92	71	1.16	5.54	71	2.00	5.15	71	2.09	5.17	5.54	0.042	
		t2	141	0.54	5.94	141	0.56	5.89	141	0.76	5.55	141	0.87	5.18	141	0.97	5.22	5.54	0.042	
		t3	191	0.63	5.95	191	0.63	5.90	191	0.64	5.57	191	0.82	5.19	191	0.89	5.26	5.55	0.042	
	h2	t4	160	1.20	6.00	160	1.13	5.95	160	1.23	5.55	160	1.55	5.22	160	1.61	5.23	5.57	0.042	
		t5	282	1.15	5.97	282	1.10	5.91	282	1.20	5.55	282	1.45	5.20	282	1.38	5.23	5.55	0.042	
		t6	379	1.22	5.95	379	1.18	5.91	379	1.19	5.51	379	1.48	5.16	379	1.37	5.20	5.52	0.043	
	h3	t7	240	1.67	6.02	240	1.79	5.98	240	1.93	5.58	240	2.38	5.26	240	2.43	5.25	5.60	0.042	
		t8	424	1.59	6.02	424	1.64	5.96	424	1.66	5.56	424	1.85	5.20	424	1.91	5.28	5.57	0.042	
		t9	600	1.59	5.94	600	1.69	5.91	600	1.64	5.48	600	1.79	5.13	600	1.85	5.29	5.51	0.043	
g3	h1	t1	71	1.18	5.75	71	1.39	5.70	71	1.11	5.26	71	1.92	4.95	71	1.92	5.01	5.30	0.045	
		t2	150	0.55	5.77	160	0.40	5.73	141	0.81	5.29	141	0.92	4.99	141	0.69	5.06	5.34	0.045	
		t3	200	0.64	5.71	200	0.50	5.69	213	0.71	5.20	200	0.82	4.88	200	0.74	4.99	5.26	0.046	
	h2	t4	150	1.02	5.75	150	1.04	5.72	150	1.36	5.25	150	1.60	4.97	150	1.46	5.02	5.31	0.045	
		t5	282	1.13	5.81	282	1.09	5.78	282	1.30	5.30	282	1.31	4.97	282	1.31	5.04	5.35	0.045	
		t6	400	1.04	5.72	400	1.13	5.68	400	1.26	5.17	400	1.36	4.87	400	1.28	4.94	5.24	0.046	
	h3	t7	240	1.68	5.74	240	1.78	5.72	240	1.77	5.18	240	2.28	4.95	240	2.33	5.03	5.28	0.046	
		t8	424	1.54	5.82	424	1.56	5.79	424	1.68	5.28	424	1.89	4.99	424	1.88	5.06	5.35	0.045	
		t9	600	1.58	5.76	600	1.61	5.72	600	1.59	5.21	600	1.70	4.91	600	1.75	4.99	5.28	0.046	

หมายเหตุ

ตาราง ค-3 คุณสมบัติคลื่นกรณีสัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2new)

กรณีสัตราการไหล			แอ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr	
			T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	d _{avg} (cm)		
n3	g0	h1	t1	80	0.87	6.02	80	1.11	5.93	80	1.75	5.44	80	2.24	5.24	-	-	5.12	5.53	0
			t2	141	0.58	6.07	141	0.54	5.98	141	0.90	5.48	141	0.75	5.25	-	-	5.12	5.57	0
			t3	200	0.62	6.08	200	0.73	6.00	200	0.82	5.45	200	0.87	5.25	-	-	5.12	5.57	0
		h2	t4	160	1.30	6.10	160	1.26	6.00	150	1.48	5.44	160	1.55	5.24	-	-	5.12	5.56	0
			t5	282	1.04	6.09	282	1.16	6.03	282	1.36	5.49	282	1.43	5.26	-	-	5.12	5.60	0
			t6	400	1.03	6.04	400	1.15	6.01	400	1.33	5.41	400	1.34	5.20	-	-	5.12	5.54	0
		h3	t7	240	1.49	6.14	240	1.60	6.06	240	2.20	5.47	240	2.57	5.25	-	-	5.12	5.60	0
			t8	424	1.55	6.12	424	1.65	6.10	424	1.74	5.48	424	1.92	5.30	-	-	5.12	5.63	0
			t9	600	1.57	6.04	600	1.63	6.01	600	1.67	5.38	600	1.82	5.18	-	-	5.12	5.53	0
	g1	h1	t1	75	1.18	6.06	75	1.43	5.98	75	1.07	5.46	75	1.68	5.29	75	1.54	5.80	5.58	0.042
			t2	141	0.58	6.05	141	0.78	6.02	141	0.86	5.48	141	0.75	5.28	141	0.95	5.72	5.59	0.042
			t3	200	0.67	6.03	200	0.88	6.04	200	0.71	5.45	200	0.76	5.24	200	0.76	5.63	5.58	0.042
		h2	t4	160	1.25	6.06	160	1.20	5.98	150	1.38	5.46	160	1.31	5.28	160	1.38	5.73	5.57	0.042
			t5	282	1.26	6.07	282	1.29	6.10	282	1.37	5.47	282	1.24	5.27	282	1.28	5.70	5.61	0.042
			t6	400	1.09	6.05	400	1.20	6.11	400	1.10	5.43	400	0.97	5.23	400	1.08	5.63	5.59	0.042
		h3	t7	240	1.77	6.11	240	1.87	6.02	240	1.89	5.48	240	2.18	5.30	240	2.17	5.76	5.60	0.042
			t8	424	1.72	6.15	424	1.77	6.14	424	1.78	5.48	424	1.89	5.31	424	1.92	5.71	5.64	0.041
			t9	600	1.61	6.02	600	1.70	6.05	600	1.67	5.36	600	1.71	5.21	600	1.76	5.69	5.54	0.042
	g2	h1	t1	71	1.35	5.95	71	1.59	5.89	71	1.00	5.38	71	1.65	5.17	71	0.00	5.37	5.48	0.043
			t2	141	0.53	5.89	141	0.52	5.83	141	0.84	5.38	141	0.76	5.16	141	0.00	5.27	5.46	0.043
			t3	190	0.66	5.86	190	0.65	5.82	190	0.67	5.33	190	0.87	5.10	190	0.24	5.27	5.42	0.044
		h2	t4	150	1.26	5.95	150	1.18	5.90	150	1.38	5.37	150	1.40	5.20	150	1.50	5.38	5.49	0.043
			t5	282	1.17	5.92	282	1.14	5.88	282	1.36	5.40	282	1.25	5.16	282	1.43	5.33	5.48	0.043
			t6	400	1.20	5.81	400	1.28	5.82	400	1.29	5.26	400	1.33	5.05	400	1.58	5.24	5.38	0.044
		h3	t7	240	1.78	6.01	240	1.88	5.95	240	1.88	5.39	240	2.20	5.21	240	2.26	5.43	5.52	0.043
			t8	424	1.77	6.00	424	1.79	5.95	424	1.81	5.35	424	1.85	5.19	424	1.92	5.40	5.49	0.043
			t9	600	1.81	5.89	600	1.82	5.86	600	1.78	5.31	600	1.72	5.10	600	1.85	5.30	5.42	0.044
g3	h1	t1	75	1.39	5.99	75	1.62	5.93	75	1.16	5.45	75	1.84	5.22	75	0.00	5.12	5.53	0.043	
		t2	150	0.56	5.97	150	0.62	5.94	141	0.83	5.44	141	0.71	5.21	141	0.00	5.12	5.53	0.043	
		t3	190	0.66	5.86	190	0.83	5.85	190	0.80	5.31	190	0.69	5.10	190	0.00	4.99	5.42	0.044	
	h2	t4	160	1.23	5.99	160	1.16	5.95	150	1.40	5.45	160	1.41	5.24	160	0.00	5.12	5.55	0.042	
		t5	282	1.21	5.99	282	1.16	6.03	282	1.41	5.44	282	1.47	5.23	282	0.00	5.12	5.57	0.042	
		t6	400	1.12	5.84	400	1.37	5.91	400	1.28	5.27	400	1.37	5.09	400	1.28	4.98	5.42	0.044	
	h3	t7	225	1.74	6.06	225	1.86	6.00	225	1.82	5.47	225	2.18	5.26	225	0.00	5.12	5.58	0.042	
		t8	424	1.71	6.06	424	1.78	6.02	424	1.76	5.44	424	1.90	5.24	424	0.05	5.13	5.57	0.042	
		t9	600	1.57	5.92	600	1.75	5.98	600	1.69	5.33	600	1.85	5.13	600	1.79	5.06	5.48	0.043	

หมายเหตุ * เครื่องมือวัดซึ่งไม่สามารถวัดค่าได้

ตาราง ค-4 รายละเอียดคลื่นกรณีสั้นการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

กรณีสั้น			แอ่งกำเนิดคลื่น				1 ม. จากปากแม่น้ำ				10 ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู			
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	
n1	g0	t1	5.999	0.012	0.016	0.070	6.000	0.012	0.042	-0.050	5.589	0.012	0.270	-1.060	5.162	0.012	0.530	-0.910	5.339	0.012	0.063	
		t2	6.059	0.007	0.023	-0.490	5.997	0.007	0.016	-0.560	5.380	0.007	0.045	-0.380	5.238	0.007	0.048	-0.310	5.377	0.007	0.088	
		t3	6.018	0.005	0.029	2.290	5.951	0.005	0.023	2.200	5.612	0.005	0.046	2.550	5.243	0.005	0.037	2.960	5.329	0.005	0.056	
	g1	t1	5.808	0.013	0.185	0.770	5.771	0.013	0.270	0.620	5.385	0.014	0.132	0.700	5.108	0.014	0.435	1.760	5.806	0.000	0.727	
		t2	5.927	0.007	0.025	1.340	5.921	0.007	0.021	1.200	5.455	0.007	0.040	2.930	5.171	0.007	0.046	5.660	5.675	0.000	0.472	
		t3	5.977	0.005	0.026	1.100	5.949	0.005	0.022	1.030	5.506	0.005	0.027	1.460	5.219	0.005	0.028	1.680	5.806	0.000	0.701	
	g2	t1	5.753	0.013	0.197	-4.420	5.776	0.013	0.343	-7.700	5.393	0.013	0.164	1.750	5.085	0.013	0.546	8.060	5.222	0.013	0.695	
		t2	5.895	0.007	0.020	0.280	5.880	0.007	0.014	0.640	5.543	0.007	0.041	0.220	5.143	0.007	0.049	0.810	5.238	0.007	0.135	
		t3	5.935	0.005	0.022	0.960	5.918	0.005	0.019	1.980	5.482	0.005	0.026	1.390	5.190	0.005	0.029	1.700	5.255	0.005	0.090	
	g3	t1	5.866	0.013	0.202	0.450	5.782	0.013	0.276	0.370	5.520	0.013	0.124	-0.290	5.102	0.014	0.499	1.250	5.094	0.014	0.519	
		t2	5.988	0.007	0.020	-1.440	5.930	0.007	0.014	-1.630	5.570	0.007	0.038	-0.800	5.147	0.007	0.041	-0.550	5.145	0.007	0.062	
		t3	5.993	0.005	0.025	1.990	5.938	0.005	0.024	1.990	5.572	0.005	0.026	3.450	5.156	0.005	0.027	4.180	5.154	0.005	0.038	
	h2	g0	t4	5.984	0.007	0.076	-4.840	5.969	0.007	0.074	-7.150	5.596	0.007	0.196	-4.010	5.145	0.007	0.173	-2.900	5.285	0.007	0.032
			t5	6.062	0.004	0.106	0.600	5.995	0.004	0.108	0.590	5.660	0.004	0.136	0.650	5.250	0.004	0.128	0.660	5.326	0.004	0.054
			t6	6.008	0.003	0.010	2.110	5.925	0.003	0.102	2.160	5.598	0.003	0.113	2.220	5.222	0.003	0.104	2.280	5.317	0.003	0.049
		g1	t4	5.862	0.007	0.078	5.590	5.810	0.007	0.075	4.550	5.415	0.007	0.128	-8.740	5.125	0.007	0.147	-3.680	5.778	0.000	0.655
			t5	5.905	0.004	0.087	1.460	5.915	0.004	0.100	1.390	5.449	0.004	0.090	1.840	5.153	0.004	0.091	2.150	5.658	0.001	0.432
			t6	5.946	0.003	0.096	2.230	5.934	0.003	0.113	2.110	5.493	0.003	0.089	2.800	5.203	0.003	0.088	3.100	5.724	0.000	0.549
		g2	t4	5.857	0.007	0.070	0.850	5.853	0.007	0.074	0.800	5.430	0.007	0.134	1.390	5.105	0.007	0.157	1.820	5.190	0.007	0.276
			t5	5.858	0.004	0.101	1.290	5.845	0.004	0.111	1.230	5.437	0.004	0.107	1.590	5.128	0.004	0.103	1.850	5.180	0.004	0.178
			t6	5.930	0.003	0.090	0.860	5.916	0.003	0.104	0.840	5.490	0.003	0.088	0.960	5.188	0.003	0.081	1.070	5.230	0.003	0.143
		g3	t4	5.947	0.007	0.072	-0.360	5.846	0.007	0.057	-0.430	5.535	0.007	0.130	-0.080	5.098	0.007	0.152	0.050	5.097	0.007	0.193
			t5	5.968	0.004	0.096	4.160	5.896	0.004	0.095	3.670	5.575	0.004	0.097	7.300	5.134	0.004	0.098	12.660	5.105	0.004	0.142
			t6	5.962	0.003	0.092	33.950	5.894	0.003	0.099	24.360	5.558	0.003	0.079	-24.870	5.124	0.003	0.079	-10.960	5.105	0.003	0.100
h3	g0	t7	5.971	0.004	1.818	-0.200	6.063	0.004	0.295	-0.230	5.528	0.004	0.237	-0.270	5.149	0.004	0.282	-0.150	5.264	0.004	0.023	
		t8	6.066	0.002	0.224	0.770	6.064	0.002	0.300	0.720	5.689	0.002	0.299	0.790	5.264	0.002	0.262	0.780	5.330	0.002	0.055	
		t9	6.038	0.002	0.205	-2.700	6.028	0.002	0.290	-3.180	5.658	0.002	0.254	-2.440	5.231	0.002	0.223	-2.600	5.332	0.017	0.067	
	g1	t7	5.882	0.004	0.154	-0.810	5.844	0.004	0.160	-0.870	5.461	0.004	0.201	-0.600	5.167	0.004	0.222	-0.500	5.773	0.000	0.637	
		t8	5.854	0.002	0.188	1.130	5.804	0.002	0.211	1.190	5.422	0.002	0.205	1.310	5.130	0.002	0.207	1.350	5.814	0.000	0.716	
		t9	5.948	0.002	0.191	-19.990	5.950	0.002	0.230	-38.330	5.504	0.002	0.193	-8.170	5.209	0.002	0.181	7.950	5.753	0.000	0.610	
	g2	t7	5.856	0.004	0.158	-0.300	5.866	0.004	0.168	-0.360	5.451	0.004	0.218	-0.160	5.133	0.004	0.248	-0.070	5.262	0.004	0.338	
		t8	5.929	0.002	0.178	-0.160	5.929	0.002	0.224	-1.170	5.510	0.002	0.193	-0.080	5.195	0.002	0.191	-0.050	5.299	0.002	0.320	
		t9	5.930	0.002	0.199	-7.790	5.918	0.002	0.229	-8.570	5.487	0.002	0.191	-5.180	5.181	0.002	0.181	-4.820	5.207	0.002	0.243	
	g3	t7	5.904	0.043	0.163	-0.450	5.840	0.004	0.149	-0.520	5.543	0.004	0.219	-0.300	5.120	0.004	0.250	-0.240	5.118	0.004	0.252	
		t8	5.940	0.002	0.192	-0.090	5.869	0.002	0.206	-0.070	5.558	0.002	0.203	0.010	5.126	0.002	0.197	0.040	5.098	0.002	0.213	
		t9	5.997	0.002	0.192	-3.020	5.920	0.002	0.206	-3.050	5.602	0.002	0.196	-2.430	5.162	0.002	0.187	-2.380	5.130	0.002	0.217	

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เเรเดียน

ตาราง ค-5 รายละเอียดคลื่นกรณีสัตถการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

กรณี				แ่งกำเนิดคลื่น				1 ม. จากปากแม่น้ำ				10 ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู		
				d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2
n1	g0	t1	5.78	0.013	0.111	-8.300	5.75	0.213	0.192	-56.82	5.20	0.013	0.268	1.100	5.00	0.013	0.711	1.690	5.07	0.013	0.094	
		t2	5.86	0.007	0.014	-0.690	6.01	0.007	0.021	-0.640	5.32	0.007	0.065	-0.320	5.04	0.007	0.111	-0.230	5.08	0.007	0.065	
		t3	5.92	0.005	0.020	0.150	5.96	0.005	0.033	0.090	5.17	0.005	0.046	0.280	5.06	0.005	0.063	1.600	5.08	0.005	0.044	
	g1	t1	5.76	0.014	0.179	0.640	5.77	0.014	0.209	0.510	5.25	0.001	0.104	1.200	4.99	0.014	0.349	0.280	5.49	0.014	0.289	
		t2	5.71	0.000	0.139	0.980	5.80	0.000	0.040	1.000	5.26	0.000	0.102	0.980	4.99	0.007	0.081	-0.770	5.47	0.000	0.170	
		t3	5.85	0.000	0.036	0.900	5.85	0.005	0.022	1.360	5.43	0.005	0.026	2.760	5.12	0.005	0.060	3.040	5.57	0.000	0.300	
	g2	t1	5.99	0.014	0.222	0.570	5.92	0.014	0.254	0.450	5.54	0.014	0.076	-0.200	5.15	0.014	0.380	0.330	5.17	0.014	0.442	
		t2	5.94	0.007	0.019	-0.740	5.89	0.007	0.016	-0.850	5.55	0.007	0.052	-0.270	5.18	0.007	0.085	-0.110	5.22	0.007	0.123	
		t3	5.95	0.005	0.021	1.490	5.90	0.005	0.018	1.390	5.57	0.005	0.030	2.840	5.19	0.005	0.056	2.850	5.26	0.005	0.095	
	g3	t1	5.75	0.014	0.143	0.960	5.70	0.014	0.196	0.840	5.26	0.001	0.100	1.070	4.95	0.014	0.395	0.650	5.01	0.014	0.376	
		t2	5.77	0.000	0.086	1.010	5.73	0.000	0.082	1.030	5.29	0.007	0.077	1.350	4.99	0.007	0.098	1.650	5.06	0.007	0.068	
		t3	5.71	0.000	0.129	1.040	5.69	0.000	0.116	1.030	5.20	0.000	0.151	1.090	4.88	0.000	0.122	1.080	4.99	0.005	0.046	
n2	g0	t4	5.82	0.007	0.058	8.220	5.81	0.007	0.055	4.580	5.24	0.007	0.196	-14.54	4.98	0.007	0.274	-9.160	5.05	0.007	0.150	
		t5	5.86	0.004	0.063	40.560	5.96	0.004	0.088	24.080	5.32	0.004	0.132	35.200	4.99	0.004	0.143	50.330	5.04	0.004	0.127	
		t6	5.94	0.005	0.071	-3.490	5.96	0.003	0.099	-3.850	5.37	0.003	0.105	-3.600	5.09	0.003	0.137	-3.200	5.08	0.003	0.103	
	g1	t4	5.75	0.000	0.102	1.030	5.78	0.007	0.054	-0.130	5.27	0.007	0.162	0.270	5.02	0.007	0.244	0.340	5.47	0.006	0.234	
		t5	5.80	0.004	0.090	12.620	5.84	0.004	0.077	11.250	5.31	0.004	0.108	11.690	5.05	0.004	0.145	12.220	5.55	0.000	0.267	
		t6	5.87	0.003	0.089	3.980	5.88	0.003	0.085	3.870	5.38	0.003	0.094	6.050	5.13	0.003	0.131	8.570	5.58	0.000	0.302	
	g2	t4	6.00	0.006	0.067	0.020	5.95	0.006	0.054	-0.050	5.55	0.006	0.154	0.370	5.22	0.006	0.257	0.450	5.23	0.006	0.288	
		t5	5.97	0.004	0.088	0.070	5.91	0.004	0.084	0.050	5.55	0.004	0.119	0.230	5.20	0.004	0.154	0.240	5.23	0.004	0.167	
		t6	5.95	0.003	0.092	2.170	5.91	0.003	0.094	2.140	5.51	0.003	0.115	2.500	5.16	0.003	0.137	3.050	5.20	0.003	0.155	
	g3	t4	5.75	0.000	0.099	1.040	5.72	0.000	0.089	1.050	5.25	0.007	0.143	0.250	4.97	0.007	0.235	0.300	5.02	0.007	0.195	
		t5	5.81	0.004	0.079	0.050	5.78	0.004	0.057	-0.020	5.30	0.004	0.141	0.170	4.97	0.004	0.131	0.220	5.04	0.004	0.114	
		t6	5.72	0.000	0.117	0.950	5.68	0.000	0.116	0.940	5.17	0.000	0.181	0.950	4.87	0.003	0.134	0.790	4.94	0.003	0.100	
n3	g0	t7	5.88	0.004	0.142	0.060	5.91	0.004	0.141	0.000	5.29	0.004	0.267	0.120	5.02	0.004	0.327	0.060	5.06	0.004	0.280	
		t8	5.93	0.002	0.160	1.410	5.95	0.002	0.187	1.300	5.32	0.002	0.200	1.500	5.08	0.002	0.256	1.450	5.09	0.002	0.225	
		t9	5.97	0.002	0.152	-0.010	5.96	0.002	0.156	-0.030	5.38	0.002	0.948	0.010	5.11	0.002	0.224	0.040	5.10	0.002	0.195	
	g1	t7	5.76	0.004	0.188	0.330	5.79	0.004	0.175	0.240	5.26	0.004	0.261	0.500	5.04	0.004	0.337	0.480	5.52	0.004	0.371	
		t8	5.87	0.002	0.184	0.690	5.87	0.002	0.177	0.700	5.37	0.002	0.191	0.800	5.12	0.002	0.250	0.910	5.61	0.000	0.343	
		t9	5.87	0.002	0.171	-0.260	5.90	0.002	0.171	0.540	5.36	0.002	0.187	-0.190	5.12	0.002	0.231	-0.160	5.57	0.000	0.299	
	g2	t7	6.02	0.004	0.158	-0.440	5.98	0.004	0.150	-0.470	5.58	0.004	0.224	-0.24	5.26	0.004	0.299	-0.26	5.25	0.004	0.329	
		t8	6.02	0.002	0.215	0.510	5.96	0.002	0.219	0.490	5.56	0.002	0.202	0.610	5.20	0.002	0.259	0.740	5.28	0.002	0.327	
		t9	5.94	0.002	0.197	0.42	5.91	0.002	0.219	-0.310	5.48	0.002	0.205	0.390	5.13	0.002	0.232	0.570	5.29	0.002	0.301	
	g3	t7	5.74	0.004	0.148	0.160	5.72	0.004	0.134	0.080	5.18	0.004	0.217	0.300	4.95	0.004	0.295	0.360	5.03	0.004	0.291	
		t8	5.82	0.002	0.190	0.790	5.79	0.002	0.191	0.740	5.28	0.002	0.220	0.890	4.99	0.002	0.243	1.030	5.06	0.002	0.239	
		t9	5.76	0.002	0.205	-0.990	5.72	0.002	0.230	-1.050	5.21	0.002	0.243	-0.870	4.91	0.002	0.236	-0.740	4.99	0.002	0.232	

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เเรเดียน

ตาราง ค-6 รายละเอียดคลื่นกรณีสัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

กรณีสัตราการไหล			แหล่งกำเนิดคลื่น				1ม. จากปากแม่น้ำ				10ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู			
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	
n3	h1	g0	t1	6.02	0.013	0.088	-1.440	5.93	0.013	0.160	-1.540	5.44	0.013	0.312	-0.210	5.24	0.013	0.733	-0.090	5.12	0.013	0.000
			t2	6.07	0.007	0.011	-0.410	5.98	0.007	0.014	-0.620	5.48	0.007	0.097	-0.270	5.25	0.007	0.066	-0.220	5.12	0.007	0.000
			t3	6.08	0.005	0.014	2.020	6.00	0.050	0.019	1.960	5.45	0.005	0.078	2.400	5.25	0.005	0.034	2.740	5.12	0.005	0.000
		g1	t1	6.06	0.013	0.169	0.970	5.98	0.013	0.219	0.860	5.46	0.013	0.124	-0.190	5.29	0.013	0.266	0.410	5.80	0.001	0.742
			t2	6.05	0.007	0.017	0.420	6.02	0.007	0.031	0.270	5.48	0.007	0.083	0.920	5.28	0.007	0.062	1.190	5.72	0.000	0.560
			t3	6.03	0.005	0.018	0.080	6.04	0.005	0.041	-0.010	5.45	0.005	0.058	0.320	5.24	0.005	0.032	0.370	5.63	0.000	0.421
		g2	t1	5.95	0.014	0.208	0.400	5.89	0.014	0.254	0.350	5.38	0.014	0.087	-0.500	5.17	0.014	0.279	0.140	5.37	0.014	0.000
			t2	5.89	0.000	0.021	0.840	5.83	0.000	0.025	0.810	5.38	0.007	0.073	0.730	5.16	0.007	0.063	0.930	5.27	0.007	0.000
			t3	5.86	0.000	0.035	0.960	5.82	0.000	0.030	0.930	5.33	0.005	0.068	2.660	5.10	0.005	0.035	3.740	5.27	0.005	0.075
	g3	t1	5.99	0.013	0.210	1.290	5.93	0.013	0.274	1.180	5.45	0.013	0.121	0.130	5.22	0.013	0.324	0.790	5.12	0.001	0.000	
		t2	5.97	0.007	0.013	0.120	5.94	0.007	0.017	-0.090	5.44	0.007	0.080	3.600	5.21	0.007	0.053	6.600	5.12	0.000	0.000	
		t3	5.86	0.000	0.034	1.110	5.85	0.005	0.027	1.290	5.31	0.005	0.073	2.690	5.10	0.005	0.032	4.740	4.99	0.000	0.000	
	h2	g0	t4	6.10	0.006	0.079	-1.340	6.00	0.006	0.063	-1.770	5.44	0.006	0.209	-0.980	5.24	0.006	0.207	-0.930	5.12	0.006	0.000
			t5	6.09	0.004	0.092	-0.050	6.03	0.004	0.097	-0.070	5.49	0.004	0.169	-0.030	5.26	0.004	0.150	0.000	5.12	0.004	0.000
			t6	6.04	0.003	0.085	-61.62	6.01	0.003	0.097	29.880	5.41	0.003	0.163	-36.24	5.20	0.003	0.111	-16.30	5.12	0.003	0.000
		g1	t4	6.06	0.006	0.065	-1.810	5.98	0.006	0.057	-2.880	5.46	0.007	0.182	0.060	5.28	0.006	0.161	-0.640	5.73	0.000	0.587
			t5	6.07	0.004	0.109	0.040	6.10	0.004	0.152	0.040	5.47	0.004	0.153	0.170	5.27	0.004	0.111	0.250	5.70	0.000	0.517
			t6	6.05	0.003	0.100	-0.129	6.11	0.003	0.156	-1.340	5.43	0.003	0.133	-1.110	5.23	0.003	0.078	-0.960	5.63	0.000	0.404
		g2	t4	5.95	0.007	0.063	-0.240	5.90	0.007	0.055	-0.430	5.37	0.007	0.185	0.080	5.20	0.006	0.177	-0.600	5.38	0.006	0.256
			t5	5.92	0.004	0.087	-0.750	5.88	0.004	0.080	-0.750	5.40	0.004	0.127	-0.460	5.16	0.004	0.091	-0.380	5.33	0.004	0.157
			t6	5.81	0.003	0.105	1.380	5.82	0.003	0.103	1.230	5.26	0.003	0.155	1.660	5.05	0.003	0.100	1.740	5.24	0.003	0.178
		g3	t4	5.99	0.006	0.059	-1.650	5.95	0.006	0.054	-2.610	5.45	0.007	0.190	0.090	5.24	0.006	0.189	-0.620	5.12	0.000	0.000
			t5	5.99	0.004	0.103	0.270	6.03	0.004	0.111	0.250	5.44	0.004	0.167	0.420	5.23	0.004	0.130	0.530	5.12	0.000	0.000
			t6	5.84	0.003	0.110	7.870	5.91	0.003	0.148	6.510	5.27	0.003	0.170	50.400	5.09	0.003	0.106	0.250	4.98	0.003	0.107
h3	g0	t7	6.14	0.004	0.211	-0.130	6.06	0.004	0.197	-0.200	5.47	0.004	0.312	-0.100	5.25	0.004	0.331	-0.070	5.12	0.004	0.000	
		t8	6.12	0.002	0.213	0.880	6.10	0.002	0.257	0.770	5.48	0.002	0.271	0.880	5.30	0.002	0.292	0.830	5.12	0.002	0.000	
		t9	6.04	0.002	0.189	-1.240	6.01	0.002	0.218	-1.410	5.38	0.002	0.243	-1.230	5.18	0.002	0.212	-1.280	5.12	0.002	0.000	
	g1	t7	6.11	0.004	0.209	-0.170	6.02	0.004	0.190	-0.210	5.48	0.004	0.282	0.010	5.30	0.004	0.263	0.080	5.76	0.000	0.643	
		t8	6.15	0.002	0.285	0.980	6.14	0.002	0.306	0.900	5.48	0.002	0.269	1.120	5.31	0.002	0.233	1.220	5.71	0.000	0.542	
		t9	6.02	0.002	0.222	-2.420	6.05	0.002	0.254	-2.830	5.36	0.002	0.230	-1.840	5.21	0.002	0.173	-1.720	5.69	0.000	0.527	
	g2	t7	6.01	0.004	0.188	-0.500	5.95	0.004	0.171	-0.540	5.39	0.004	0.261	-0.270	5.21	0.004	0.240	-0.170	5.43	0.004	0.348	
		t8	6.00	0.002	0.273	1.400	5.95	0.002	0.250	1.270	5.35	0.002	0.257	1.680	5.19	0.002	0.204	1.880	5.40	0.002	0.334	
		t9	5.89	0.002	0.264	26.190	5.86	0.002	0.256	15.200	5.31	0.002	0.271	-52.580	5.10	0.002	0.189	-17.170	5.30	0.002	0.291	
g3	t7	6.06	0.004	0.167	0.080	6.00	0.004	0.154	0.05	5.47	0.004	0.262	0.250	5.26	0.004	0.241	0.350	5.12	0.000	0.000		
	t8	6.06	0.002	0.272	0.680	6.02	0.002	0.255	0.600	5.44	0.002	0.264	0.780	5.24	0.002	0.238	0.830	5.13	0.000	0.000		
	t9	5.92	0.002	0.204	-0.250	5.98	0.002	0.259	-0.280	5.33	0.002	0.227	-0.190	5.13	0.002	0.183	-0.160	5.06	0.002	0.203		

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน

ตาราง ค-7 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ			
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
n1	g0	t1	85	5.58	-	0.77	62.68	1.00	6.27	2.06	3.92	2.73	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t2	141	5.62	-	1.02	104.86	1.00	10.49	1.06	6.55	1.08	0.00	0.00	0.67	0.80	1.00	1.00
		t3	188	5.60	-	0.97	139.58	1.00	13.96	0.87	8.72	1.19	0.00	0.00	0.67	-0.71	1.00	1.00
	h2	t4	153	5.57	-	0.88	113.10	1.00	11.31	1.05	7.07	1.22	0.00	0.00	0.67	0.23	1.00	1.00
		t5	282	5.63	-	0.92	209.97	1.00	21.00	1.07	13.12	1.22	0.00	0.00	0.67	0.32	1.00	1.00
		t6	400	5.58	-	0.98	296.04	1.00	29.60	1.16	18.50	1.24	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00
	h3	t7	235	5.58	-	0.84	174.12	1.00	17.41	1.32	10.88	1.50	0.00	0.00	0.67	0.65	1.00	1.00
		t8	424	5.67	-	0.90	315.99	1.00	31.60	1.01	19.75	1.09	0.00	0.00	0.67	0.06	1.00	1.00
		t9	600	5.64	-	0.89	446.29	1.00	44.63	0.96	27.89	1.03	0.00	0.00	0.67	-1.17	1.00	1.00
	g1	t1	75	5.42	-	0.80	54.74	1.00	5.47	0.89	3.42	1.54	0.00	0.00	0.67	-0.21	1.00	1.00
		t2	141	5.52	-	0.95	103.89	1.00	10.39	0.97	6.49	1.02	0.00	0.00	0.67	-2.00	1.00	1.00
		t3	188	5.56	-	0.96	139.03	1.00	13.90	0.87	8.69	0.91	0.00	0.00	0.67	1.50	1.00	1.00
	h2	t4	153	5.45	-	0.94	111.87	1.00	11.19	0.98	6.99	1.17	0.00	0.00	0.67	-0.10	1.00	1.00
		t5	280	5.51	-	0.92	205.81	1.00	20.58	0.98	12.86	1.08	0.00	0.00	0.67	-0.22	1.00	1.00
		t6	400	5.54	-	0.87	295.01	1.00	29.50	0.98	18.44	1.07	0.00	0.00	0.67	-0.38	1.00	1.00
	h3	t7	235	5.49	-	0.94	172.73	1.00	17.27	1.29	10.80	1.50	0.00	0.00	0.67	0.58	1.00	1.00
		t8	424	5.45	-	0.96	309.78	1.00	30.98	1.07	19.36	1.17	0.00	0.00	0.67	0.43	1.00	1.00
		t9	600	5.55	-	0.95	442.93	1.00	44.29	1.05	27.68	1.12	0.00	0.00	0.67	0.37	1.00	1.00
	g2	t1	75	5.42	-	0.72	54.72	1.00	5.47	0.94	3.42	1.46	0.00	0.00	0.67	-0.14	1.00	1.00
		t2	141	5.52	-	1.22	103.95	1.00	10.40	1.29	6.50	1.33	0.00	0.00	0.67	0.88	1.00	1.00
		t3	200	5.53	-	0.95	147.35	1.00	14.74	0.76	9.21	0.92	0.00	0.00	0.67	3.00	1.00	1.00
	h2	t4	153	5.46	-	0.86	112.00	1.00	11.20	0.96	7.00	1.09	0.00	0.00	0.67	-0.42	1.00	1.00
		t5	282	5.47	-	0.91	206.87	1.00	20.69	1.03	12.93	1.11	0.00	0.00	0.67	0.25	1.00	1.00
		t6	400	5.53	-	0.88	294.71	1.00	29.47	0.98	18.42	1.03	0.00	0.00	0.67	-0.50	1.00	1.00
	h3	t7	235	5.48	-	0.92	172.62	1.00	17.26	1.30	10.79	1.51	0.00	0.00	0.67	0.59	1.00	1.00
		t8	424	5.54	-	0.91	312.40	1.00	31.24	1.08	19.53	1.19	0.00	0.00	0.67	0.43	1.00	1.00
		t9	600	5.53	-	0.94	441.91	1.00	44.19	1.02	27.62	1.09	0.00	0.00	0.67	0.21	1.00	1.00
g3	t1	75	5.47	-	0.82	54.97	1.00	5.50	1.02	3.44	1.58	0.00	0.00	0.67	0.03	1.00	1.00	
	t2	141	5.55	-	1.07	104.21	1.00	10.42	1.03	6.51	1.08	0.00	0.00	0.67	0.40	1.00	1.00	
	t3	191	5.56	-	0.96	140.65	1.00	14.07	0.70	8.79	0.88	0.00	0.00	0.67	2.44	1.00	1.00	
h2	t4	150	5.49	-	0.99	110.16	1.00	11.02	1.16	6.88	1.31	0.00	0.00	0.67	0.50	1.00	1.00	
	t5	282	5.54	-	0.95	208.08	1.00	20.81	1.04	13.01	1.16	0.00	0.00	0.67	0.28	1.00	1.00	
	t6	400	5.53	-	0.97	294.54	1.00	29.45	1.13	18.41	1.29	0.00	0.00	0.67	0.43	1.00	1.00	
h3	t7	235	5.50	-	0.96	172.89	1.00	17.29	1.33	10.81	1.63	0.00	0.00	0.67	0.53	1.00	1.00	
	t8	419	5.52	-	0.96	308.33	1.00	30.83	1.11	19.27	1.17	0.00	0.00	0.67	0.69	1.00	1.00	
	t9	600	5.56	-	0.97	443.21	1.00	44.32	1.06	27.70	1.15	0.00	0.00	0.67	0.39	1.00	1.00	

หมายเหตุ

ตาราง ค-8 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

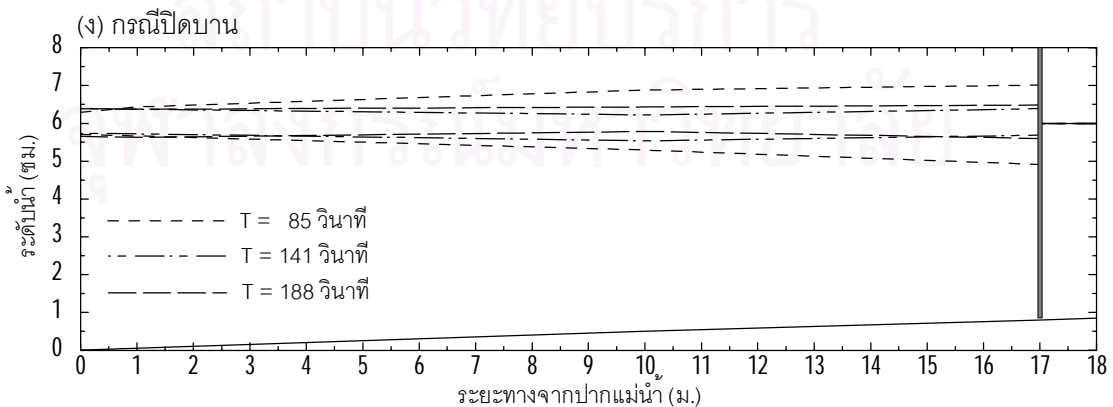
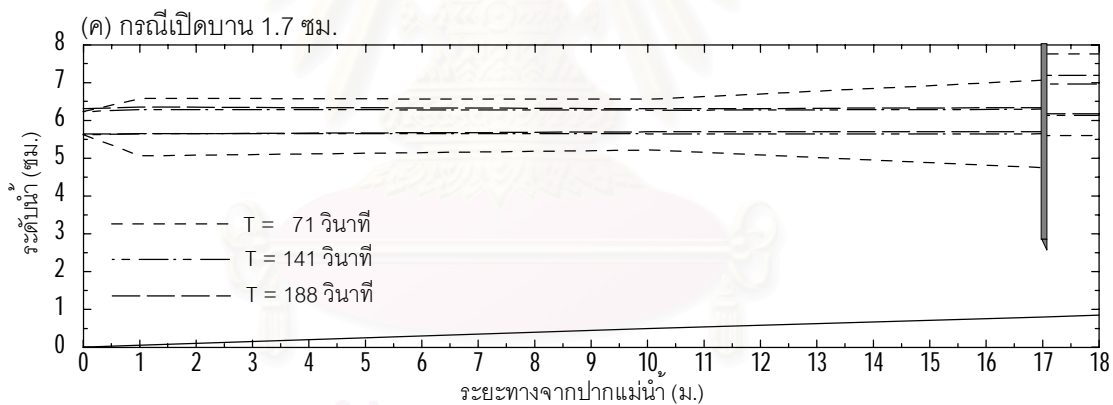
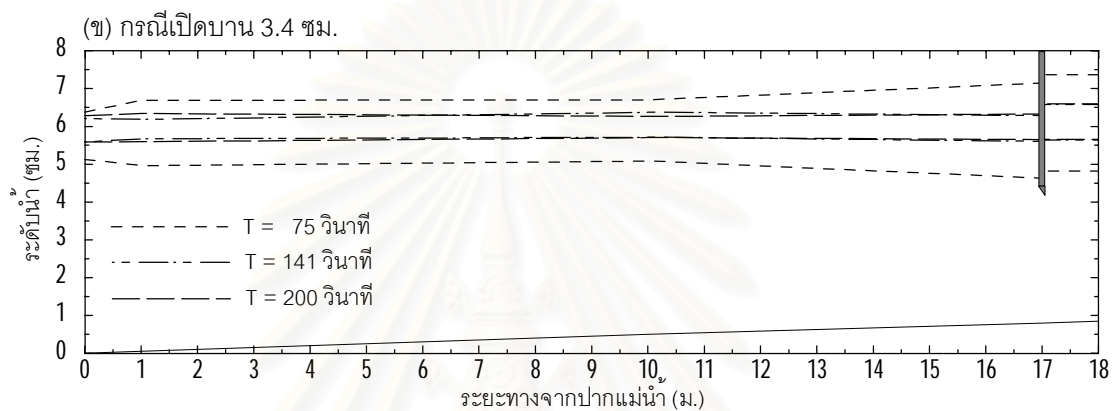
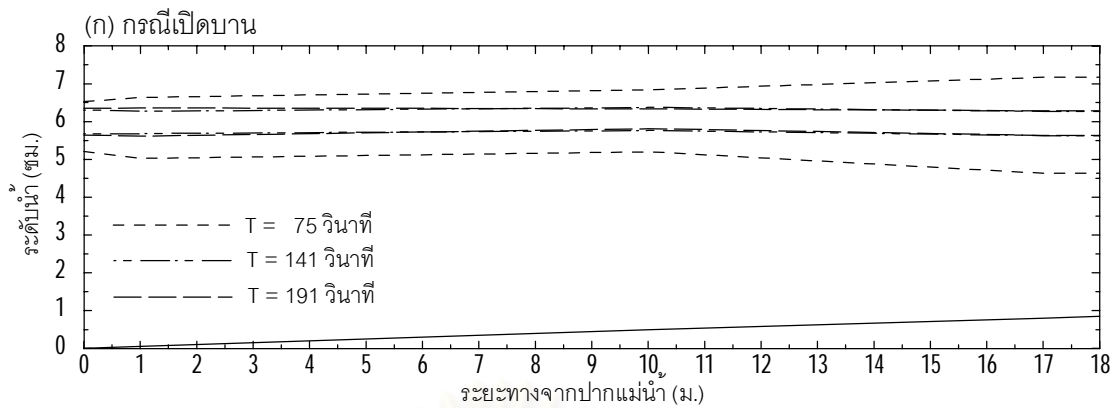
กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ			
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
n2	g0	t1	75	5.32	-	0.75	54.21	1.00	5.42	1.27	3.39	1.94	0.00	0.00	0.67	0.29	1.00	1.00
		t2	141	5.46	-	0.86	103.34	1.00	10.33	1.38	6.46	1.57	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00
		t3	200	5.39	-	0.76	145.54	1.00	14.55	0.99	9.10	1.27	0.00	0.00	0.67	-0.05	1.00	1.00
	h2	t4	153	5.34	-	0.97	110.77	1.00	11.08	1.37	6.92	1.65	0.00	0.00	0.67	0.58	1.00	1.00
		t5	280	5.42	-	0.92	204.26	1.00	20.43	1.36	12.77	1.46	0.00	0.00	0.67	0.79	1.00	1.00
		t6	400	5.47	-	0.87	293.14	1.00	29.31	1.17	18.32	1.35	0.00	0.00	0.67	0.49	1.00	1.00
	h3	t7	240	5.41	-	0.95	174.89	1.00	17.49	1.39	10.93	1.63	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t8	424	5.45	-	1.00	309.72	1.00	30.97	1.16	19.36	1.30	0.00	0.00	0.67	0.53	1.00	1.00
		t9	600	5.48	-	0.99	440.14	1.00	44.01	1.10	27.51	1.22	0.00	0.00	0.67	0.47	1.00	1.00
g1	h1	t1	71	5.34	-	0.88	51.12	1.00	5.11	0.74	3.19	1.31	0.00	0.00	0.67	-0.84	1.00	1.00
		t2	141	5.35	-	1.22	102.32	1.00	10.23	1.65	6.39	2.13	0.00	0.00	0.67	0.58	1.00	1.00
		t3	190	5.47	-	1.13	138.82	1.00	13.88	1.12	8.68	1.42	0.00	0.00	0.67	0.28	1.00	1.00
	h2	t4	150	5.36	-	1.03	108.78	1.00	10.88	1.10	6.80	1.33	0.00	0.00	0.67	0.31	1.00	1.00
		t5	280	5.40	-	1.18	203.82	1.00	20.38	1.20	12.74	1.48	0.00	0.00	0.67	0.40	1.00	1.00
		t6	381	5.46	-	0.93	278.88	1.00	27.89	1.02	17.43	1.28	0.00	0.00	0.67	0.07	1.00	1.00
	h3	t7	240	5.36	-	0.96	174.10	1.00	17.41	1.12	10.88	1.33	0.00	0.00	0.67	0.38	1.00	1.00
		t8	424	5.45	-	0.99	309.80	1.00	30.98	1.11	19.36	1.25	0.00	0.00	0.67	0.45	1.00	1.00
		t9	632	5.46	-	0.99	462.22	1.00	46.22	1.05	28.89	1.18	0.00	0.00	0.67	0.26	1.00	1.00
g2	h1	t1	71	5.54	-	0.90	52.08	1.00	5.21	0.74	3.25	1.27	0.00	0.00	0.67	-0.95	1.00	1.00
		t2	141	5.54	-	0.96	104.10	1.00	10.41	1.36	6.51	1.55	0.00	0.00	0.67	0.65	1.00	1.00
		t3	191	5.55	-	1.00	140.60	1.00	14.06	1.02	8.79	1.30	0.00	0.00	0.67	0.05	1.00	1.00
	h2	t4	160	5.57	-	1.06	118.35	1.00	11.83	1.09	7.40	1.37	0.00	0.00	0.67	0.24	1.00	1.00
		t5	282	5.55	-	1.05	208.45	1.00	20.84	1.09	13.03	1.32	0.00	0.00	0.67	0.29	1.00	1.00
		t6	379	5.52	-	1.03	279.01	1.00	27.90	1.01	17.44	1.25	0.00	0.00	0.67	0.03	1.00	1.00
	h3	t7	240	5.60	-	0.93	177.97	1.00	17.80	1.08	11.12	1.33	0.00	0.00	0.67	0.24	1.00	1.00
		t8	424	5.57	-	0.97	313.14	1.00	31.31	1.01	19.57	1.13	0.00	0.00	0.67	0.10	1.00	1.00
		t9	600	5.51	-	0.94	441.15	1.00	44.12	0.97	27.57	1.06	0.00	0.00	0.67	-0.50	1.00	1.00
g3	h1	t1	71	5.30	-	0.85	50.95	1.00	5.09	0.80	3.18	1.38	0.00	0.00	0.67	-0.53	1.00	1.00
		t2	160	5.34	-	1.38	115.73	1.00	11.57	2.03	7.23	2.30	0.00	0.00	0.67	0.79	1.00	1.00
		t3	200	5.26	-	1.28	143.68	1.00	14.37	1.42	8.98	1.64	0.00	0.00	0.67	0.66	1.00	1.00
	h2	t4	150	5.31	-	0.98	108.34	1.00	10.83	1.31	6.77	1.54	0.00	0.00	0.67	0.57	1.00	1.00
		t5	282	5.35	-	1.04	204.57	1.00	20.46	1.19	12.79	1.20	0.00	0.00	0.67	0.95	1.00	1.00
		t6	400	5.24	-	0.92	286.89	1.00	28.69	1.12	17.93	1.20	0.00	0.00	0.67	0.57	1.00	1.00
	h3	t7	240	5.28	-	0.94	172.86	1.00	17.29	0.99	10.80	1.28	0.00	0.00	0.67	-0.02	1.00	1.00
		t8	424	5.35	-	0.99	307.01	1.00	30.70	1.08	19.19	1.21	0.00	0.00	0.67	0.36	1.00	1.00
		t9	600	5.28	-	0.98	431.74	1.00	43.17	0.99	26.98	1.06	0.00	0.00	0.67	-0.22	1.00	1.00

หมายเหตุ

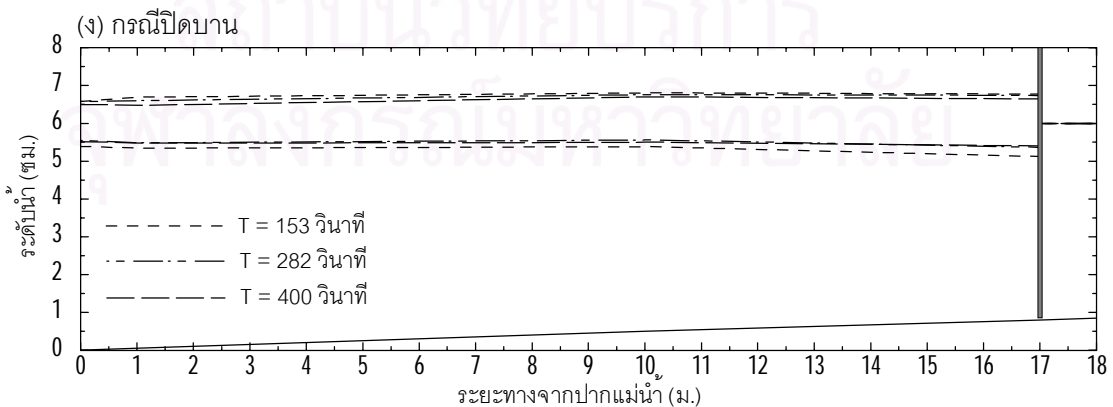
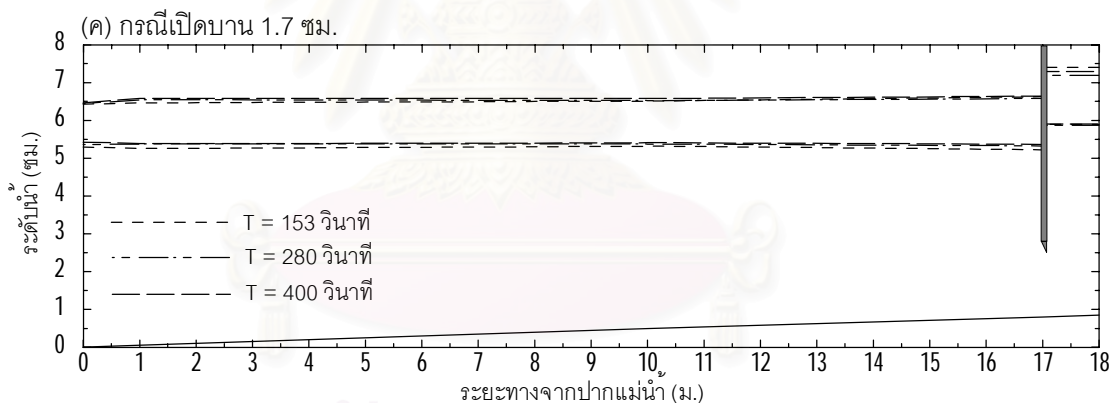
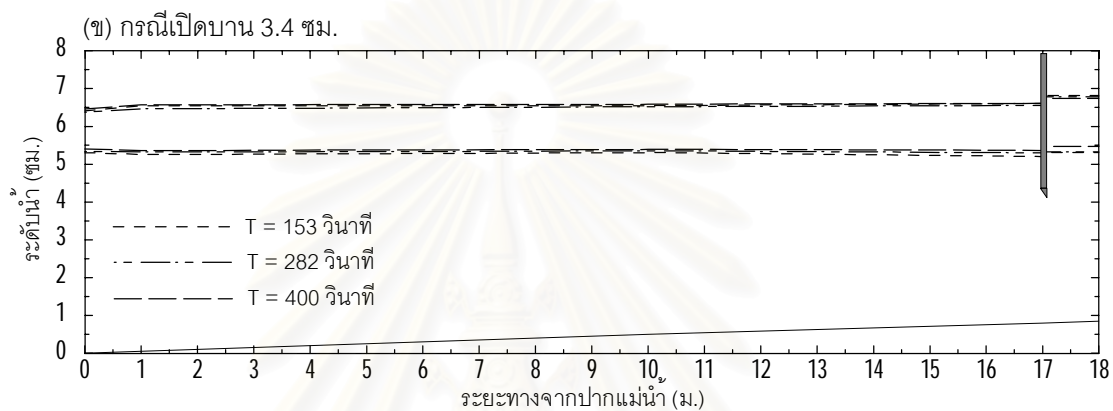
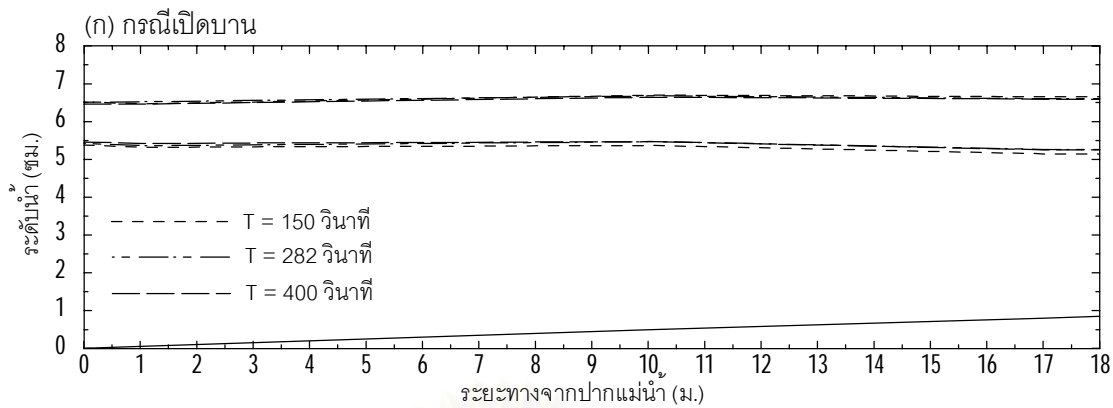
ตาราง ค-9 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 0.52 ลิตร/วินาที (q2)

กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ			
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
n3	g0	t1	80	5.53	-	0.78	59.02	1.00	5.90	1.58	3.69	2.02	0.00	0.00	0.67	0.57	1.00	1.00
		t2	141	5.57	-	1.07	104.40	1.00	10.44	1.67	6.52	1.39	0.00	0.00	0.67	1.71	1.00	1.00
		t3	200	5.57	-	0.85	147.85	1.00	14.78	1.12	9.24	1.19	0.00	0.00	0.67	0.64	1.00	1.00
		t4	160	5.56	-	1.03	118.24	1.00	11.82	1.17	7.39	1.23	0.00	0.00	0.67	0.76	1.00	1.00
		t5	282	5.60	-	0.90	209.26	1.00	20.93	1.17	13.08	1.23	0.00	0.00	0.67	0.74	1.00	1.00
		t6	400	5.54	-	0.90	294.88	1.00	29.49	1.16	18.43	1.17	0.00	0.00	0.67	0.95	1.00	1.00
		t7	240	5.60	-	0.93	177.88	1.00	17.79	1.38	11.12	1.61	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t8	424	5.63	-	0.94	314.72	1.00	31.47	1.05	19.67	1.16	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	1.00
		t9	600	5.53	-	0.96	441.79	1.00	44.18	1.02	27.61	1.12	0.00	0.00	0.67	0.21	1.00	1.00
	g1	t1	75	5.58	-	0.83	55.51	1.00	5.55	0.75	3.47	1.17	0.00	0.00	0.67	-1.44	1.00	1.00
		t2	141	5.59	-	0.74	104.63	1.00	10.46	1.10	6.54	0.96	0.00	0.00	0.67	-2.67	1.00	1.00
		t3	200	5.58	-	0.76	147.99	1.00	14.80	0.81	9.25	0.86	0.00	0.00	0.67	1.42	1.00	1.00
		t4	160	5.57	-	1.04	118.34	1.00	11.83	1.15	7.40	1.09	0.00	0.00	0.67	1.64	1.00	1.00
		t5	282	5.61	-	0.98	209.51	1.00	20.95	1.06	13.09	0.96	0.00	0.00	0.67	-1.60	1.00	1.00
		t6	400	5.59	-	0.91	296.23	1.00	29.62	0.92	18.51	0.81	0.00	0.00	0.67	0.43	1.00	1.00
		t7	240	5.60	-	0.95	177.92	1.00	17.79	1.01	11.12	1.17	0.00	0.00	0.67	0.06	1.00	1.00
		t8	424	5.64	-	0.97	315.18	1.00	31.52	1.01	19.70	1.07	0.00	0.00	0.67	0.08	1.00	1.00
		t9	600	5.54	-	0.95	442.29	1.00	44.23	0.98	27.64	1.01	0.00	0.00	0.67	-3.00	1.00	1.00
	g2	t1	71	5.48	-	0.85	51.80	1.00	5.18	0.63	3.24	1.04	0.00	0.00	0.67	-9.83	1.00	1.00
		t2	141	5.46	-	1.02	103.34	1.00	10.33	1.62	6.46	1.46	0.00	0.00	0.67	1.33	1.00	1.00
		t3	190	5.42	-	1.02	138.15	1.00	13.82	1.03	8.63	1.34	0.00	0.00	0.67	0.09	1.00	1.00
		t4	150	5.49	-	1.07	110.14	1.00	11.01	1.17	6.88	1.19	0.00	0.00	0.67	0.91	1.00	1.00
		t5	282	5.48	-	1.03	207.02	1.00	20.70	1.19	12.94	1.10	0.00	0.00	0.67	2.00	1.00	1.00
		t6	400	5.38	-	0.94	290.56	1.00	29.06	1.01	18.16	1.04	0.00	0.00	0.67	0.20	1.00	1.00
		t7	240	5.52	-	0.95	176.60	1.00	17.66	1.00	11.04	1.17	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	1.00
		t8	424	5.49	-	0.99	310.97	1.00	31.10	1.01	19.44	1.03	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	1.00
		t9	600	5.42	-	0.99	437.56	1.00	43.76	0.98	27.35	0.95	0.00	0.00	0.67	0.40	1.00	1.00
g3	t1	75	5.53	-	0.86	55.29	1.00	5.53	0.72	3.46	1.14	0.00	0.00	0.67	-2.09	1.00	1.00	
	t2	150	5.53	-	0.90	110.54	1.00	11.05	1.34	6.91	1.15	0.00	0.00	0.67	2.33	1.00	1.00	
	t3	190	5.42	-	0.80	138.23	1.00	13.82	0.96	8.64	0.83	0.00	0.00	0.67	0.21	1.00	1.00	
	t4	160	5.55	-	1.06	118.07	1.00	11.81	1.21	7.38	1.22	0.00	0.00	0.67	0.96	1.00	1.00	
	t5	282	5.57	-	1.04	208.72	1.00	20.87	1.22	13.05	1.27	0.00	0.00	0.67	0.81	1.00	1.00	
	t6	400	5.42	-	0.82	291.76	1.00	29.18	0.93	18.24	1.00	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	0.00	
	t7	225	5.58	-	0.94	166.45	1.00	16.65	0.98	10.40	1.17	0.00	0.00	0.67	-0.13	1.00	1.00	
	t8	424	5.57	-	0.96	313.13	1.00	31.31	0.99	19.57	1.07	0.00	0.00	0.67	-0.17	1.00	1.00	
	t9	600	5.48	-	0.90	440.00	1.00	44.00	0.97	27.50	1.06	0.00	0.00	0.67	-0.60	1.00	1.00	

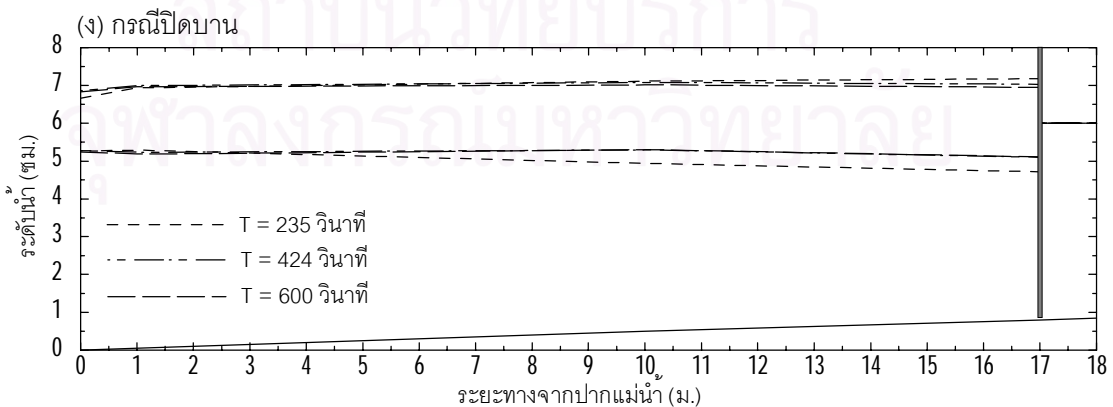
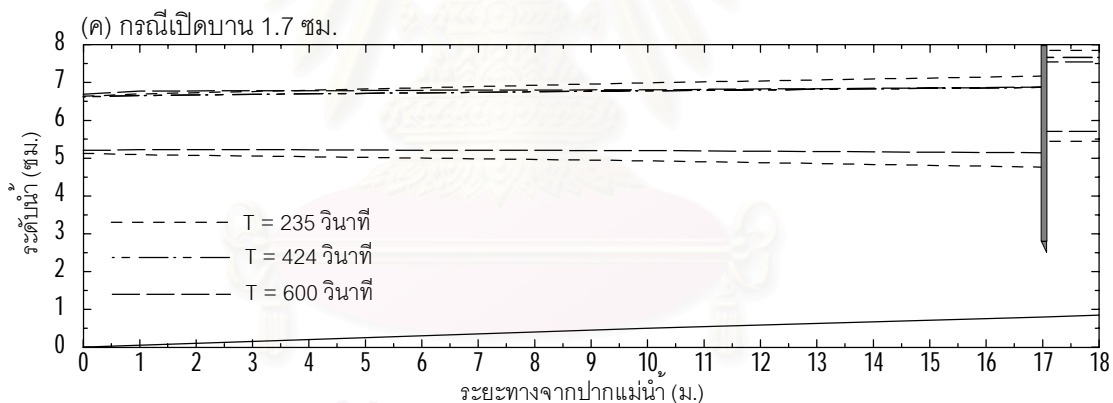
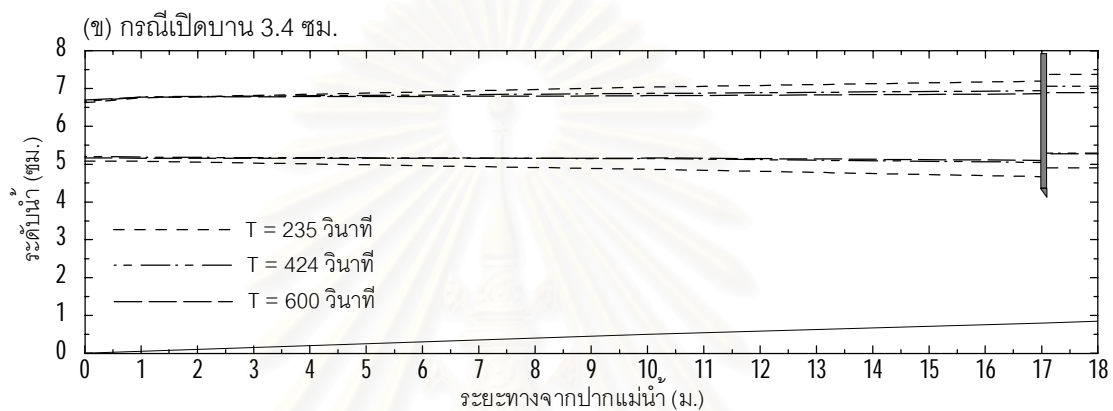
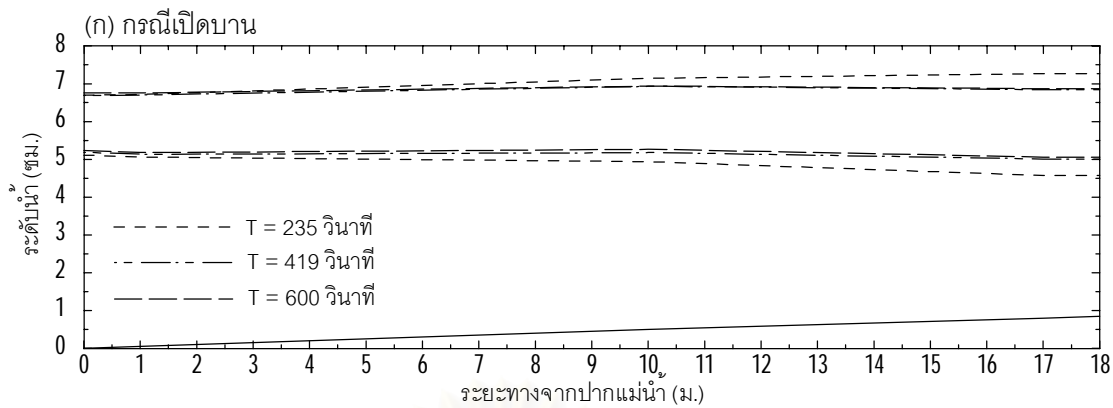
หมายเหตุ



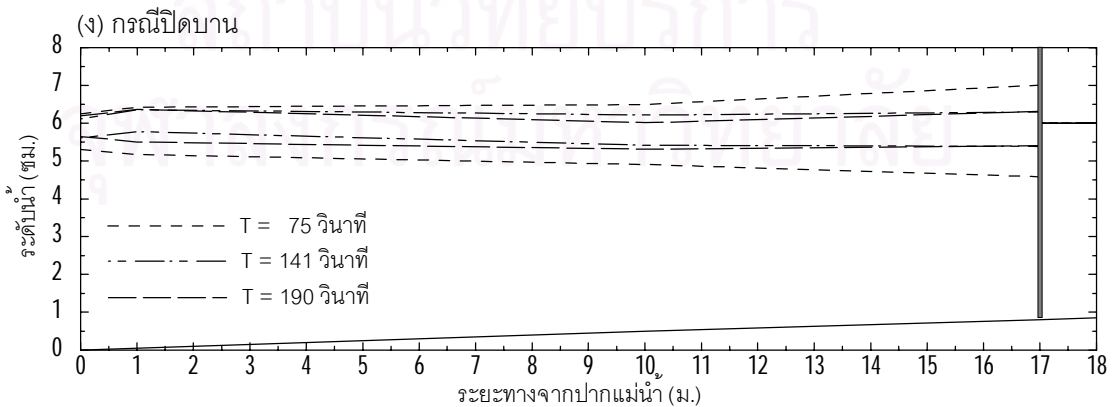
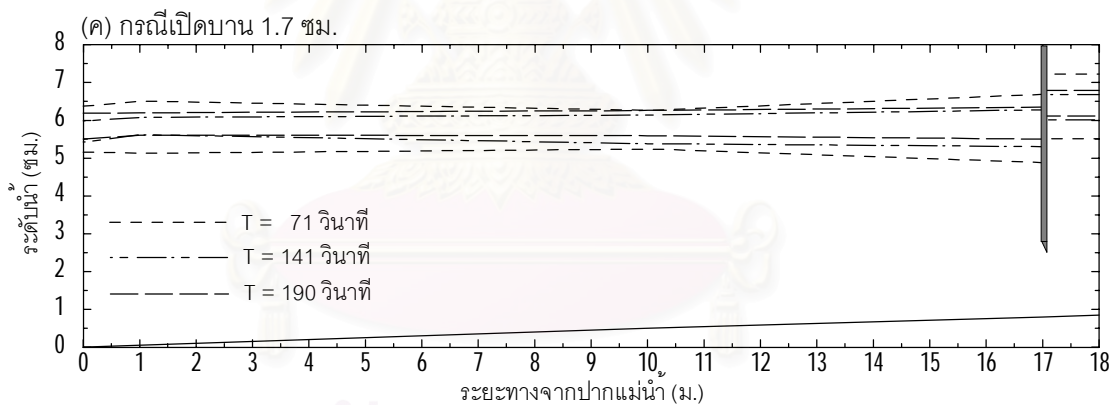
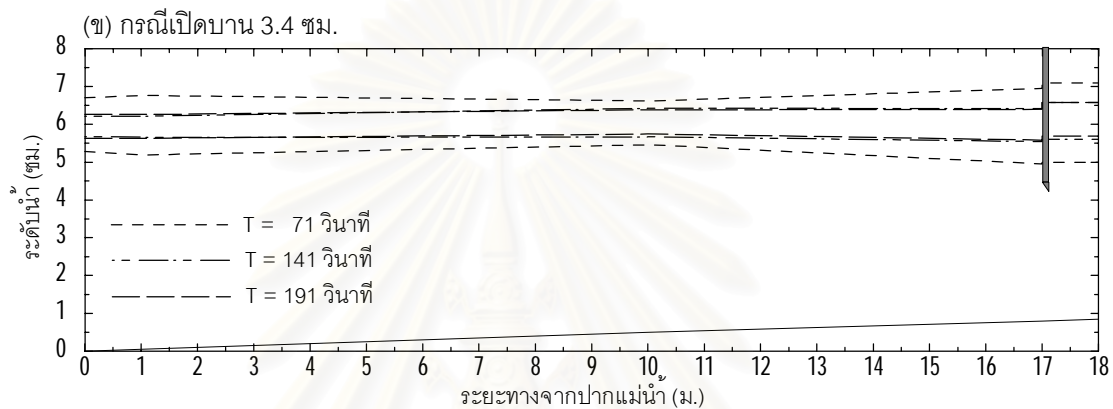
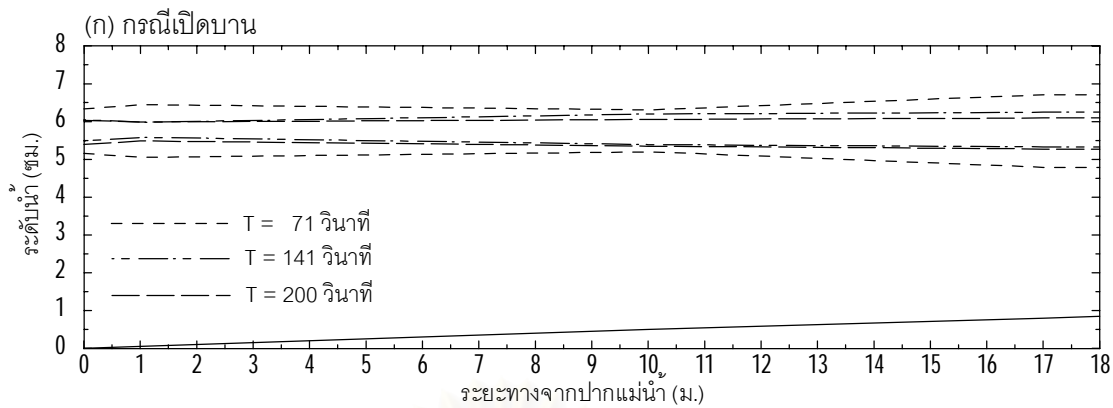
รูป ค-1 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.



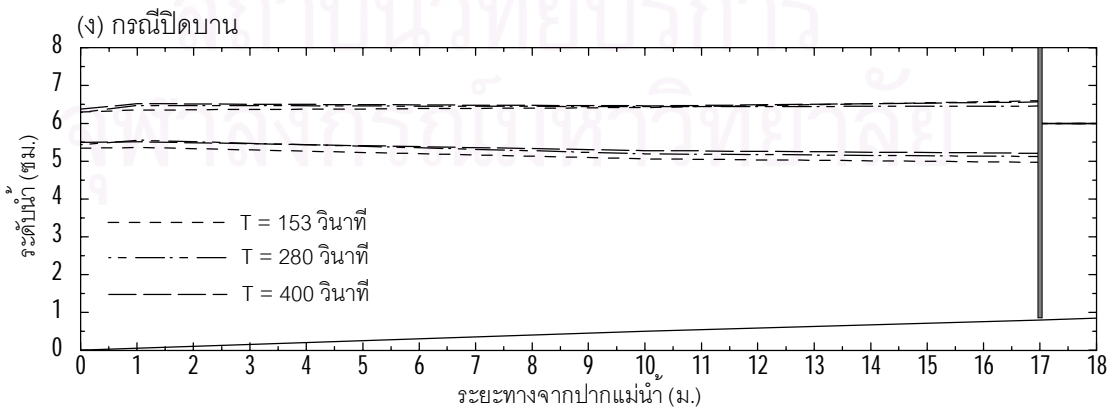
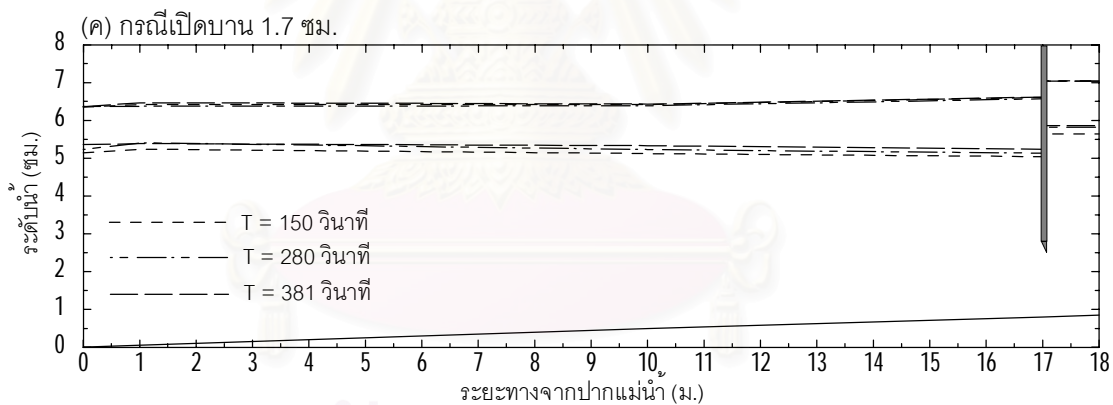
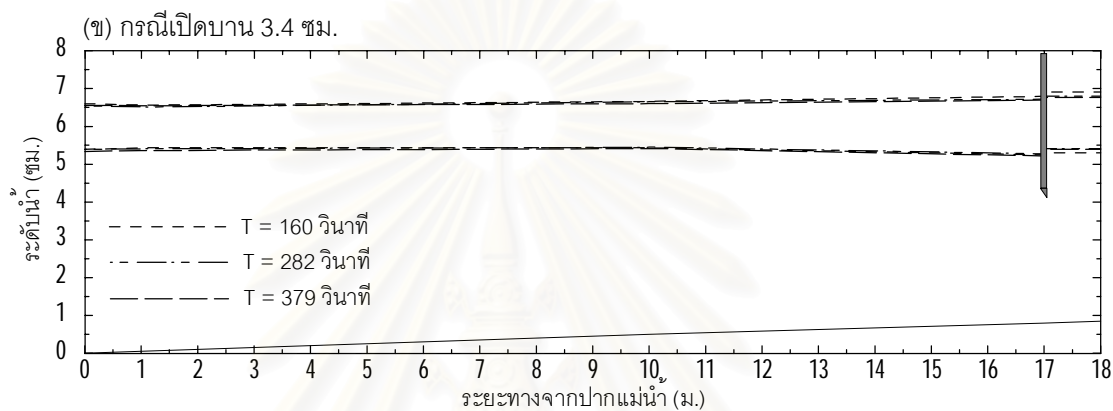
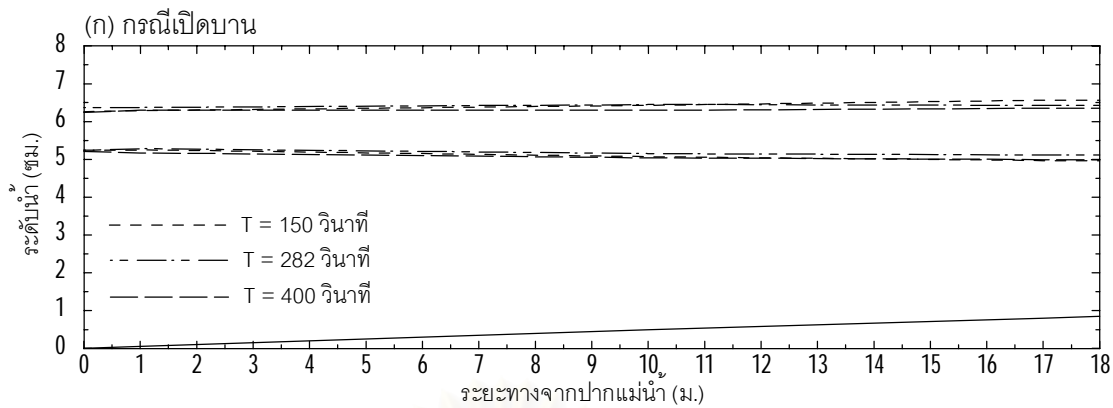
รูป ค-2 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



รูป ค-3 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.

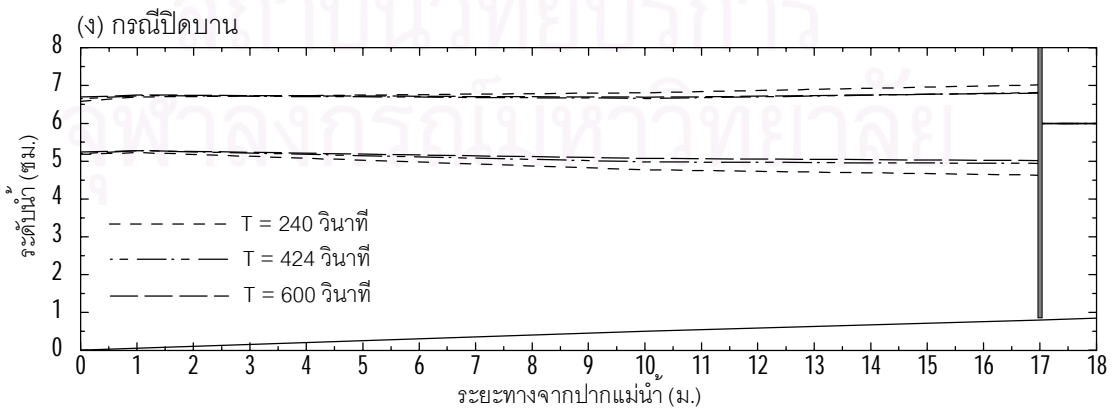
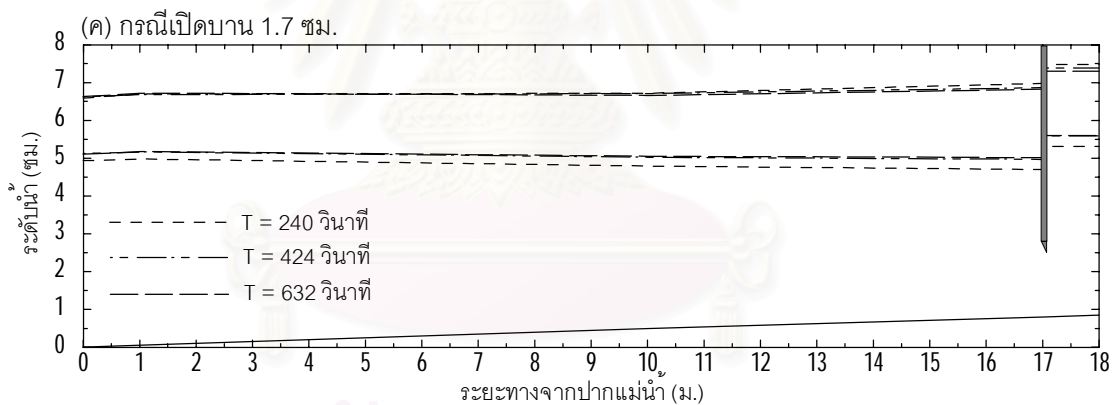
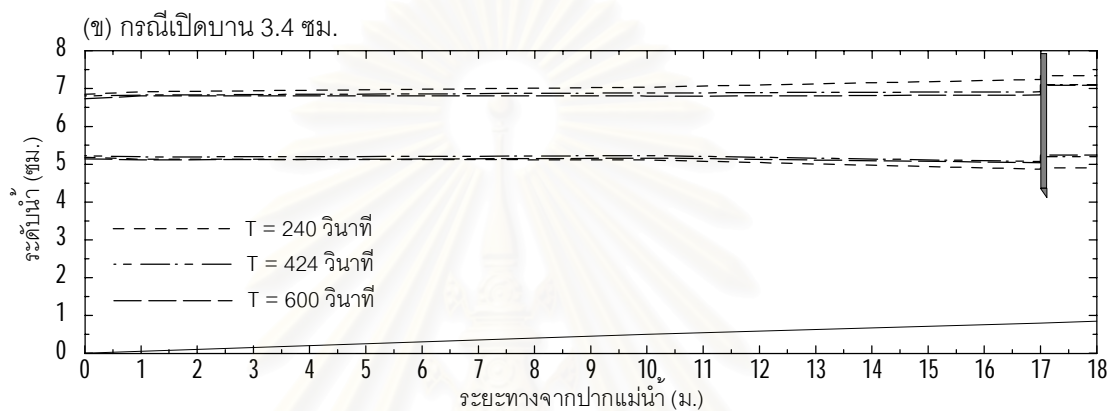
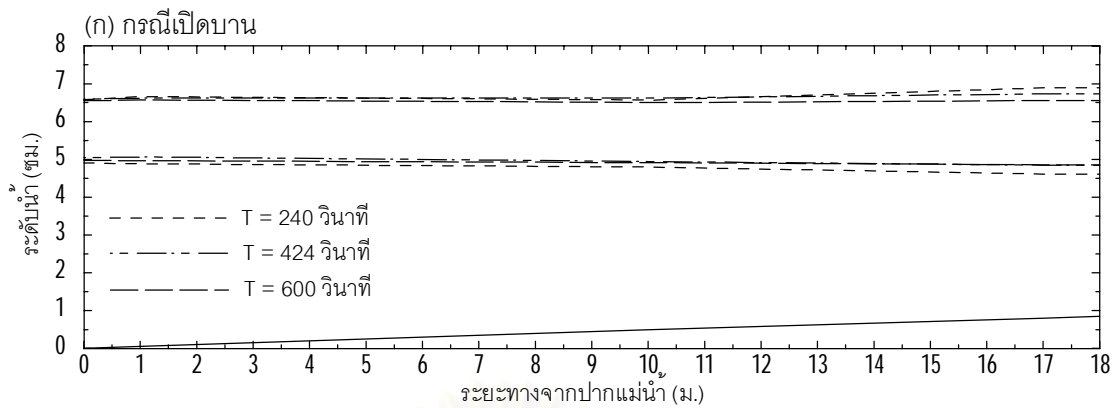


รูป ค-4 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.

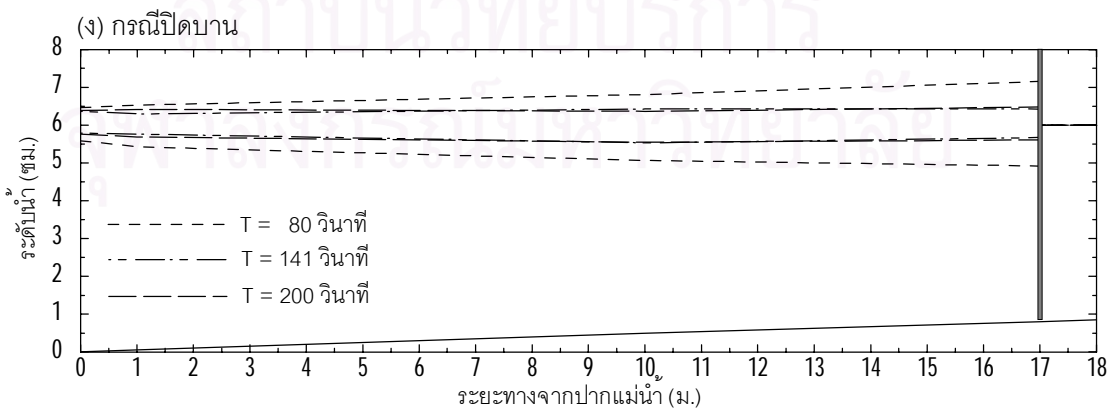
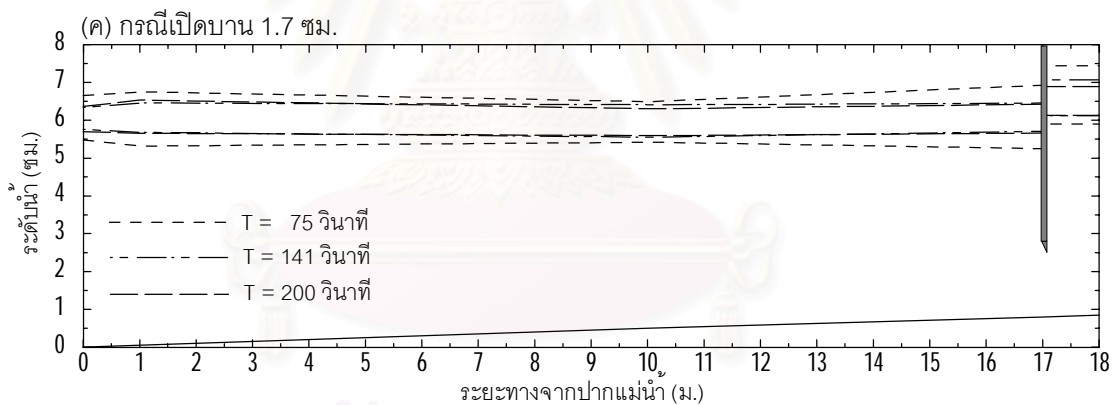
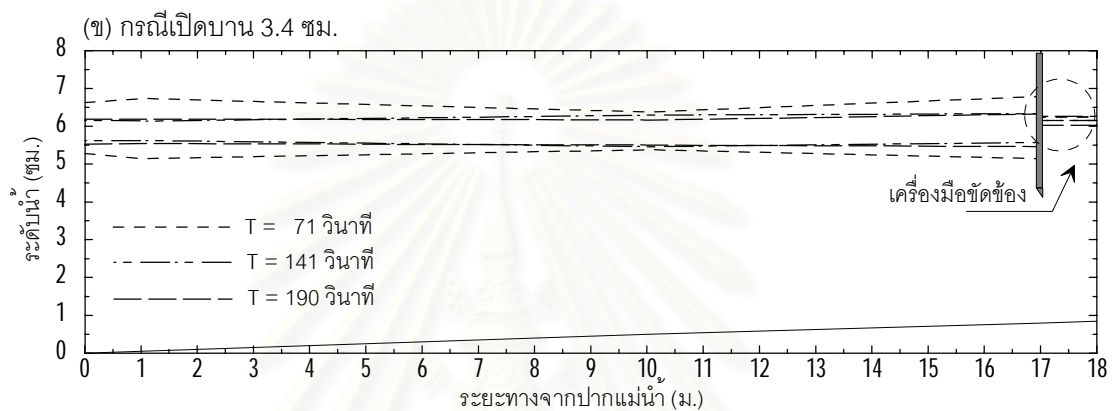
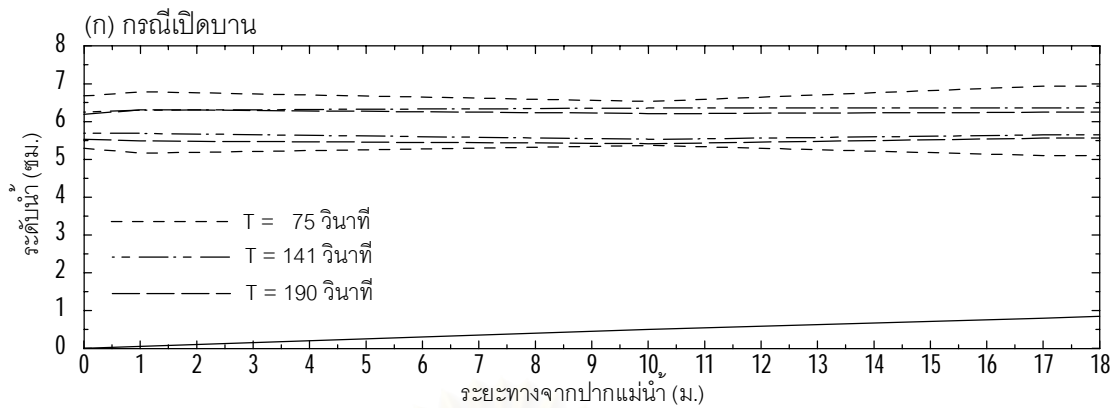


รูป ค-5 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที

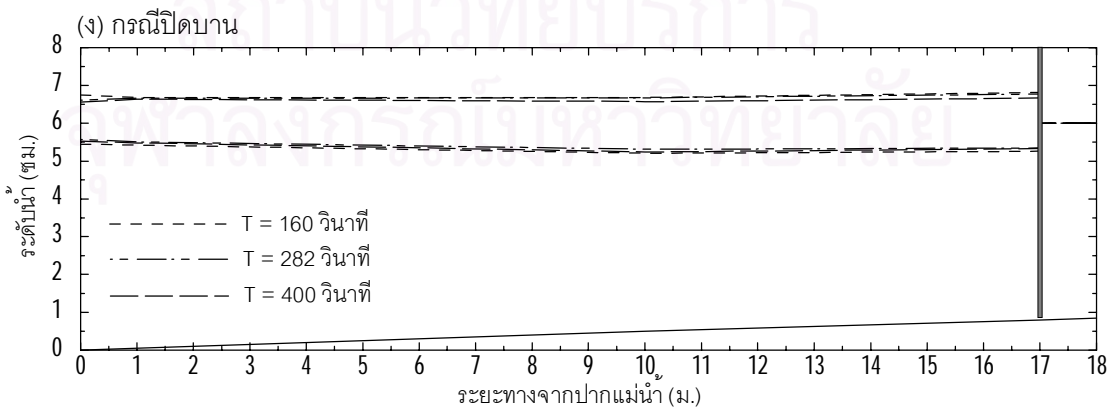
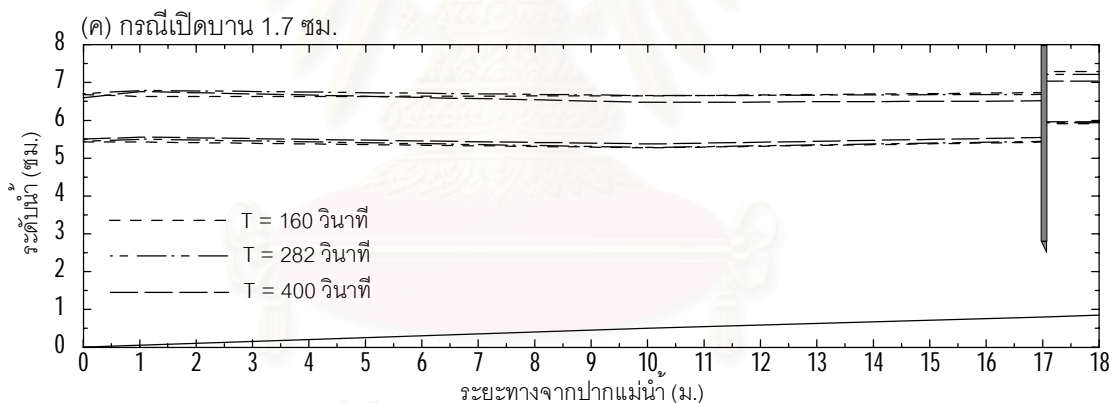
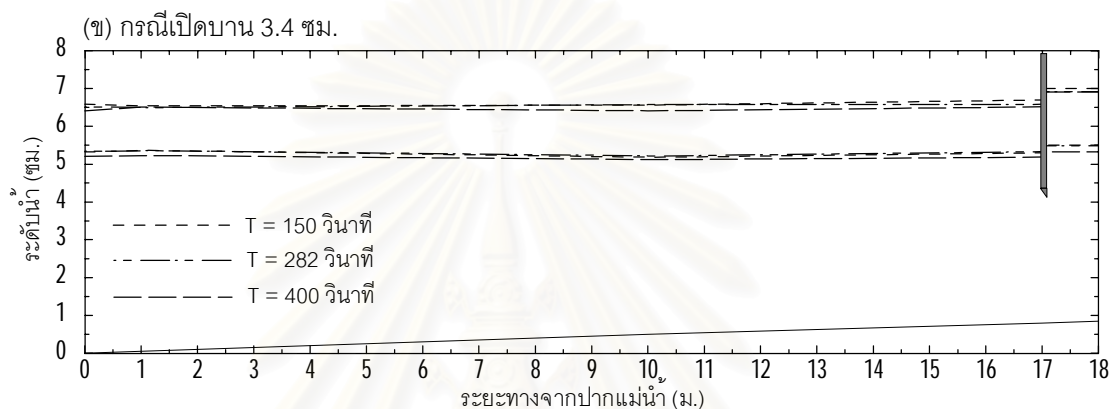
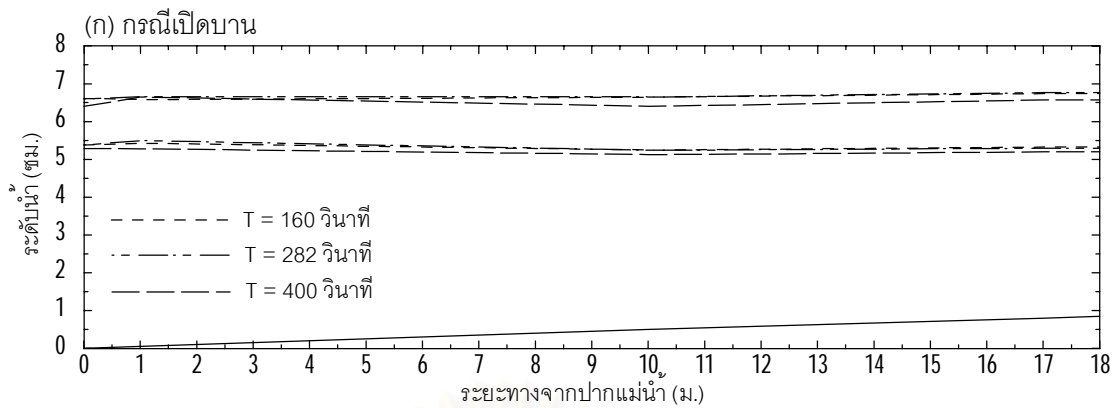
$n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



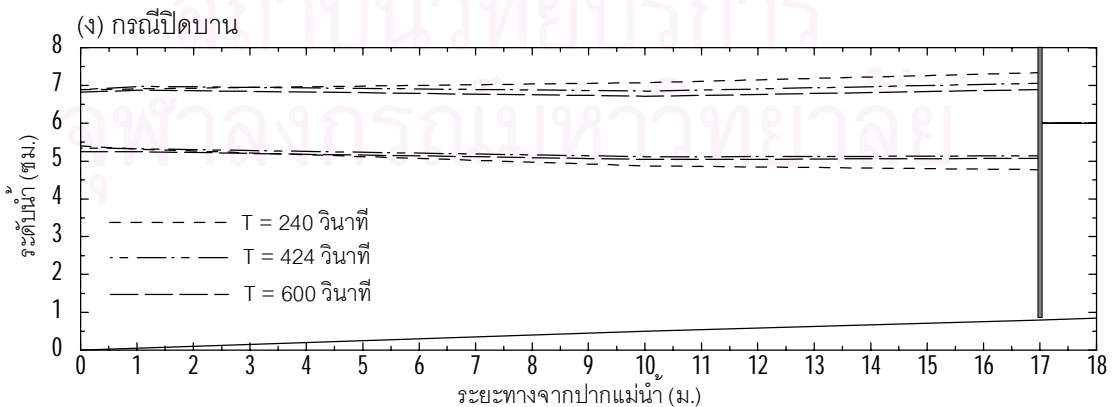
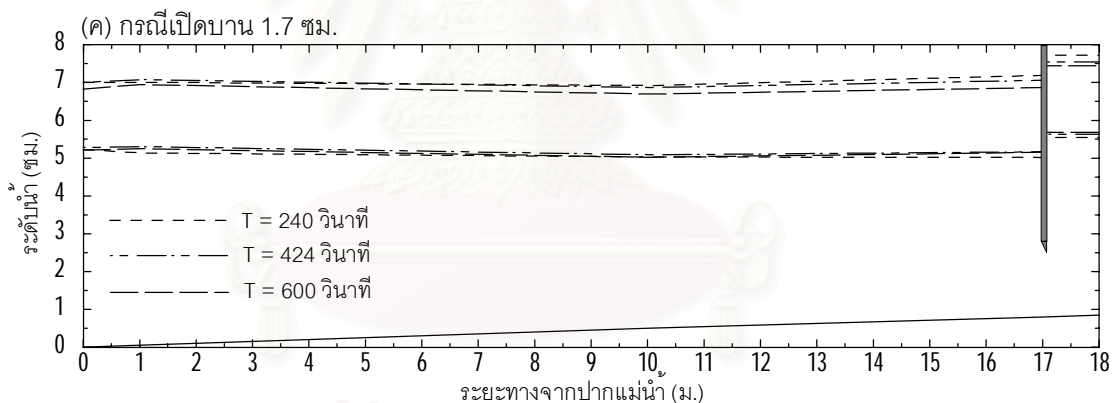
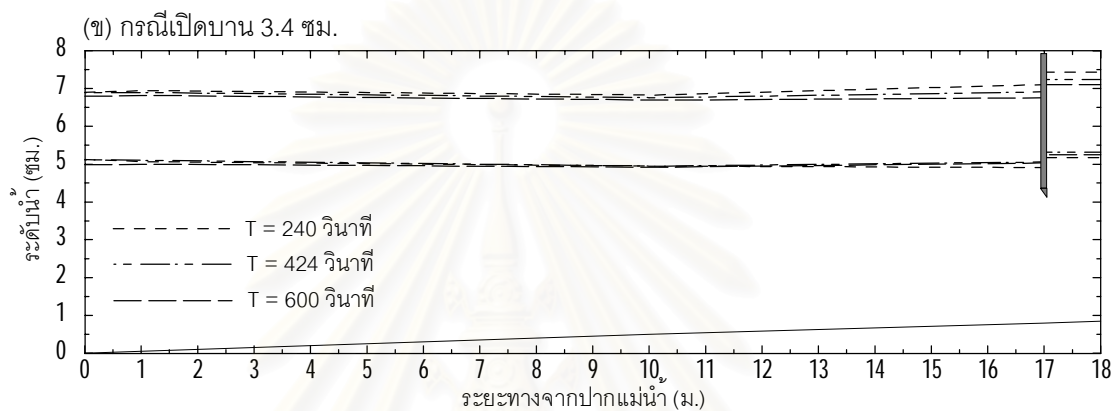
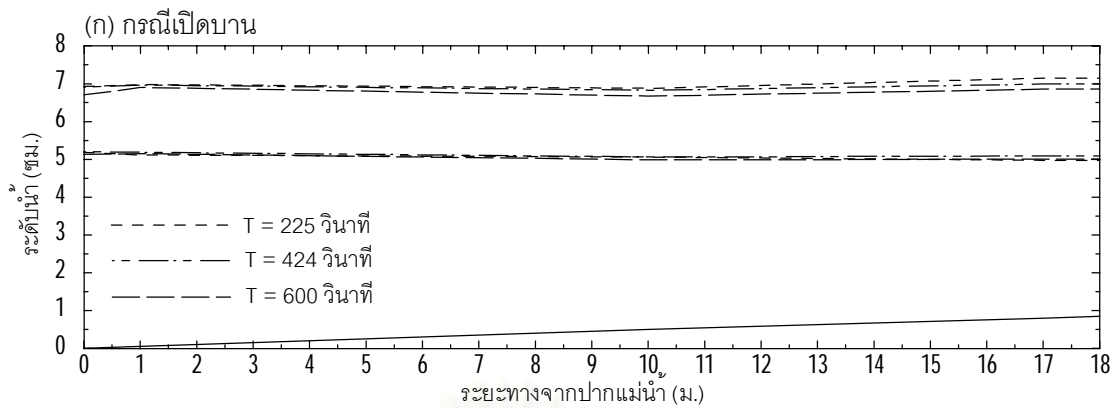
รูป ค-6 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



รูป ค-7 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.



รูป ค-8 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



รูป ค-9 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 0.52$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



ภาคผนวก ง

ผลการศึกษากรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

ภาคผนวก ง

ผลการศึกษาระณีอัตราไหล 1.20 ลิตร / วินาที

ผลการศึกษาระณีอัตราไหล 1.20 ลิตรต่อวินาที เป็นผลการศึกษาที่ได้ผ่านการวิเคราะห์สเปกตรัมแล้วซึ่งนำเสนอในรูปแบบของตาราง แยกเป็นกรณีตามค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1. q3 เป็นค่าอัตราไหลผ่านฝาย ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 1.20 ลิตรต่อวินาที
2. n1,n2,n3 เป็นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) ของวัสดุท้องน้ำเท่ากับ 0.0132 0.0201 และ 0.0211 ตามลำดับ
3. h1,h2,h3 เป็นระยะทางการแทนที่น้ำของถังเท่ากับ 9 18 และ 27 ซม ตามลำดับ
4. g0,g1,g2,g3 เป็นระยะทางเปิดปิดบานประตูระบายน้ำ ซึ่งเท่ากับการปิดบาน การเปิดบาน 1.7 เซนติเมตร การเปิดบาน 3.4 เซนติเมตร และการเปิดบานหมด
5. t1ถึง t9 เป็นคาบคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ขึ้นอยู่กับความลึกและความเร็วของการแทนที่น้ำ

ซึ่งตารางที่นำเสนอ จะแยกเป็นตารางสรุปคลื่นและตารางรายละเอียดคลื่นสำหรับตารางสรุปคลื่น จะแยกตามสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n1 n2 และ n3 เป็นตาราง ง-1 ง-2 และ ง-3 ตามลำดับ และตารางรายละเอียดคลื่นแยกตามค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ n1 n2 และ n3 เป็นตาราง ง-4 ง-5 และ ง-6 ผลที่ได้จากตารางสรุปคลื่นสามารถนำมาเขียนกราฟระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด ตลอดความยาวแม่น้ำได้ ดังรูป ง-1 ถึง ง-9

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ง-1 คุณสมบัติคลื่นกรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณี				แอ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr
				T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	d _{avg} (cm)	
n1	g0	h1	t1	85	0.59	6.00	85	0.77	6.00	85	1.59	5.59	85	2.10	5.16	-	-	5.34	5.58	0
			t2	141	0.66	6.06	141	0.65	6.00	141	0.69	5.62	141	0.70	5.24	-	-	5.38	5.62	0
			t3	188	0.73	6.02	188	0.75	5.95	188	0.65	5.61	188	0.89	5.24	-	-	5.33	5.60	0
		h2	t4	153	1.19	5.98	153	1.35	5.97	153	1.42	5.60	153	1.65	5.15	-	-	5.28	5.57	0
			t5	282	1.03	6.06	282	1.12	5.99	282	1.20	5.66	282	1.37	5.25	-	-	5.33	5.63	0
			t6	400	0.98	6.01	400	1.00	5.92	400	1.16	5.60	400	1.24	5.22	-	-	5.32	5.58	0
		h3	t7	235	1.39	5.97	235	1.65	6.06	235	2.18	5.53	235	2.47	5.15	-	-	5.26	5.58	0
			t8	424	1.59	6.07	424	1.77	6.06	424	1.78	5.69	424	1.93	5.26	-	-	5.33	5.67	0
			t9	600	1.59	6.04	600	1.78	6.03	600	1.71	5.66	600	1.84	5.23	-	-	5.33	5.64	0
	g1	h1	t1	80	0.89	6.06	80	1.13	5.88	80	1.54	5.60	80	1.94	5.46	80	1.01	6.12	5.65	0.095
			t2	141	0.70	6.08	141	0.67	5.93	141	0.92	5.62	141	0.94	5.44	141	1.26	6.15	5.66	0.095
			t3	191	0.61	6.13	191	0.70	6.02	191	0.84	5.66	191	0.94	5.46	191	1.11	6.02	5.72	0.093
		h2	t4	160	1.16	6.06	160	1.35	5.90	160	1.46	5.59	160	1.58	5.45	160	1.73	6.06	5.65	0.095
			t5	282	1.12	6.12	282	1.29	5.97	282	1.49	5.64	282	1.57	5.46	282	1.48	6.15	5.69	0.094
			t6	379	1.09	6.11	379	1.27	5.97	379	1.46	5.62	379	1.54	5.44	379	0.91	6.15	5.68	0.094
		h3	t7	257	1.67	6.07	257	1.92	5.92	257	1.96	5.58	257	2.23	5.44	257	0.66	6.13	5.65	0.095
			t8	450	1.69	6.13	450	1.90	5.99	450	1.87	5.64	450	1.99	5.49	450	1.40	6.13	5.71	0.094
			t9	600	1.65	6.14	600	1.84	6.03	600	1.74	5.63	600	1.91	5.50	600	1.36	6.12	5.72	0.093
	g2	h1	t1	80	1.00	6.02	80	1.31	5.91	80	1.56	5.56	80	2.13	5.44	80	2.22	5.75	5.64	0.095
			t2	141	0.61	6.01	141	0.57	5.95	141	0.86	5.57	141	0.83	5.40	141	0.96	5.73	5.64	0.095
			t3	200	0.74	5.93	200	0.76	5.86	200	0.86	5.47	200	0.93	5.30	200	0.89	5.62	5.54	0.098
		h2	t4	160	1.18	6.05	160	1.33	5.97	160	1.42	5.57	160	1.48	5.44	160	1.70	5.77	5.66	0.095
			t5	282	1.07	6.03	282	1.23	5.94	282	1.39	5.55	282	1.42	5.41	282	1.45	5.74	5.64	0.095
			t6	400	1.10	5.92	400	1.18	5.83	400	1.35	5.43	400	1.44	5.28	400	1.40	5.58	5.51	0.099
		h3	t7	257	1.65	6.05	257	1.93	5.98	257	1.91	5.54	257	2.26	5.43	257	2.36	5.76	5.65	0.095
			t8	424	1.64	6.07	424	1.83	5.99	424	1.72	5.58	424	1.83	5.44	424	1.99	5.78	5.67	0.095
			t9	600	1.64	6.00	600	1.81	5.87	600	1.68	5.48	600	1.75	5.35	600	1.88	5.65	5.57	0.097
g3	h1	t1	75	0.57	5.95	75	0.72	5.84	75	1.12	5.48	75	1.51	5.34	75	1.61	5.37	5.56	0.098	
		t2	133	0.58	5.92	133	0.57	5.85	133	0.83	5.46	133	0.78	5.24	133	0.97	5.26	5.52	0.099	
		t3	200	0.74	5.85	200	0.76	5.77	200	0.83	5.38	200	0.89	5.16	200	0.85	5.12	5.44	0.101	
	h2	t4	150	1.23	5.97	150	1.34	5.88	150	1.42	5.49	150	1.48	5.31	150	1.68	5.39	5.56	0.097	
		t5	282	1.08	5.92	282	1.25	5.82	282	1.41	5.44	282	1.45	5.26	282	1.43	5.23	5.50	0.099	
		t6	400	1.01	5.89	400	1.16	5.80	400	1.28	5.41	400	1.29	5.22	400	1.21	5.16	5.48	0.100	
	h3	t7	240	1.66	6.01	240	1.92	5.93	240	1.94	5.51	240	2.29	5.35	240	2.29	5.38	5.59	0.097	
		t8	424	1.69	5.99	424	1.87	5.92	424	1.76	5.51	424	1.88	5.34	424	1.93	5.32	5.59	0.097	
		t9	600	1.67	5.95	600	1.81	5.85	600	1.77	5.46	600	1.81	5.29	600	1.90	5.24	5.53	0.098	

หมายเหตุ

ตาราง ง-2 คุณสมบัติคลื่นกรณีสัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณีส			แ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr	
			T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	d _{avg} (cm)		
n2	g0	h1	t1	75	0.94	5.78	75	1.25	5.75	75	1.59	5.20	75	2.43	5.00	-	-	5.07	5.32	0
			t2	141	0.50	5.86	141	0.58	6.01	141	0.80	5.32	141	0.91	5.04	-	-	5.08	5.46	0
			t3	200	0.54	5.92	200	0.71	5.96	200	0.70	5.17	190	0.90	5.06	-	-	5.08	5.39	0
		h2	t4	153	0.96	5.82	153	0.99	5.81	153	1.36	5.24	153	1.63	4.98	-	-	5.05	5.34	0
			t5	280	0.85	5.86	280	0.92	5.96	280	1.25	5.32	280	1.34	4.99	-	-	5.04	5.42	0
			t6	400	0.88	5.94	400	1.01	5.96	400	1.18	5.37	400	1.36	5.09	-	-	5.08	5.47	0
		h3	t7	240	1.40	5.88	240	1.47	5.91	240	2.04	5.29	240	2.39	5.02	-	-	5.06	5.41	0
			t8	424	1.45	5.93	424	1.45	5.95	424	1.68	5.32	424	1.88	5.08	-	-	5.09	5.45	0
			t9	600	1.45	5.97	600	1.47	5.96	600	1.62	5.38	600	1.79	5.11	-	-	5.10	5.48	0
	g1	h1	t1	75	1.10	5.75	75	1.22	5.62	75	1.04	5.30	75	1.41	5.18	75	1.63	5.95	5.37	0.103
			t2	141	0.61	5.74	141	0.62	5.65	141	0.88	5.29	141	0.86	5.15	141	1.43	5.83	5.37	0.103
			t3	200	0.64	5.80	200	0.66	5.70	200	0.82	5.33	200	0.85	5.17	200	1.43	5.89	5.40	0.102
		h2	t4	150	1.31	5.75	150	1.30	5.65	150	1.48	5.30	150	1.38	5.18	150	1.98	5.97	5.38	0.102
			t5	282	1.26	5.79	282	1.27	5.69	282	1.41	5.32	282	1.40	5.19	282	1.72	5.83	5.40	0.102
			t6	400	1.25	5.81	400	1.27	5.71	400	1.38	5.32	400	1.36	5.20	400	1.74	5.96	5.41	0.101
		h3	t7	240	1.80	6.02	240	2.15	5.93	240	1.85	5.59	240	2.13	5.43	240	2.20	5.94	5.65	0.095
			t8	424	1.71	5.81	424	2.09	5.73	424	1.87	5.34	424	1.82	5.19	424	1.94	6.49	5.42	0.101
			t9	600	1.59	5.90	600	1.84	5.84	600	1.65	5.43	600	1.63	5.30	600	1.95	5.96	5.52	0.098
	g2	h1	t1	71	1.15	6.16	71	1.36	6.06	71	1.04	5.76	71	1.60	5.55	71	1.56	5.64	5.79	0.092
			t2	141	0.65	6.09	141	0.57	6.00	141	0.79	5.72	141	0.75	5.49	141	0.81	5.67	5.74	0.093
			t3	190	0.72	6.01	190	0.63	5.92	190	0.74	5.62	190	0.72	5.37	190	0.60	5.60	5.64	0.095
		h2	t4	160	1.26	6.16	160	1.31	6.05	160	1.37	5.75	160	1.36	5.54	160	1.48	5.66	5.78	0.092
			t5	282	1.26	6.13	282	1.30	6.03	282	1.35	5.72	282	1.38	5.51	282	1.35	5.63	5.75	0.093
			t6	400	1.22	6.01	400	1.35	5.91	400	1.35	5.59	400	1.27	5.37	400	1.23	5.54	5.62	0.096
		h3	t7	240	1.91	6.23	240	2.00	6.11	240	1.79	5.77	240	2.13	5.59	240	2.02	5.67	5.83	0.091
			t8	424	1.73	6.19	424	1.95	6.10	424	1.71	5.75	424	1.78	5.56	424	1.79	5.66	5.81	0.091
			t9	600	1.82	6.05	600	1.99	6.00	600	1.75	5.63	600	1.73	5.42	600	1.67	5.54	5.68	0.094
g3	h1	t1	75	1.19	5.86	75	1.34	5.81	75	1.11	5.54	75	1.59	5.25	75	1.50	5.22	5.53	0.098	
		t2	141	0.59	5.79	141	0.55	5.77	141	0.87	5.47	141	0.75	5.23	141	0.87	5.22	5.49	0.099	
		t3	200	0.64	5.73	200	0.66	5.71	200	0.84	5.38	200	0.70	5.12	200	0.81	5.13	5.40	0.102	
	h2	t4	160	1.32	5.88	160	1.34	5.85	160	1.46	5.53	160	1.40	5.30	160	1.35	5.20	5.56	0.097	
		t5	282	1.32	5.84	282	1.33	5.80	282	1.45	5.49	282	1.35	5.24	282	1.25	5.20	5.51	0.099	
		t6	400	1.32	5.73	400	1.29	5.70	400	1.41	5.37	400	1.21	5.12	400	1.35	5.07	5.40	0.102	
	h3	t7	240	1.89	5.93	240	1.98	5.89	240	1.20	5.54	240	1.98	5.32	240	1.85	5.22	5.58	0.097	
		t8	424	1.81	5.92	424	1.97	5.89	424	1.81	5.54	424	1.73	5.29	424	1.70	5.19	5.57	0.097	
		t9	600	1.73	5.84	600	1.98	5.83	600	1.77	5.47	600	1.71	5.24	600	1.62	5.13	5.51	0.099	

หมายเหตุ

ตาราง ง-3 คุณสมบัติคลื่นกรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณี				แ่งกำเนิดคลื่น			1 ม. จากปากทางน้ำ			10 ม. จากปากทางน้ำ			16 ม. จากปากทางน้ำ			เหนือประตู			ความลึกเฉลี่ย	Fr
				T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)	T(s)	h(cm)	d(cm)		
n3	g0	h1	t1	80	0.87	6.02	80	1.11	5.93	80	1.75	5.44	80	2.24	5.24	-	-	5.12	5.53	0
			t2	141	0.58	6.07	141	0.54	5.98	141	0.90	5.48	141	0.75	5.25	-	-	5.12	5.57	0
			t3	200	0.62	6.08	200	0.73	6.00	200	0.82	5.45	200	0.87	5.25	-	-	5.12	5.57	0
		h2	t4	160	1.30	6.10	160	1.26	6.00	150	1.48	5.44	160	1.55	5.24	-	-	5.12	5.56	0
			t5	282	1.04	6.09	282	1.16	6.03	282	1.36	5.49	282	1.43	5.26	-	-	5.12	5.60	0
			t6	400	1.03	6.04	400	1.15	6.01	400	1.33	5.41	400	1.34	5.20	-	-	5.12	5.54	0
		h3	t7	240	1.49	6.14	240	1.60	6.06	240	2.20	5.47	240	2.57	5.25	-	-	5.12	5.60	0
			t8	424	1.55	6.12	424	1.65	6.10	424	1.74	5.48	424	1.92	5.30	-	-	5.12	5.63	0
			t9	600	1.57	6.04	600	1.63	6.01	600	1.67	5.38	600	1.82	5.18	-	-	5.12	5.53	0
	g1	h1	t1	75	0.98	5.93	75	1.16	5.86	75	0.97	5.55	75	1.51	5.37	75	0.62	7.70	5.59	0.097
			t2	133	0.61	5.99	133	0.63	5.85	133	0.51	5.53	133	1.04	5.30	133	1.45	7.66	5.56	0.097
			t3	200	0.66	5.99	200	1.70	5.85	200	0.51	5.49	200	0.97	5.22	200	0.32	7.63	5.52	0.098
		h2	t4	150	1.34	5.94	150	1.41	5.87	150	1.25	5.55	150	1.56	5.37	150	0.94	7.65	5.60	0.096
			t5	282	1.31	5.93	282	1.36	5.88	282	1.21	5.52	282	1.49	5.34	282	0.93	7.46	5.58	0.097
			t6	400	1.15	5.84	400	1.26	5.83	400	1.15	5.46	400	1.51	5.22	400	0.20	7.58	5.51	0.099
		h3	t7	240	1.76	6.01	240	2.00	5.95	240	1.73	5.55	240	2.14	5.42	240	1.97	7.73	5.64	0.095
			t8	424	1.64	6.03	424	1.92	5.97	424	1.64	5.54	424	1.89	5.39	424	1.74	7.72	5.63	0.096
			t9	600	1.70	6.09	600	1.90	5.91	600	1.65	5.50	600	1.89	5.32	600	1.49	7.62	5.58	0.097
	g2	h1	t1	75	1.05	6.01	75	1.41	5.97	75	0.58	5.60	75	1.44	5.42	75	1.36	5.60	5.66	0.095
			t2	141	0.60	5.97	141	0.61	5.95	141	0.46	5.58	141	0.83	5.40	141	0.63	5.60	5.64	0.095
			t3	190	0.66	5.97	190	0.65	5.98	190	0.43	5.57	190	0.77	5.38	190	0.65	5.61	5.65	0.095
		h2	t4	160	1.31	6.01	160	1.41	5.98	160	1.17	5.60	160	1.38	5.44	160	1.33	5.59	5.67	0.095
			t5	282	1.23	6.00	282	1.39	6.00	282	1.13	5.59	282	1.38	5.41	282	1.22	5.58	5.66	0.095
			t6	379	1.19	6.00	379	1.35	6.02	379	0.86	5.59	379	1.31	5.38	379	1.15	5.55	5.66	0.095
		h3	t7	240	1.74	6.06	240	1.99	6.03	240	1.63	5.59	240	1.97	5.46	240	1.92	5.58	5.69	0.094
			t8	424	1.63	6.06	424	1.88	6.07	424	1.56	5.59	424	1.78	5.45	424	1.75	5.57	5.70	0.094
			t9	600	1.61	6.06	600	1.80	6.08	600	1.52	5.61	600	1.72	5.45	600	1.70	5.56	5.71	0.094
g3	h1	t1	75	1.05	6.02	75	1.36	5.89	75	0.92	5.56	75	1.23	5.42	75	1.54	5.51	5.62	0.096	
		t2	141	0.61	6.03	141	0.62	5.91	141	0.78	5.58	141	0.65	5.40	141	1.02	5.51	5.63	0.096	
		t3	200	0.67	6.01	200	0.68	5.89	200	0.70	5.57	200	0.65	5.35	200	0.74	5.41	5.61	0.096	
	h2	t4	160	1.29	6.04	160	1.38	5.90	160	1.33	5.56	160	1.20	5.43	160	1.54	5.53	5.63	0.096	
		t5	282	1.28	6.05	282	1.43	5.94	282	1.30	5.56	282	1.22	5.42	282	1.46	5.47	5.64	0.095	
		t6	400	1.32	6.00	400	1.42	5.91	400	1.24	5.51	400	1.07	5.36	400	1.24	5.37	5.59	0.097	
	h3	t7	240	1.91	6.08	240	2.00	5.97	240	1.71	5.57	240	1.75	5.44	240	1.93	5.55	5.66	0.095	
		t8	424	1.83	6.13	424	1.93	6.03	424	1.62	5.58	424	1.60	5.45	424	1.75	5.51	5.69	0.094	
		t9	600	1.81	6.07	600	1.89	6.02	600	1.61	5.53	600	1.55	5.40	600	1.70	5.42	5.65	0.095	

หมายเหตุ

ตาราง ง-4 รายละเอียดคลื่นกรณีอัตราไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณี			แ่งกำเนิดคลื่น				1 ม. จากปากแม่น้ำ				10 ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู			
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	
n1	h1	g0	t1	6.005	0.012	0.016	0.070	5.998	0.012	0.042	-0.050	5.607	0.012	0.270	-1.060	5.180	0.012	0.530	-0.910	5.349	0.012	0.063
			t2	6.065	0.007	0.023	-0.490	5.995	0.007	0.016	-0.560	5.639	0.007	0.045	-0.380	5.256	0.007	0.048	-0.310	5.387	0.007	0.088
			t3	6.024	0.005	0.029	2.290	5.949	0.005	0.023	2.200	5.630	0.005	0.046	2.550	5.261	0.005	0.037	2.960	5.339	0.005	0.056
		g1	t1	6.064	0.013	0.109	-45.170	5.878	0.013	0.173	0.565	5.601	0.013	0.234	0.500	5.464	0.013	0.407	1.190	6.121	0.001	0.469
			t2	6.084	0.007	0.024	1.070	5.934	0.007	0.024	-0.060	5.618	0.007	0.066	3.290	5.438	0.000	0.112	0.900	6.151	0.000	0.498
			t3	6.133	0.000	0.024	1.020	6.025	0.005	0.027	2.110	5.661	0.005	0.036	18.040	5.465	0.000	0.136	0.970	6.018	0.001	0.374
		g2	t1	6.023	0.013	0.132	7.470	5.914	0.013	0.227	3.420	5.556	0.013	0.256	1.590	5.439	0.013	0.564	1.220	5.755	0.013	0.683
			t2	6.014	0.007	0.018	-0.620	5.945	0.007	0.016	-0.830	5.570	0.007	0.051	-0.020	5.399	0.007	0.085	0.140	5.731	0.000	0.531
			t3	5.934	0.005	0.027	-1.680	5.860	0.005	0.030	-1.920	5.472	0.005	0.043	-0.820	5.302	0.005	0.046	-0.700	5.617	0.000	0.354
	g3	t1	5.946	0.013	0.153	-6.460	5.843	0.013	0.257	31.260	5.484	0.013	0.212	1.180	5.342	0.013	0.493	3.100	5.373	0.013	0.526	
		t2	5.922	0.007	0.018	-7.380	5.849	0.000	0.020	0.920	5.457	0.008	0.049	-0.110	5.243	0.008	0.067	0.080	5.264	0.008	0.109	
		t3	5.854	0.000	0.038	1.010	5.772	0.000	0.057	0.980	5.382	0.005	0.044	-0.790	5.156	0.005	0.048	-0.710	5.117	0.005	0.058	
	h2	g0	t4	5.990	0.007	0.076	-4.840	5.967	0.007	0.074	-7.150	5.614	0.007	0.196	-4.010	5.163	0.007	0.173	-2.900	5.295	0.007	0.032
			t5	6.068	0.004	0.106	0.600	5.993	0.004	0.108	0.590	5.678	0.004	0.136	0.650	5.268	0.004	0.128	0.660	5.336	0.004	0.054
			t6	6.014	0.003	0.010	2.110	5.923	0.003	0.102	2.160	5.616	0.003	0.113	2.220	5.240	0.003	0.104	2.280	5.327	0.003	0.049
		g1	t4	6.060	0.006	0.073	-1.150	5.900	0.006	0.079	-1.460	5.590	0.006	0.197	-0.430	5.446	0.006	0.225	-0.260	6.056	0.002	0.408
			t5	6.123	0.004	0.086	-0.850	5.970	0.004	0.100	-0.940	5.644	0.004	0.134	-0.550	5.465	0.000	0.137	1.120	6.148	0.001	0.495
			t6	6.111	0.003	0.091	2.430	5.969	0.003	0.111	2.430	5.617	0.003	0.127	3.310	5.445	0.000	0.123	1.050	6.151	0.001	0.497
		g2	t4	6.051	0.006	0.071	-1.700	5.967	0.006	0.073	-2.200	5.569	0.006	0.169	-0.760	5.436	0.006	0.223	-0.560	5.772	0.000	0.614
			t5	6.025	0.004	0.085	-0.450	5.943	0.004	0.095	-0.520	5.554	0.004	0.129	-0.250	5.410	0.004	0.147	-1.160	5.744	0.000	0.557
			t6	5.923	0.003	0.100	2.040	5.827	0.003	0.116	1.940	5.433	0.003	0.140	2.460	5.283	0.003	0.125	3.070	5.579	0.000	0.304
		g3	t4	5.972	0.007	0.070	-0.440	5.878	0.007	0.072	-0.550	5.487	0.007	0.166	-0.040	5.310	0.006	0.202	-0.800	5.386	0.006	0.308
			t5	5.923	0.004	0.086	-1.910	5.821	0.004	0.101	-2.130	5.437	0.004	0.125	-1.220	5.255	0.004	0.124	-1.020	5.235	0.004	0.148
			t6	5.892	0.003	0.093	0.540	5.799	0.003	0.112	0.550	5.412	0.003	0.132	0.660	5.217	0.003	0.129	0.790	5.157	0.003	0.135
h3	g0	t7	5.977	0.004	1.818	-0.200	6.061	0.004	0.295	-0.230	5.546	0.004	0.237	-0.270	5.167	0.004	0.282	-0.150	5.274	0.004	0.023	
		t8	6.072	0.002	0.224	0.770	6.062	0.002	0.300	0.720	5.707	0.002	0.299	0.790	5.282	0.002	0.262	0.780	5.340	0.002	0.055	
		t9	6.044	0.002	0.205	-2.700	6.026	0.002	0.290	-3.180	5.676	0.002	0.254	-2.440	5.249	0.002	0.223	-2.600	5.342	0.017	0.067	
	g1	t7	6.069	0.004	0.190	0.880	5.924	0.004	0.255	0.790	5.576	0.004	0.268	1.290	5.443	0.004	0.259	-5.760	6.133	0.000	0.479	
		t8	6.130	0.002	0.205	2.170	5.995	0.002	0.273	1.930	5.642	0.002	0.277	2.630	5.485	0.002	0.265	3.120	6.132	0.000	0.479	
		t9	6.140	0.002	0.197	0.030	6.032	0.002	0.261	0.000	5.632	0.002	0.248	0.080	5.495	0.002	0.243	0.120	6.123	0.000	0.471	
	g2	t7	6.048	0.004	0.199	0.610	5.982	0.004	0.263	0.510	5.540	0.004	0.250	0.870	5.430	0.004	0.272	22.600	5.762	0.000	0.622	
		t8	6.070	0.002	0.199	1.107	5.992	0.002	0.247	1.101	5.578	0.002	0.235	1.130	5.435	0.002	0.250	11.900	5.777	0.000	0.624	
		t9	5.997	0.002	0.202	-0.260	5.868	0.002	0.235	-0.210	5.483	0.002	0.239	-0.230	5.353	0.002	0.248	-0.180	5.653	0.000	0.404	
g3	t7	6.011	0.004	0.192	0.060	5.925	0.004	0.219	-0.010	5.507	0.004	0.270	0.240	5.352	0.004	0.332	0.270	5.382	0.004	0.377		
	t8	5.993	0.002	0.204	0.200	5.918	0.002	0.259	0.160	5.506	0.002	0.254	0.260	5.336	0.002	0.283	0.350	5.316	0.002	0.320		
	t9	5.945	0.002	0.202	-0.210	5.846	0.002	0.249	-0.170	5.456	0.002	0.267	-0.190	5.285	0.002	0.263	-0.140	5.238	0.002	0.293		

หมายเหตุ

- 1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม 2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz 3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม² 4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน

ตาราง ง-5 รายละเอียดคลื่นกรณีสัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณี			อ่างกำเนิดคลื่น				1 ม. จากปากแม่น้ำ				10 ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู		
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2
n2	g0	t1	5.79	0.013	0.111	-8.300	5.74	0.213	0.192	-56.82	5.21	0.013	0.268	1.100	4.98	0.013	0.711	1.690	5.07	0.013	0.094
		t2	5.87	0.007	0.014	-0.690	6.01	0.007	0.021	-0.640	5.32	0.007	0.065	-0.320	5.03	0.007	0.111	-0.230	5.08	0.007	0.065
		t3	5.93	0.005	0.020	0.150	5.95	0.005	0.033	0.090	5.17	0.005	0.046	0.280	5.05	0.005	0.063	1.600	5.08	0.005	0.044
	g1	t1	5.75	0.013	0.117	0.350	5.62	0.001	0.180	1.040	5.30	0.013	0.122	-1.010	5.18	0.013	0.150	-0.100	5.95	0.001	0.321
		t2	5.74	0.000	0.108	0.950	5.65	0.000	0.148	0.950	5.29	0.000	0.082	0.910	5.15	0.007	0.059	0.280	5.83	0.000	0.232
		t3	5.80	0.000	0.067	0.990	5.70	0.000	0.105	1.000	5.33	0.005	0.073	4.960	5.17	0.005	0.034	638.000	5.89	0.000	0.269
	g2	t1	6.16	0.014	0.165	1.070	6.06	0.014	0.208	0.840	5.76	0.001	0.101	0.850	5.55	0.001	0.282	0.970	5.64	0.001	0.397
		t2	6.09	0.007	0.023	-2.720	6.00	0.007	0.019	-5.540	5.72	0.000	0.071	1.110	5.49	0.000	0.198	1.060	5.67	0.000	0.425
		t3	6.01	0.005	0.024	4.980	5.92	0.005	0.020	3.870	5.62	0.005	0.042	-6.670	5.37	0.000	0.083	1.030	5.60	0.000	0.325
	g3	t1	5.86	0.013	0.161	-3.130	5.81	0.013	0.205	-5.580	5.54	0.013	0.127	1.180	5.25	0.013	0.232	9.080	5.22	0.013	0.261
		t2	5.79	0.000	0.072	0.920	5.77	0.000	0.054	0.900	5.47	0.007	0.088	0.060	5.23	0.007	0.067	0.340	5.22	0.007	0.093
		t3	5.73	0.000	0.119	1.000	5.71	0.000	0.092	1.000	5.38	0.005	0.091	-4.560	5.12	0.005	0.039	-2.260	5.13	0.005	0.055
	g0	t4	5.83	0.007	0.058	8.220	5.80	0.007	0.055	4.580	5.24	0.007	0.196	-14.54	4.97	0.007	0.274	-9.160	5.05	0.007	0.150
		t5	5.87	0.004	0.063	40.560	5.95	0.004	0.088	24.080	5.32	0.004	0.132	25.300	4.98	0.004	0.143	50.330	5.05	0.004	0.127
		t6	5.94	0.005	0.071	-3.490	5.96	0.003	0.099	-3.850	5.37	0.003	0.105	-3.600	5.07	0.003	0.137	-3.200	5.09	0.003	0.103
	g1	t4	5.75	0.000	0.100	1.230	5.65	0.000	0.153	1.210	5.30	0.007	0.215	-0.520	5.18	0.007	0.175	-0.200	5.97	0.000	0.335
		t5	5.79	0.004	0.093	-0.200	5.69	0.000	0.118	0.910	5.32	0.004	0.154	0.060	5.19	0.004	0.121	0.230	5.83	0.000	0.233
		t6	5.81	0.003	0.125	-47.000	5.71	0.003	0.125	-17.670	5.32	0.003	0.169	-4.680	5.20	0.003	0.106	-3.160	5.96	0.000	0.324
	g2	t4	6.16	0.006	0.097	-3.290	6.05	0.006	0.080	-5.470	5.75	0.006	0.185	-0.940	5.54	0.000	0.249	1.050	5.66	0.000	0.420
		t5	6.13	0.004	0.111	-0.460	6.03	0.004	0.101	-0.520	5.72	0.004	0.140	-0.190	5.51	0.006	0.211	1.090	5.63	0.000	0.363
		t6	6.01	0.003	0.110	3.470	5.91	0.003	0.107	3.180	5.59	0.003	0.133	7.670	5.37	0.003	0.093	20.320	5.54	0.000	0.251
	g3	t4	5.88	0.006	0.088	-0.500	5.85	0.006	0.075	-0.670	5.53	0.006	0.235	0.030	5.30	0.006	0.232	0.210	5.20	0.006	0.220
		t5	5.84	0.004	0.101	-0.600	5.80	0.004	0.091	-0.650	5.49	0.004	0.165	-0.280	5.24	0.004	0.119	-0.110	5.20	0.004	0.126
		t6	5.73	0.003	0.131	-9.800	5.70	0.003	0.127	-12.790	5.37	0.003	0.185	-3.640	5.12	0.003	0.099	-2.610	5.07	0.003	0.125
g0	t7	5.89	0.004	0.142	0.060	5.91	0.004	0.141	0.000	5.30	0.004	0.267	0.120	5.01	0.004	0.327	0.060	5.07	0.004	0.280	
	t8	5.93	0.002	0.160	1.410	5.95	0.002	0.187	1.300	5.32	0.002	0.200	1.500	5.06	0.002	0.256	1.450	5.09	0.002	0.225	
	t9	5.97	0.002	0.152	-0.010	5.96	0.002	0.156	-0.030	5.38	0.002	0.948	0.010	5.10	0.002	0.224	0.040	5.11	0.002	0.195	
g1	t7	6.02	0.004	0.220	-0.150	5.93	0.004	0.235	-0.210	5.59	0.004	0.319	0.100	5.43	0.004	0.299	0.230	5.94	0.000	0.307	
	t8	5.81	0.002	0.210	0.430	5.73	0.002	0.268	0.360	5.34	0.002	0.293	0.600	5.19	0.002	0.234	0.730	6.49	0.002	0.354	
	t9	5.90	0.002	0.222	-4.030	5.84	0.002	0.268	-3.180	5.43	0.002	0.268	-2.610	5.30	0.002	0.216	-2.230	5.96	0.000	0.325	
g2	t7	6.23	0.004	0.237	-0.390	6.11	0.004	0.220	-0.460	5.77	0.004	0.268	-0.14	5.59	0.000	0.328	1.15	5.67	0.000	0.433	
	t8	6.19	0.002	0.245	0.160	6.10	0.002	0.264	0.110	5.75	0.002	0.269	0.270	5.56	0.000	0.270	1.030	5.66	0.000	0.409	
	t9	6.05	0.002	0.231	-0.17	6.00	0.002	0.279	-0.220	5.63	0.002	0.258	-0.110	5.42	0.002	0.205	-0.010	5.54	0.000	0.243	
g3	t7	5.93	0.004	0.259	0.480	5.89	0.004	0.259	0.410	5.54	0.004	0.336	0.790	5.32	0.004	0.305	1.000	5.22	0.004	0.285	
	t8	5.92	0.002	0.258	1.630	5.89	0.002	0.283	1.520	5.54	0.002	0.299	2.230	5.29	0.002	0.233	2.880	5.19	0.002	0.218	
	t9	5.84	0.002	0.236	-0.410	5.83	0.002	0.279	-0.450	5.47	0.002	0.287	-0.300	5.24	0.002	0.211	-0.220	5.13	0.002	0.214	

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน

ตาราง ง-6 รายละเอียดคลื่นกรณีอัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณี			แ่งกำเนิดคลื่น				1ม. จากปากแม่น้ำ				10ม. จากปากแม่น้ำ				16 ม. จากปากแม่น้ำ				เหนือประตู			
			d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	δ	d	f	c ² /2	
n3	h1	g0	t1	6.03	0.013	0.088	-1.440	5.94	0.013	0.160	-1.540	5.45	0.013	0.312	-0.210	5.25	0.013	0.733	-0.090	5.15	0.013	0.000
			t2	6.08	0.007	0.011	-0.410	5.99	0.007	0.014	-0.620	5.50	0.007	0.097	-0.270	5.26	0.007	0.066	-0.220	5.15	0.007	0.000
			t3	6.08	0.005	0.014	2.020	6.01	0.050	0.019	1.960	5.47	0.005	0.078	2.400	5.25	0.005	0.034	2.740	5.15	0.005	0.000
		g1	t1	5.93	0.013	0.095	3.570	5.86	0.013	0.145	2.200	5.55	0.013	0.051	0.110	5.37	0.013	0.188	0.770	8.70	0.013	0.048
			t2	5.99	0.008	0.024	-1.090	5.85	0.008	0.028	-1.670	5.53	0.008	0.020	-0.120	5.30	0.008	0.059	0.200	8.66	0.008	0.259
			t3	5.99	0.005	0.025	1.970	5.85	0.005	0.026	1.390	5.49	0.005	0.017	1.030	5.22	0.005	0.037	1.380	8.63	0.005	0.012
		g2	t1	6.01	0.013	0.126	0.960	5.97	0.013	0.206	0.830	5.60	0.013	0.034	-0.200	5.42	0.013	0.194	0.420	5.60	0.013	0.195
			t2	5.97	0.007	0.018	-0.290	5.95	0.007	0.024	-0.600	5.58	0.007	0.025	0.380	5.40	0.007	0.086	1.030	5.60	0.007	0.039
			t3	5.97	0.005	0.021	0.430	5.98	0.005	0.025	0.240	5.57	0.005	0.021	0.810	5.38	0.005	0.046	1.080	5.61	0.005	0.019
	g3	t1	6.02	0.013	0.129	0.530	5.89	0.013	0.196	0.460	5.56	0.013	0.072	-0.540	5.42	0.013	0.155	0.150	5.51	0.013	0.289	
		t2	6.03	0.007	0.018	0.300	5.91	0.007	0.023	0.040	5.58	0.007	0.050	1.200	5.40	0.007	0.053	0.960	5.51	0.007	0.153	
		t3	6.01	0.005	0.018	2.250	5.89	0.005	0.025	1.740	5.57	0.005	0.025	170.600	5.35	0.005	0.023	1.000	5.41	0.005	0.047	
	h2	g0	t4	6.10	0.006	0.079	-1.340	6.01	0.006	0.063	-1.770	5.46	0.006	0.209	-0.980	5.25	0.006	0.207	-0.930	5.15	0.006	0.000
			t5	6.10	0.004	0.092	-0.050	6.05	0.004	0.097	-0.070	5.51	0.004	0.169	-0.030	5.27	0.004	0.150	0.000	5.15	0.004	0.000
			t6	6.05	0.003	0.085	-61.62	6.02	0.003	0.097	29.880	5.42	0.003	0.163	-36.24	5.21	0.003	0.111	-13.60	5.15	0.003	0.000
		g1	t4	5.94	0.007	0.097	-1.010	5.87	0.007	0.104	-0.143	5.55	0.007	0.087	-0.250	5.37	0.007	0.185	-0.070	8.65	0.007	0.109
			t5	5.93	0.004	0.092	-0.410	5.88	0.004	0.094	-0.510	5.52	0.004	0.066	-0.110	5.34	0.004	0.128	0.000	8.46	0.004	0.108
			t6	5.84	0.003	0.102	1.790	5.83	0.003	0.114	1.530	5.46	0.003	0.070	2.300	5.22	0.003	0.107	3.180	8.58	0.003	0.005
		g2	t4	6.01	0.006	0.082	-1.730	5.98	0.006	0.092	-3.190	5.60	0.006	0.088	-0.570	5.44	0.006	0.221	-0.390	5.59	0.006	0.194
			t5	6.00	0.004	0.102	-0.350	6.00	0.004	0.110	-0.430	5.59	0.004	0.063	-0.100	5.41	0.004	0.144	0.020	5.58	0.004	0.111
			t6	6.00	0.003	0.111	2.230	6.02	0.003	0.119	1.850	5.59	0.003	0.051	3.110	5.38	0.003	0.114	3.790	5.55	0.003	0.074
		g3	t4	6.04	0.006	0.081	-1.140	5.90	0.006	0.085	-1.790	5.56	0.006	0.169	-0.330	5.43	0.006	0.163	-0.140	5.53	0.006	0.309
			t5	6.05	0.004	0.103	-0.150	5.94	0.004	0.110	-0.230	5.56	0.004	0.131	0.110	5.42	0.004	0.112	0.230	5.47	0.004	0.186
			t6	6.00	0.003	0.105	1.680	5.91	0.003	0.116	1.500	5.51	0.003	0.113	2.390	5.36	0.003	0.069	2.870	5.37	0.003	0.119
h3	g0	t7	6.15	0.004	0.211	-0.130	6.08	0.004	0.197	-0.200	5.49	0.004	0.312	-0.100	5.26	0.004	0.331	-0.070	5.15	0.004	0.000	
		t8	6.12	0.002	0.213	0.880	6.11	0.002	0.257	0.770	5.50	0.002	0.271	0.880	5.31	0.002	0.292	0.830	5.15	0.002	0.000	
		t9	6.04	0.002	0.189	-1.240	6.02	0.002	0.218	-1.410	5.40	0.002	0.243	-1.230	5.19	0.002	0.212	-1.280	5.15	0.002	0.000	
	g1	t7	6.01	0.004	0.206	-0.570	5.95	0.004	0.217	-0.700	5.55	0.004	0.182	-0.200	5.42	0.004	0.287	-0.130	8.73	0.004	0.488	
		t8	6.03	0.002	0.216	0.300	5.97	0.002	0.260	0.200	5.54	0.002	0.167	0.430	5.39	0.002	0.248	0.510	8.72	0.002	0.657	
		t9	6.09	0.002	0.212	0.140	5.91	0.002	0.265	0.050	5.50	0.002	0.157	0.190	5.32	0.002	0.217	0.240	8.62	0.002	0.276	
	g2	t7	6.06	0.004	0.215	-0.130	6.03	0.004	0.230	-0.250	5.59	0.004	0.183	0.140	5.46	0.004	0.308	0.180	5.58	0.004	0.300	
		t8	6.06	0.002	0.232	0.460	6.07	0.002	0.291	0.360	5.59	0.002	0.162	0.600	5.45	0.002	0.264	0.680	5.57	0.002	0.228	
		t9	6.06	0.002	0.221	0.010	6.08	0.002	0.266	-0.060	5.61	0.002	0.139	0.090	5.45	0.002	0.231	0.120	5.56	0.002	0.180	
	g3	t7	6.08	0.004	0.203	-0.320	5.97	0.004	0.227	-0.41	5.57	0.004	0.256	0.000	5.44	0.004	0.219	0.080	5.55	0.004	0.375	
		t8	6.13	0.002	0.280	0.360	6.03	0.002	0.290	0.300	5.58	0.002	0.238	0.510	5.45	0.002	0.200	0.610	5.51	0.002	0.318	
		t9	6.07	0.002	0.254	-0.110	6.02	0.002	0.278	-0.170	5.53	0.002	0.216	-0.020	5.40	0.002	0.158	0.040	5.42	0.002	0.244	

หมายเหตุ

1) d = ความลึกน้ำเฉลี่ย หน่วยเป็น ซม

2) f = ความถี่คลื่น หน่วยเป็น Hz

3) c²/2 = variance หน่วยเป็น ซม²

4) δ = phase หน่วยเป็น เรเดียน

ตาราง ง-7 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ				
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R	
n1	g0	h1	t1	85	5.58	-	0.77	62.68	1.00	6.27	2.06	3.92	2.73	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t2	141	5.62	-	1.02	104.86	1.00	10.49	1.06	6.55	1.08	0.00	0.00	0.67	0.80	1.00	1.00	
		t3	188	5.60	-	0.97	139.58	1.00	13.96	0.87	8.72	1.19	0.00	0.00	0.67	-0.71	1.00	1.00	
		h2	t4	153	5.57	-	0.88	113.10	1.00	11.31	1.05	7.07	1.22	0.00	0.00	0.67	0.23	1.00	1.00
			t5	282	5.63	-	0.92	209.97	1.00	21.00	1.07	13.12	1.22	0.00	0.00	0.67	0.32	1.00	1.00
			t6	400	5.58	-	0.98	296.04	1.00	29.60	1.16	18.50	1.24	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00
		h3	t7	235	5.58	-	0.84	174.12	1.00	17.41	1.32	10.88	1.50	0.00	0.00	0.67	0.65	1.00	1.00
			t8	424	5.67	-	0.90	315.99	1.00	31.60	1.01	19.75	1.09	0.00	0.00	0.67	0.06	1.00	1.00
			t9	600	5.64	-	0.89	446.29	1.00	44.63	0.96	27.89	1.03	0.00	0.00	0.67	-1.17	1.00	1.00
	g1	h1	t1	80	5.65	-	0.79	59.60	1.00	5.96	1.36	3.72	1.72	0.00	0.00	0.67	0.51	1.00	1.00
		t2	141	5.66	-	1.04	105.28	1.00	10.53	1.37	6.58	1.40	0.00	0.00	0.67	0.93	1.00	1.00	
		t3	191	5.72	-	0.87	142.68	1.00	14.27	1.20	8.92	1.34	0.00	0.00	0.67	0.58	1.00	1.00	
		h2	t4	160	5.65	-	0.86	119.12	1.00	11.91	1.08	7.45	1.17	0.00	0.00	0.67	0.48	1.00	1.00
			t5	282	5.69	-	0.87	211.05	1.00	21.10	1.16	13.19	1.22	0.00	0.00	0.67	0.71	1.00	1.00
			t6	379	5.68	-	0.86	282.83	1.00	28.28	1.15	17.68	1.21	0.00	0.00	0.67	0.70	1.00	1.00
		h3	t7	257	5.65	-	0.87	191.45	1.00	19.15	1.02	11.97	1.16	0.00	0.00	0.67	0.13	1.00	1.00
			t8	450	5.71	-	0.89	336.75	1.00	33.68	0.98	21.05	1.05	0.00	0.00	0.67	-0.33	1.00	1.00
			t9	600	5.72	-	0.90	449.51	1.00	44.95	0.95	28.09	1.04	0.00	0.00	0.67	-1.43	1.00	1.00
	g2	h1	t1	80	5.64	-	0.76	59.54	1.00	5.95	1.19	3.72	1.63	0.00	0.00	0.67	0.30	1.00	1.00
		t2	141	5.64	-	1.07	105.04	1.00	10.50	1.51	6.56	1.46	0.00	0.00	0.67	1.12	1.00	1.00	
		t3	200	5.54	-	0.97	147.54	1.00	14.75	1.13	9.22	1.22	0.00	0.00	0.67	0.59	1.00	1.00	
		h2	t4	160	5.66	-	0.89	119.25	1.00	11.92	1.07	7.45	1.11	0.00	0.00	0.67	0.60	1.00	1.00
			t5	282	5.64	-	0.87	209.98	1.00	21.00	1.13	13.12	1.15	0.00	0.00	0.67	0.84	1.00	1.00
			t6	400	5.51	-	0.93	294.24	1.00	29.42	1.14	18.39	1.22	0.00	0.00	0.67	0.65	1.00	1.00
		h3	t7	257	5.65	-	0.85	191.50	1.00	19.15	0.99	11.97	1.17	0.00	0.00	0.67	-0.06	1.00	1.00
			t8	424	5.67	-	0.90	315.88	1.00	31.59	0.94	19.74	1.00	0.00	-	0.67	-	1.00	-
			t9	600	5.57	-	0.91	443.51	1.00	44.35	0.93	27.72	0.97	0.00	0.00	0.67	2.17	1.00	1.00
g3	h1	t1	75	5.56	-	0.79	55.47	1.00	5.55	1.56	3.47	2.10	0.00	0.00	0.67	0.51	1.00	1.00	
	t2	133	5.52	-	1.02	98.12	1.00	9.81	1.46	6.13	1.37	0.00	0.00	0.67	1.24	1.00	1.00		
	t3	200	5.44	-	0.97	146.10	1.00	14.61	1.09	9.13	1.17	0.00	0.00	0.67	0.54	1.00	1.00		
	h2	t4	150	5.56	-	0.92	110.81	1.00	11.08	1.06	6.93	1.10	0.00	0.00	0.67	0.57	1.00	1.00	
		t5	282	5.50	-	0.86	207.52	1.00	20.75	1.13	12.97	1.16	0.00	0.00	0.67	0.80	1.00	1.00	
		t6	400	5.48	-	0.87	293.23	1.00	29.32	1.10	18.33	1.11	0.00	0.00	0.67	0.92	1.00	1.00	
	h3	t7	240	5.59	-	0.86	177.86	1.00	17.79	1.01	11.12	1.19	0.00	0.00	0.67	0.05	1.00	1.00	
		t8	424	5.59	-	0.90	313.58	1.00	31.36	0.94	19.60	1.01	0.00	0.00	0.67	-11.00	1.00	1.00	
		t9	600	5.53	-	0.92	441.97	1.00	44.20	0.98	27.62	1.00	0.00	-	0.67	-	1.00	-	

หมายเหตุ

ตาราง ง-8 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

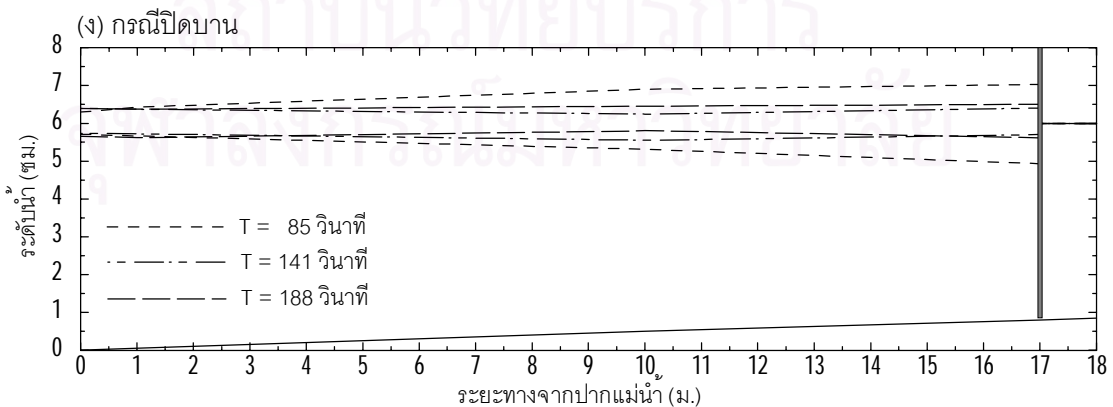
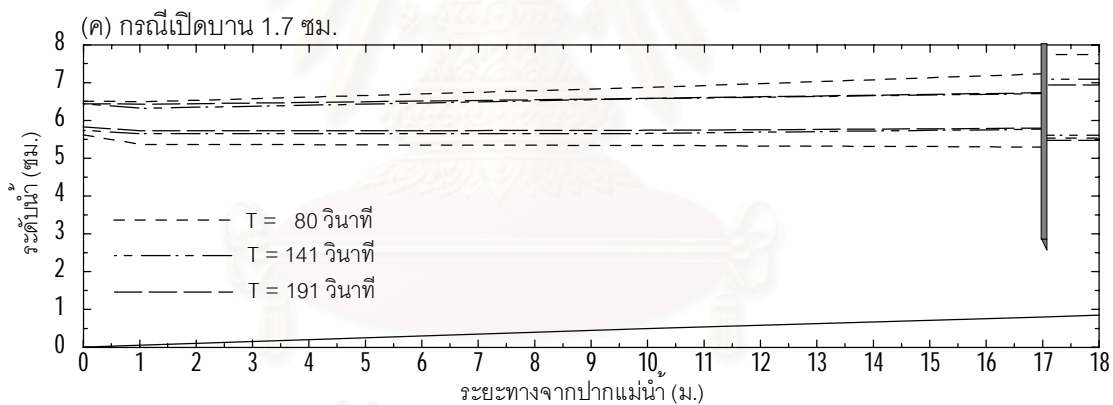
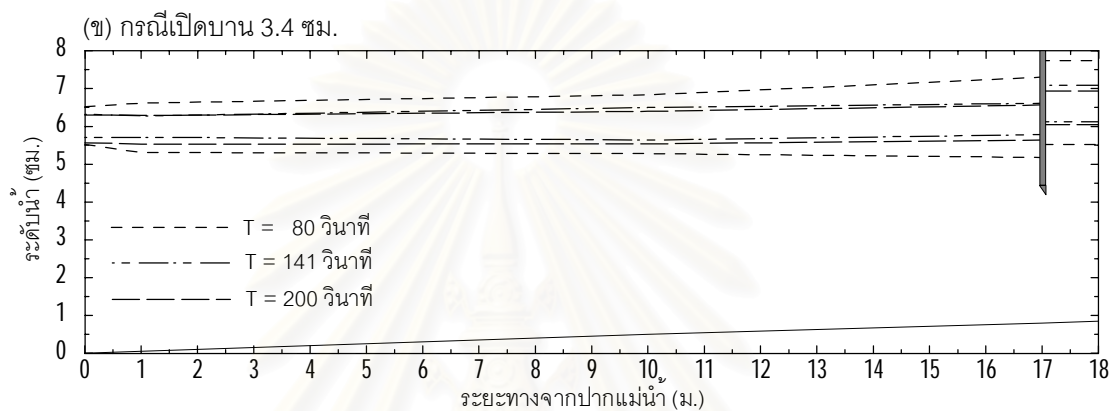
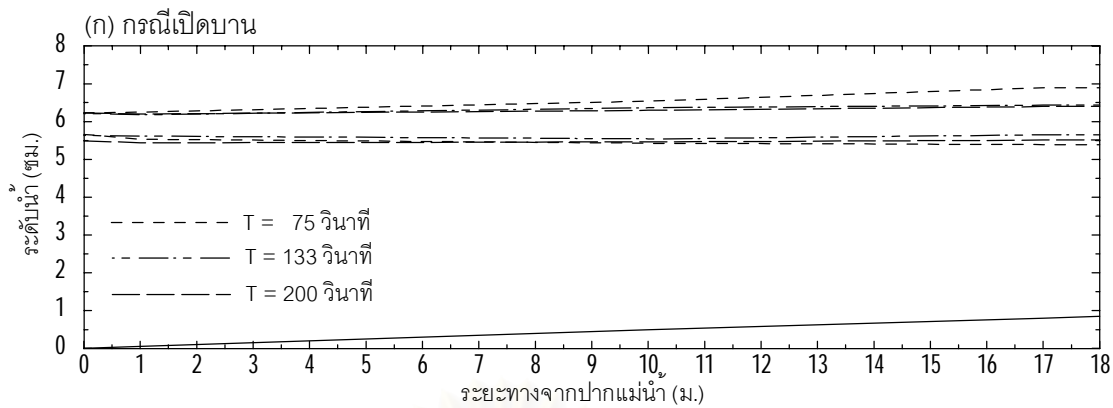
กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ			
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R
n2	g0	t1	75	5.32	-	0.75	54.21	1.00	5.42	1.27	3.39	1.94	0.00	0.00	0.67	0.29	1.00	1.00
		t2	141	5.46	-	0.86	103.34	1.00	10.33	1.38	6.46	1.57	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00
		t3	200	5.39	-	0.76	145.54	1.00	14.55	0.99	9.10	1.27	0.00	0.00	0.67	-0.05	1.00	1.00
		t4	153	5.34	-	0.97	110.77	1.00	11.08	1.37	6.92	1.65	0.00	0.00	0.67	0.58	1.00	1.00
		t5	280	5.42	-	0.92	204.26	1.00	20.43	1.36	12.77	1.46	0.00	0.00	0.67	0.79	1.00	1.00
		t6	400	5.47	-	0.87	293.14	1.00	29.31	1.17	18.32	1.35	0.00	0.00	0.67	0.49	1.00	1.00
		t7	240	5.41	-	0.95	174.89	1.00	17.49	1.39	10.93	1.63	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
		t8	424	5.45	-	1.00	309.72	1.00	30.97	1.16	19.36	1.30	0.00	0.00	0.67	0.53	1.00	1.00
		t9	600	5.48	-	0.99	440.14	1.00	44.01	1.10	27.51	1.22	0.00	0.00	0.67	0.47	1.00	1.00
	g1	t1	75	5.37	-	0.90	54.47	1.00	5.45	0.85	3.40	1.16	0.00	0.00	0.67	-0.95	1.00	1.00
		t2	141	5.37	-	0.98	102.47	1.00	10.25	1.42	6.40	1.39	0.00	0.00	0.67	1.08	1.00	1.00
		t3	200	5.40	-	0.97	145.59	1.00	14.56	1.24	9.10	1.29	0.00	0.00	0.67	0.84	1.00	1.00
		t4	150	5.38	-	1.01	108.97	1.00	10.90	1.14	6.81	1.06	0.00	0.00	0.67	2.25	1.00	1.00
		t5	282	5.40	-	0.99	205.49	1.00	20.55	1.11	12.84	1.10	0.00	0.00	0.67	1.08	1.00	1.00
		t6	400	5.41	-	0.98	291.46	1.00	29.15	1.09	18.22	1.07	0.00	0.00	0.67	1.22	1.00	1.00
		t7	240	5.65	-	0.84	178.73	1.00	17.87	0.86	11.17	0.99	0.00	0.00	0.67	15.00	1.00	1.00
		t8	424	5.42	-	0.82	308.87	1.00	30.89	0.89	19.30	0.87	0.00	0.00	0.67	0.81	1.00	1.00
		t9	600	5.52	-	0.86	441.73	1.00	44.17	0.90	27.61	0.89	0.00	0.00	0.67	0.90	1.00	1.00
	g2	t1	71	5.79	-	0.85	53.25	1.00	5.33	0.76	3.33	1.18	0.00	0.00	0.67	-1.33	1.00	1.00
		t2	141	5.74	-	1.14	105.96	1.00	10.60	1.39	6.62	1.32	0.00	0.00	0.67	1.22	1.00	1.00
		t3	190	5.64	-	1.14	140.93	1.00	14.09	1.17	8.81	1.14	0.00	0.00	0.67	1.22	1.00	1.00
		t4	160	5.78	-	0.96	120.54	1.00	12.05	1.05	7.53	1.04	0.00	0.00	0.67	1.20	1.00	1.00
		t5	282	5.75	-	0.97	212.13	1.00	21.21	1.04	13.26	1.06	0.00	0.00	0.67	0.63	1.00	1.00
		t6	400	5.62	-	0.90	297.17	1.00	29.72	1.00	18.57	0.94	0.00	0.00	0.67	0.00	1.00	1.00
		t7	240	5.83	-	0.96	181.49	1.00	18.15	0.90	11.34	1.07	0.00	0.00	0.67	-1.62	1.00	1.00
		t8	424	5.81	-	0.89	319.67	1.00	31.97	0.88	19.98	0.91	0.00	0.00	0.67	1.41	1.00	1.00
		t9	600	5.68	-	0.91	448.04	1.00	44.80	0.88	28.00	0.87	0.00	0.00	0.67	0.92	1.00	1.00
g3	t1	75	5.53	-	0.89	55.30	1.00	5.53	0.83	3.46	1.19	0.00	0.00	0.67	-0.92	1.00	1.00	
	t2	141	5.49	-	1.07	103.64	1.00	10.36	1.58	6.48	1.36	0.00	0.00	0.67	1.60	1.00	1.00	
	t3	200	5.40	-	0.97	145.66	1.00	14.57	1.27	9.10	1.06	0.00	0.00	0.67	4.50	1.00	1.00	
	t4	160	5.56	-	0.99	118.24	1.00	11.82	1.09	7.39	1.04	0.00	0.00	0.67	2.00	1.00	1.00	
	t5	282	5.51	-	0.99	207.62	1.00	20.76	1.09	12.98	1.02	0.00	0.00	0.67	6.00	1.00	1.00	
	t6	400	5.40	-	1.02	291.07	1.00	29.11	1.09	18.19	0.94	0.00	0.00	0.67	-1.50	1.00	1.00	
	t7	240	5.58	-	0.95	177.61	1.00	17.76	0.61	11.10	1.00	0.00	-	0.67	-	1.00	-	
	t8	424	5.57	-	0.92	313.13	1.00	31.31	0.92	19.57	0.88	0.00	0.00	0.67	0.67	1.00	1.00	
	t9	600	5.51	-	0.87	441.29	1.00	44.13	0.89	27.58	0.86	0.00	0.00	0.67	0.78	1.00	1.00	

หมายเหตุ

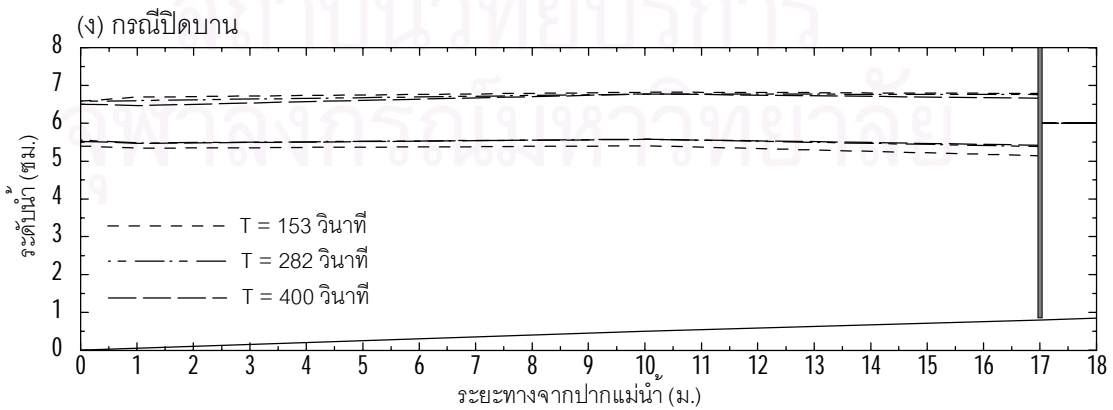
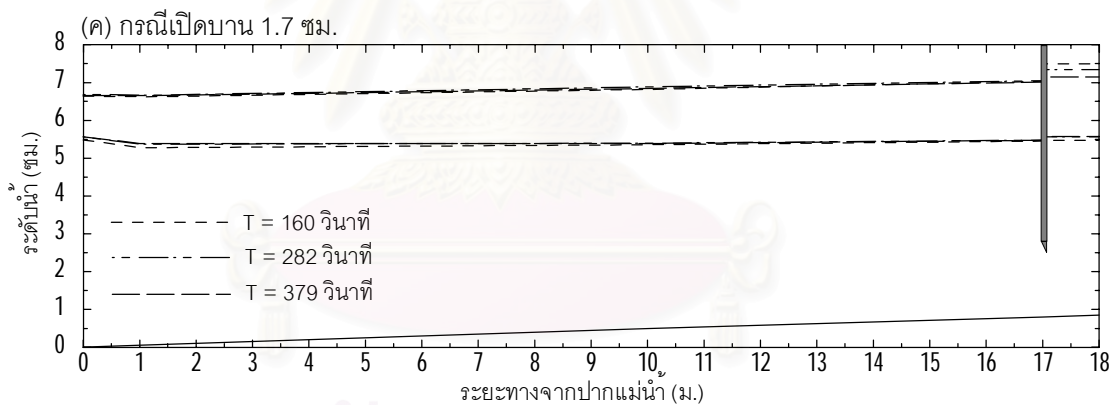
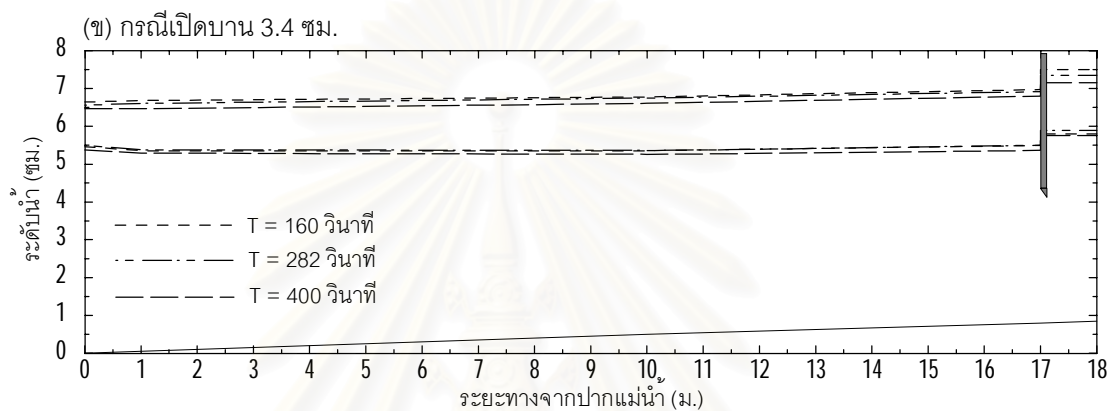
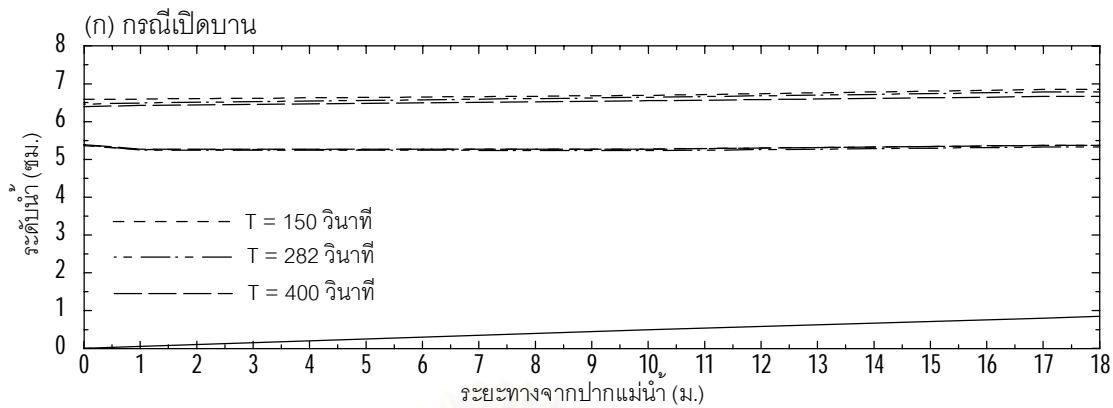
ตาราง ง-9 ความสัมพันธ์ Hr กับ ตำแหน่งปิดกั้นลำน้ำ และความสัมพันธ์ R ตามระยะทาง กรณี อัตราการไหล 1.20 ลิตร/วินาที (q3)

กรณี	คาบคลื่น	ความลึกเฉลี่ย	แอ่งคลื่น		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ		1 ม.จากปากแม่น้ำ		10 ม.จากปากแม่น้ำ		16 ม.จากปากแม่น้ำ				
			T (S)	d _{avg} (cm)	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	L/Lc	Hr	x/Lc	R	x/Lc	R	x/Lc	R	
n3	g0	h1	t1	80	5.53	-	0.78	59.02	1.00	5.90	1.58	3.69	2.02	0.00	0.00	0.67	0.57	1.00	1.00
			t2	141	5.57	-	1.07	104.40	1.00	10.44	1.67	6.52	1.39	0.00	0.00	0.67	1.71	1.00	1.00
			t3	200	5.57	-	0.85	147.85	1.00	14.78	1.12	9.24	1.19	0.00	0.00	0.67	0.64	1.00	1.00
		h2	t4	160	5.56	-	1.03	118.24	1.00	11.82	1.17	7.39	1.23	0.00	0.00	0.67	0.76	1.00	1.00
			t5	282	5.60	-	0.90	209.26	1.00	20.93	1.17	13.08	1.23	0.00	0.00	0.67	0.74	1.00	1.00
			t6	400	5.54	-	0.90	294.88	1.00	29.49	1.16	18.43	1.17	0.00	0.00	0.67	0.95	1.00	1.00
		h3	t7	240	5.60	-	0.93	177.88	1.00	17.79	1.38	11.12	1.61	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00
			t8	424	5.63	-	0.94	314.72	1.00	31.47	1.05	19.67	1.16	0.00	0.00	0.67	0.33	1.00	1.00
			t9	600	5.53	-	0.96	441.79	1.00	44.18	1.02	27.61	1.12	0.00	0.00	0.67	0.21	1.00	1.00
	g1	h1	t1	75	5.59	-	0.84	55.61	1.00	5.56	0.84	3.48	1.30	0.00	0.00	0.67	-0.54	1.00	1.00
			t2	133	5.56	-	0.97	98.51	1.00	9.85	0.81	6.16	1.65	0.00	0.00	0.67	-0.29	1.00	1.00
			t3	200	5.52	-	0.39	147.24	1.00	14.72	0.30	9.20	0.57	0.00	0.00	0.67	1.63	1.00	1.00
		h2	t4	150	5.60	-	0.95	111.18	1.00	11.12	0.89	6.95	1.11	0.00	0.00	0.67	-1.07	1.00	1.00
			t5	282	5.58	-	0.96	208.96	1.00	20.90	0.89	13.06	1.10	0.00	0.00	0.67	-1.15	1.00	1.00
			t6	400	5.51	-	0.91	294.00	1.00	29.40	0.91	18.37	1.20	0.00	0.00	0.67	-0.44	1.00	1.00
		h3	t7	240	5.64	-	0.88	178.57	1.00	17.86	0.87	11.16	1.07	0.00	0.00	0.67	-1.93	1.00	1.00
			t8	424	5.63	-	0.85	314.85	1.00	31.48	0.85	19.68	0.98	0.00	0.00	0.67	9.33	1.00	1.00
			t9	600	5.58	-	0.89	443.89	1.00	44.39	0.87	27.74	0.99	0.00	0.00	0.67	25.00	1.00	1.00
	g2	h1	t1	75	5.66	-	0.74	55.95	1.00	5.60	0.41	3.50	1.02	0.00	0.00	0.67	-27.67	1.00	1.00
			t2	141	5.64	-	0.98	105.10	1.00	10.51	0.75	6.57	1.36	0.00	0.00	0.67	-0.68	1.00	1.00
			t3	190	5.65	-	1.02	141.04	1.00	14.10	0.66	8.82	1.18	0.00	0.00	0.67	-1.83	1.00	1.00
		h2	t4	160	5.67	-	0.93	119.38	1.00	11.94	0.83	7.46	0.98	0.00	0.00	0.67	8.00	1.00	1.00
			t5	282	5.66	-	0.88	210.50	1.00	21.05	0.81	13.16	0.99	0.00	0.00	0.67	26.00	1.00	1.00
			t6	379	5.66	-	0.88	282.43	1.00	28.24	0.64	17.65	0.97	0.00	0.00	0.67	12.25	1.00	1.00
		h3	t7	240	5.69	-	0.87	179.37	1.00	17.94	0.82	11.21	0.99	0.00	0.00	0.67	18.00	1.00	1.00
			t8	424	5.70	-	0.87	316.87	1.00	31.69	0.83	19.80	0.95	0.00	0.00	0.67	3.20	1.00	1.00
			t9	600	5.71	-	0.89	449.28	1.00	44.93	0.84	28.08	0.96	0.00	0.00	0.67	3.50	1.00	1.00
g3	h1	t1	75	5.62	-	0.77	55.74	1.00	5.57	0.68	3.48	0.90	0.00	0.00	0.67	3.38	1.00	1.00	
		t2	141	5.63	-	0.98	104.95	1.00	10.50	1.26	6.56	1.05	0.00	0.00	0.67	5.33	1.00	1.00	
		t3	200	5.61	-	0.99	148.35	1.00	14.84	1.03	9.27	0.96	0.00	0.00	0.67	-0.67	1.00	1.00	
	h2	t4	160	5.63	-	0.93	118.96	1.00	11.90	0.96	7.44	0.87	0.00	0.00	0.67	0.28	1.00	1.00	
		t5	282	5.64	-	0.90	210.06	1.00	21.01	0.91	13.13	0.85	0.00	0.00	0.67	0.62	1.00	1.00	
		t6	400	5.59	-	0.93	296.34	1.00	29.63	0.87	18.52	0.75	0.00	0.00	0.67	0.51	1.00	1.00	
	h3	t7	240	5.66	-	0.96	178.90	1.00	17.89	0.86	11.18	0.88	0.00	0.00	0.67	1.16	1.00	1.00	
		t8	424	5.69	-	0.95	316.40	1.00	31.64	0.84	19.77	0.83	0.00	0.00	0.67	0.94	1.00	1.00	
		t9	600	5.65	-	0.96	446.71	1.00	44.67	0.85	27.92	0.82	0.00	0.00	0.67	0.82	1.00	1.00	

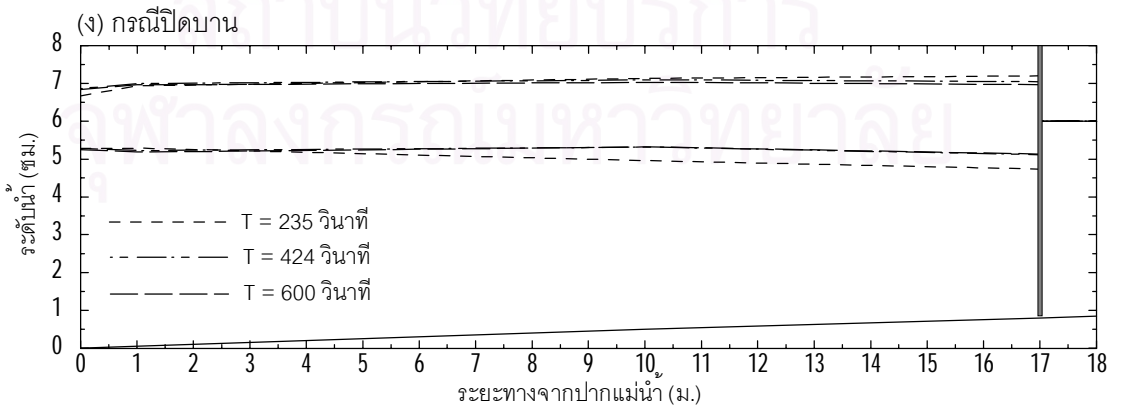
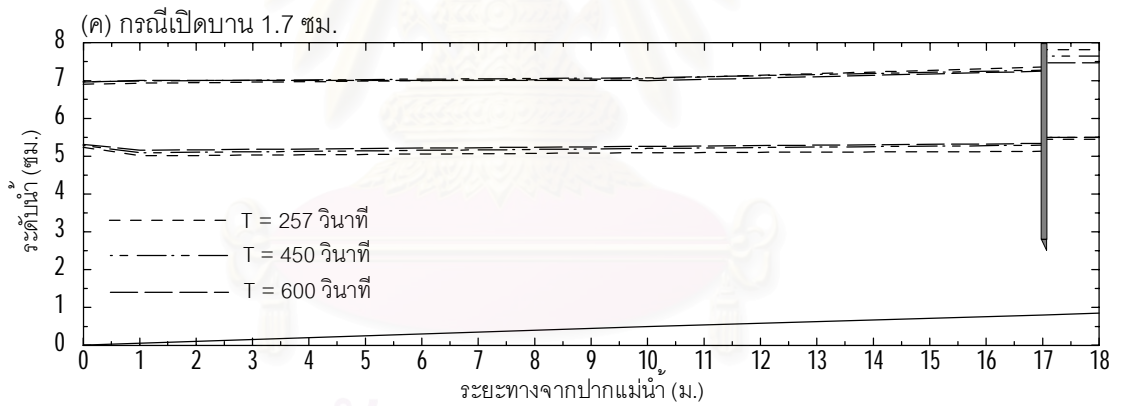
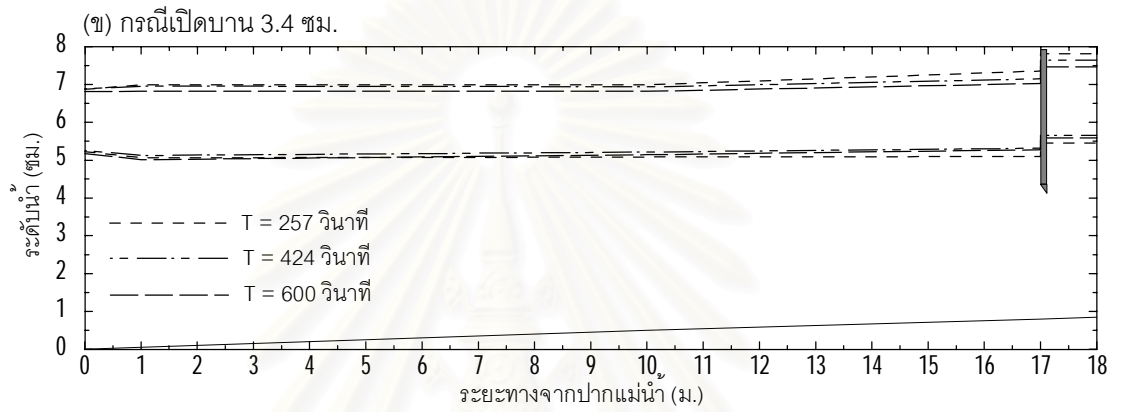
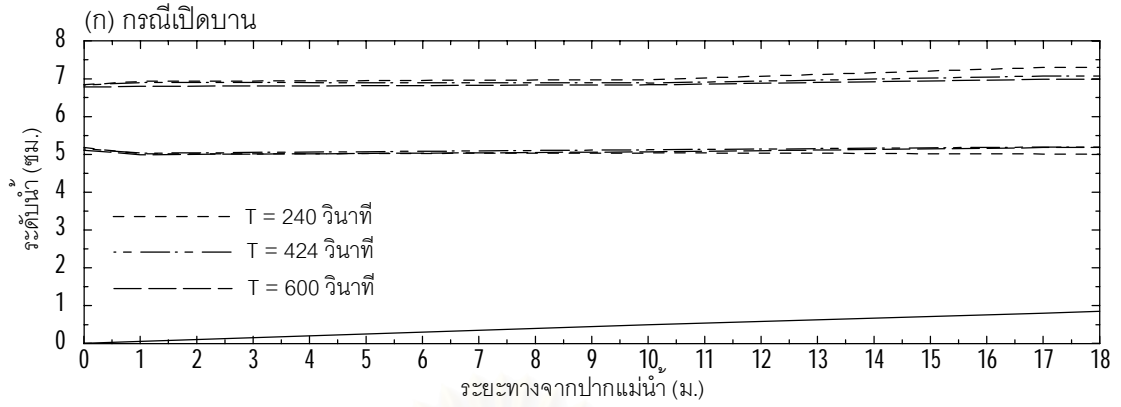
หมายเหตุ



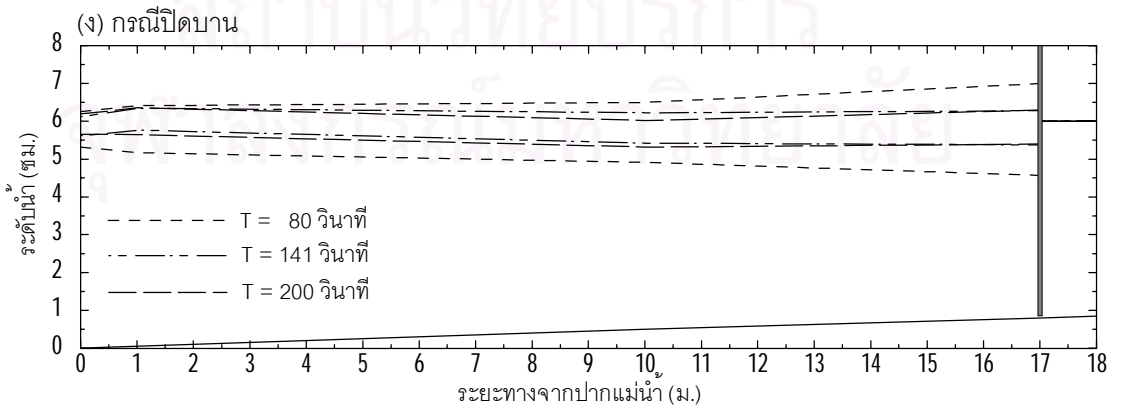
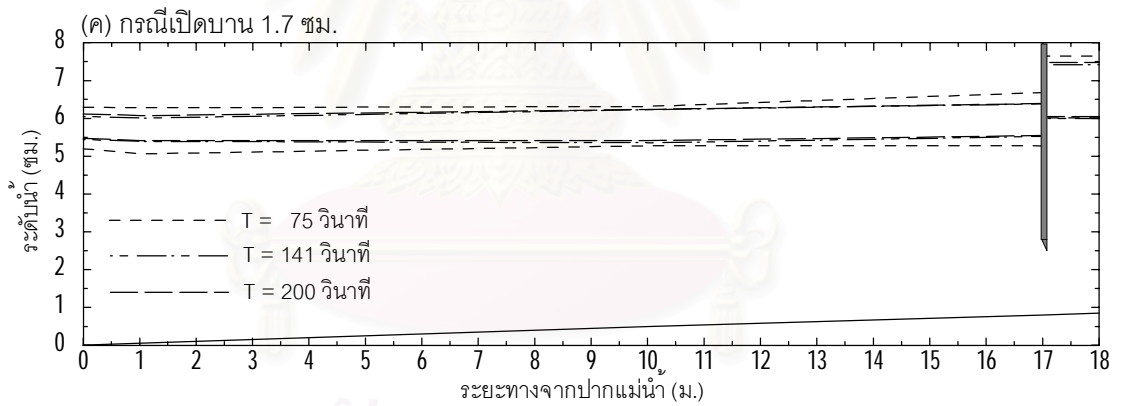
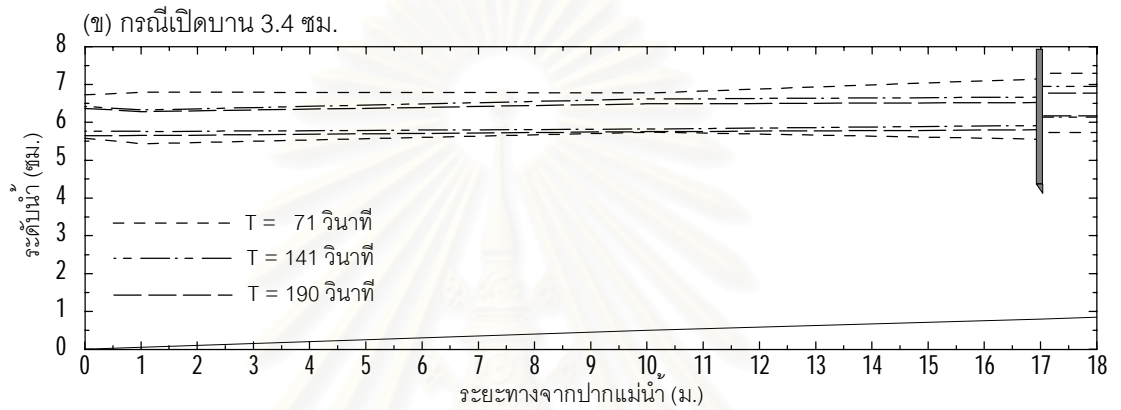
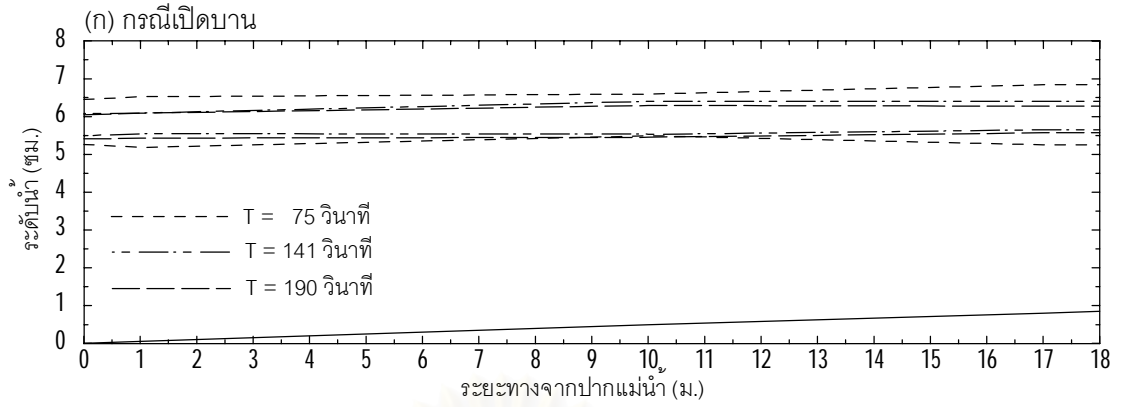
รูป ง-1 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.2$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.



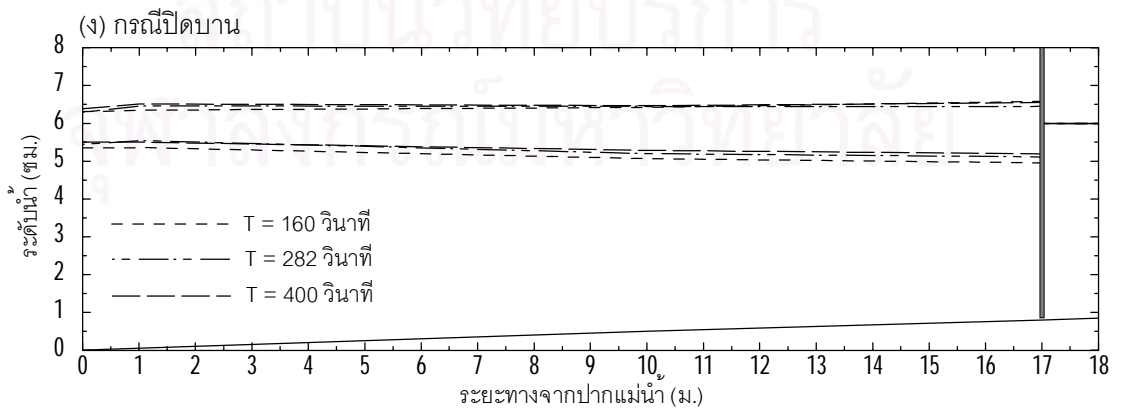
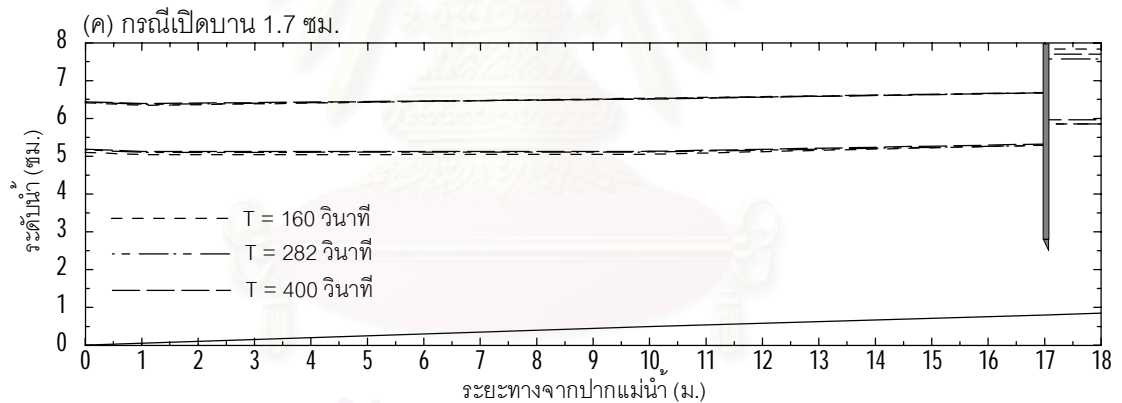
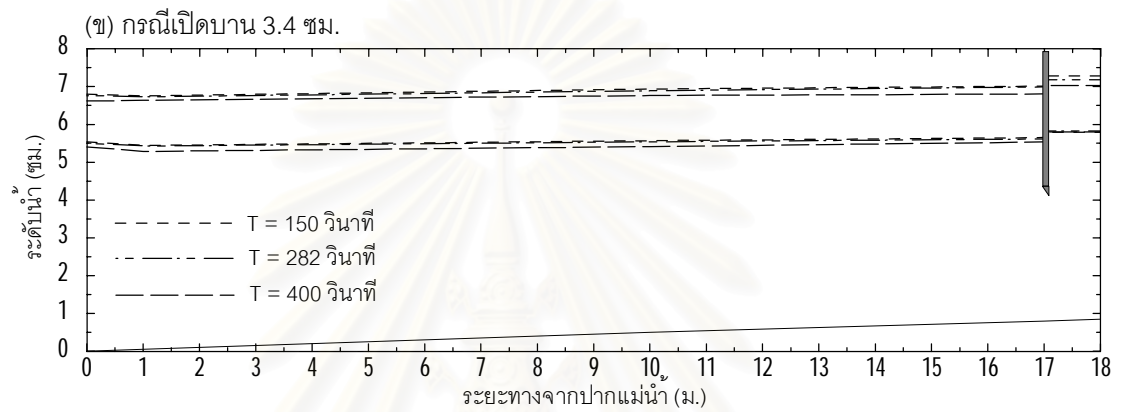
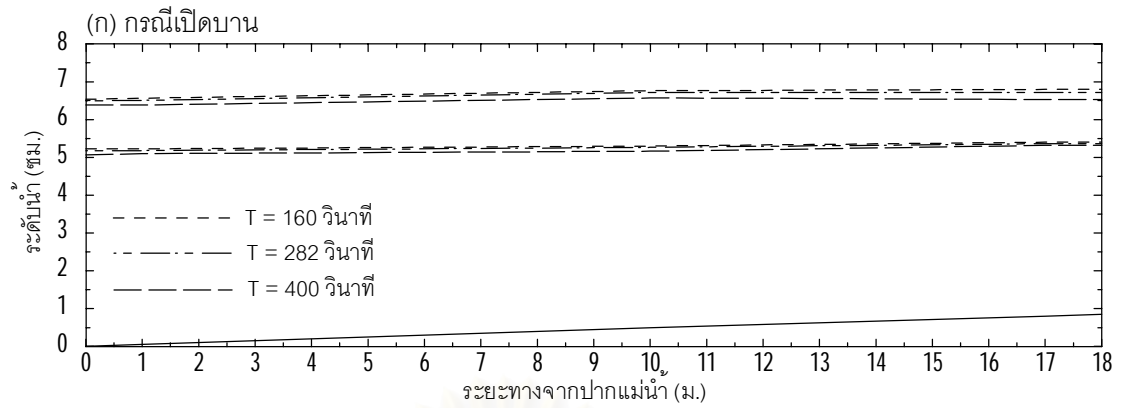
รูป ง-2 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.2$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



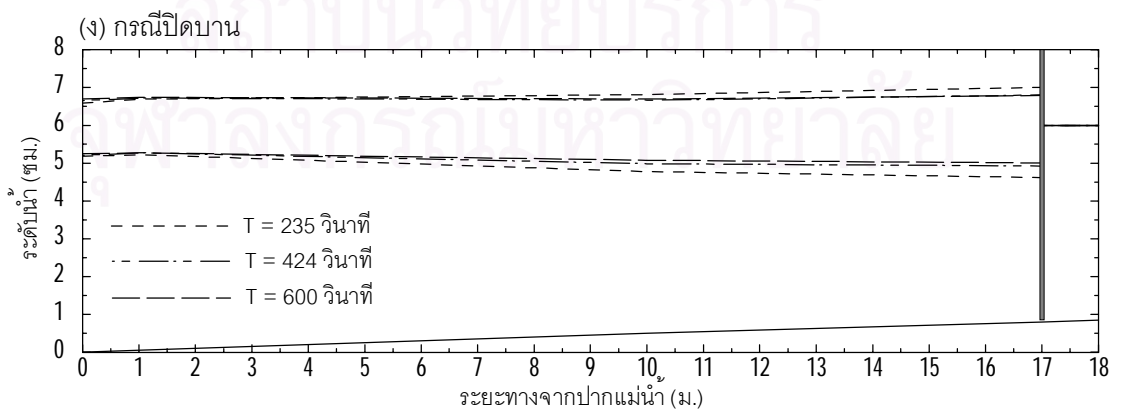
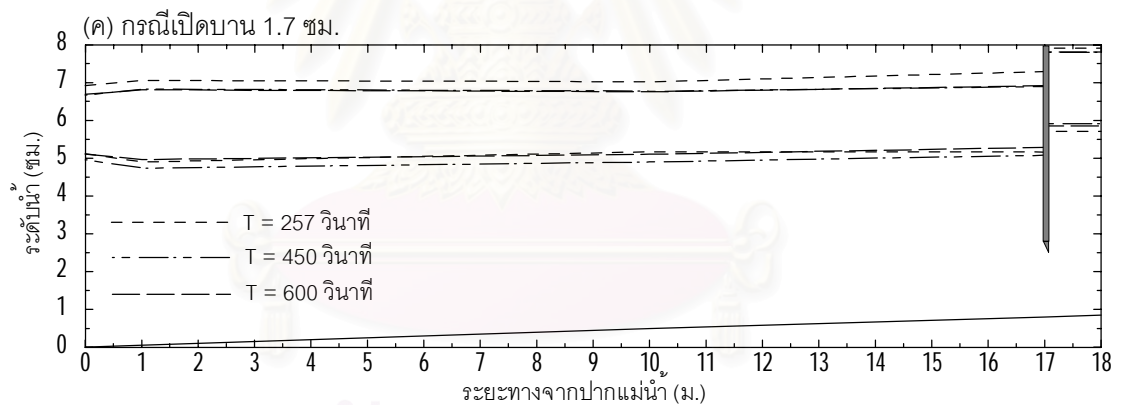
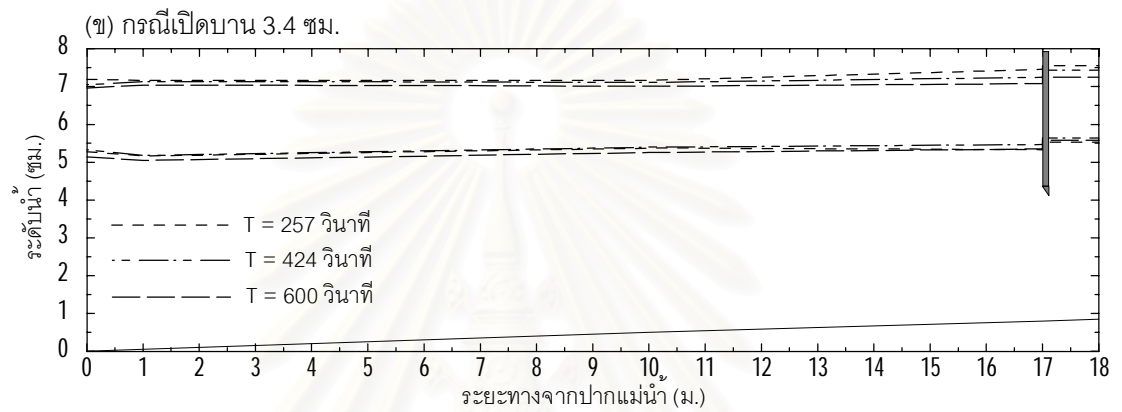
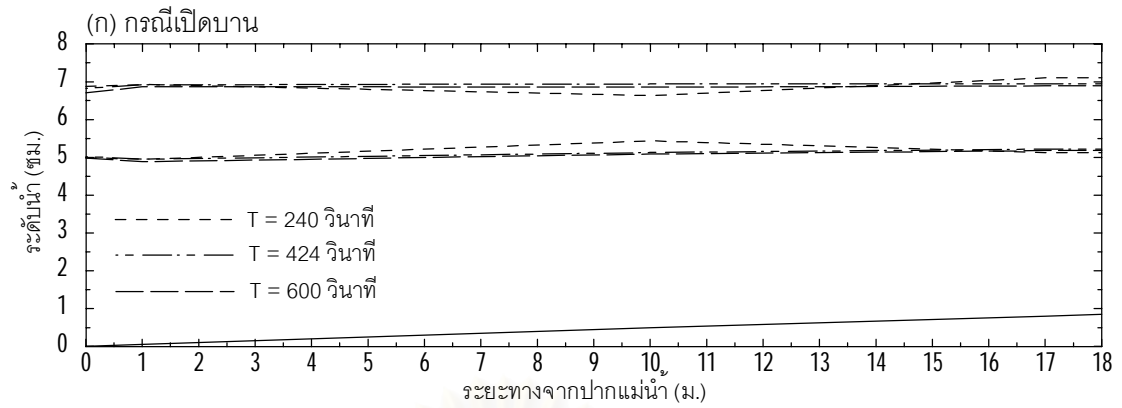
รูป ง-3 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.2$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



รูป ง-4 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.20$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.

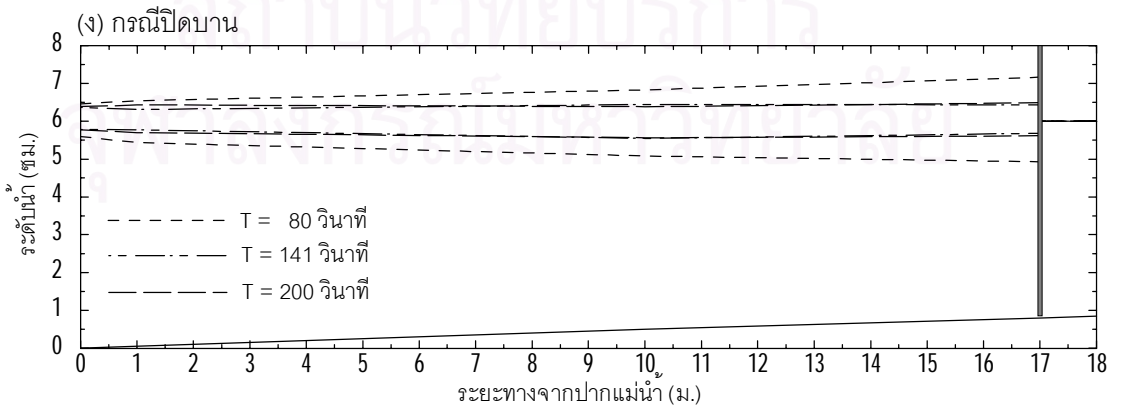
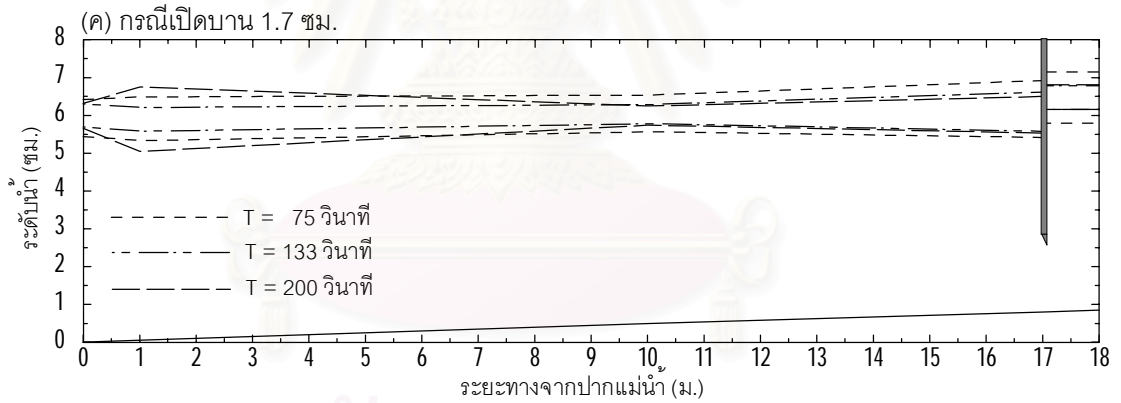
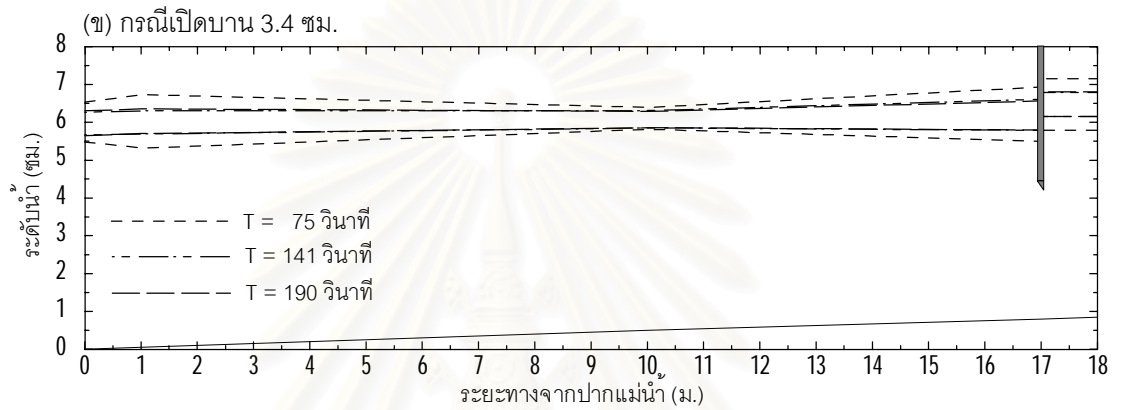
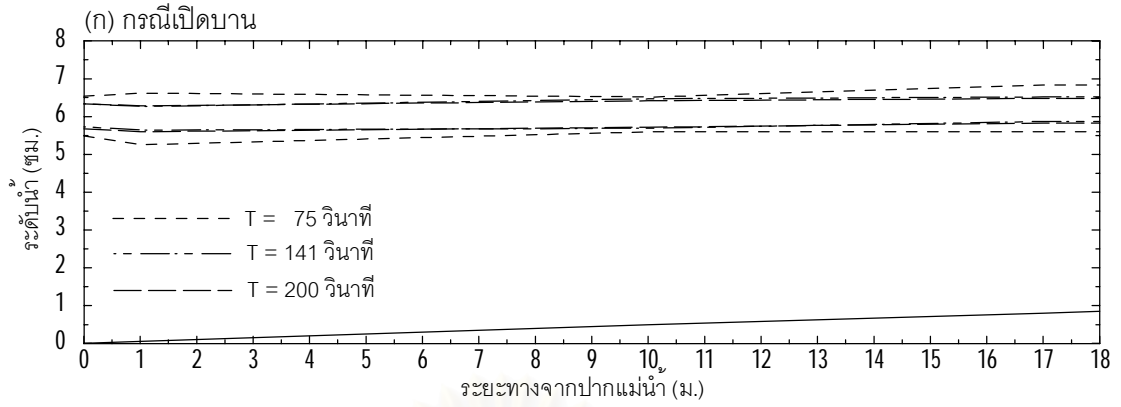


รูป ง-5 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.20$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.

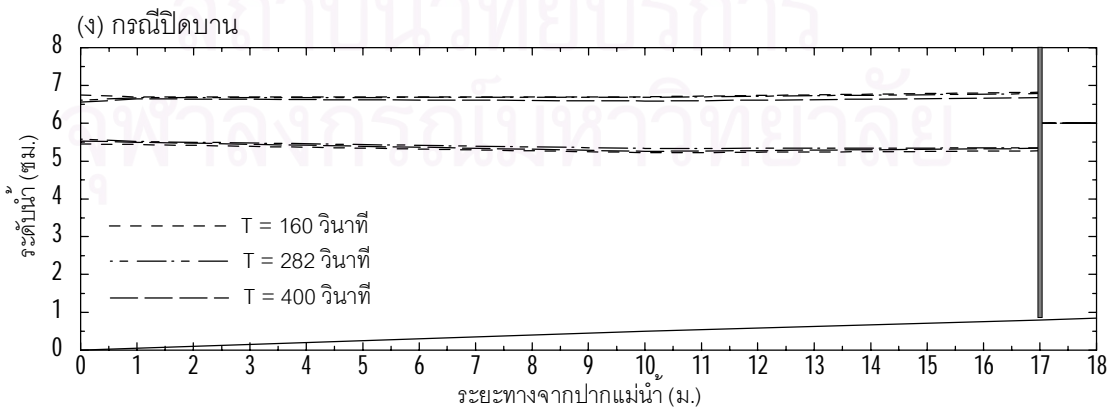
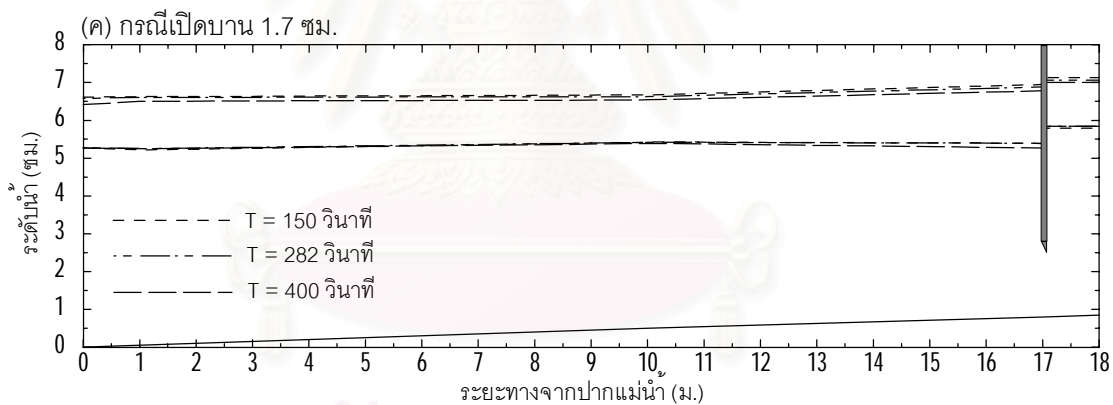
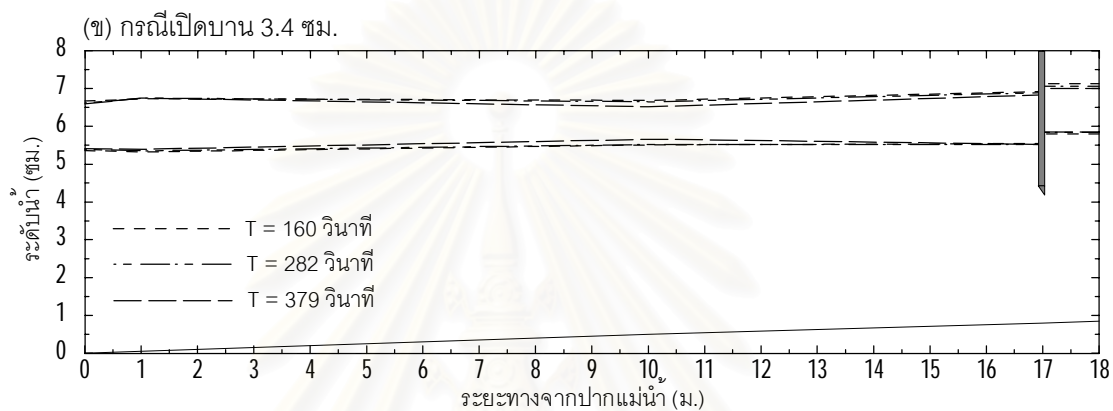
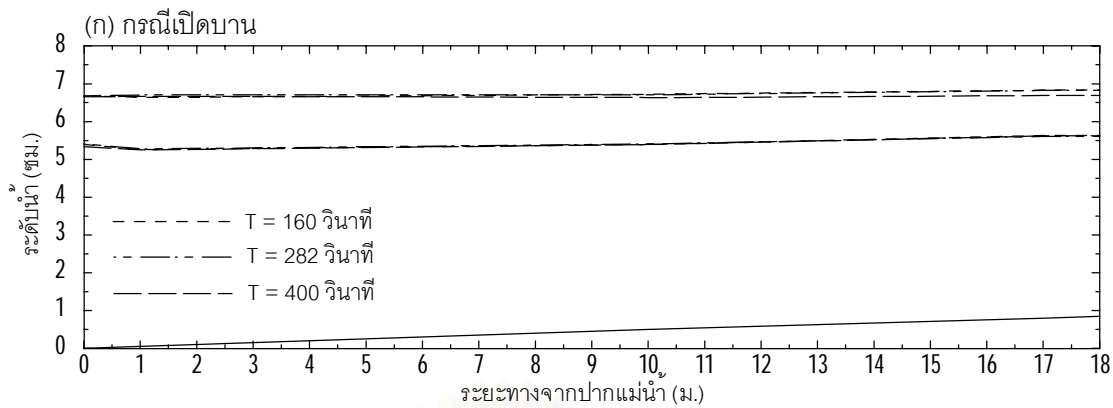


รูป ง-6 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.2$ ลิตร/วินาที

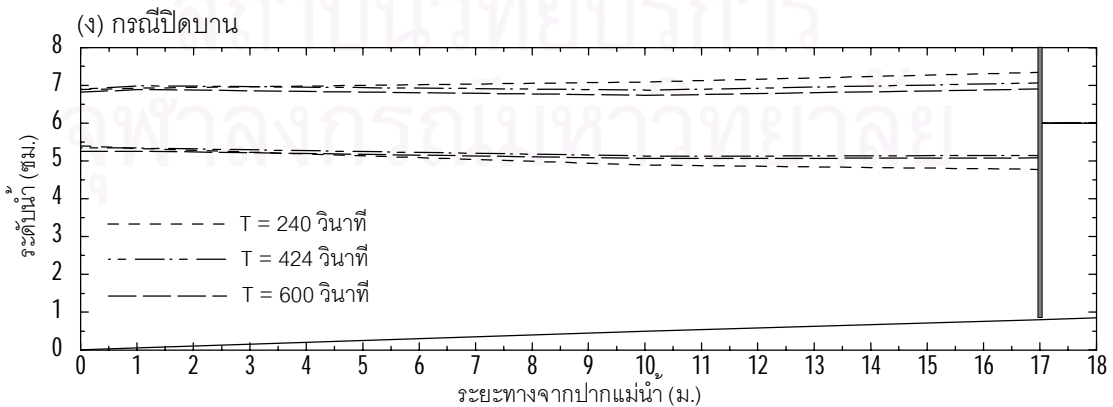
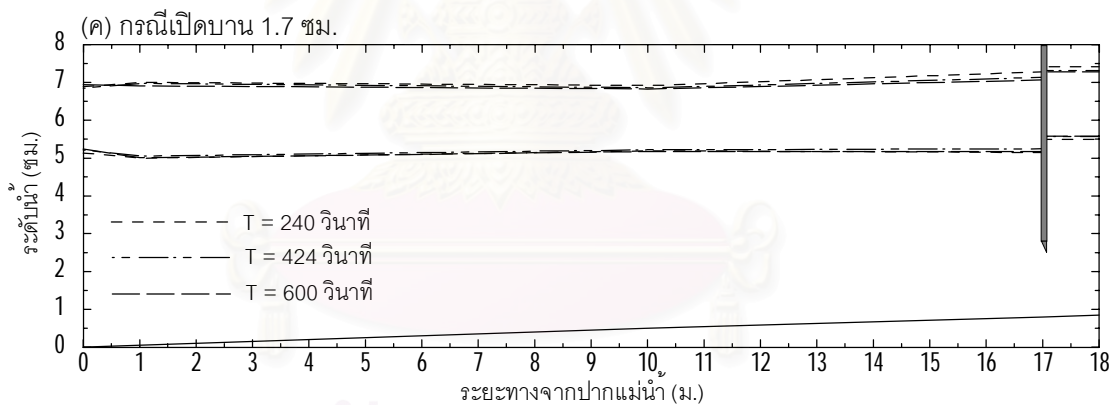
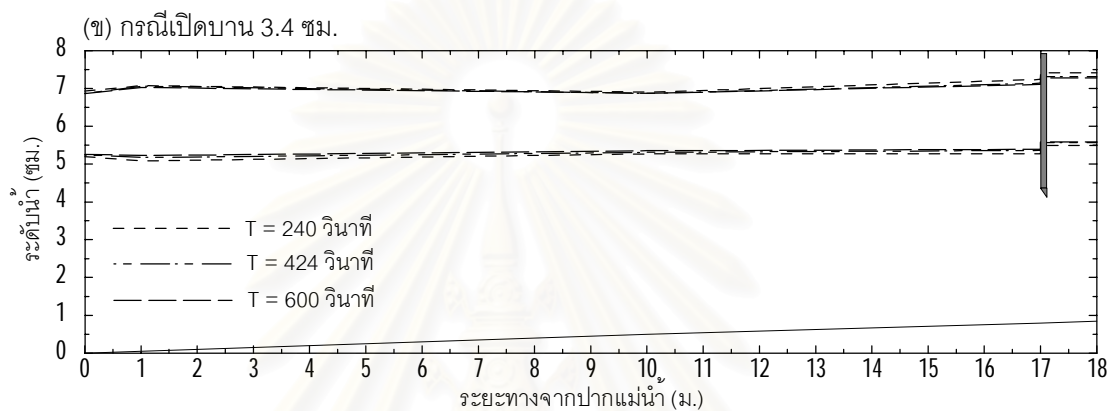
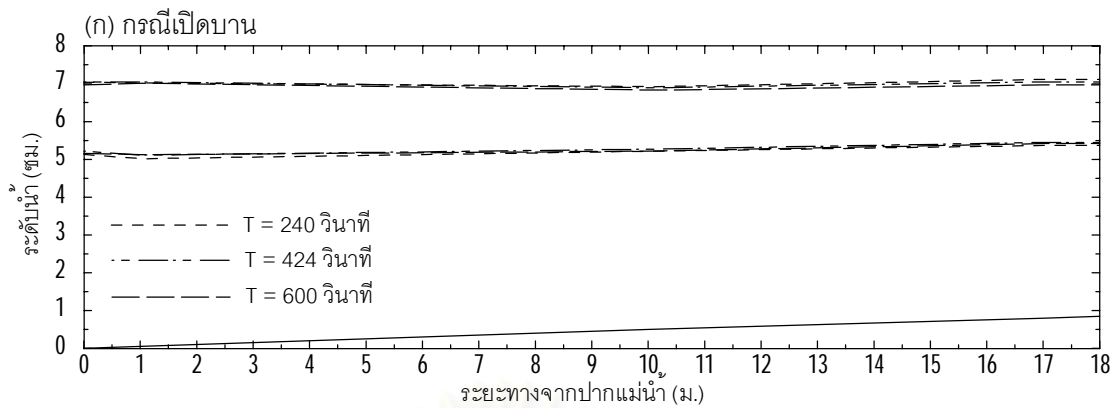
$n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



รูป ง-7 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.2$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม.



รูป ง-8 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.2$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม.



รูป ง-9 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากการทดลอง กรณี $Q = 1.2$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม.



ภาคผนวก จ
แบบจำลอง ISIS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

แบบจำลอง ISIS

แบบจำลอง ISIS เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ (mathematical model) ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมทางชลศาสตร์ ได้แก่ อัตราการไหล คุณภาพน้ำ และการพัดพาตะกอน ทั้งในลำน้ำ คลอง และปากแม่น้ำ โดยมีระบบการคำนวณแบบ 1 มิติ โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นโดย Halcrow & Partners Ltd. และ HR Wallingford Ltd. ในที่นี้จะกล่าวถึง การทำงานและการใช้งานแบบจำลอง ISIS เบื้องต้น แบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษานี้ได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งสามารถใช้จำลองสภาพในทางน้ำได้มากที่สุด 200 สถานี

จ.1 ความสามารถในการจำลองของแบบจำลอง ISIS

ความสามารถในการจำลองของแบบจำลอง ISIS ในปัจจุบันสามารถจำลองสภาพทางชลศาสตร์แบ่งออกได้เป็น 8 โมดูล ได้แก่

- 1 ISIS Flow เป็นแบบจำลองชลศาสตร์การไหลแบบคงที่และไม่คงที่
- 2 ISIS Steady เป็นแบบจำลองชลศาสตร์การไหลแบบคงที่
- 3 ISIS Routing เป็นแบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำท่วม
- 4 ISIS Quality เป็นแบบจำลองคุณภาพน้ำ
- 5 ISIS Hydrology เป็นแบบจำลองโมดูลทางอุทกวิทยา
- 6 ISIS Sediment เป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของตะกอนท้องน้ำ
- 7 ISIS Control เป็นแบบจำลองระบบการควบคุมซับซ้อน
- 8 ISIS WMS การทำแผนที่น้ำท่วม

การสร้าง การใช้งาน และการประมวลผลแสดงในรูปของตาราง ลายเส้นและภาพเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงตามเวลา โครงสร้างการนำข้อมูลเข้าและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ISIS ดังรูป จ-1

จ.2 โมดูลในแบบจำลอง ISIS ที่ใช้ในการศึกษานี้

โมดูลของแบบจำลอง ISIS ที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ โมดูล ISIS Flow ซึ่งเป็นแบบจำลองชลศาสตร์จำลองการไหลทั้งแบบคงที่และไม่คงที่ สามารถใช้ได้กับทางน้ำเปิดที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายและเป็นพื้นที่น้ำท่วม

๑.2.1 หลักการของแบบจำลอง ISIS

หลักการของแบบจำลอง ISIS ซึ่งมีสมการที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสมการ empirical และ ทฤษฎีแบบไม่เชิงเส้น ลักษณะการคำนวณในแบบจำลองใช้วิธี Preissmann four-point Implicit finite difference ในสมการการไหลในทางน้ำเปิดและใช้การแก้สมการแบบเมตริกซ์ การไหลแบบอิสระในแบบจำลองแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1. การไหลแบบไม่คงที่ ใช้สมการของ Saint Venant
2. การไหลแบบคงที่ ใช้ 2 วิธีการคำนวณ คือ Direct Method และ Pseudo Time-stepping Method

สำหรับวิธี Pseudo Time-stepping Method ต้องใส่ค่าเริ่มต้นของการไหลและระดับน้ำที่แต่ละตำแหน่งในแบบจำลอง อาจใช้ค่าเริ่มต้นจากการไหลแบบคงที่หรือกำหนดเงื่อนไขขอบเขตคงที่ตลอดเวลา โดยมีช่วงเวลาเริ่มต้นก่อนประเมินผลน้อยที่สุด (อาจต่ำกว่า 10 วินาที)

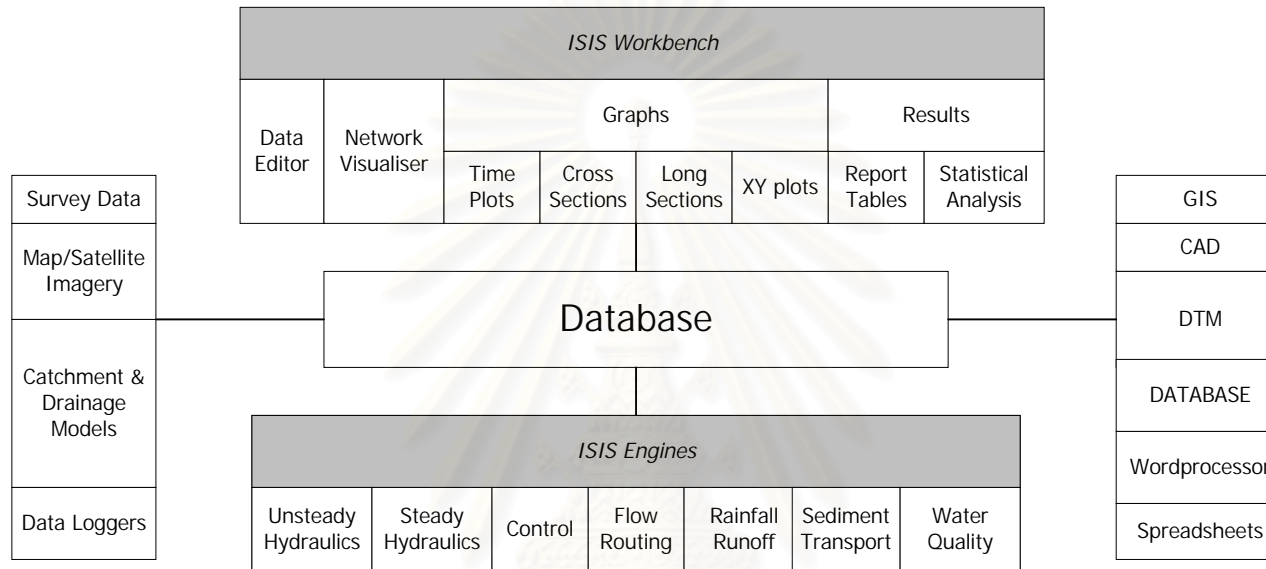
๑.2.2 การคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำท่วม

การคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำท่วมในแบบจำลอง ISIS Flow สามารถแบ่งออกเป็นโมดูลย่อยๆ มีการแบ่งโครงข่ายทางน้ำด้วยองค์ประกอบทางชลศาสตร์ออกเป็นส่วนต่างๆ รวมทั้งพื้นที่น้ำท่วม การคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำท่วมใช้วิธี Muskingum และ Muskingum-Cunge ซึ่งสามารถใส่โครงสร้างทางชลศาสตร์ในโครงข่ายทางน้ำได้ โครงสร้างดังกล่าว ได้แก่ ประตูระบายน้ำ ฝาย เขตการสูญเสียผ่านสะพาน ท่อปิดและท่อลอด สามารถกำหนดหน้าตัดอาคารที่มีรูปร่างตามมาตรฐาน รวมไปถึงอ่างเก็บน้ำและทางแยกต่างๆ เงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง ISIS Flow สามารถกำหนดเป็นความสัมพันธ์อัตราการไหล-เวลา ระดับน้ำ-เวลา ระดับน้ำ-อัตราการไหล (rating curve) น้ำขึ้นน้ำลงและขอบเขตทางอุทกวิทยา

๑.3 ขนาดและตำแหน่งของหน้าตัด

ขนาดและตำแหน่งของหน้าตัดของทางน้ำมีความสำคัญมากต่อความถูกต้องในการประมวลผลสำหรับสมการ Saint Venant ดังนั้นในการจำลองต้องพิจารณาพฤติกรรมการไหลในธรรมชาติก่อนแล้วออกแบบการจำลองให้เหมาะสม เช่น ในกรณีการไหลที่มีค่า Froude Number มาก และการไหลมีความลึกน้อย ต้องใช้ระยะทางของทางน้ำมากในการจำลอง

การนำพารามิเตอร์ต่างๆ ของทางน้ำมาคำนวณระดับน้ำและอัตราการไหลในทางน้ำเปิด โดยแบ่งการคำนวณในแต่ละหน้าตัดห่างกันเป็นช่วง (distance step, Δx) แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับ



รูป จ-1 โครงสร้างการนำข้อมูลเข้าและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ISIS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

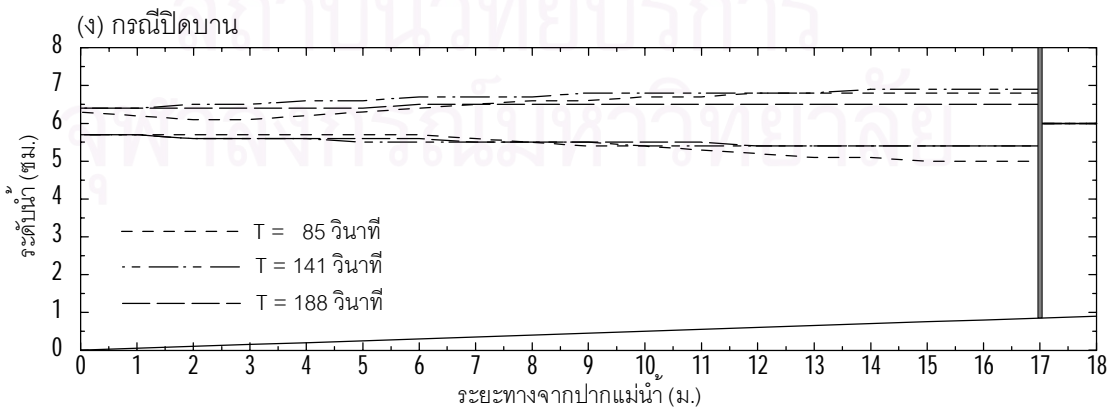
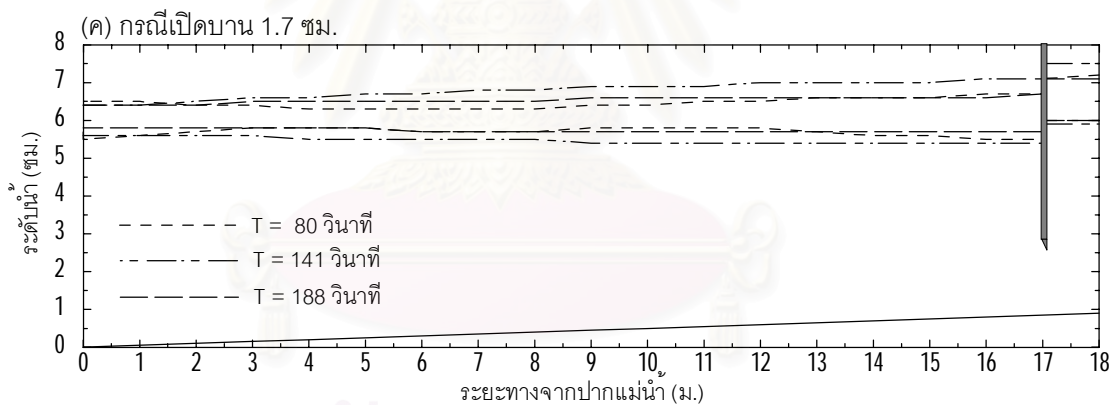
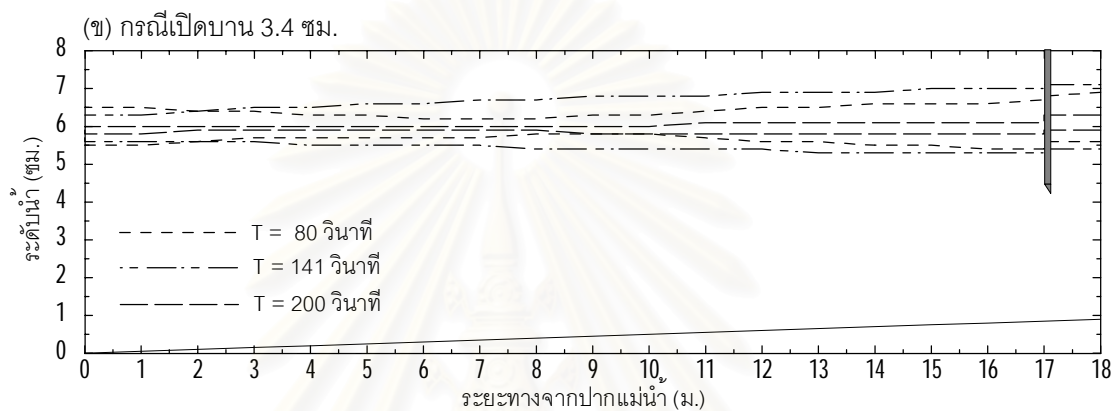
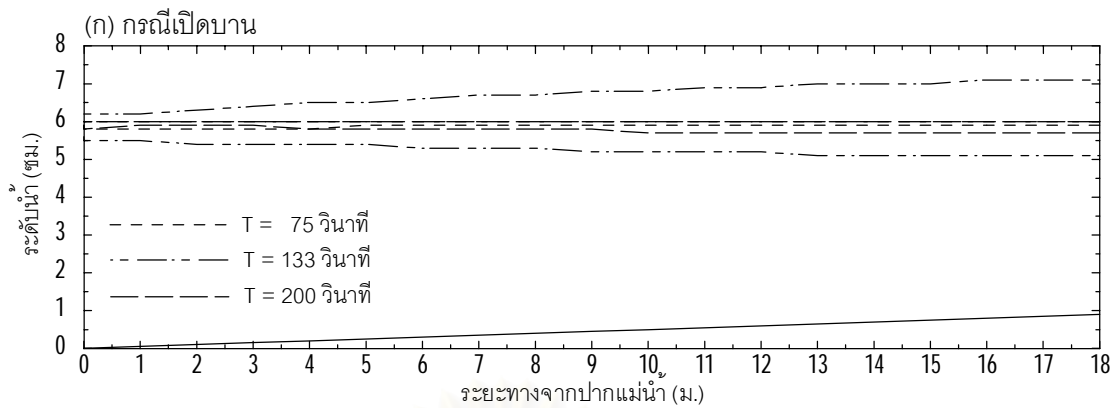
๑.7 การทดลองจำลองสภาพการไหลโดยใช้โปรแกรม ISIS

ในการศึกษานี้ได้ทดลองใช้โปรแกรม ISIS เพื่อจำลองสภาพการไหลตามลักษณะของแบบจำลองกายภาพ โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมพอสังเขปในภาคผนวก ๑ สำหรับกรณีการศึกษาที่นำมาใช้ในการจำลองเป็นกรณีอัตราการไหล 1 ลิตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดที่โปรแกรมสามารถรับข้อมูลได้ และมีค่าใกล้เคียงกับกรณีการศึกษาในแบบจำลองกายภาพที่อัตราการไหล 1.2 ลิตร/วินาที แต่สามารถกำหนดลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ให้เหมือนกับการทดลองได้ดังกล่าวแล้วในบทที่ 4 การศึกษาครั้งนี้จึงจำลองสภาพการไหลที่อัตราการไหล 1 ลิตร/วินาที เพื่อศึกษาผลจากแบบจำลอง ดังแสดงในรูป ๑-2 ถึง ๑-10

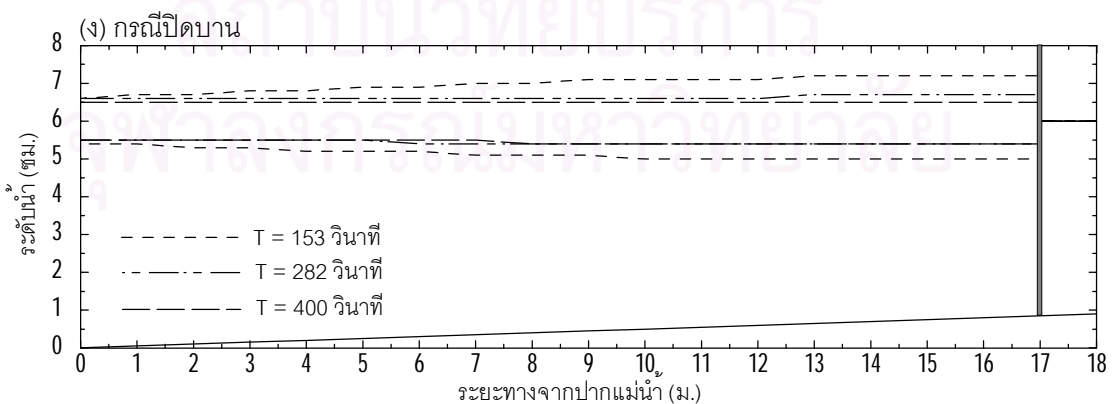
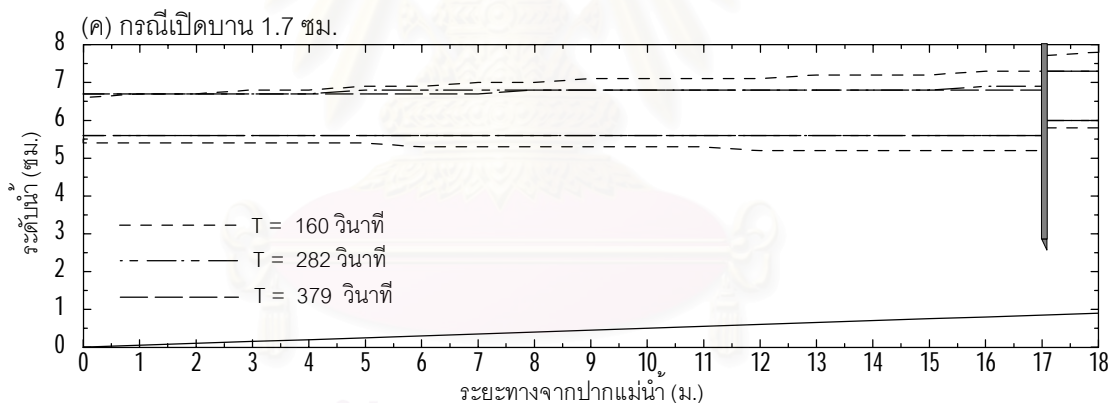
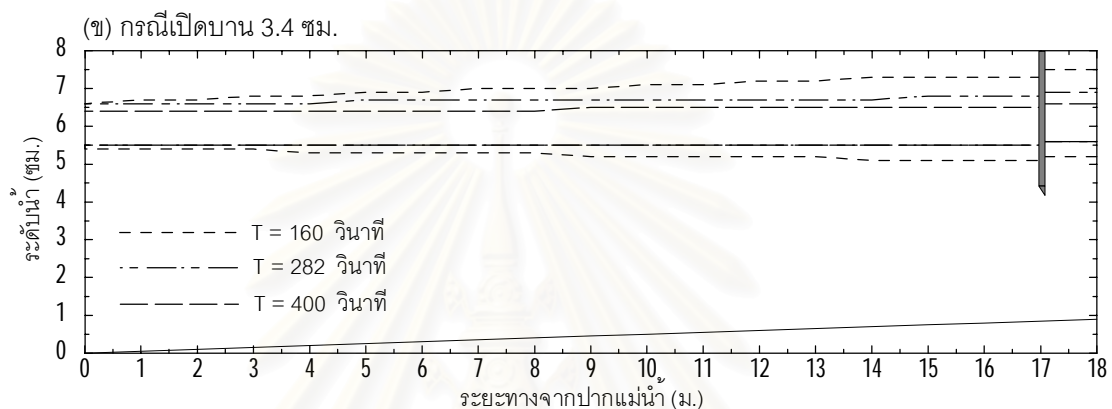
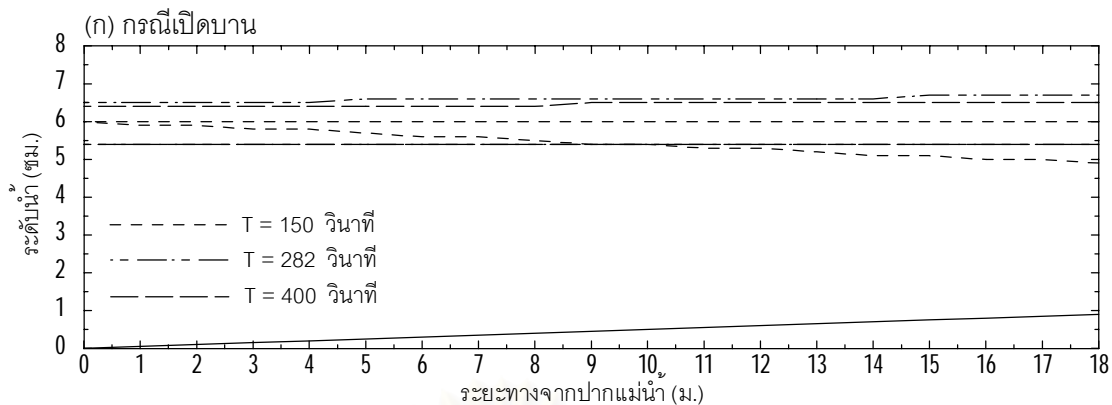
ผลที่ได้จากโปรแกรม ISIS ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำแบบฉับพลันที่ปากแม่น้ำ เมื่อกำหนดคาบคลื่นเดียวกันกับในแบบจำลองชลศาสตร์ จากการสังเกตระดับน้ำในแอ่งคลื่นกับปากแม่น้ำพบว่าคลื่นที่เคลื่อนตัวเข้ามาในปากแม่น้ำมีความไม่เป็นระเบียบ และมีระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดในบางกรณีมีค่าใกล้เคียงกันมากจนเกือบเป็นเส้นเดียวกันตลอดระยะทางของลำน้ำ ดังในรูป ๑-4 ซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้ จากการตรวจสอบการป้อนค่าข้อมูลที่สงสัยว่าอาจผิดพลาดได้ ไม่พบความผิดพลาดจากการป้อนค่าข้อมูล และจะเห็นว่ากรณีที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีคาบคลื่นเท่ากับ 600 วินาที ทุกกรณีของการศึกษา สำหรับในกรณีการศึกษาอื่นจากโปรแกรม ISIS พบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่คาบคลื่นต่างๆ กันนั้นไม่มีความคงเส้นคงวาของระดับน้ำตามระยะทางในลำน้ำ ซึ่งต่างจากการทดลองในกรณีที่มีคาบคลื่นมากกว่า 75 วินาที ระดับน้ำค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดความยาวแม่น้ำ

จากการประมวลผลการจำลองที่เกิดขึ้นโดยการใช้โปรแกรม ISIS จำลองสภาพจากแบบจำลองกายภาพ พบว่า มีหลายกรณีที่โปรแกรม ISIS ไม่สามารถจำลองให้เหมือนกับแบบจำลองทางกายภาพได้ เช่นกรณีคาบคลื่น 600 วินาที จะทำให้ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ผลที่ได้จากการทดลองไม่มีกรณีใดเลยที่มีพฤติกรรมเช่นนี้ และการจำลองด้วยโปรแกรม ISIS จะไม่มีผลของการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าไปในแม่น้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างฉับพลัน เช่นในการทดลองกรณีคาบคลื่น 75 วินาที ความสูงคลื่นมีขนาดเพิ่มเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในปากแม่น้ำ

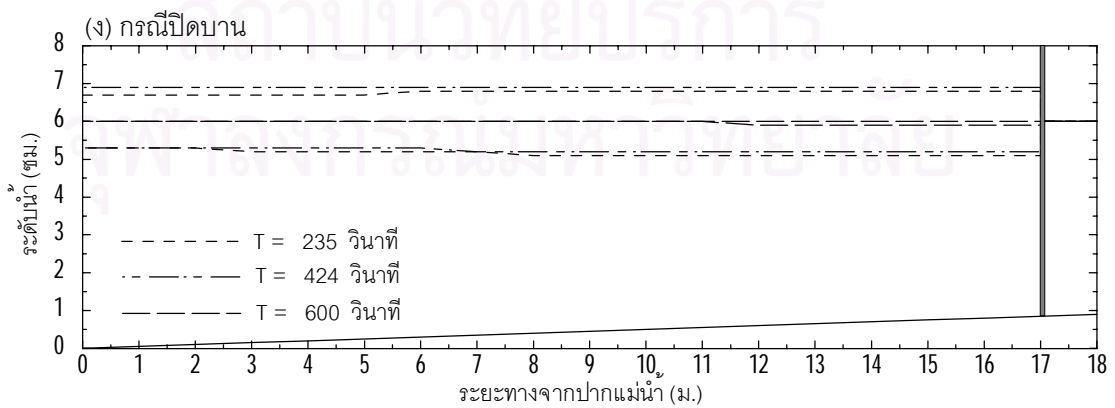
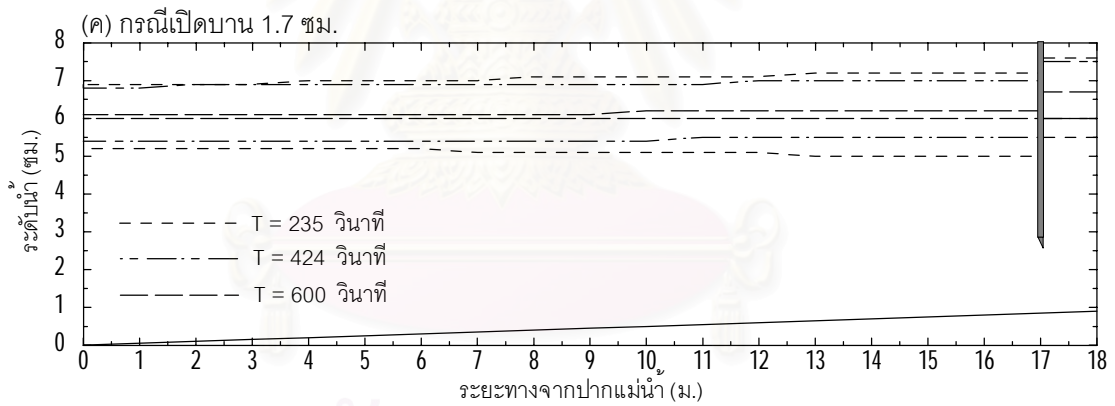
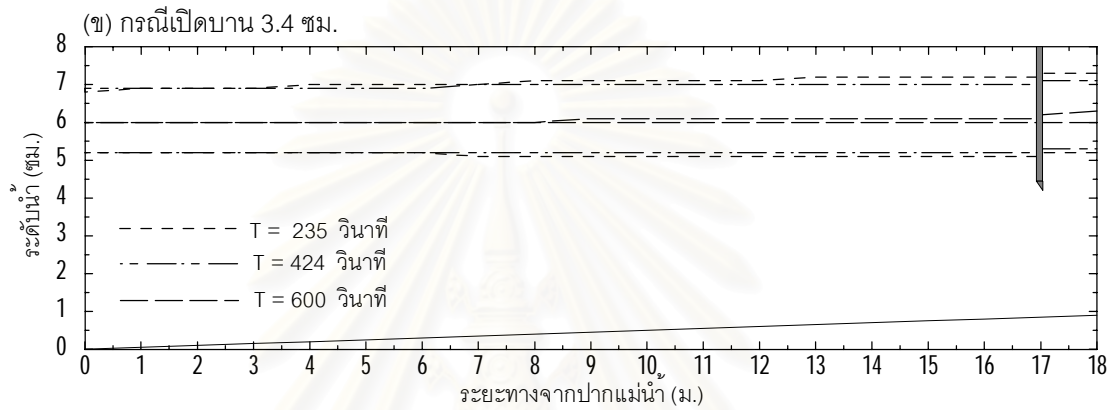
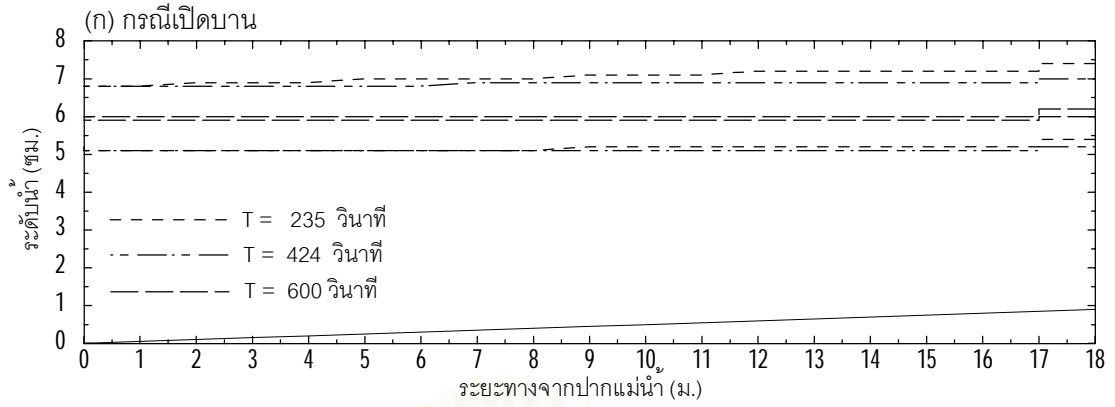
จากผลการจำลองนี้อาจสรุปได้ว่า การใช้โปรแกรม ISIS จำลองการไหลในแบบจำลองกายภาพเพื่อเปรียบเทียบผลของแบบจำลองมีความไม่เหมาะสม เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรมที่ออกแบบให้ใช้กับงานขนาดใหญ่และมาตราส่วนจริง ดังนั้นการจำลองจึงถูกจำกัดในการรับข้อมูลที่มีจำนวนน้อยๆ อาจทำให้เกิดการผิดพลาดได้ เช่นการปิดเศษเลขทศนิยม ซึ่งในแบบจำลองกายภาพเป็นการพิจารณาสภาพชลศาสตร์ในมาตราส่วนขนาดเล็ก ย่อส่วนในห้องปฏิบัติการ ตัวเลขดังกล่าวอาจมีนัยสำคัญตามขนาดมาตราส่วนของแบบจำลอง ทำให้ผลการจำลองคลาดเคลื่อนได้มาก และการใช้แบบจำลองชลศาสตร์ที่มีความยาวลำน้ำสั้นกำหนดเป็นลักษณะกายภาพในโปรแกรม ISIS เพื่อจำลองการไหลแบบไม่คงที่ ซึ่งโปรแกรม ISIS กำหนดว่าหากด้านท้ายน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามเวลา ด้านเหนือน้ำ



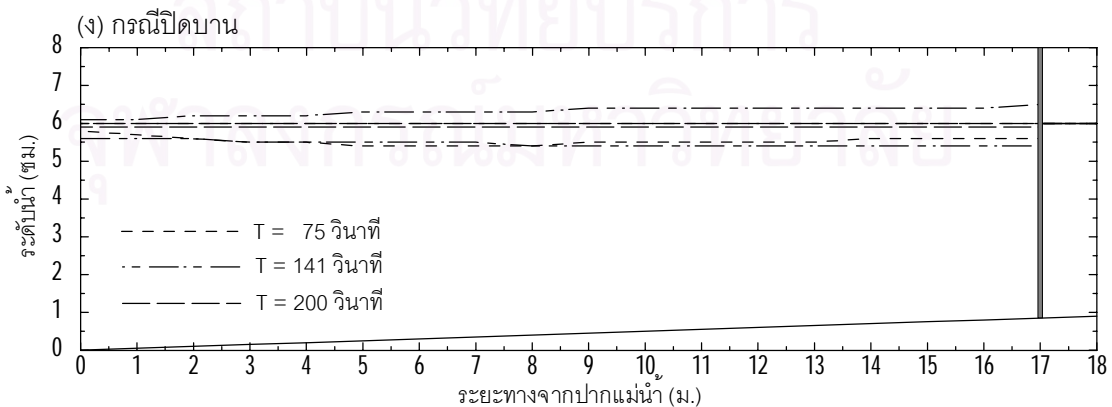
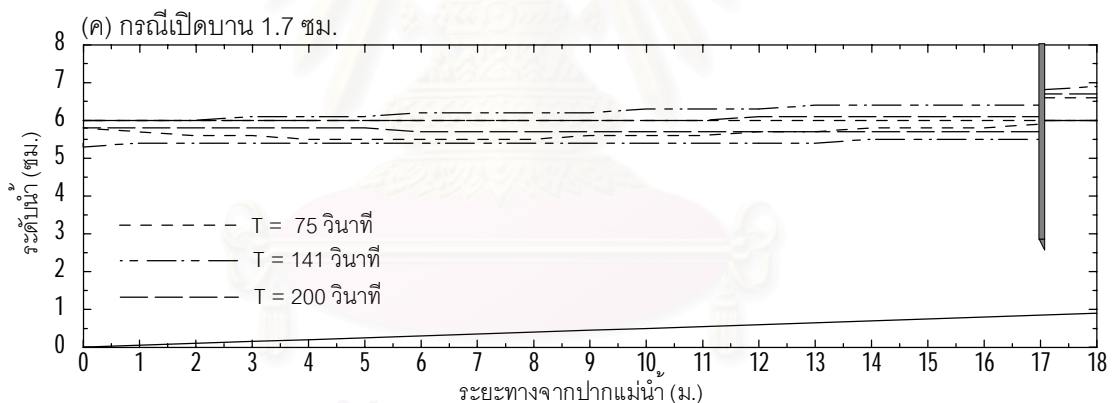
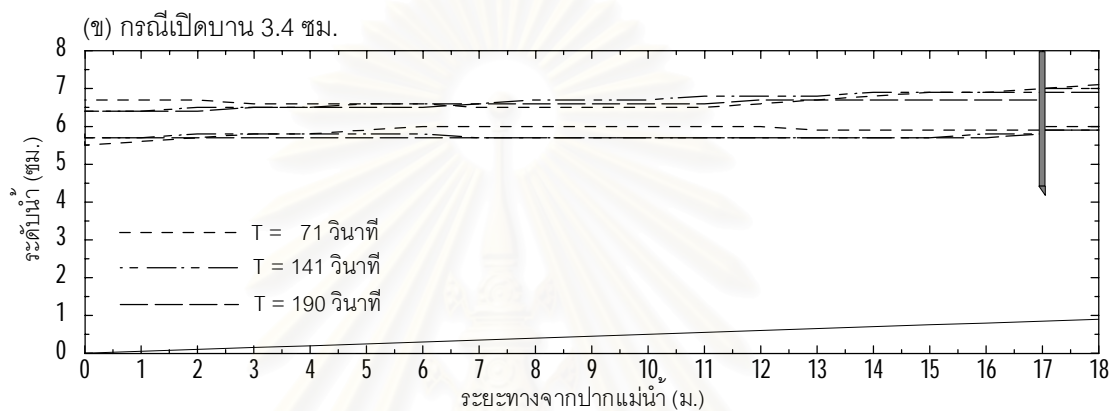
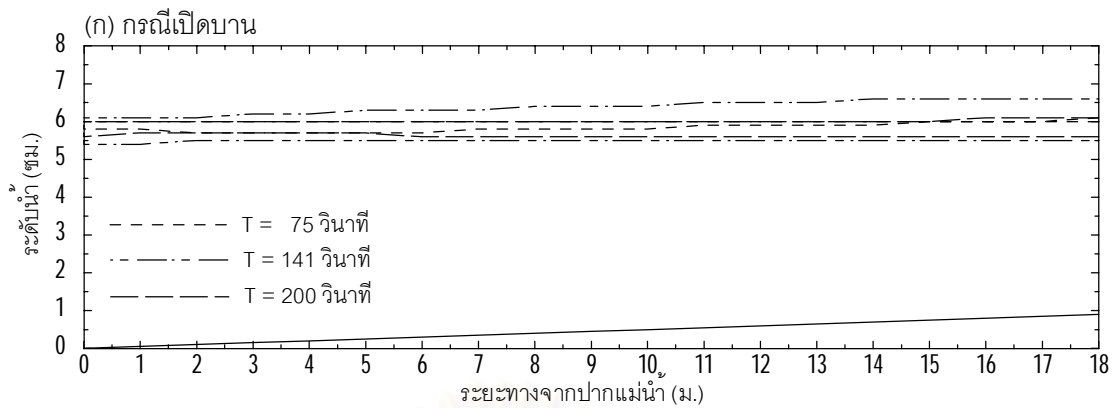
รูป จ-2 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



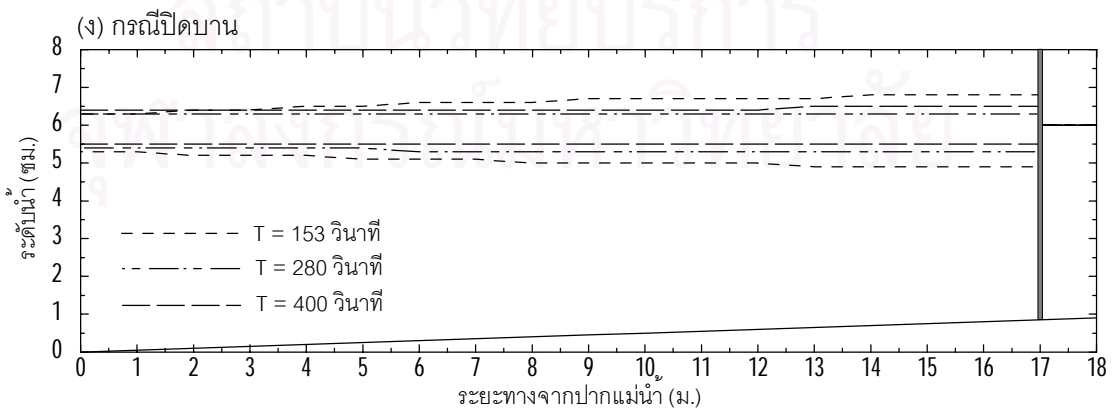
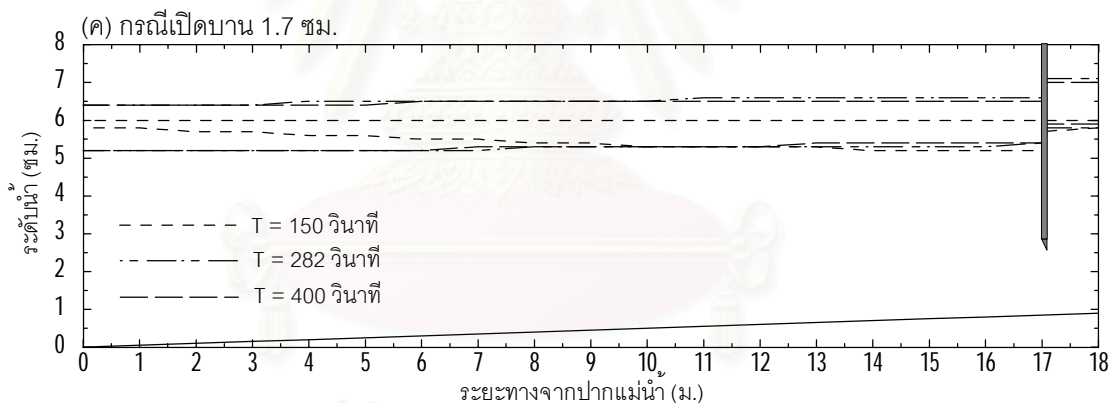
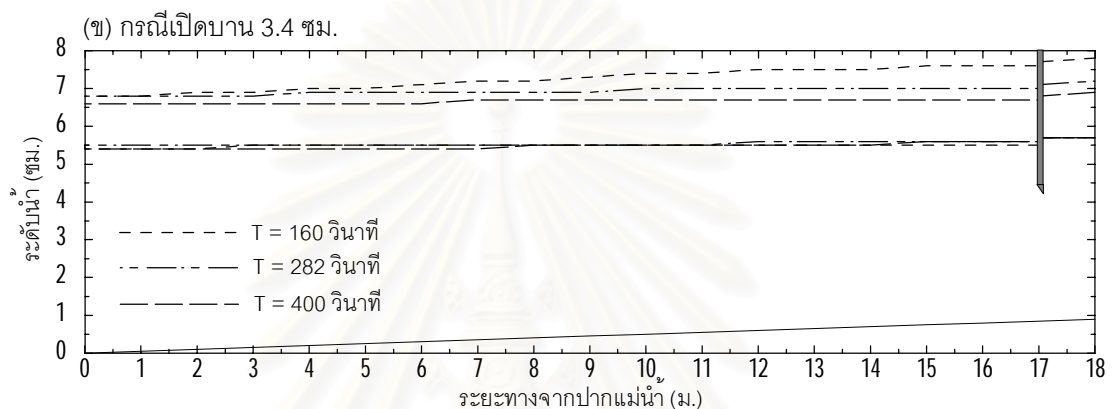
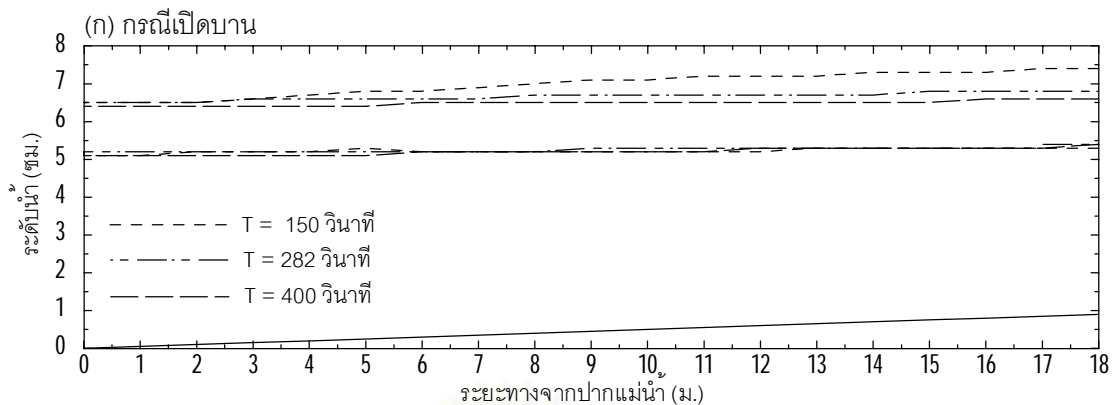
รูป จ-3 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป จ-4 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร, $\Delta t = 1$ วินาที

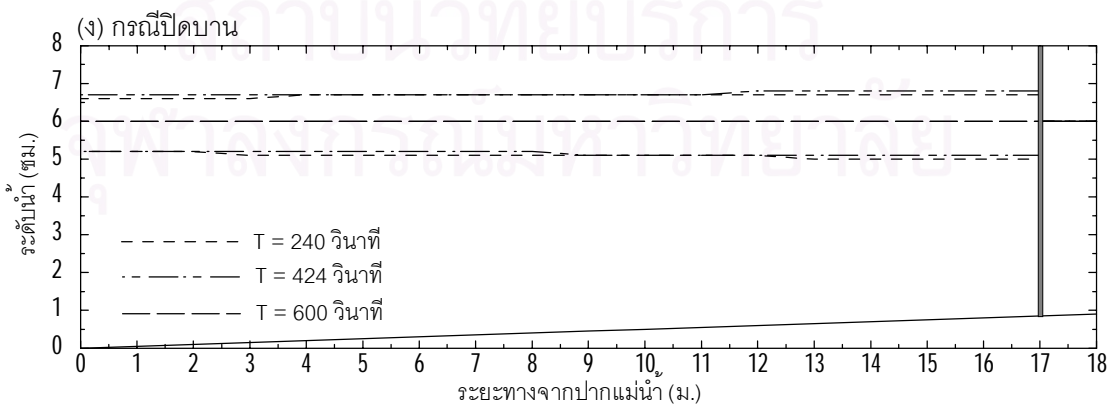
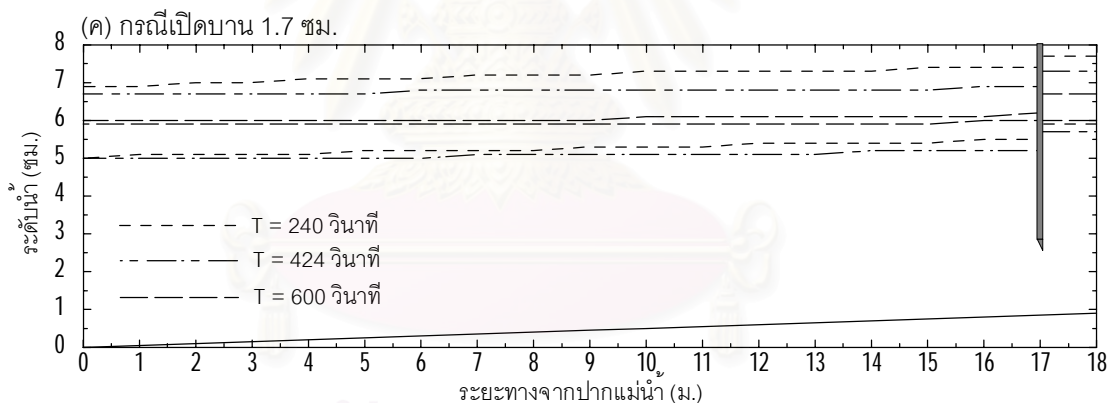
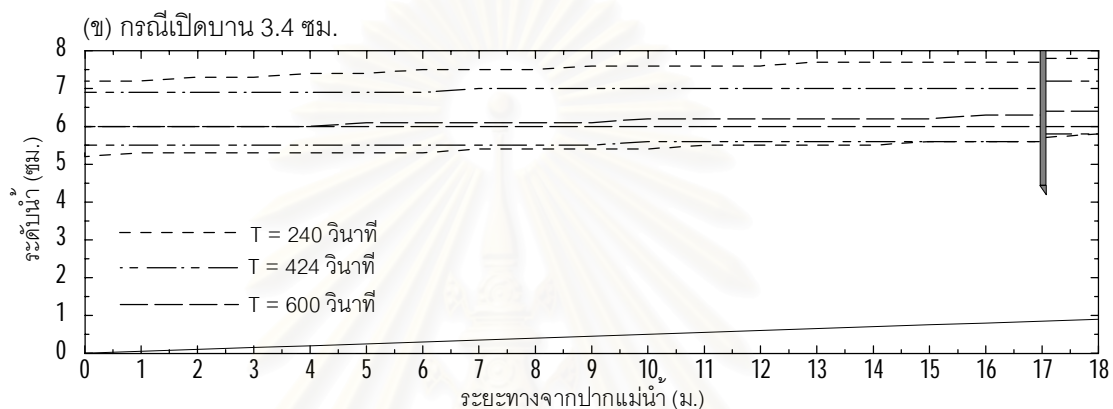
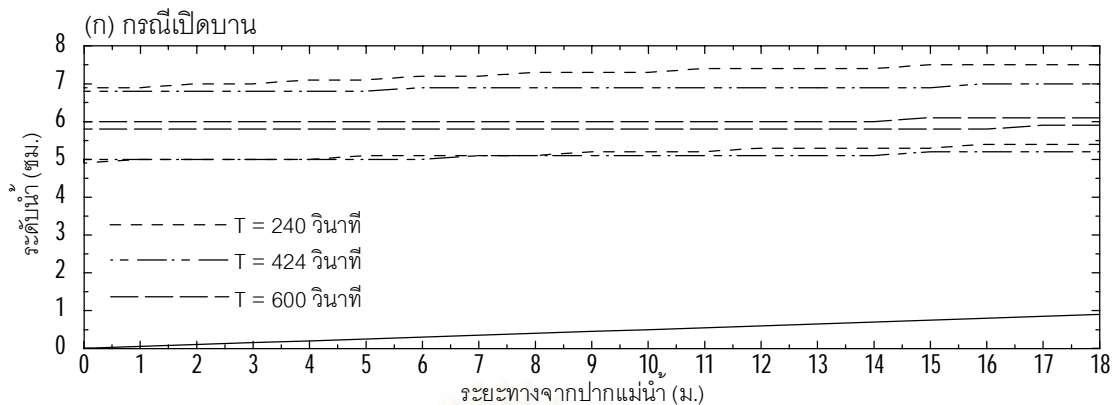


รูป จ-5 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



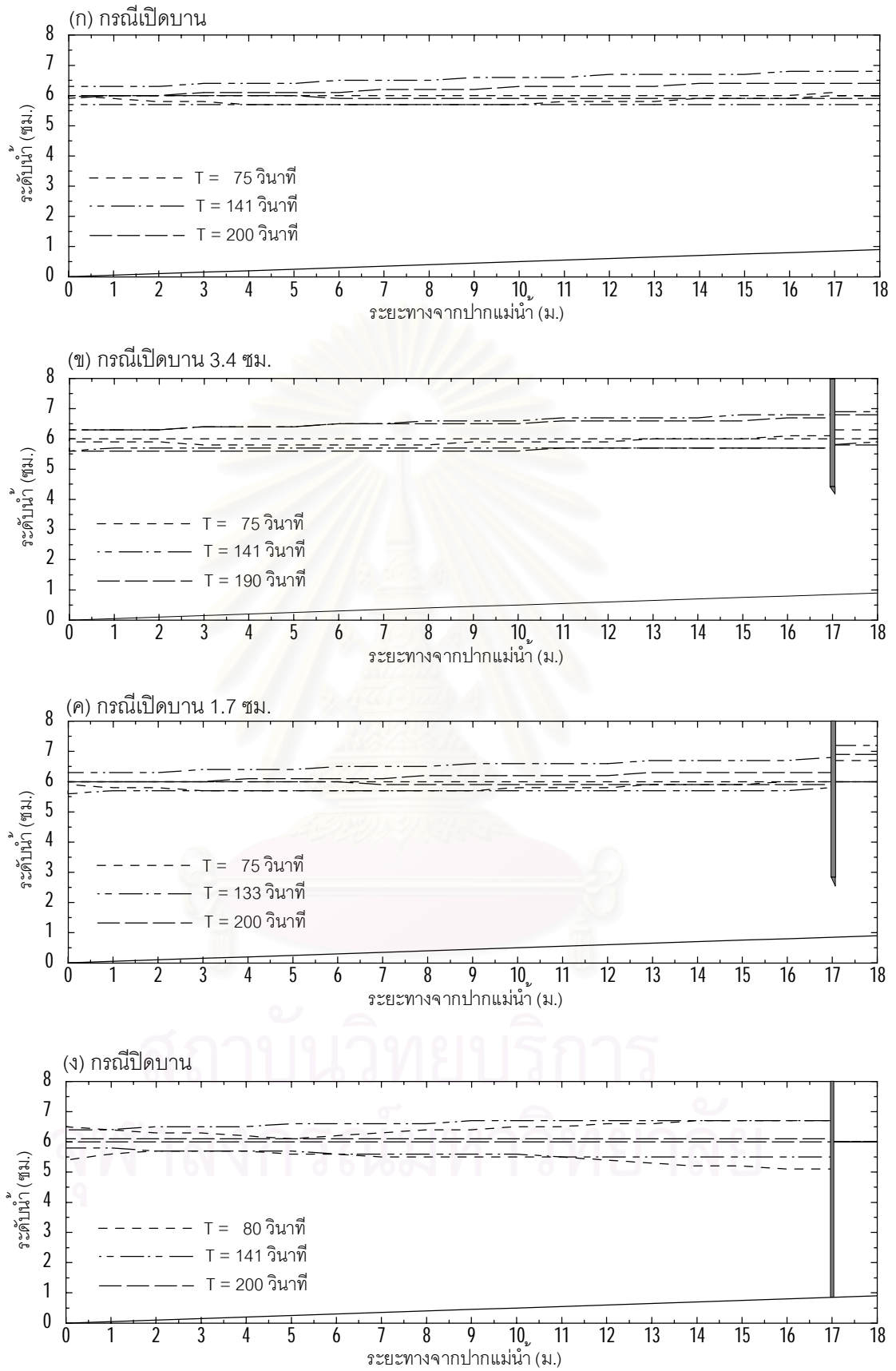
รูป จ-6 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที

$n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที

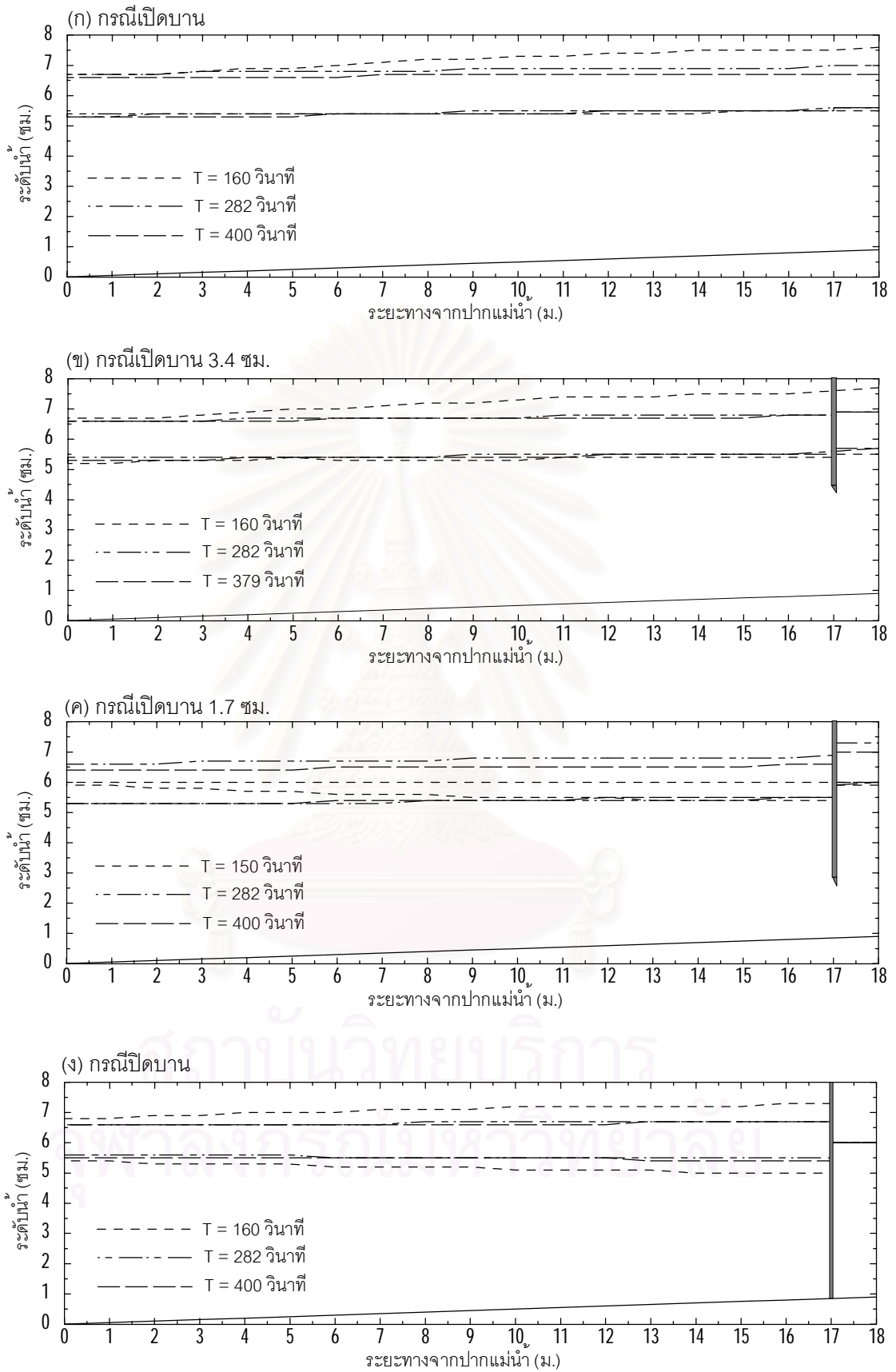


รูป จ-7 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที

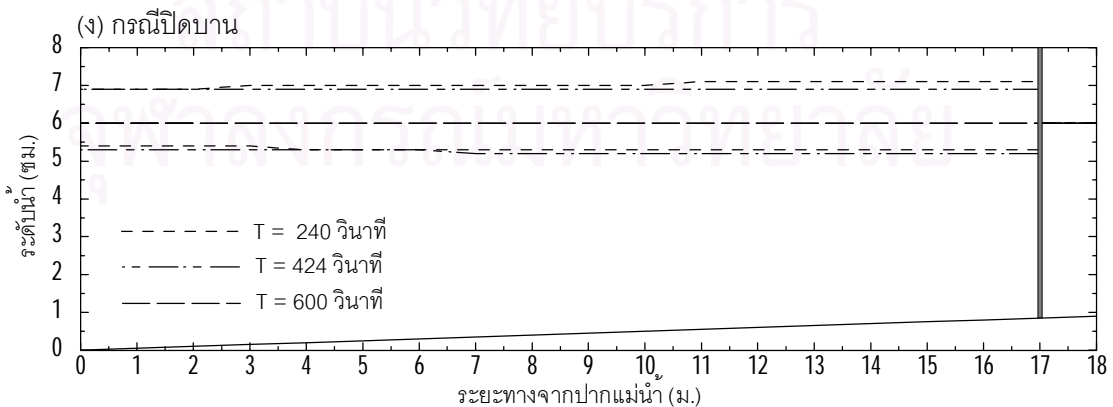
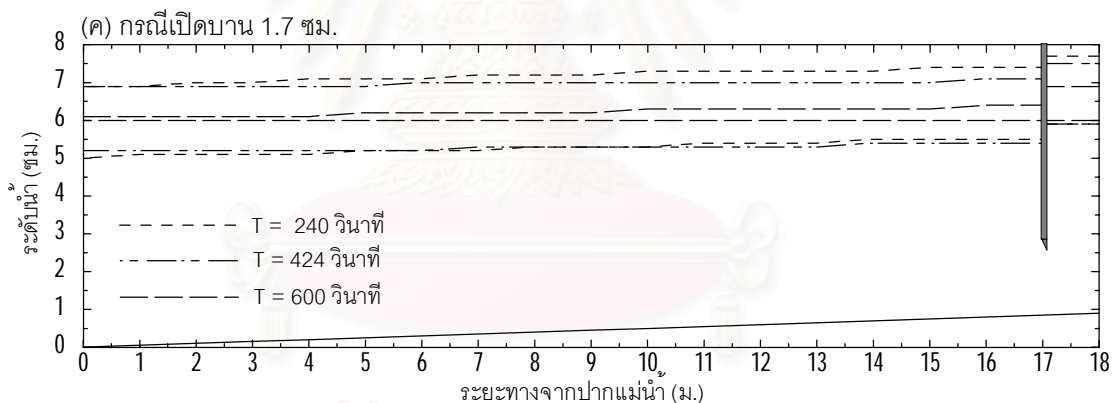
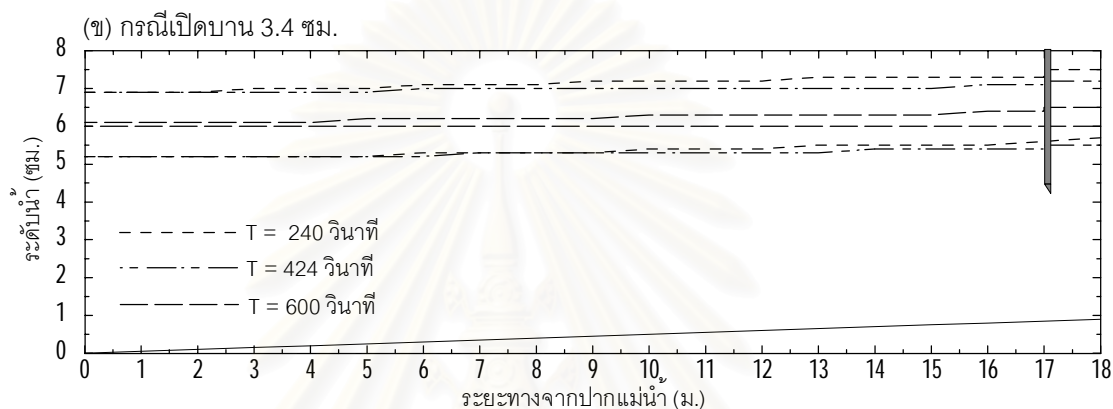
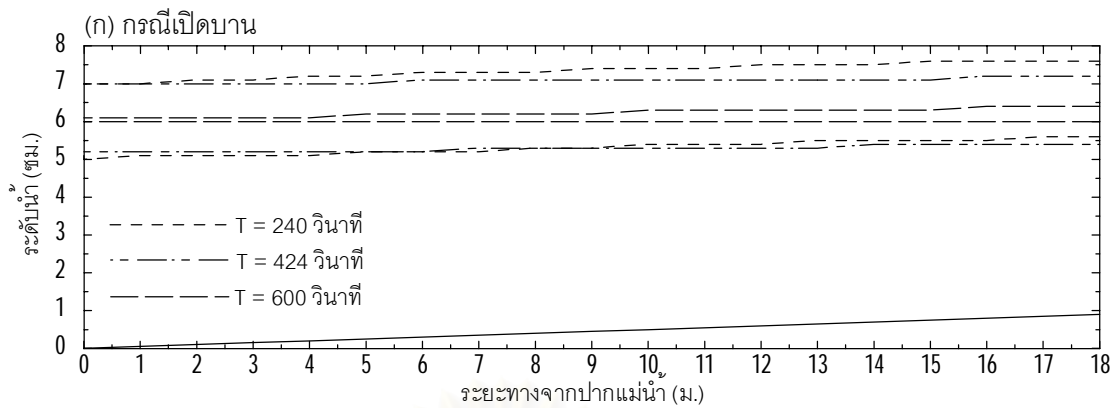
$n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป ๙-8 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป ๑-9 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี Q = 1.0 ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป จ-10 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที

น้ำเป็นช่วงของระยะเวลา (time step, Δt) ต่อไปเรื่อยๆ จนจบการจำลอง การกำหนดค่า Δx และ Δt มีแนวทางในการกำหนดดังจะกล่าวต่อไป

จ.3.1 ทางน้ำที่ไม่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือก Δx และ Δt ได้แก่ ความลาดชันท้องน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) อัตราการไหลต่ำสุด ความกว้างผิวหน้า และรูปร่างของผิวหน้า โดยมีข้อแนะนำในการเลือก Δx ที่ใช้ในการประมวลผล คือ

1. จำนวนหน้าตัดต้องไม่มากกว่า 20 เท่าของความกว้างผิวหน้า
2. แต่ละหน้าตัดห่างกันไม่เกิน $1/2S$; S = ความลาดชันเฉลี่ยของแม่น้ำ
3. แต่ละหน้าตัดห่างกันไม่เกิน $0.2D/S$; D = ชนิดของความลึกการไหล
4. ในพื้นที่ที่มีความเร็วการไหลเฉลี่ยเกิน 1 m/s พื้นที่หน้าตัดเปียกกระหว่างหน้าตัดต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกิน 35% ระหว่างหน้าตัด

และมีข้อแนะนำในการเลือก Δt คือ

1. ช่วงของระยะเวลาจะต้องน้อยเพียงพอ เพื่อแก้ปัญหารูปร่างของเงื่อนไขขอบเขต
2. ช่วงเวลาต้องน้อยมาก ถ้าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในแบบจำลองอย่างรวดเร็ว เช่นการเปิดปิดบานประตูระบายน้ำอย่างรวดเร็ว
3. ถ้ามีการเคลื่อนที่ของระดับน้ำตามเวลาและระยะทาง ที่วัดได้จากแบบจำลอง จำเป็นต้องลดช่วงของระยะเวลาลงเพื่อให้การคำนวณคงที่

จ.3.2 ทางน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

ทางน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยทั่วไปมีความลาดชันท้องน้ำต่ำมาก ดังนั้น ค่า Δx และ Δt ต้องมากพอในการแก้ปัญหาจากคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง การหาค่า Δx และ Δt สามารถหาได้ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

ช่วงของระยะทาง (Δx) พิจารณาจากความยาวคลื่นที่คำนวณจากความลึกน้ำและคาบคลื่น โดยแบ่งพิจารณาเป็น 100 ช่วง ใน 1 ความยาวคลื่น หรือ $\Delta x = \frac{L}{100}$ หากหน้าตัดของทางน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อาจต้องลดระยะห่างระหว่างหน้าตัดให้น้อยลงในช่วงหน้าตัดวิกฤต ระยะห่างระหว่างหน้าตัดอาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลและจุดประสงค์ของการศึกษา

ช่วงของระยะเวลา (Δt) การกำหนดช่วงระยะเวลาสำหรับ การคำนวณสามารถกำหนดจากความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาและช่วงระยะทาง ซึ่งการเลือกใช้อัตราส่วนระหว่าง $\Delta x / \Delta t$ มีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ พารามิเตอร์ที่ใช้กันทั่วไปที่ใช้เลือกอัตราส่วนความสัมพันธ์นี้ในการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้แก่ Courant Number

$$CR = c\Delta t/\Delta x = (dg)0.5 \Delta t/\Delta x$$

สำหรับวิธีการคำนวณแบบ explicit ค่า CR มากที่สุดเท่ากับ 1 ซึ่งต้องใช้ช่วงเวลาด้านมาก แต่วิธีการคำนวณแบบ implicit ที่ใช้ใน ISIS สามารถใช้ค่า CR ได้ถึง 5 หรือ 10

จ.4 ทฤษฎีที่ใช้

แบบจำลองแม่น้ำ ในแบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นการเชื่อมต่อกันของทางน้ำ โดยมีจุดควบคุมภายนอกและจุดควบคุมภายในเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป

จ.4.1 พลศาสตร์การไหลในทางน้ำ

พลศาสตร์การไหลในทางน้ำ (hydrodynamic channel flow) ของการเคลื่อนตัวของน้ำในทางน้ำเปิด สามารถอธิบายด้วย “ทฤษฎีน้ำตื้น” หรือ Saint Venant Equation เสนอการใช้กฎการอนุรักษ์มวลและโมเมนตัม การอนุรักษ์มวลก็คือสมการต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการสมดุลระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำและปริมาตรเก็บกัก การอนุรักษ์โมเมนตัมก็คือสมการพลศาสตร์ ซึ่งเป็นการสมดุลระหว่างแรงเฉื่อย, การแพร่กระจาย, แรงโน้มถ่วง, และแรงเสียดทาน ส่วนแรงอื่นๆ เช่นแรงลม ความกดเคี้ยวของแม่น้ำถือว่าน้อยมาก และแนะนำเอกสารอ้างอิงสำหรับผู้อ่านเช่น Mahmood and Yevjevich (1975), และ Cunge, Holly and Verwey (1980)

จ.4.2 เงื่อนไขขอบเขตภายนอก

เงื่อนไขขอบเขตภายนอก(external boundary) สำหรับรูปแบบสมการการไหลต่ำกว่าวิกฤต การไหลสามารถเคลื่อนที่ไปได้ 2 ทิศทาง และต้องการเงื่อนไขขอบเขตอิสระทั้งด้านเหนือน้ำและทำให้น้ำ เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ได้แก่ อัตราการไหล-เวลา, ระดับน้ำ-เวลาและระดับน้ำ-อัตราการไหล (rating curve) ส่วนการไหลแบบเหนือวิกฤต การไหลเคลื่อนที่ไปด้านทำให้น้ำ ต้องการเงื่อนไขขอบเขตอิสระด้านเหนือ น้ำ 2 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลและระดับน้ำ

จ.4.3 เงื่อนไขขอบเขตภายใน

เงื่อนไขขอบเขตภายใน (internal boundary) สำหรับแม่น้ำหรือท่อที่มีโครงข่ายแบบ 1 มิติ จะมีจุดแยกที่เป็นขอบเขตภายใน ซึ่งอาจเป็นโครงสร้างควบคุม การสูญเสียพลังงาน อ่างเก็บน้ำหรือทางแยกทางเชื่อม เงื่อนไขขอบเขตนี้เป็นความสัมพันธ์ของระดับน้ำและอัตราการไหล

๑.5 ชนิดของการประมวลผล

ชนิดของการประมวลผล (Run) ในแบบจำลอง ISIS สามารถเลือกได้ 3 แบบ ได้แก่ การประมวลผลแบบคงที่ การประมวลผลแบบไม่คงที่ และโหมด ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้งานต่างๆ กันไป คือ การประมวลผลแบบคงที่ หากเลือกการประมวลผลแบบนี้ ต้องพิจารณาข้อมูลและเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งการประมวลผลแบบคงที่ใช่วิธีโดยตรง (direct method) หรือวิธีช่วงเวลา (timestepping method)

การประมวลผลแบบไม่คงที่ที่ต้องใส่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุด เพื่อกำหนดระยะเวลาการประมวลผล ข้อมูลที่ใส่ในเงื่อนไขขอบเขตต้องครอบคลุมการจำลองตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดเวลาจำลอง เช่น การกำหนดคลื่นต้องกำหนดต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดการประมวลผล และสามารถกำหนดช่วงเวลาในระหว่างการคำนวณได้ หากไม่ใส่ค่านี้โปรแกรมจะกำหนดให้มีช่วงเวลาเป็น 20 วินาที และสามารถเลือกบันทึกข้อมูลตามช่วงเวลาที่ต้องการได้ด้วย และหากมีการประมวลผลแบบคงที่มาก่อนหน้านี้ก็สามารถใช้การประมวลผลแบบคงที่นี้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นได้

โหมด (mode) ใช้ทดสอบข้อมูลจากขอบเขตในช่วงเวลาสม่ำเสมอ ในช่วงเวลาที่กำหนด โดยไม่ต้องจบการประมวลผล ได้แก่การทดลอง Rating Curve หรือผลระหว่างการไหลผ่านสะพาน ผลจากการประมวลผล นำเสนอในรูปของตาราง โดยค่าที่นำเสนอในตารางสามารถเลือกแสดงได้ดังนี้

1. ค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกตัวแปรและทุกตำแหน่ง
2. ตารางแสดงผลของเวลาที่เลือกในทุกตำแหน่ง
3. ตารางแสดงผลของเวลาที่เลือก ณ ตำแหน่งที่เลือก

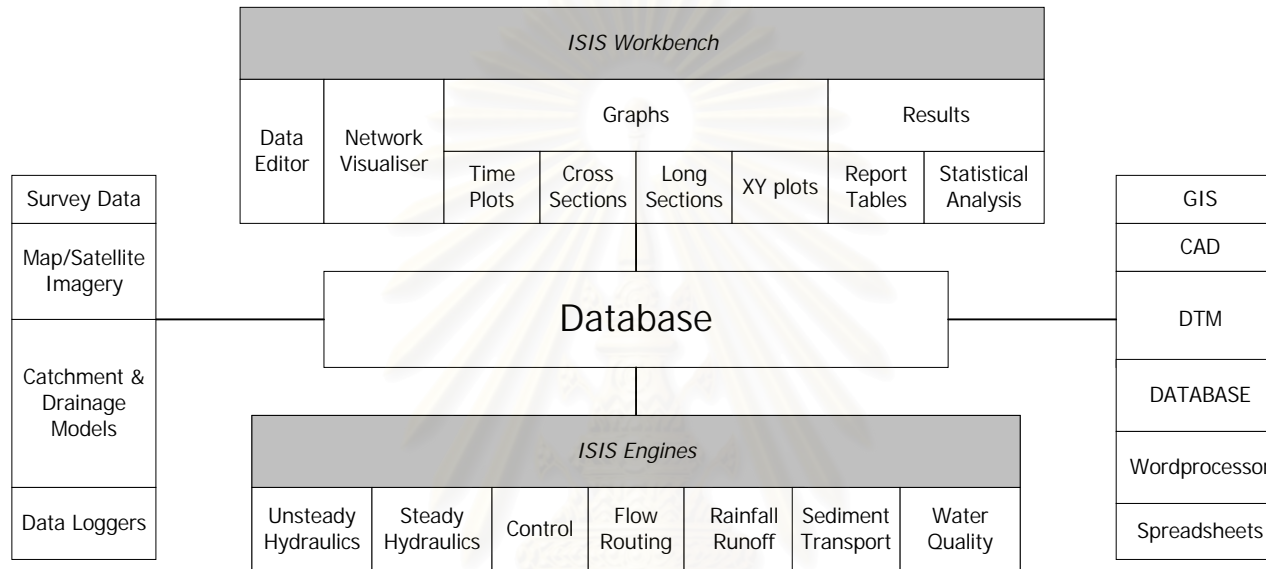
ผลการประมวลผล ที่นำเสนอในรูปของกราฟ ได้แก่

1. รูปตัดตามขวาง
2. รูปตัดตามยาว
3. อนุกรมเวลา (time series)
4. x-y plots (เช่น rating curve)

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงเป็นรูปเคลื่อนไหวได้ตามเวลาของรูปตัดขวางและรูปตัดตามยาว

๑.6 การจำลองสภาพการไหล

การจำลองสภาพการไหล สำหรับการศึกษาคำนี้สามารถทำได้เพียง 1 อัตราการไหลของแบบจำลองชลศาสตร์ เนื่องจากข้อจำกัดในการใส่ข้อมูล โดยสามารถใส่ข้อมูลอัตราการไหลได้ต่ำสุด 1.2 ลิตรต่อวินาที โดยใช้ตัวแปรและเงื่อนไขเหมือนกับกรณีการทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์ และเลือกช่วงของระยะทาง (Δx) เท่ากับ 1 เมตร ช่วงของระยะเวลา (Δt) เท่ากับ 1 วินาที สำหรับผลจากการทดลอง ดังแสดงในตาราง ๑-1 ถึง ๑-9 ซึ่งเป็นค่าระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด และสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟของระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด ตามระยะทางตลอดความยาวแม่น้ำได้ดังรูป ๑-2 ถึง ๑-10



รูป จ-1 โครงสร้างการนำข้อมูลเข้าและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ISIS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑.7 การทดลองจำลองสภาพการไหลโดยใช้โปรแกรม ISIS

ในการศึกษานี้ได้ทดลองใช้โปรแกรม ISIS เพื่อจำลองสภาพการไหลตามลักษณะของแบบจำลองกายภาพ โดยมีรายละเอียดของโปรแกรมพอสังเขปในภาคผนวก ๑ สำหรับกรณีการศึกษาที่นำมาใช้ในการจำลองเป็นกรณีอัตราการไหล 1 ลิตร/วินาที ซึ่งเป็นค่าน้อยที่สุดที่โปรแกรมสามารถรับข้อมูลได้ และมีค่าใกล้เคียงกับกรณีการศึกษาในแบบจำลองกายภาพที่อัตราการไหล 1.2 ลิตร/วินาที แต่สามารถกำหนดลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ให้เหมือนกับการทดลองได้ดังกล่าวแล้วในบทที่ 4 การศึกษาครั้งนี้จึงจำลองสภาพการไหลที่อัตราการไหล 1 ลิตร/วินาที เพื่อศึกษาผลจากแบบจำลอง ดังแสดงในรูป ๑-2 ถึง ๑-10

ผลที่ได้จากโปรแกรม ISIS ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำแบบฉับพลันที่ปากแม่น้ำ เมื่อกำหนดคาบคลื่นเดียวกันกับในแบบจำลองชลศาสตร์ จากการสังเกตระดับน้ำในแอ่งคลื่นกับปากแม่น้ำพบว่าคลื่นที่เคลื่อนตัวเข้ามาในปากแม่น้ำมีความไม่เป็นระเบียบ และมีระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดในบางกรณีมีค่าใกล้เคียงกันมากจนเกือบเป็นเส้นเดียวกันตลอดระยะทางของลำน้ำ ดังในรูป ๑-4 ซึ่งไม่น่าจะเป็นไปได้ จากการตรวจสอบการป้อนค่าข้อมูลที่สงสัยว่าอาจผิดพลาดได้ ไม่พบความผิดพลาดจากการป้อนค่าข้อมูล และจะเห็นว่ากรณีที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มีคาบคลื่นเท่ากับ 600 วินาที ทุกกรณีของการศึกษา สำหรับในกรณีการศึกษาอื่นจากโปรแกรม ISIS พบว่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่คาบคลื่นต่างๆ กันนั้นไม่มีความคงเส้นคงวาของระดับน้ำตามระยะทางในลำน้ำ ซึ่งต่างจากการทดลองในกรณีที่มีคาบคลื่นมากกว่า 75 วินาที ระดับน้ำค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดความยาวแม่น้ำ

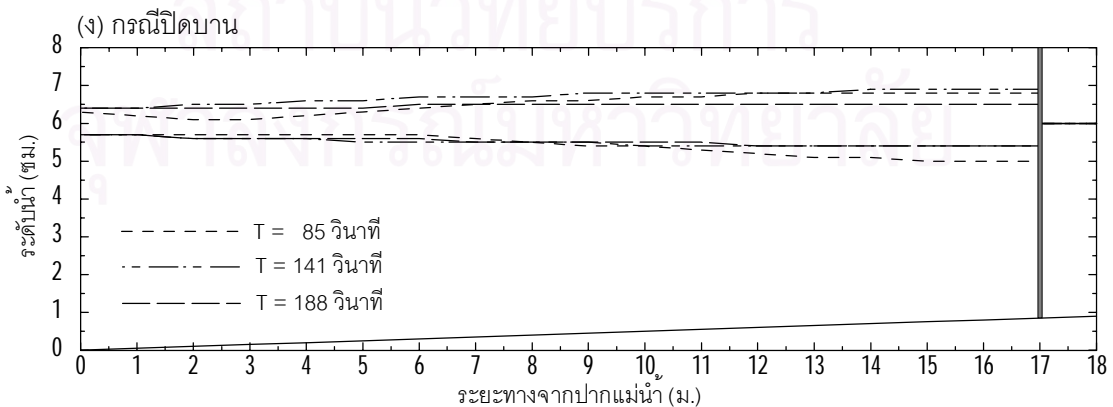
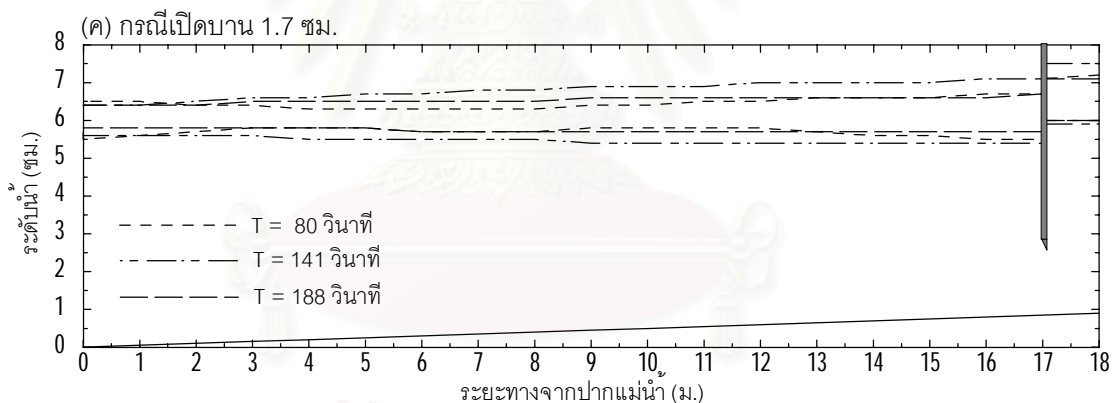
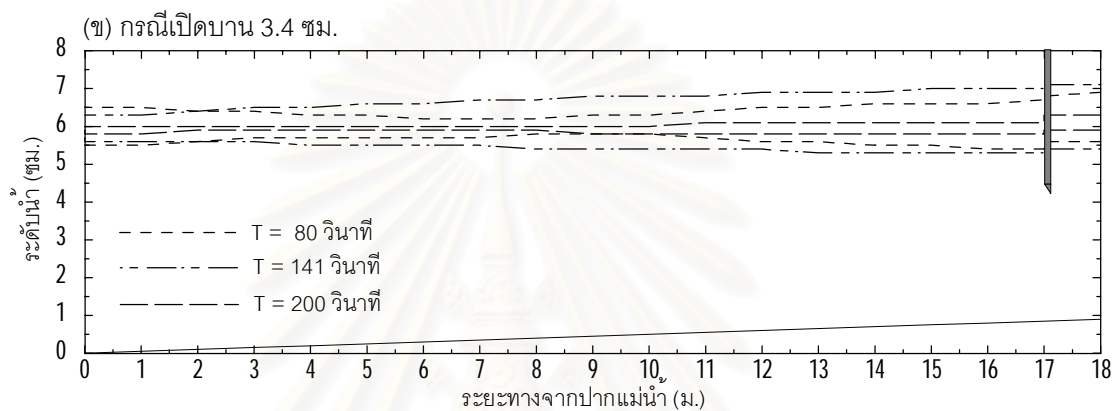
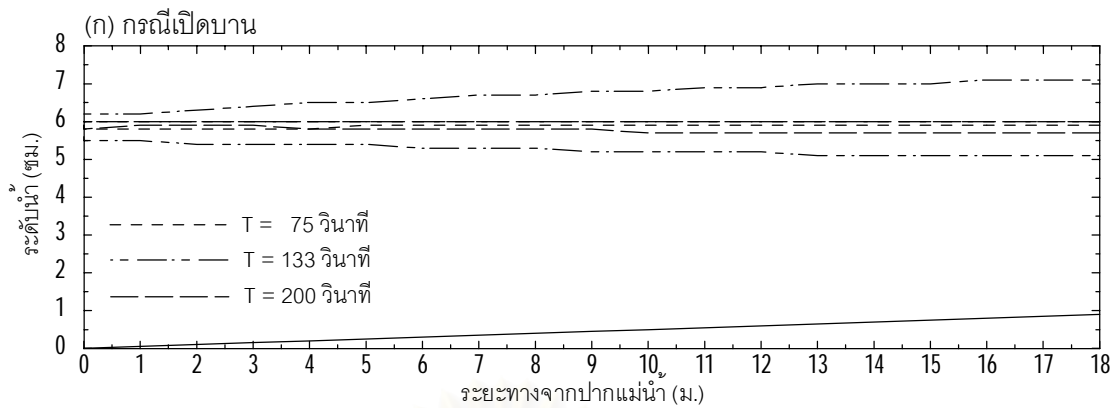
จากการประมวลผลการจำลองที่เกิดขึ้นโดยการใช้โปรแกรม ISIS จำลองสภาพจากแบบจำลองกายภาพ พบว่า มีหลายกรณีที่โปรแกรม ISIS ไม่สามารถจำลองให้เหมือนกับแบบจำลองทางกายภาพได้ เช่นกรณีคาบคลื่น 600 วินาที จะทำให้ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ผลที่ได้จากการทดลองไม่มีกรณีใดเลยที่มีพฤติกรรมเช่นนี้ และการจำลองด้วยโปรแกรม ISIS จะไม่มีผลของการเคลื่อนที่ของคลื่นเข้าไปในแม่น้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างฉับพลัน เช่นในการทดลองกรณีคาบคลื่น 75 วินาที ความสูงคลื่นมีขนาดเพิ่มเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในปากแม่น้ำ

จากผลการจำลองนี้อาจสรุปได้ว่า การใช้โปรแกรม ISIS จำลองการไหลในแบบจำลองกายภาพเพื่อเปรียบเทียบผลของแบบจำลองมีความไม่เหมาะสม เนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรมที่ออกแบบให้ใช้กับงานขนาดใหญ่และมาตราส่วนจริง ดังนั้นการจำลองจึงถูกจำกัดในการรับข้อมูลที่มีจำนวนน้อยๆ อาจทำให้เกิดการผิดพลาดได้ เช่นการปิดเศษเลขทศนิยม ซึ่งในแบบจำลองกายภาพเป็นการพิจารณาสภาพชลศาสตร์ในมาตราส่วนขนาดเล็ก ย่อส่วนในห้องปฏิบัติการ ตัวเลขดังกล่าวอาจมีนัยสำคัญตามขนาดมาตราส่วนของแบบจำลอง ทำให้ผลการจำลองคลาดเคลื่อนได้มาก และการใช้แบบจำลองชลศาสตร์ที่มีความยาวลำน้ำสั้นกำหนดเป็นลักษณะกายภาพในโปรแกรม ISIS เพื่อจำลองการไหลแบบไม่คงที่ ซึ่งโปรแกรม ISIS กำหนดว่าหากด้านท้ายน้ำเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามเวลา ด้านเหนือหน้า

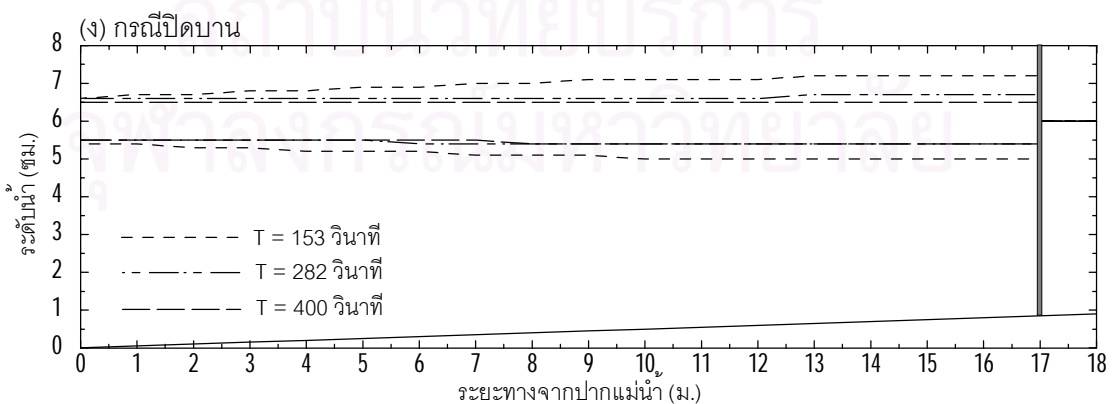
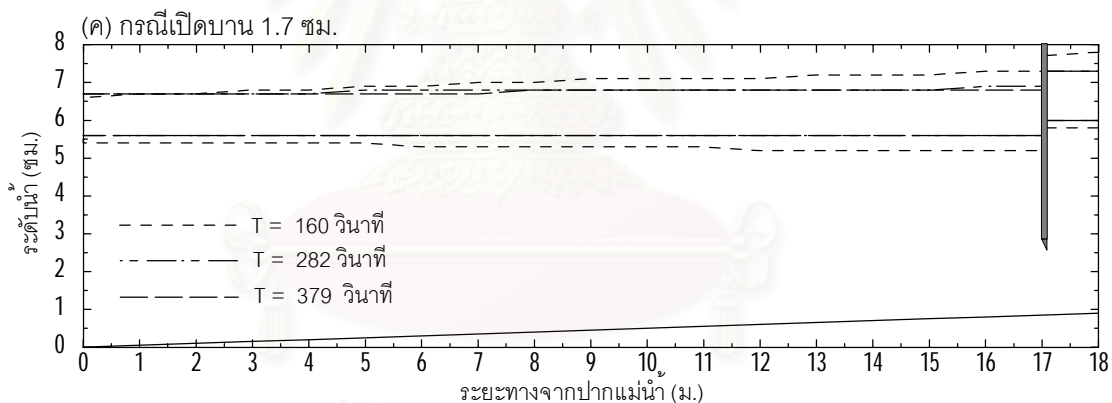
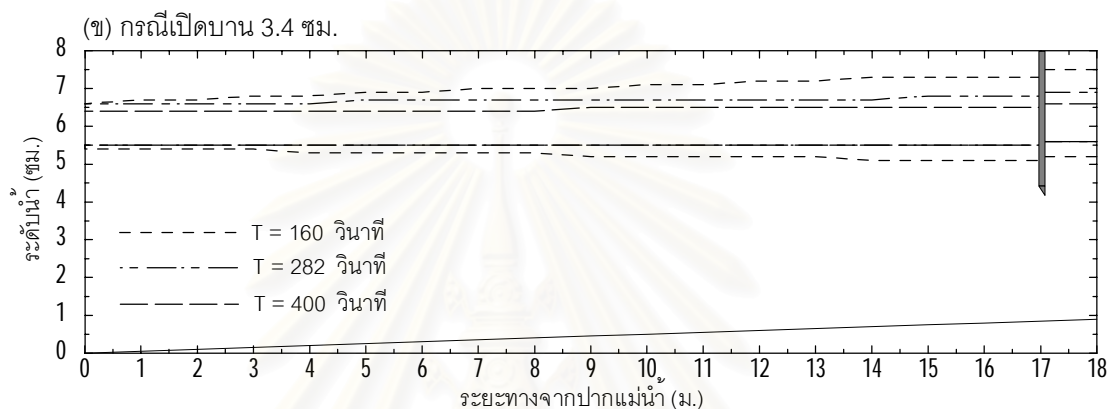
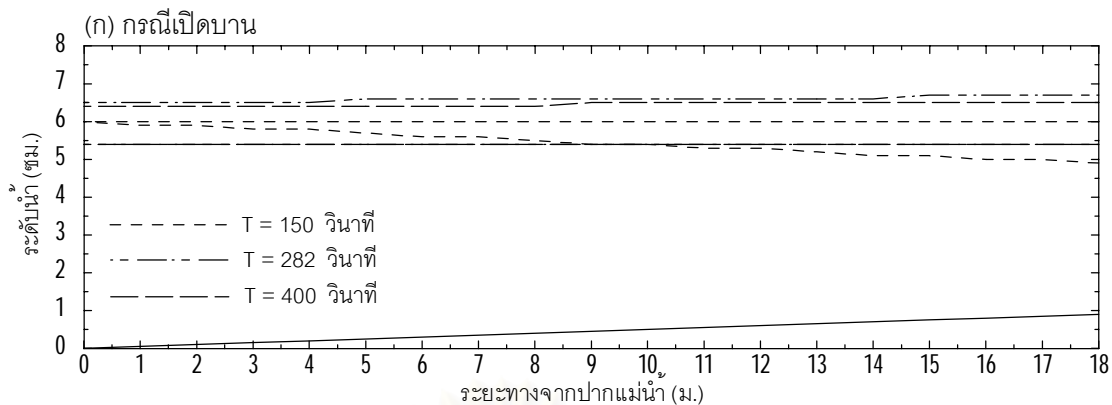
ต้องกำหนดให้เป็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามอัตราการไหล ไม่ควรกำหนดเป็นอัตราการไหลตามเวลา เนื่องจากทางน้ำสั้นทำให้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงด้านท้ายน้ำเคลื่อนที่ถึงขอบเขตด้านเหนือน้ำ และเกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่ขอบเขตเหนือน้ำ ทำให้ค่าที่คำนวณได้ไม่ถูกต้อง



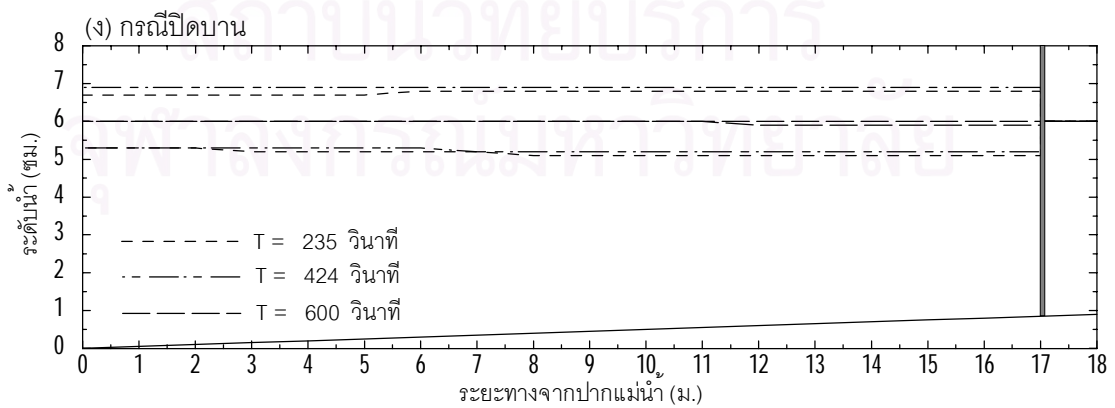
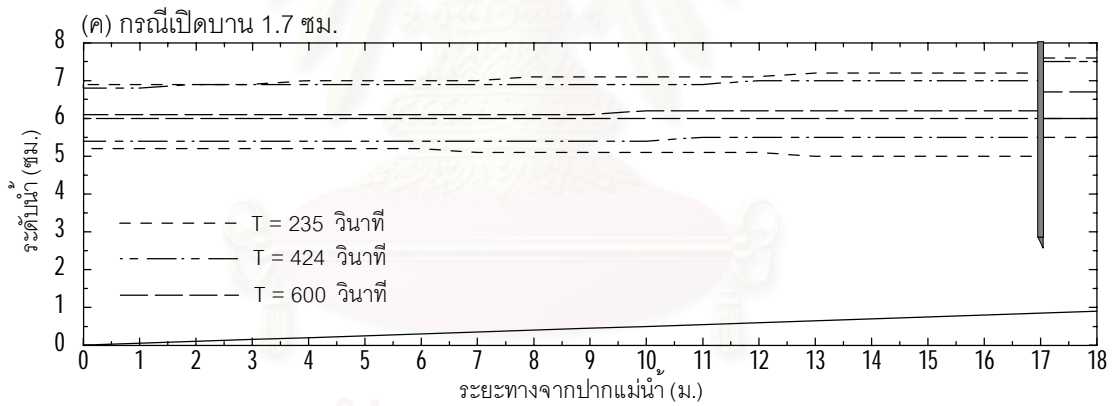
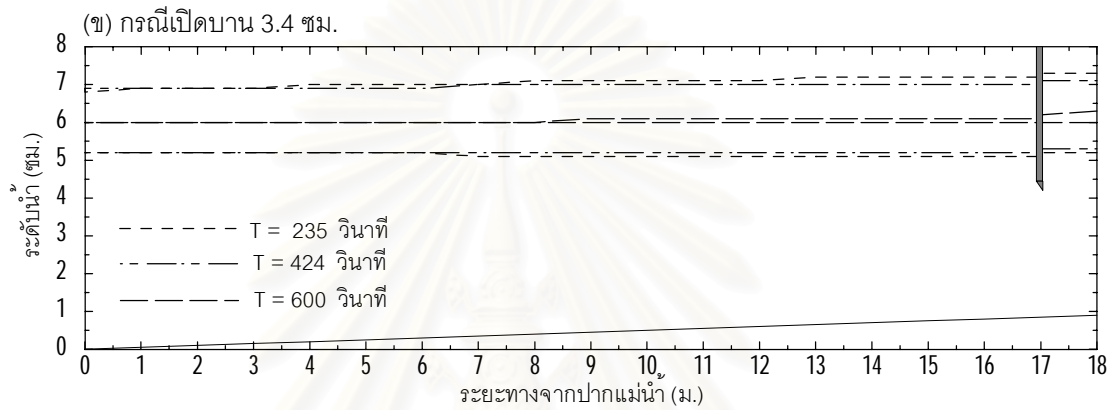
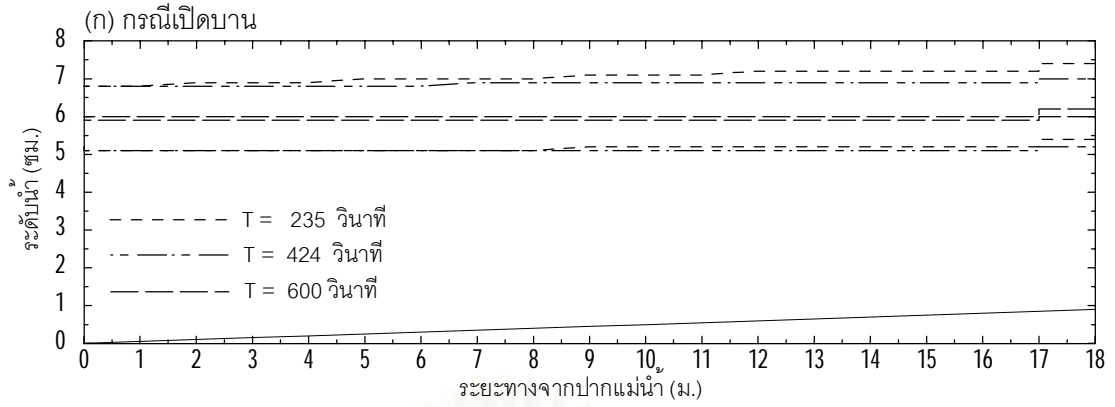
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



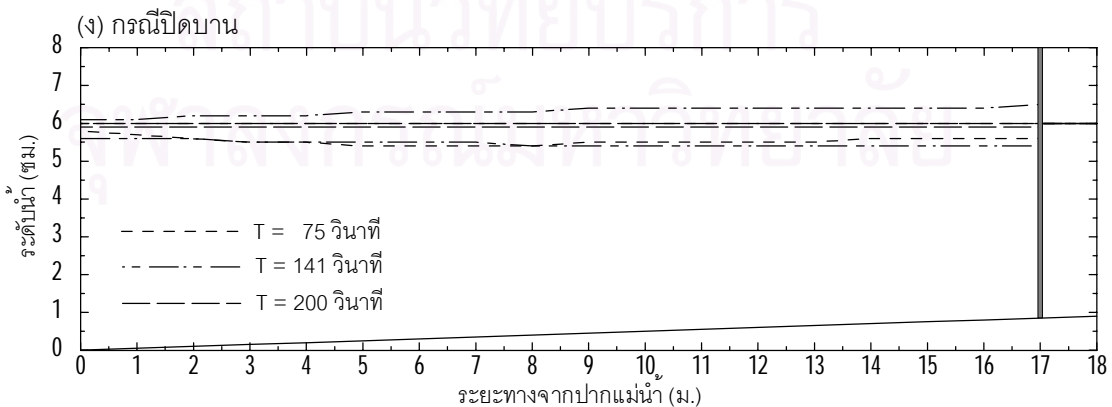
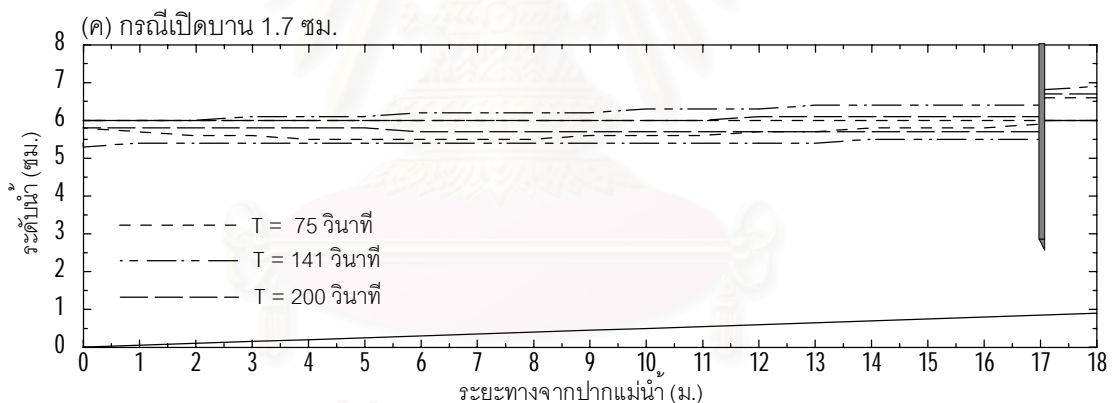
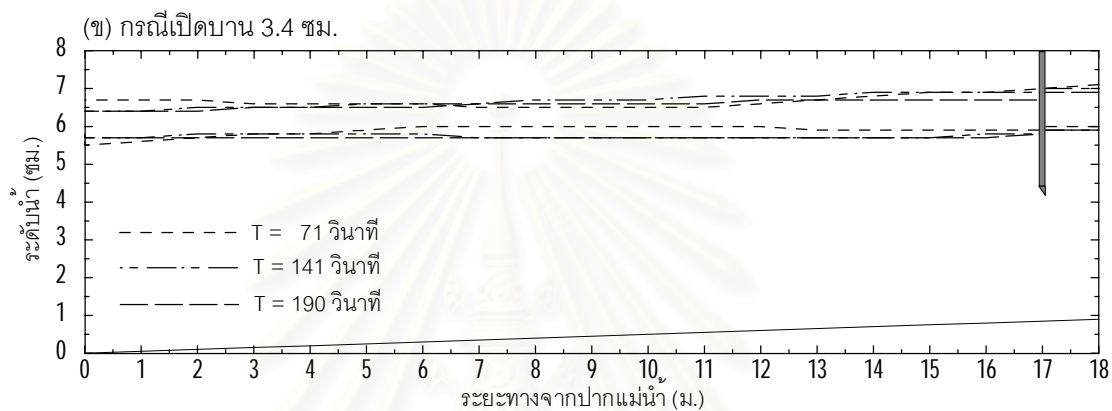
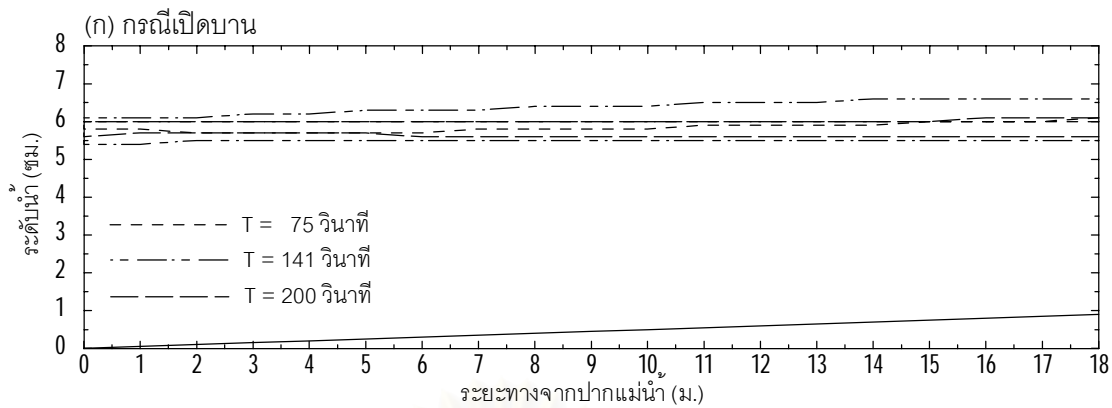
รูป จ-2 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



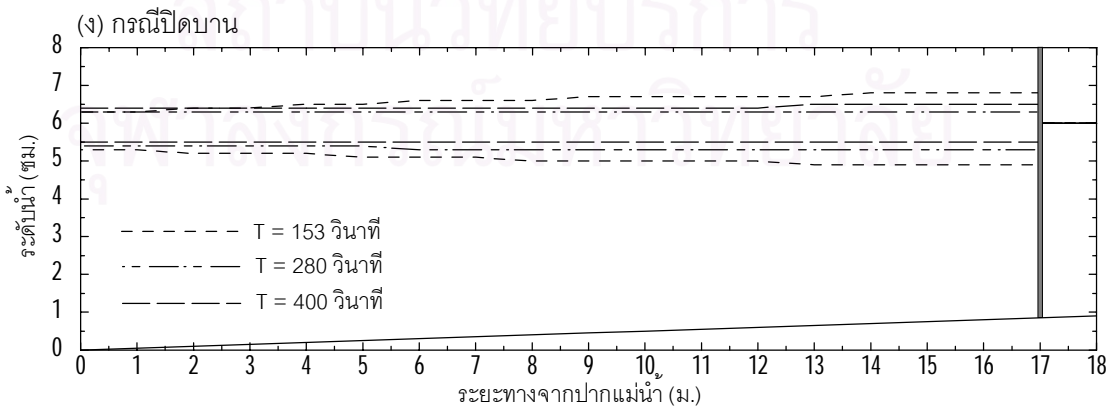
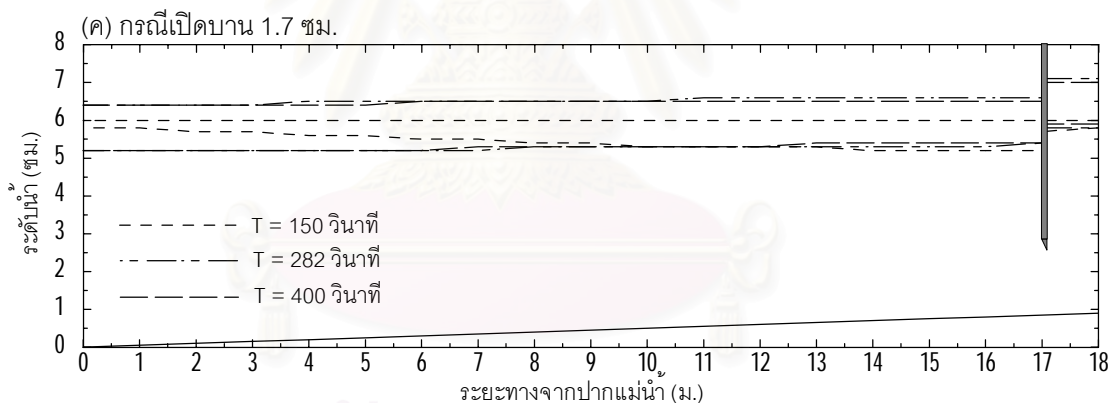
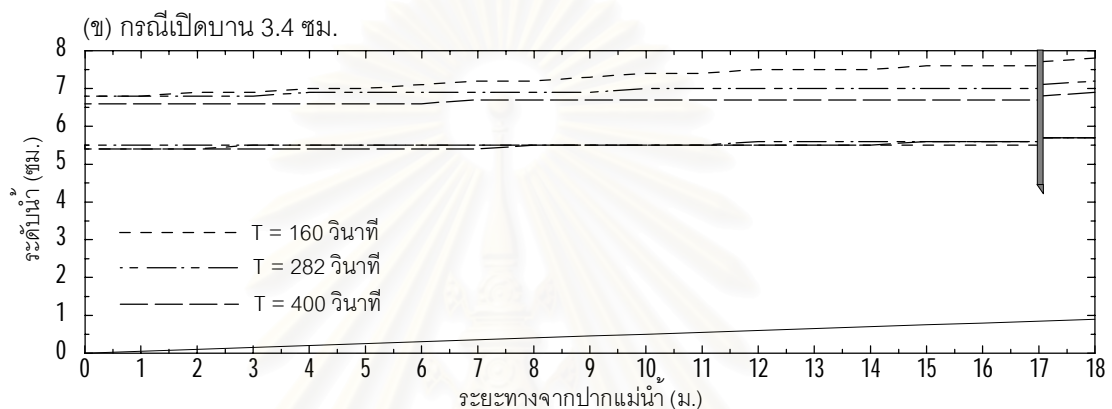
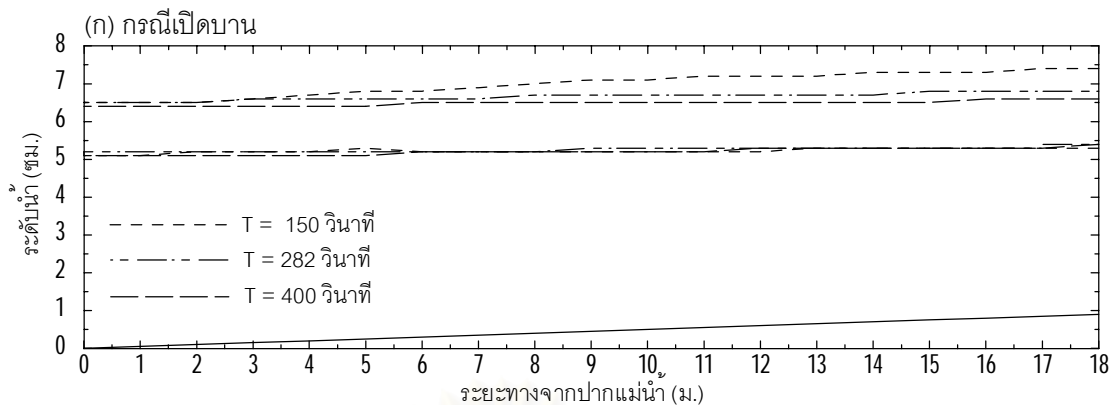
รูป จ-3 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป จ-4 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0132$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร, $\Delta t = 1$ วินาที

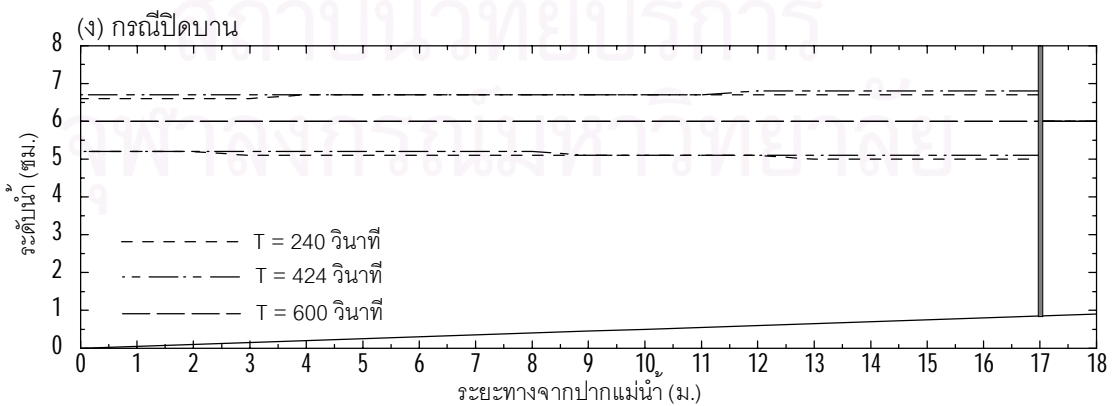
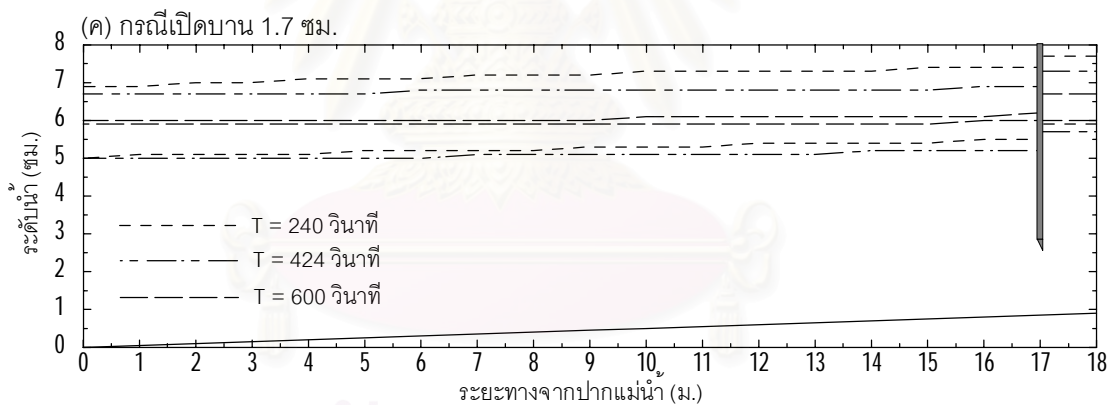
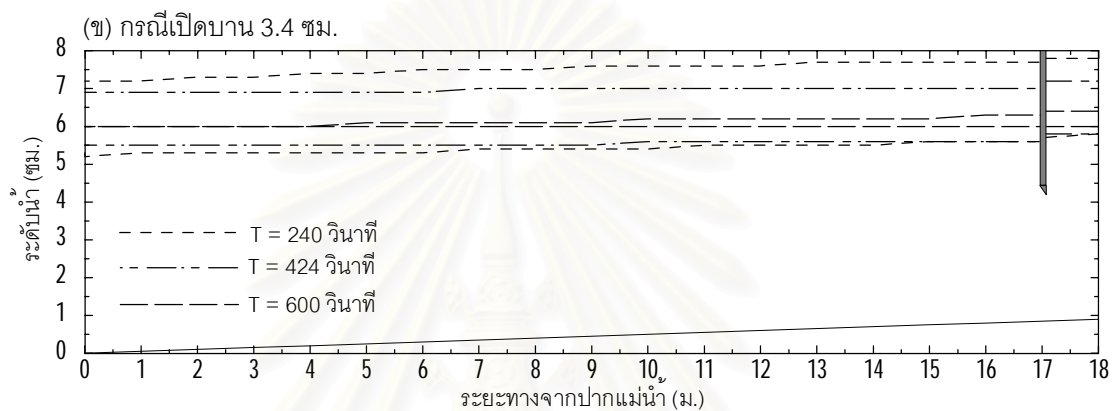
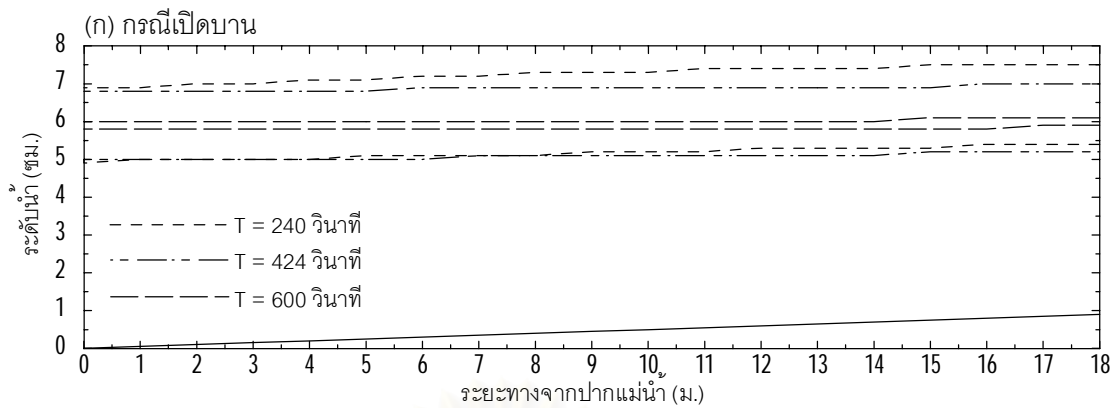


รูป จ-5 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที

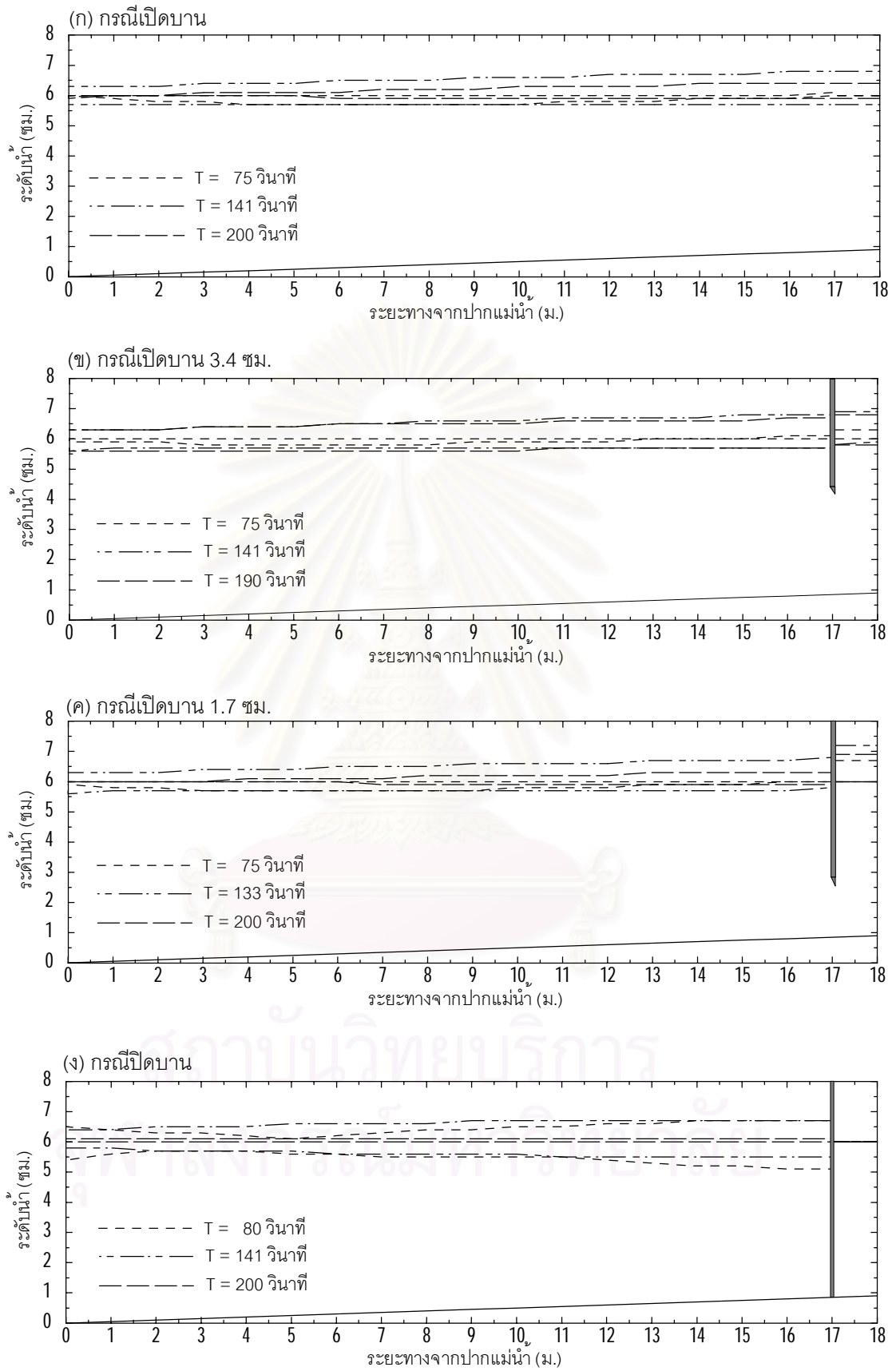


รูป จ-6 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที

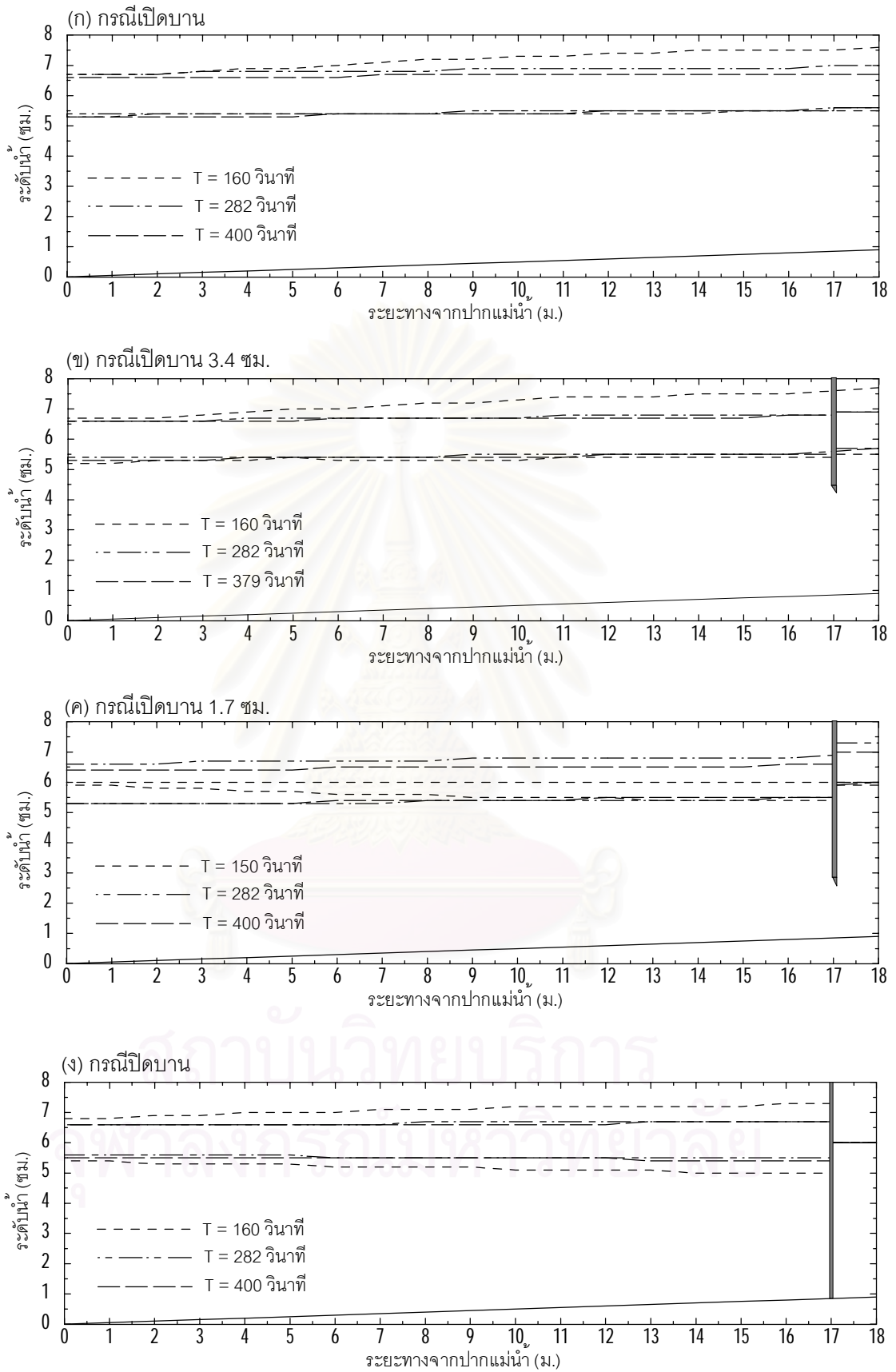
$n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



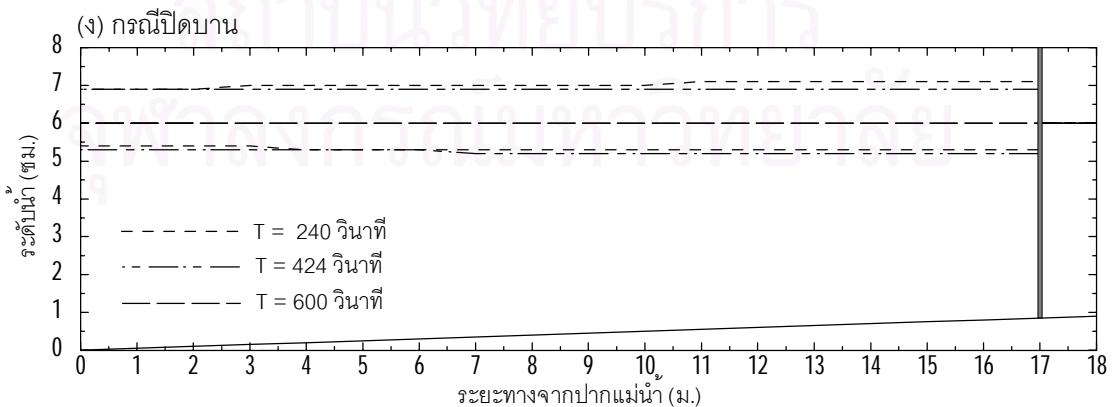
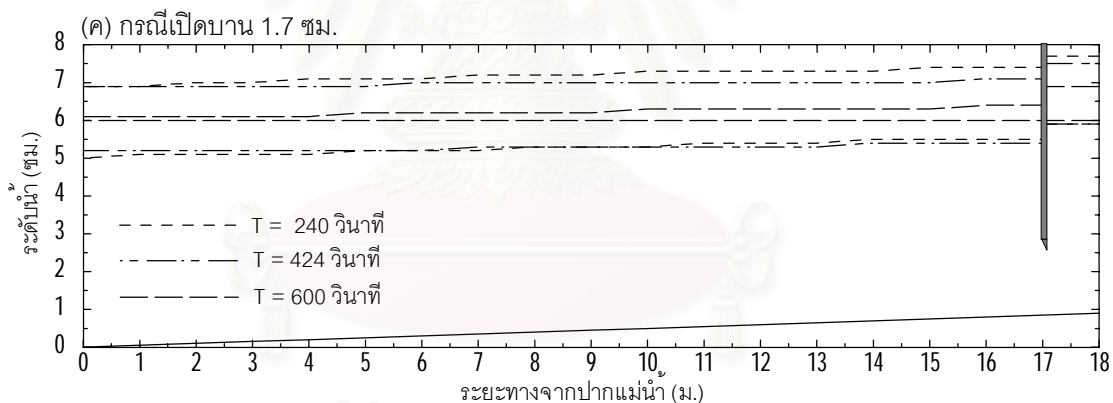
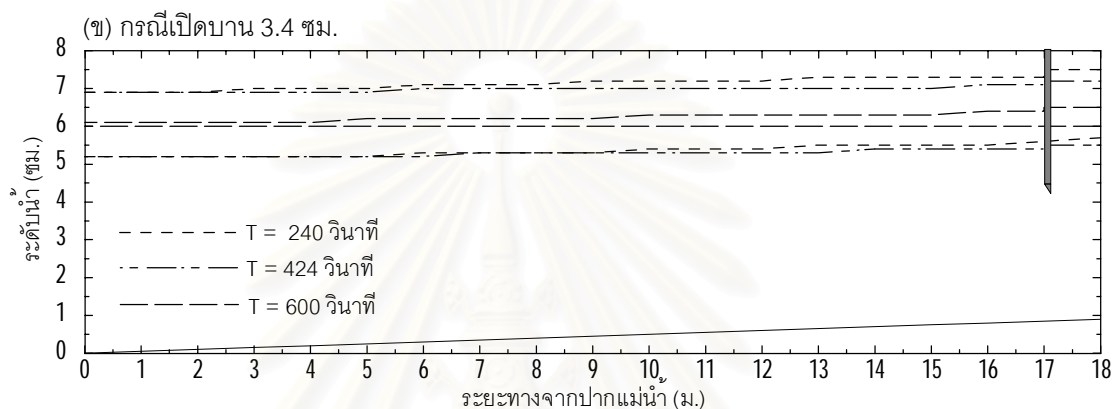
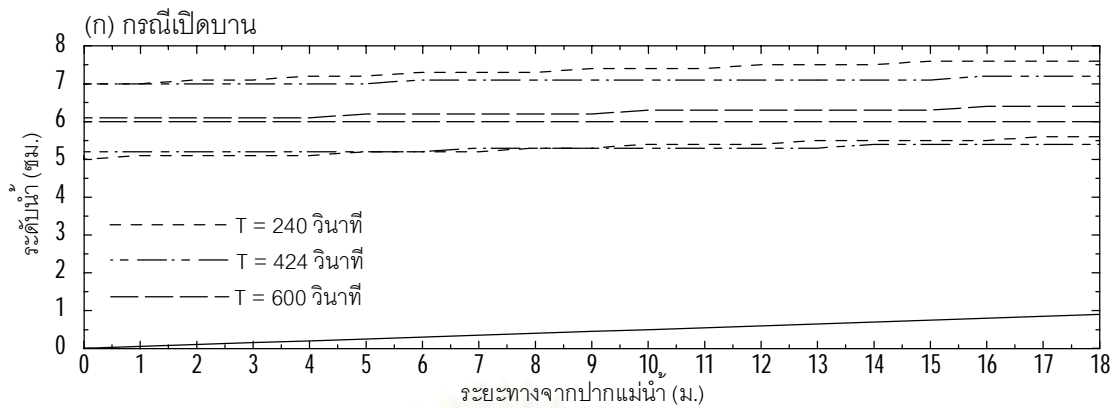
รูป จ-7 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0201$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป ๑-8 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 9 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป ๑-9 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 18 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที



รูป จ-10 ระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุด จากโปรแกรม ISIS Flow กรณี $Q = 1.0$ ลิตร/วินาที
 $n = 0.0211$ และการแทนที่น้ำ 27 ซม. เมื่อกำหนด $\Delta x = 1$ เมตร $\Delta t = 1$ วินาที

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

- ชื่อ** นายชัชชัย หอมสุต
- เกิด** 28 มีนาคม พ.ศ. 2519 จ.ราชบุรี
- การศึกษา** พ.ศ. 2540 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (วศ.บ.ชลประทาน)
 ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
 พ.ศ. 2542 เข้าศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)
 ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ประสบการณ์** 2543-2544 ได้รับทุนผู้ช่วยสอนของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 2544-2545 ได้รับทุนวิจัยของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 2544-2545 ได้รับทุนวิจัยของทบวงมหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย