

องค์ประกอบทางชลศาสตร์ในการเปิดปิดบานประตูเขื่อนทดน้ำบางปะกง



นาย ชลอ ชาติเวียง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

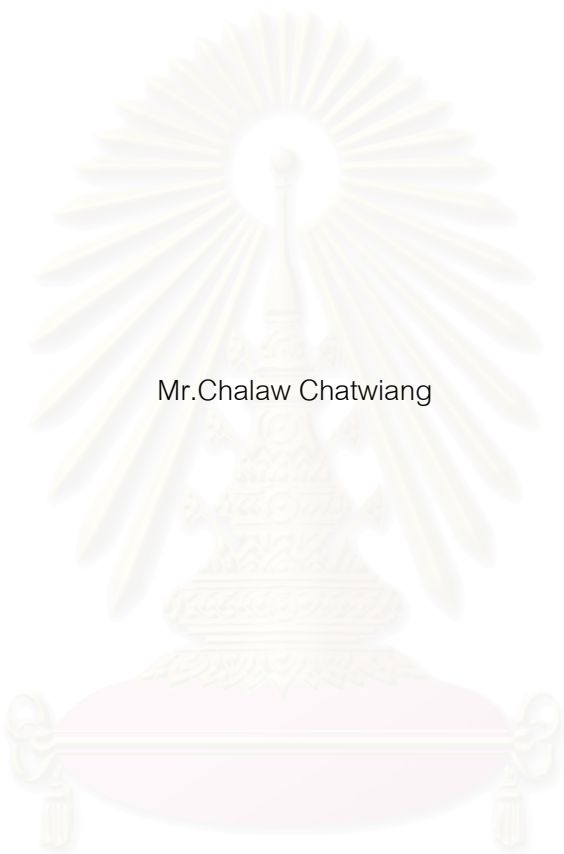
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5756-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

HYDRAULIC FACTORS OF GATE OPERATION IN THE BANG PAKONG DIVERSION DAM



Mr.Chalaw Chatwiang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2003

ISBN 974-17-5756-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

องค์ประกอบทางกลศาสตร์ในการเปิดปิดบานประตูเชื่อมท่อน้ำ
บางปะกง

โดย

นายชลอ ชาติเวียง

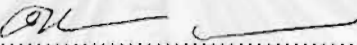
สาขาวิชา

วิศวกรรมแหล่งน้ำ


อาจารย์ที่ปรึกษา

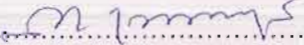
รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทร์โยธา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์)


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


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศรรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)

ชลช ชาติเวียง : องค์ประกอบทางชลศาสตร์ในการเปิดปิดบานประตูเขื่อนทดน้ำบางปะกง (HYDRAULIC FACTORS OF GATE OPERATION IN THE BANG PAKONG DIVERSION DAM) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์, 212 หน้า, ISBN 974-17-5756-5

การศึกษานี้มุ่งศึกษา ค่าระดับน้ำขึ้นลง และค่าอัตราการไหลที่มีผลต่อการเปิดปิดบานประตูเขื่อนทดน้ำบางปะกง และหาความสัมพันธ์ของระยะเวลาการแพร่ความเค็มจากเขื่อนถึงสถานีสูบน้ำ ระดับน้ำขึ้นลงสูงสุดที่ท้ายเขื่อน จากการเปิดปิดบานประตู โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบบ 1 มิติ (โปรแกรม ISIS Flow และ ISIS Quality) เพื่อหาแนวทางเลือกในการเปิดปิดบานประตู สำหรับควบคุมค่าระดับน้ำขึ้นลงสูงสุดที่ท้ายเขื่อน และระยะเวลาการแพร่ความเค็มจากเขื่อนถึงสถานีสูบน้ำ ขอบข่ายเวลาในการศึกษาดังแต่เดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม ซึ่งเป็นช่วงดำเนินการเปิดปิดบานประตูเขื่อนของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง

ผลการศึกษาจากแบบจำลองพบว่า การเปิดปิดบานประตูเขื่อน ควรเริ่มที่ค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อนทดน้ำ ตรงกับค่าอัตราการไหลที่โอกาสเกิด 3 ค่าได้แก่ ที่โอกาสเกิด 20% 50% และ 80 % มีค่าเท่ากับ 49.20 44.47 29.47 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ โดยมีระยะเวลาเฉลี่ยในการแพร่ปริมาณความเค็มที่ 0.1 ppt ที่เขื่อนถึงสถานีสูบน้ำที่ปริมาณความเค็ม 1 ppt ตามสภาพธรรมชาติ เท่ากับ 13 วัน ผลจากการศึกษารูปแบบการเปิดปิดบานประตูทั้งแบบคงที่และไม่คงที่พบว่า ความเค็มและระดับน้ำที่เกิดขึ้นในลำน้ำขึ้นกับขนาดของช่องเปิดบานและระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ปากแม่น้ำเป็นหลัก ขณะที่ระยะเวลาในการแพร่ความเค็มจากเขื่อนถึงสถานีสูบน้ำขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำและขนาดของช่องเปิดบาน

การทดสอบกรณีเปิดปิดบานแบบควบคุมกับเหตุการณ์ที่ผ่านมาพบว่า ให้ค่าระดับน้ำที่ท้ายเขื่อนและระยะเวลาในการแพร่ความเค็มที่ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดในรูปแบบการเปิดบานตามกรณีต่างๆ

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำลายมือชื่อนิสิต
สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2546

4370268821 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: HYDRAULIC / GATE OPERATION / EFFECTS / HYDRAULIC MODEL / BANG PAKONG

CHALAW CHATWIANG : HYDRAULIC FACTORS OF GATE OPERATION IN THE BANG PAKONG DIVERSION DAM, THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. SUCHARIT KOONTANAKULVONG, 212 pp. ISBN 974-17-5756-5

This study aimed at investigate the importance of tide and river discharge on the Bangpakong Gate opening and also find the relationship of salt intrusion time to pumping station and downstream sided water level due to gate opening by using one-dimensional mathematical model (ISIS Flow and ISIS Quality) in order to set options for gate operation start up time, opening pattern which can control downstream sided highest and lowest water level and salt intrusion time to pumping station. The study covered the period of November to January which is the operation time for the Bang Pakong Diversion Dam.

This simulation results revealed that gate operation should start when salt content at gate is 0.1 ppt which correspond to river discharge of 49.2, 44.47 and 29.47 cms with the probability of 20, 50, 80 % respectively. The average traveling time of salt content 0.1 ppt at gate to 1.0 ppt at pumping station is 13 days. The constant and dynamic gate opening patterns caused different maximum water levels at downstream and the salinity and river water level varied with gate openings and tide level while salt traveling time varied with river discharge and gate openings.

The derived gate opening pattern, after applied with past events, showed closed water level figures and salt content with defined values.

Department Water Resources Engineering Student's signature Chalaw Chatwang

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

Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าครั้งนี้ ข้าพเจ้าได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลและหน่วยงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุจิต คุณธนกุลวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำอย่างใกล้ชิดในการทำวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้าให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทโรยธำ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล และ อาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านในการให้คำชี้แนะ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์รวมทั้งคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และบุคลากรของภาคทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และการติดต่อประสานงานในเรื่องต่างๆ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ชาวแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ช่วยเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณ กรมชลประทาน ดร. สมเกียรติ ประจักษ์ รัชการการผู้อำนวยการส่วนจัดสรรน้ำ กรมชลประทาน เจ้าหน้าที่โครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกงที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่บริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอลซัลแดนท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ

ขอขอบคุณ น.ส. อรอนงค์ วรรณราช และนายพงษ์ศักดิ์ สุทธิพนธ์ ที่ช่วยพิมพ์และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการทำวิทยานิพนธ์บางส่วน

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และคนในครอบครัวของข้าพเจ้า เป็นอย่างยิ่งที่ให้โอกาส และเป็นกำลังใจที่ดีต่อข้าพเจ้ามาโดยตลอด

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 การดำเนินการศึกษาและระยะเวลาในการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
1.6 การศึกษาที่ผ่านมา.....	5
1.6.1 การศึกษาด้านแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	5
1.6.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการศึกษา	
2.1 การไหลในทางน้ำเปิด.....	8
2.1.1 สมการความต่อเนื่อง.....	8
2.1.2 สมการพลศาสตร์.....	9
2.2 การแพร่ของน้ำเค็ม.....	11
2.2.1 ลักษณะการผสมบริเวณปากแม่น้ำ.....	11
2.2.2 ลักษณะการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำ.....	12
2.3 การไหลผ่านบานประตู.....	14
2.4 หลักการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง.....	15
2.5 หลักการในแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	18

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณด้านชลศาสตร์.....	18
2.5.2 ทฤษฎีพื้นฐานในแบบจำลองคุณภาพน้ำ	22
2.5.3 ทฤษฎีการไหลผ่านบานประตู.....	24
2.6 การตรวจสอบทางสถิติ.....	25
2.6.1 ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง.....	25
2.6.2 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์.....	25
บทที่ 3 สภาพพื้นที่ศึกษา	
3.1 ประวัติความเป็นมา.....	27
3.2 โครงข่ายแม่น้ำ.....	28
3.2.1 ลุ่มน้ำปราจีนบุรี.....	28
3.2.2 ลุ่มน้ำบางปะกง.....	28
3.2.3 ฝ่ายท่าลาด	28
3.3 สภาพทั่วไปของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	31
3.4 แนวทางการเปิดดำเนินการเขื่อนตามเกณฑ์ที่ออกแบบ.....	40
บทที่ 4 การจัดเตรียมและวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า.....	43
4.1.1 ปริมาณน้ำฝน.....	43
4.1.2 ปริมาณน้ำท่า.....	44
4.2 การขึ้นลงของน้ำที่ปากแม่น้ำ.....	53
4.3 ความเค็มของแม่น้ำ.....	56
4.4 รูปตัดตามขวางของแม่น้ำ.....	61
บทที่ 5 ผลการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง	
5.1 การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง.....	65
5.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ.....	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานประตู.....	67
5.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม.....	70
5.2 ชลศาสตร์กับการเริ่มเปิดปิดบานประตู.....	77
5.2.1 การวิเคราะห์การแพร่ความเค็มที่เขื่อน.....	77
5.2.2 การวิเคราะห์การแพร่ความเค็มจากเขื่อนทดน้ำถึงสถานีสูบน้ำ.....	83
5.2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มและ ระดับน้ำกับตัวแปรต่างๆ ที่เขื่อน.....	86
5.2.4 การวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลน้ำต้นทุนกับการแพร่ความเค็ม.....	88
5.3 รูปแบบการเปิดปิดบานประตู.....	94
5.3.1 แบบเปิดบานหมด.....	95
5.3.2 แบบเปิดคงที่.....	100
5.3.2 แบบเปิดไม่คงที่.....	108
5.4 การประยุกต์ใช้การเปิดปิดบานประตูแบบควบคุม.....	114
 บทที่ 6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผลการศึกษา.....	116
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	122
 รายงานอ้างอิง.....	124
 ภาคผนวก	
ก ข้อมูลการวิเคราะห์อุทกวิทยา.....	128
ข ข้อมูลผลการคำนวณระดับน้ำ.....	137
ค แบบจำลอง ISIS.....	141
ง รายงานสำรวจภาคสนาม.....	157
จ คู่มือปฏิบัติการเขื่อน บทที่ 4 ถึง บทที่ 5.....	172

สารบัญ (ต่อ)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....

หน้า

211



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1-1	ขั้นตอนและระยะเวลาการดำเนินการศึกษา..... 4
ตาราง 3-1	ปริมาณน้ำเก็บกักที่ใช้การได้ของเขื่อนทดน้ำ..... 33
ตาราง 3-2	ลักษณะของเขื่อนทดน้ำบางปะกง..... 34
ตาราง 3-3	ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลอดผ่านบานประตู, Cu..... 42
ตาราง 4-1	ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละจังหวัดในพื้นที่โครงการ..... 43
ตาราง 4-2	อัตราการไหลเฉลี่ยราย 5 วัน (ลบ.ม./วินาที) ของสถานี KGT.3 อ. กบินทร์บุรี จ. ปราจีนบุรี..... 48
ตาราง 4-3	ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดรายเดือนที่ปากแม่น้ำบางปะกง ในช่วงปี พ.ศ.2525-2543..... 53
ตาราง 4-4	ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยรายปี ที่ปากแม่น้ำช่วงเดือน พ.ย.-ม.ค. 54
ตาราง 4-5	รายละเอียดจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ..... 56
ตาราง 4-6	ค่าความเค็มเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน ปี พ.ศ. 2536-2543..... 59
ตาราง 5-1	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ใช้ศึกษาในแบบจำลอง..... 66
ตาราง 5-2	ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตู ($C_d=0.70$)..... 67
ตาราง 5-3	ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม..... 71
ตาราง 5-4	ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม..... 73
ตาราง 5-5	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion Coefficient) ในลำน้ำบางปะกง จากการเปรียบเทียบ..... 76
ตาราง 5-6	การแพร่ของความเค็มที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง (กม 65+500 จากปากแม่น้ำ)..... 78
ตาราง 5-7	การแพร่ความเค็มที่สถานีสูบน้ำ (กม 68 + 500 จากปากแม่น้ำ)..... 79
ตาราง 5-8	ผลการแพร่ความเค็มจากเขื่อนทดน้ำถึงสถานีสูบน้ำ..... 84
ตาราง 5-9	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มกับตัวแปรต่างๆ..... 86
ตาราง 5-10	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของระดับน้ำที่เชื่อมกับตัวแปรต่างๆ..... 88
ตาราง 5-11	ผลการแพร่ความเค็ม 0.1 ppt ที่เชื่อมเป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ..... 89
ตาราง 5-12	ความเค็มน้ำสูงสุดตามยาวแม่น้ำบางปะกงกับอัตราการไหลน้ำต้นทุนคงที่ 92
ตาราง 5-13	ค่าระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดตามความยาวของแม่น้ำบางปะกง..... 95

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตาราง 5-14 ปริมาณน้ำสะสมที่ใช้ ควบคุมความเค็ม 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ จากการเปิดแบบคงที่.....	102
ตาราง 5-15 ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด เฉลี่ยตลอดแม่น้ำบางปะกง กรณีเปิดบานแบบคงที่.....	104
ตาราง 5-16 รายละเอียดการเปิดปิดบานแบบไม่คงที่ ตามกรณีต่างๆ.....	110
ตาราง 5-17 ผลการคำนวณการเปิดบานแบบไม่คงที่.....	112
ตาราง 5-18 รายละเอียดการเปิดบานแบบควบคุม จัดแบ่งจากการเปิดบาน แบบไม่คงที่.....	113
ตาราง 5-19 ผลการประยุกต์ใช้การเปิดปิดบานประตูแบบควบคุม กับข้อมูลปี พ.ศ. 2543.....	114

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 1-1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา.....	4
รูป 2-1 ความต่อเนื่องการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่ทรงตัว.....	8
รูป 2-2 ศักย์พลังงานสำหรับการไหลแบบไม่ทรงตัวในทางน้ำเปิดทั่วไป.....	10
รูป 2-3 ลักษณะการผสมของน้ำเค็มกับน้ำจืดบริเวณปากแม่น้ำ.....	13
รูป 2-4 การเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำเนื่องจากการพาและการแพร่.....	13
รูป 2-5 การไหลลอดใต้บานประตูแบบจมน้ำ (Submerge Flow).....	14
รูป 2-6 ระบบของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์.....	15
รูป 2-7 การหมุนรอบตัวเองของโลกที่ตำแหน่งคนยืน.....	16
รูป 2-8 รูปตามยาวและรูปตัดที่ใช้ในสมการ Saint Venant.....	19
รูป 2-9 จุดอ้างอิงของ Preissmann's implicit finite difference.....	21
รูป 2-10 ตัวแปรการไหลผ่านบานแบบจมน้ำ (Submerge Flow).....	24
รูป 3-1 โครงข่ายแม่น้ำบางปะกง.....	29
รูป 3-2 แผนภูมิระบบลุ่มน้ำหลักบางปะกงและลุ่มน้ำปราจีนบุรี.....	30
รูป 3-3 ผังบริเวณเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	32
รูป 3-4 เขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	32
รูป 3-5 เส้นความจุ ปริมาณน้ำใช้การ ของเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	33
รูป 3-6 รูปตัดด้านข้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	35
รูป 3-7 สถานีสูบน้ำ ของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	36
รูป 3-8 สถานีโทรมาตรที่เขื่อนทดน้ำบางปะกงด้านท้ายเขื่อน.....	37
รูป 3-9 ตำแหน่งสถานีโทรมาตรในปัจจุบัน.....	38
รูป 3-10 แผนผังระบบสถานีโทรมาตร.....	39
รูป 3-11 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการไหลลอดใต้บานประตู.....	41
รูป 4-1 การกระจายน้ำฝน.....	44
รูป 4-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของแม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำสาขาต่างๆ.....	45
รูป 4-3 ตำแหน่งสถานีวัดข้อมูลน้ำท่าในพื้นที่ศึกษา.....	46
รูป 4-4 ระดับน้ำท้ายเขื่อนนายกวันท์ 1 พ.ย. 2543 ถึงวันที่ 31 มกราคม 2544.....	47

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูป 4-5 ลักษณะการกระจายของอัตราการไหลเฉลี่ย สถานี KGT.3 (ปี พ.ศ. 2508 - พ.ศ.2543).....	49
รูป 4-6 อัตราการไหลเฉลี่ยราย 5 วัน ในช่วงการเปลี่ยนแปลงจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง.....	49
รูป 4-7 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันต่ออัตราการไหลเฉลี่ยสะสม ช่วงวันที่ 1 พ.ย.ถึง 31 ม.ค. สถานี KGT.3.....	50
รูป 4-8 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันต่อปริมาณน้ำสะสมเฉลี่ย ช่วง วันที่ 1 พ.ย.ถึง 31 ม.ค. สถานี KGT.3.....	51
รูป 4-9 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันจากฝายท่าลาด ช่วงเดือน พ.ย.-ม.ค. (ปี พ.ศ. 2544-พ.ศ.2545).....	52
รูป 4-10 ระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ย ที่ปากแม่น้ำ ในช่วงเดือน พ.ย.-ม.ค.ปี พ.ศ. 2525 - 2543.....	55
รูป 4-11 ตำแหน่งเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ.....	57
รูป 4-12 ค่าความเค็มเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน แม่น้ำบางปะกง ข้อมูล ปี 2536-2543.....	58
รูป 4-13 ค่าความเค็มช่วงเดือนมกราคม แม่น้ำบางปะกง ข้อมูล ปี 2542-2544.....	60
รูป 4-14 ค่าความเค็มสูงสุด ช่วงเดือน ก.พ.-พ.ค.แม่น้ำบางปะกง ข้อมูล ปี 2536-2544.....	60
รูป 4-15 ตำแหน่งรูปตัดขวาง ตามลำน้ำที่ใช้ศึกษาในแบบจำลอง.....	62
รูป 4-16 รูปตามยาวแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปราจีนบุรี.....	63
รูป 4-17 ตัวอย่างรูปตัดขวางตามลำน้ำ.....	64
รูป 5-1 ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตูที่เขื่อนทดน้ำ วันที่ 26-27 ส.ค. 2542.....	68
รูป 5-2 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตู ของกรณีศึกษาที่ศึกษากับคู่มือปฏิบัติการ.....	69
รูป 5-3 ผลการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม ในกรณีต่างๆ.....	72
รูป 5-4 ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็มที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง.....	74
รูป 5-5 ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็มตามยาวแม่น้ำบางปะกง.....	75
รูป 5-6 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion Coefficient) ในลำน้ำบางปะกง จากการเปรียบเทียบ.....	76

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูป 5-7 ช่วงค่าอัตราการไหลต่อความเค็มที่เขื่อน.....	80
รูป 5-8 ช่วงค่าอัตราการไหลต่อความเค็มที่สถานีสูบน้ำ.....	80
รูป 5-9 ความถี่ในการเกิดอัตราการไหล ที่ค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อน.....	82
รูป 5-10 ปริมาณอัตราการไหลเฉลี่ยสะสมย้อนหลัง 5 วันต่อค่าความเค็มต่างๆที่เขื่อน.....	82
รูป 5-11 ปริมาณน้ำต้นทุนต่อระยะเวลาการแพร่ความเค็มจากเขื่อนถึงสถานีสูบน้ำ.....	85
รูป 5-12 ค่าความเค็มที่เขื่อน ต่ออัตราการไหลคงที่ และระยะเวลาที่เกิด ปี พ.ศ. 2539 (พิสัยน้ำมากที่สุด).....	90
รูป 5-13 ค่าความเค็มที่เขื่อน ต่ออัตราการไหลคงที่ และระยะเวลาที่เกิด ปี พ.ศ. 2543 (ระดับน้ำสูงสุด).....	90
รูป 5-14 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำกับระยะเวลาในการแพร่ความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อน เป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ.....	91
รูป 5-15 ความเค็มน้ำสูงสุดตามยาวแม่น้ำบางปะกงต่อค่าอัตราการไหลน้ำต้นทุนคงที่.....	93
รูป 5-16 ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด กรณีเปิดบานหมด.....	95
รูป 5-17 ความสัมพันธ์ค่าระดับน้ำสูงสุด ที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด....	96
รูป 5-18 ความสัมพันธ์ค่าระดับน้ำต่ำสุด ที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด....	97
รูป 5-19 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสูงสุดที่ปากแม่น้ำ กับความต่างเวลา(Lag Time) ระหว่างที่ ระดับน้ำขึ้นสูงสุดที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด.....	97
รูป 5-20 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด.....	98
รูป 5-21 ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่เขื่อนทดน้ำ กรณีเปิดบานหมด.....	99
รูป 5-22 ปริมาณเค็ม ที่สถานีสูบน้ำ การเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2525 (ปีปริมาณน้ำสะสมมากที่สุด).....	100
รูป 5-23 ปริมาณเค็ม ที่สถานีสูบน้ำ การเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2535 (ปีปริมาณน้ำสะสมน้อยที่สุด).....	101
รูป 5-24 ปริมาณเค็ม ที่สถานีสูบน้ำ การเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2538 (ปีปริมาณน้ำสะสมเฉลี่ย).....	101
รูป 5-25 ระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ยจากปากแม่น้ำถึงท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานแบบคงที่.....	105
รูป 5-26 ระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ยจากปากแม่น้ำ ถึงท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานแบบคงที่.....	105

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูป 5-27 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำสูงสุดที่ทำยเชื่อมกับขนาดของช่องเปิดบานต่างๆ.....	106
รูป 5-28 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำต่ำสุดที่ทำยเชื่อม กับขนาดของช่องเปิดบานต่างๆ.....	107
รูป 5-29 รูปแบบการเปิดบานแบบไม่คงที่	109
รูป 5-30 ตัวอย่างการเปิดแบบไม่คงที่ กรณีที่ 9	110
รูป 5-31 ระดับน้ำสูงสุดที่ทำยเชื่อม กับระยะเวลาที่ค่าความเค็มน้อยกว่า 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ ในการเปิดบานแบบถึ กรณีต่างๆ.....	113
รูป 5-32 เปรียบเทียบค่าการเปิดบานแบบควบคุมในกรณีต่างๆกับค่าจากการประยุกต์ ใช้เหตุการณ์ปี พ.ศ.2543.....	115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

ในสภาพปัจจุบันการเจริญเติบโตของชุมชนเมืองเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่การพัฒนาด้านแหล่งน้ำเพื่อรองรับชุมชนยังเป็นไปได้ช้า ทำให้เกิดสภาพการขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค การเกษตร และอุตสาหกรรม และยังส่งผลให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพน้ำตามมา เนื่องจากไม่มีน้ำต้นทุนเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของน้ำ เพราะแหล่งชุมชนบางแห่งทำให้น้ำเกิดการเน่าเสีย หรือทำให้คุณภาพน้ำไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด แหล่งชุมชนที่อยู่ใกล้กับปากแม่น้ำจะมีปัญหาด้านคุณภาพน้ำมากโดยเฉพาะเรื่องความเค็มของน้ำ จึงไม่สามารถนำน้ำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งๆที่มีลำน้ำไหลผ่าน

การสร้างเขื่อนปิดกั้นลำน้ำก็เป็นแนวทางแก้ไขปัญหาคืออย่างหนึ่งที่เหมาะสม เพื่อป้องกันน้ำเค็มรุกเข้ามาเมื่อสภาพน้ำต้นทุนทางตอนบนของกลุ่มน้ำขาดแคลน และยังสามารถเก็บน้ำในช่วงฤดูฝนเพื่อนำน้ำไปใช้ในฤดูแล้ง แก้ปัญหาการขาดแคลนน้ำได้ ซึ่งโดยทั่วไปลักษณะของเขื่อนจะเป็นลักษณะของเขื่อนทดน้ำ มีบานประตูเพื่อดำเนินการเปิดปิด ในแต่ละช่วงเวลา

การดำเนินการเปิด-ปิดบานประตูจึงเป็นส่วนสำคัญอีกอย่างของโครงการ ซึ่งการจะเปิด-ปิดบานให้เกิดประโยชน์สูงสุดได้นั้น ต้องใช้หลายๆส่วนประกอบกัน และยังต้องศึกษาปัญหาหรือผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการเปิดปิดบานด้วย จากตัวอย่างปัญหาที่พบจากการเปิด-ปิดบานประตูของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา คือ เกิดสภาพน้ำท่วมพื้นที่ด้านท้ายเขื่อน เกิดการพังทลายของตลิ่งด้านท้าย เกิดสภาพน้ำเน่าเสียด้านเหนือเขื่อน เป็นต้น ซึ่งทำให้เขื่อนทดน้ำบางปะกงยังไม่สามารถเปิดดำเนินการได้จนถึงปัจจุบันนี้ ทั้งที่ใช้งบประมาณในการลงทุนเป็นจำนวนมาก

องค์ประกอบทางศาสตร์ต่างๆของเขื่อนทดน้ำบางปะกงต่อการเปิดปิดบานจึงเป็นที่มาของการศึกษาในครั้งนี้ โดยได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์แก้ไข ปัญหา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการทดสอบจนมีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แล้วนั้น สามารถนำมาสร้างสถานการณ์ต่างๆในการเปิดปิดบาน เพื่อให้ทราบผลและนำมาวิเคราะห์ค่าต่างๆทางศาสตร์ต่อการเปิดปิดบานประตู รวมทั้งการหาความสัมพันธ์กันออกมาได้ เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ต่อโครงการอื่นๆในลักษณะหรือรูปแบบเดียวกันได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษา สภาพทางชลศาสตร์ ที่มีผลต่อการเปิดปิดบานประตูของเขื่อนทดน้ำบางปะกง
- 2) จำลองการไหลในแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 3) ประยุกต์ใช้แบบจำลองศึกษาผลกระทบจากรูปแบบการเปิดปิดบานประตู
- 4) หาความสัมพันธ์ ความเค็มน้ำและระดับน้ำกับการเปิดปิดบานประตู

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.) สภาพทางชลศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา คือ ระดับน้ำขึ้นน้ำลงและอัตราการไหล
- 2.) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการศึกษาคั้งนี้มี 2 โปรแกรมคือ
 - โปรแกรม ISIS Flow ศึกษาทางชลศาสตร์ของแม่น้ำ
 - โปรแกรม ISIS Quality ศึกษาทางด้านความเค็มของน้ำ
- 3.) ขอบเขตด้านเหนือของแบบจำลองใช้อัตราการไหลของน้ำที่เขื่อนนายก, สถานีวัดน้ำ KGT.3 และฝายท่าลาด ส่วนขอบเขตด้านท้ายใช้สถานีตรวจวัดค่าระดับน้ำขึ้น-ลงของกรมเจ้าท่าเป็นขอบเขตของการศึกษา
- 4.) หาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลของน้ำต้นทุน ระดับน้ำท้ายเขื่อนและความเค็ม กับการเปิดปิดบานประตูโดยพิจารณาที่การเปิดปิดประตูแบบเปิดคงที่กับเปิดไม่คงที่

1.4 การดำเนินการศึกษาและระยะเวลาในการศึกษา

- 1) ศึกษาหลักการ ทฤษฎีทางชลศาสตร์และอุทกวิทยา ที่ใช้อธิบายการไหลของน้ำและคุณภาพน้ำด้านความเค็ม ตลอดจนสมมติฐานต่างๆที่ใช้ในแบบจำลอง
- 2) รวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบด้วย ข้อมูลทางชลศาสตร์ ข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ ลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ ค่าความเค็มของน้ำ ฯลฯ จากหน่วยงานต่างๆและรายงานการศึกษาที่ผ่านมา
- 3) วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เช่น การขึ้นลงของน้ำ อัตราการไหลของน้ำต้นทุน การแพร่ความเค็มของน้ำ เป็นต้น
- 4) สำนักรวภาคสนามเพิ่มเติมเพื่อให้เข้าใจสภาพในสนามจริงและนำข้อมูลที่ได้มาประกอบการสอบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 5) ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ได้แก่ โปรแกรม ISIS Flow และ ISIS Quality พร้อมทำการจัดเตรียมแบบจำลองเพื่อการศึกษา
- 6) ทบทวนการปรับเทียบแบบจำลอง ISIS Flow ที่มีการดำเนินการและทำการปรับเทียบ (Calibration) และสอบทาน (Validation) แบบจำลอง ISIS Quality พร้อม สปส. ประตุน้ำของเขื่อนบางปะกง
- 7) วิเคราะห์และสรุปผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในกรณีต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ทางชลศาสตร์กับรูปแบบการเปิดปิดบานประตู
- 8) จัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา แสดงในรูป 1-1

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

- 1.) การเรียนรู้วิชาการทางสภาพชลศาสตร์ ที่มีผลต่อการเปิดปิดบานประตูของเขื่อนทดน้ำบางปะกง
- 2.) ผลการศึกษาอาจใช้เป็นแนวทางสำหรับดำเนินการวิจัยหรือการประยุกต์ใช้กับโครงการเขื่อนอื่น ๆ ที่มีรูปแบบใกล้เคียงกันได้
- 3.) ทราบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค็มน้ำและระดับน้ำกับการเปิดปิดบานประตู



รูป 1-1 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา

1.6 การศึกษาที่ผ่านมา

1.6.1 การศึกษาด้านแบบจำลองคณิตศาสตร์

Witaya (1975) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ของ Thatcher และ Harleman มาประยุกต์หาปริมาณความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาโดยการนำสูตรสำเร็จของ NEDECO มาสมมติเป็นค่าปริมาณความเค็มที่ปากแม่น้ำพบว่า ใช้ได้ดีกับข้อมูลจริงในสนาม

Anmat (1976) ใช้แบบจำลองของ Thatcher และ Harleman เช่นกันพบว่า ลักษณะการผสมบริเวณปากแม่น้ำเจ้าพระยาจะเป็นการผสมอย่างดี เมื่ออัตราการไหลจากแม่น้ำน้อยกว่า 200 ลบ.ม./วินาที และการผสมจะเป็นแบบผสมกันบางส่วน ถ้าอัตราการไหลจากแม่น้ำอยู่ระหว่าง 200 และ 1000 ลบ.ม./วินาที โดยที่พิสัยน้ำขึ้นน้ำลง (tidal range) มีค่าประมาณ 2 เมตร

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (1978) ใช้แบบจำลอง Thatcher และ Harleman กับแม่น้ำเจ้าพระยาหาความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มสูงสุด และปริมาณความเค็มเฉลี่ยกับระยะทางจากแม่น้ำในช่วงอัตราการไหลตั้งแต่ 40 ลบ.ม./วินาที ถึง 200 ลบ.ม./วินาที

Prida และ Suphat (1979) ศึกษาผลการซุดลงบริเวณปากอ่าวของทะเลสาบสงขลา โดยใช้แบบจำลองไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ พบว่าการซุดลอกทำให้ปริมาณความเค็มแพร่เข้าสู่ทะเลสาบสงขลามากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง

Tawatchai และ Annat (1980) ใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ หาปริมาณความเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงฤดูแล้งของเดือนกุมภาพันธ์ถึงสิงหาคม 1980 และศึกษาผลกระทบของการสูบน้ำจากแม่น้ำที่ลำห้วยต่อปริมาณความเค็มในแม่น้ำด้วย

Ahmed (1980) ได้ใช้แบบจำลอง Single Reach Model และ Node and Branch Model จำลองการไหลในแม่น้ำบางปะกง ผลการศึกษาพบว่า ค่า manning's n ที่เหมาะสมในช่วงแม่น้ำตอนล่างคือ 0.025 และช่วงตอนบนคือ 0.045 การปรับค่า n มีผลต่อระดับน้ำที่คำนวณได้เป็นอย่างมาก เงื่อนไขค่าเริ่มต้นที่ควรได้มาจากการคำนวณโดยวิธี Quasi Steady เพื่อให้การคำนวณ Unsteady ง่ายขึ้น

S, Koontanakulvong และ T, Kawachi (1986) ได้พัฒนาแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับแก้สมการ Diffusion - Convection ในการไหล 1 มิติ ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยเปรียบเทียบกับ Analytical Solution และวิเคราะห์ Sensitivities ของตัวแปรต่างๆต่อคำตอบของสมการ แบบจำลองที่ได้นำไปประยุกต์ใช้กับการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำเจ้าพระยา ผลจากแบบจำลองได้นำไปเปรียบเทียบกับผลการวัดจริงในสนาม และผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ โดยค่า manning's n สำหรับแม่น้ำเจ้าพระยาที่ใช้ในการศึกษานี้ เท่ากับ 0.025

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

1.6.2 การศึกษาที่เกี่ยวกับโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง

JICA (1990) ทำการศึกษาความเหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรในลุ่มแม่น้ำบางปะกง จากผลการศึกษาดังกล่าว ได้มีการเสนอแผนการจัดการระบบแหล่งน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงเพื่อให้มีน้ำเพียงพอต่อความต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำท่าในแม่น้ำบางปะกงมีปริมาณมากในช่วงฤดูฝน และยังขาดแคลนอ่างเก็บน้ำเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้งทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง โดยมีการเสนอให้ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเพิ่มเติม 12 แห่ง และก่อสร้างเขื่อนทดน้ำ 1 แห่ง ได้แก่ เขื่อนทดน้ำบางปะกงเพื่อป้องกันน้ำเค็ม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2535) ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง หลังจากการก่อสร้างแล้วเสร็จ พบว่าระดับน้ำจากท้ายเขื่อนจะสูงขึ้นจากค่าระดับสูงสุดเดิม +1.10 ถึง +1.20 ม.รทก. เป็น +1.45 ถึง +1.65 ม.รทก. ซึ่งใกล้เคียงกับการขึ้นลงของทะเล ซึ่งมีระดับน้ำสูงสุด (ตามที่กล่าวไว้ในรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม) ระดับน้ำที่เปลี่ยนไปทางด้านเหนือของเขื่อนไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ด้านเหนือเขื่อน เพราะระดับเก็บกักน้ำสูงสุดของเขื่อน (ระดับน้ำประมาณ +0.70 ถึง +1.0 ม.รทก.) ไม่ได้สูงเกินกว่าระดับน้ำสูงสุด ที่เคยเกิด

ในช่วงไม่มีเขื่อนและได้เสนอให้มีการจัดการน้ำเสียจากแหล่งกำเนิด และสร้างระบบรวบรวมและผันน้ำเสียลงท้ายเขื่อน

วีระพล แต่สมบัติ (2543) ได้ศึกษาแนวทางแก้ไขผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเนื่องจากการปิดบานระบายเขื่อนทดน้ำบางปะกง โดยใช้แบบจำลอง MIKE-11 เปรียบเทียบผลการจำลองสภาพแม่น้ำเมื่อเปิดและปิดบานระบาย และผลการรายงานค่าระดับน้ำในวันที่มีการปิดบานจริงและเกิดปัญหาตลิ่งพังทลาย ผลการศึกษาได้แนะนำแนวการควบคุมบานระบายเบื้องต้น และได้แนะนำระยะยาวโดยการใช้โครงสร้างป้องกันตลิ่ง และการจัดหาน้ำต้นทุนเพิ่มขึ้น

JICA (2001) ได้ศึกษาแนวทางต่างๆในการลดปัญหาการแกว่งของระดับน้ำโดยใช้โปรแกรม MIKE-11 ทางเลือกที่ได้ศึกษาไว้ได้แก่ การพัฒนาวิธีควบคุมบานระบาย การใช้บึงพักน้ำ การใช้ประโยชน์จากอัตราการปล่อยน้ำผ่านเขื่อน การสร้างคันดักตะกอน การเพิ่มค่าความเสียดทานท้องน้ำ การสร้างประตูกันคลื่นเพิ่มและการใช้หลายวิธีรวมกัน

กรมชลประทาน (2545) จัดทำแผนปฏิบัติการแก้ไขผลกระทบด้านชลศาสตร์และการกัดเซาะตลิ่งอันเนื่องมาจากเขื่อนทดน้ำบางปะกง เพื่อศึกษาทางเลือกของการแก้ไขผลกระทบด้านชลศาสตร์และการรुक้ำของน้ำเค็มด้านเหนือและท้ายน้ำของแนวทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด จัดทำแผนการแก้ไขทั้งวิธีการจัดการและโครงสร้างแบบบูรณาการ พร้อมทั้งสำรวจ-ออกแบบรายละเอียดของทางเลือกที่มีลำดับความสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการศึกษา

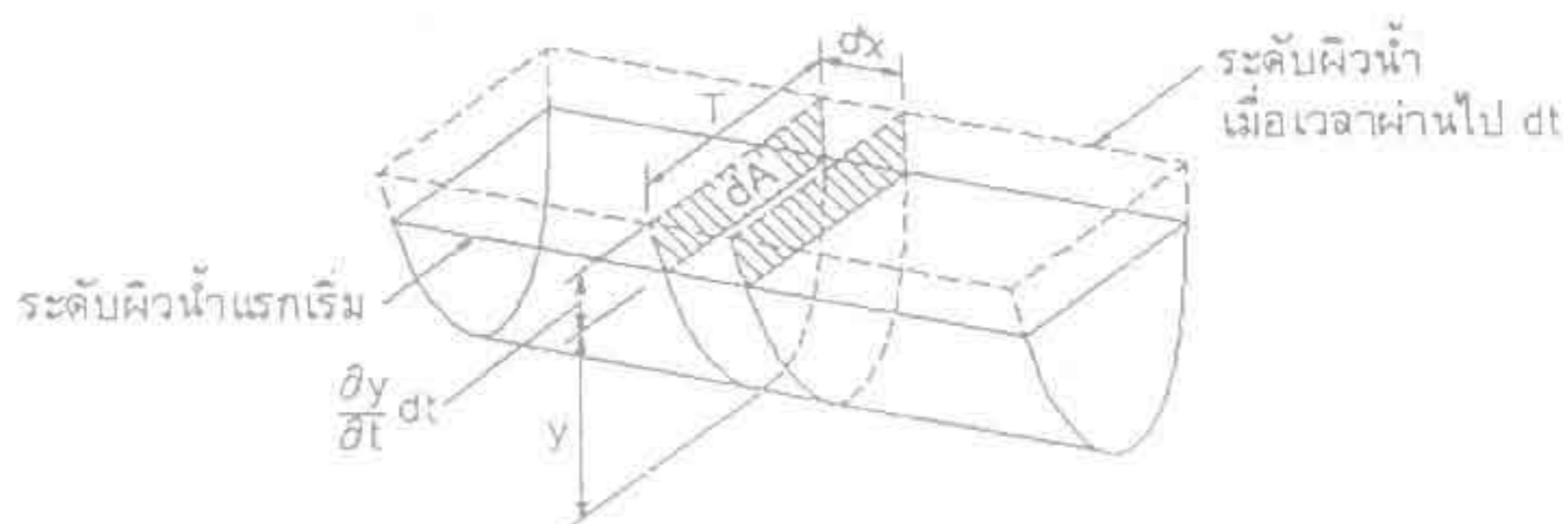
การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โปรแกรม ISIS Flow และ ISIS Quality เป็นเครื่องมือหลักที่ช่วยในการศึกษากับการไหลทางน้ำเปิด

ทฤษฎีทางด้านชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาการไหลแบบคงที่ได้แก่ ทฤษฎีเกี่ยวกับพลังงานของการไหลในรูปแบบสมการแบร์นูลี และวิธีการคำนวณการไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย (Gradually Varied Flow) ส่วนการพิจารณาการไหลแบบไม่คงที่จะอาศัยสมการความต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัมเป็นพื้นฐานในการคำนวณ ทฤษฎีและสมการที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้านี้ได้แก่

2.1 การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด แบบการไหลที่ไม่ทรงตัว (Unsteady Flow) อธิบายด้วยสมการของ Saint Venant (1871) ประกอบด้วย สมการต่อเนื่อง (Continuity equation) และสมการพลศาสตร์ โดยสมการความต่อเนื่องแสดงถึงความสมดุลระหว่างอัตราการเพิ่มของระดับน้ำและปริมาตรเก็บกักที่เพิ่มขึ้น ส่วนสมการพลศาสตร์แสดงถึงความเฉื่อย แรงเนื่องจากการแพร่กระจาย แรงโน้มถ่วง และแรงเสียดทาน แรงบางชนิดก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วยแต่น้อยมากและไม่นำมาพิจารณา ได้แก่ แรงลม แรงเนื่องจากการหดตัว เป็นต้น

2.1.1 สมการความต่อเนื่อง พิจารณาน้ำตัดการไหลระหว่างสองหน้าตัดในช่องทางน้ำเปิด มีระยะห่าง dx แสดงในรูป 2-1



รูป 2-1 ความต่อเนื่องการไหลในทางน้ำเปิดแบบไม่ทรงตัว

สำหรับการไหลแบบไม่ทรงตัว จะมีการอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลเทียบกับระยะทาง $(\frac{\partial Q}{\partial x})$ และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความลึกเทียบกับเวลา $(\frac{\partial y}{\partial t})$ ดังนั้นอัตราการเปลี่ยนแปลงการไหลผ่านหน้าตัดการไหลในช่วงเวลา dt คือ $(\frac{\partial Q}{\partial x})dxdt$ และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรในช่องทางน้ำเปิดคือ $Tdx(\frac{\partial Q}{\partial x})dt = dx(\frac{\partial A}{\partial t})dt$ เนื่องจากน้ำเป็นสสารที่ไม่สามารถอัดตัวได้ จะได้ว่า การเปลี่ยนแปลงสุทธิการไหลรวมกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรในช่องทางน้ำเปิดมีค่าเท่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือ

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)dxdt + Tdx\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)dt = \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)dxdt + dx\left(\frac{\partial A}{\partial t}\right)dt = 0 \quad (2.1)$$

เมื่อจัดรูปใหม่จะได้

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) + T\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right) = 0 \quad (2.2)$$

หรือ

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) + \left(\frac{\partial A}{\partial t}\right) = 0 \quad (2.3)$$

2.1.2 สมการพลศาสตร์ พิจารณาหน้าตัดทางด้านข้างของการไหล แสดงในรูป 2-2 มีแรงเนื่องจากความเร่ง $\frac{\partial V}{\partial t}$ กระทำต่อน้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำเท่ากับ $(w/g)\frac{\partial V}{\partial t}$ ซึ่งมาจากกฎของนิวตัน แรง = มวล \times ความเร่ง โดยสมมติให้ทางน้ำเปิดมีค่าความลาดเอียงน้อยมากจึงทำให้มีความเร่งในทิศทางแนวราบทิศทางเดียว โดยไม่คิดความเร่งในทิศทางแนวตั้ง

ดังนั้นงานที่เกิดขึ้นโดยแรงผ่านช่วงระยะ dx ระหว่างหน้าตัดการไหลทั้งสองหน้าตัดคือ $(w/g)\frac{\partial V}{\partial t}dx$ เมื่อไม่มีน้ำหนักหนึ่งหน่วยของน้ำ w เกิดศักย์

ศักย์ที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมดในช่วงระยะ dx มีลักษณะคล้ายคลึงกับการไหลแบบทรงตัว ยกเว้นแต่จะมีศักย์สูญเสียเนื่องจากความเร่งรวมอยู่ด้วย โดยศักย์สูญเสียรวมทั้งหมดจะมีอยู่สองส่วน ในส่วนแรกเป็นศักย์สูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน $h_f = S_f dx$ และในส่วนที่สองเป็น

ศักย์สูญเสียเนื่องจากความเร่ง $h_a = (1/g)(\partial V / \partial t) dx$ โดยความลาดชันของเส้นความเร่ง ดังสมการ

$$S_o = (1/g)(\partial V / \partial t) \quad (2.4)$$

อาศัยหลักของพลังงานระหว่างหน้าตัดการไหลทั้งสอง เขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$z + y + \frac{\alpha V^2}{2g} = z + dz + y + dy + \frac{\alpha V^2}{2g} + d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) + \frac{\alpha V}{\partial t} dx + S_f dx \quad (2.5)$$

จัดรูปใหม่ จะได้

$$d\left(z + y + \frac{\alpha V^2}{2g}\right) = -S_f dx - \frac{\partial V}{g \partial t} dx \quad (2.6)$$

ด้านซ้ายของสมการที่ (2.6) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงในศักย์รวมทั้งหมด ส่วนที่สองเทอมด้านขวามือของสมการคือศักย์สูญเสียเนื่องจากความเสียดทาน และความเร่งตามลำดับ

จากสมการที่ (2.6) จัดรูปใหม่โดยหารด้วย dx ทั้งสองข้างในสมการ แล้วจัดให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ย่อยดังนี้

$$\frac{\partial (z + y)}{\partial x} + S_f + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha V^2}{2g} \right) + \left(\frac{\partial V}{g \partial t} \right) = 0 \quad (2.7)$$

หรือ

$$\frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\alpha V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \left(\frac{\partial V}{g \partial t} \right) + \frac{\partial z}{\partial x} + S_f = 0 \quad (2.8)$$



รูป 2-2 ศักย์พลังงานสำหรับการไหลแบบไม่ทรงตัวในทางน้ำเปิดทั่วไป

2.2 การแพร่ของน้ำเค็ม

พฤติกรรมของการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำ ต้องพิจารณาถึงลักษณะการผสมบริเวณปากแม่น้ำ และลักษณะการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ลักษณะการผสมบริเวณปากแม่น้ำ

การผสมกันระหว่างน้ำจืดจากแม่น้ำ และน้ำเค็มจากทะเลบริเวณปากแม่น้ำ จะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับขนาดและทิศทางของอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากแม่น้ำ ที่ก่อให้เกิดกระแสน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Current) ปริมาณน้ำที่ไหลมาจากแผ่นดิน และผลของความแตกต่างของความหนาแน่นของน้ำจืดและน้ำเค็ม ซึ่งมีลักษณะการผสมบริเวณปากแม่น้ำนี้ ในปี 1966 Simmon ได้แบ่งประเภทของปากแม่น้ำตามลักษณะผสม 3 ประเภท ดังรูป 2-3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ปากแม่น้ำแบบแบ่งชั้น (Stratified Estuary) จะเกิดขึ้นในกรณีที่น้ำมีอัตราการไหลจากแผ่นดินมากโดยเฉพาะช่วงฤดูฝน น้ำจืดและน้ำเค็มจะมีการแบ่งชั้นอย่างชัดเจน เนื่องจากความหนาแน่นของน้ำเค็มมีค่ามากกว่าความหนาแน่นของน้ำจืด ดังนั้นน้ำจืดจึงมีแนวการไหลอยู่บนลึมน้ำเค็ม (Salt wedge) และเกิดการฟุ้งกระจายของน้ำเค็มและน้ำจืดที่ผิวสัมผัสร่วม (Interface) ระหว่างน้ำเค็มกับน้ำจืด ซึ่งจะเกิดการเคลื่อนไหวของโมเลกุลของน้ำเค็มกับโมเลกุลของน้ำจืดแลกเปลี่ยนบ้าง และไม่ปั่นป่วนกันมากนัก

2. ปากแม่น้ำแบบผสมบางส่วน (Partially Mixed Estuary) เกิดจากอิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลงมีมากพอที่จะทำให้เกิดการปั่นป่วนของการผสมของน้ำจืดและน้ำเค็มทั้งแนวราบและแนวตั้งมากกว่าปากแม่น้ำแบบแบ่งชั้นชัดเจน ผิวสัมผัสร่วมพอมืออยู่บ้างแต่ไม่ชัดเจน

3. ปากแม่น้ำแบบผสมอย่างดี (Well Mixed Estuary) เกิดจากการที่ปริมาณน้ำจืดจากแผ่นดินมีน้อยโดยเฉพาะช่วงฤดูแล้ง ความแตกต่าง (Gradient) ของปริมาณความเค็มมีน้อยมากในแนวตั้ง กระแสน้ำขึ้นน้ำลงมีส่วนที่ทำให้เกิดการผสมอย่างดีเกิดขึ้น

2.2.2 ลักษณะการแพร่ของน้ำเค็มในแม่น้ำ

การที่สารต่างๆที่ละลายหรือแขวนลอยอยู่ในบริเวณแม่น้ำ จะเกิดการแพร่ (Dispersion) ได้นั้นจะต้องประกอบด้วยขบวนการ 2 อย่างที่มีอิทธิพลหลัก ดังนี้ (รูปที่ 2-4)

1) การพา (convection) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสาร เนื่องจากอิทธิพลของกระแสน้ำพาไป

2) การฟุ้งกระจาย (diffusion) เป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายมวลสารจากสารจากจุดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไปยังจุดที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า

ในแม่น้ำตามธรรมชาติและบริเวณปากแม่น้ำ จะมีการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งเป็นแบบไม่คงที่(Unsteady State) และความเร็วของกระแสน้ำเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในการศึกษาเพื่อหาปริมาณความเค็ม ในปี 1965 Holley และ Harleman ได้ใช้คุณสมบัติการอนุรักษ์ (Conservative Property) หาสมการการแพร่ของน้ำเค็มในการไหลแบบปั่นป่วน 1 มิติ ในกรณีนี้ที่ปากแม่น้ำแบบผสมอย่างดีดังนี้

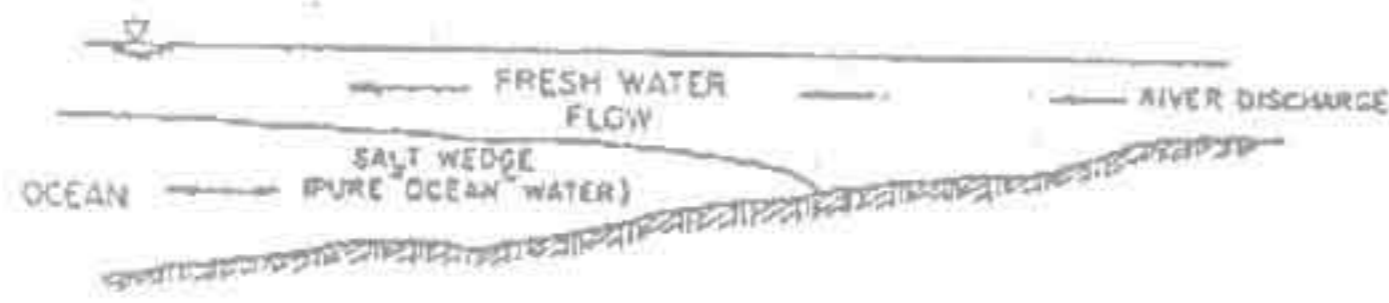
$$A \frac{\partial(S)}{\partial t} + Q \frac{\partial S}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (AD_x \frac{\partial S}{\partial x}) \quad (2.9)$$

โดยที่	A	=	พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ม ²)
	Q	=	อัตราการไหล (ลบ.ม./วิ)
	D _x	=	สัมประสิทธิ์การแพร่ (ม ² /วิ)
	S	=	ปริมาณความเค็ม (ppt)
	X	=	ระยะทาง (ม.)
	T	=	เวลา (วินาที)

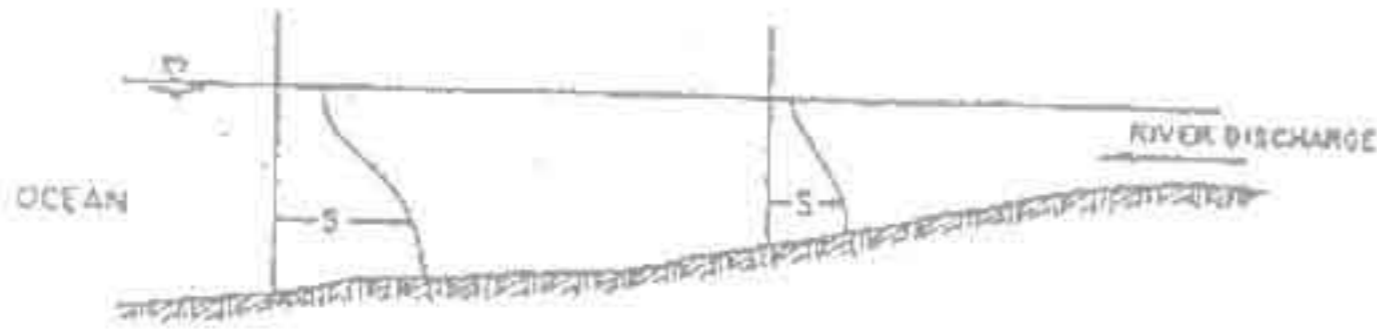
เมื่อ $A \frac{\partial(S)}{\partial t}$ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเค็มในช่วงเวลา dt

$Q \frac{\partial S}{\partial x}$ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเค็มในแกนระยะทางเนื่องจากกระแสน้ำ

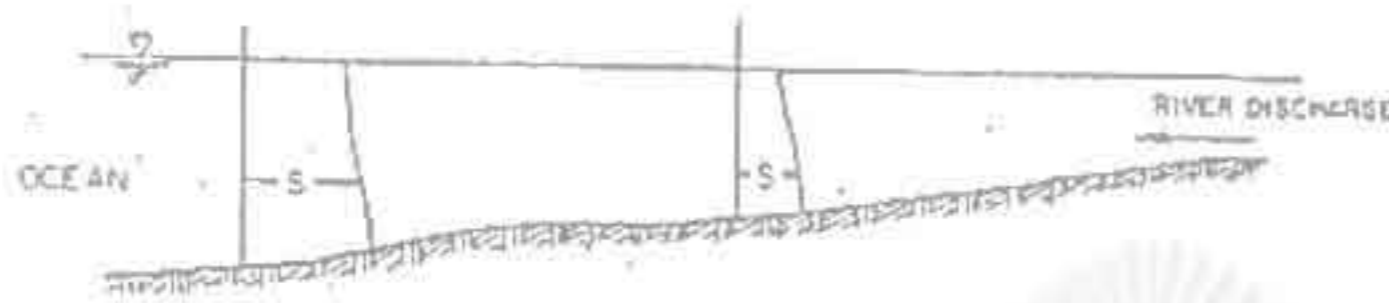
$\frac{\partial}{\partial x} (AD_x \frac{\partial S}{\partial x})$ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงปริมาณความเค็มในแกนระยะทางเนื่องจากขบวนการแพร่



ก. การผสมแบบแบ่งชั้น

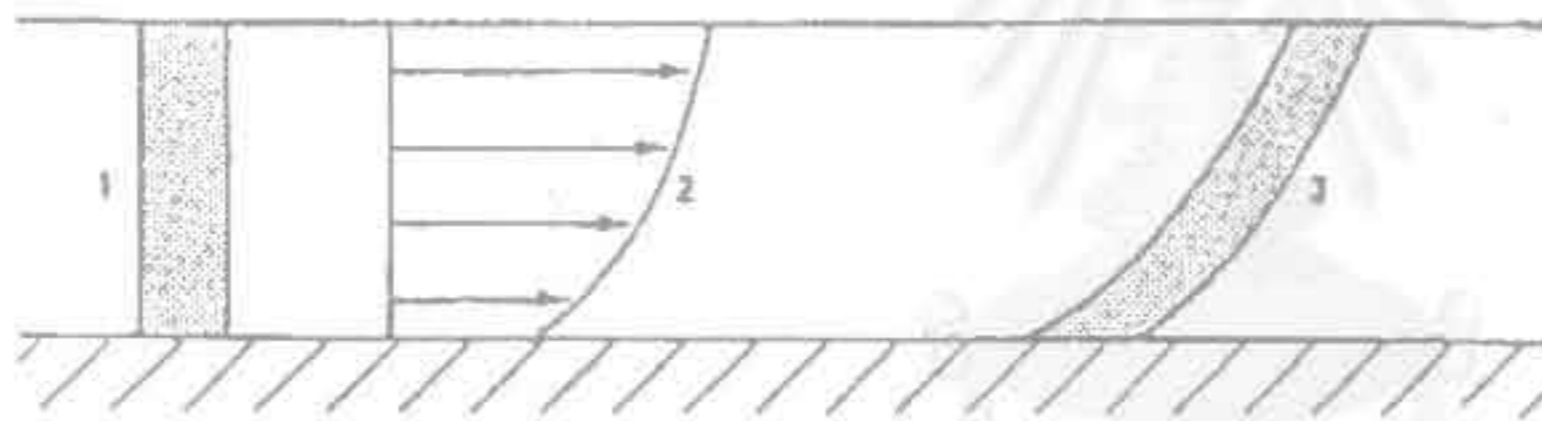


ข. การผสมแบบแบ่งชั้นบางส่วน

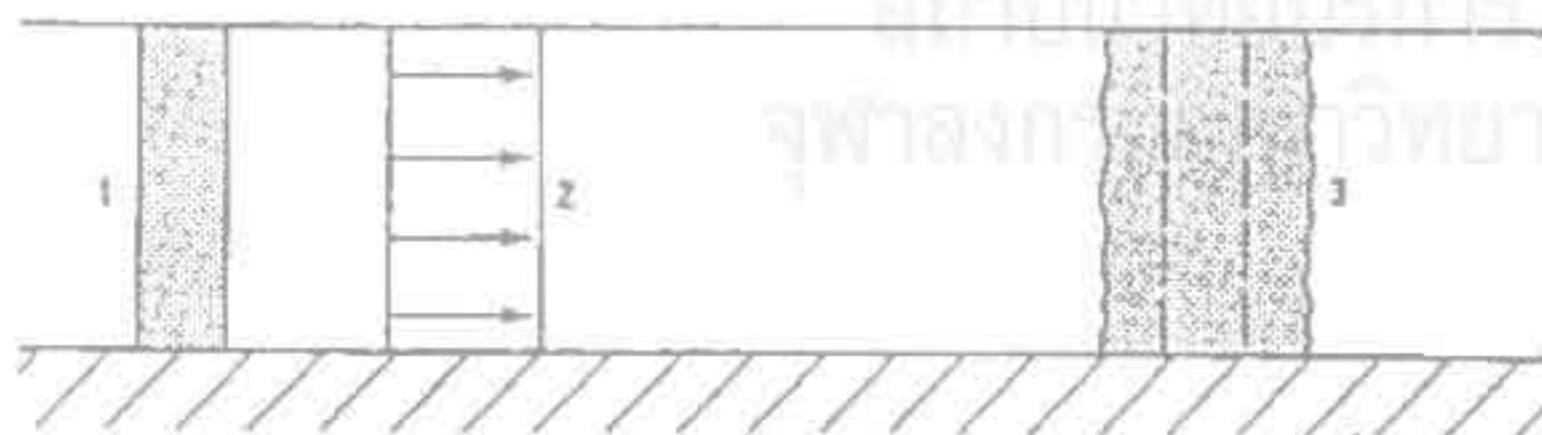


ค. การผสมอย่างดี

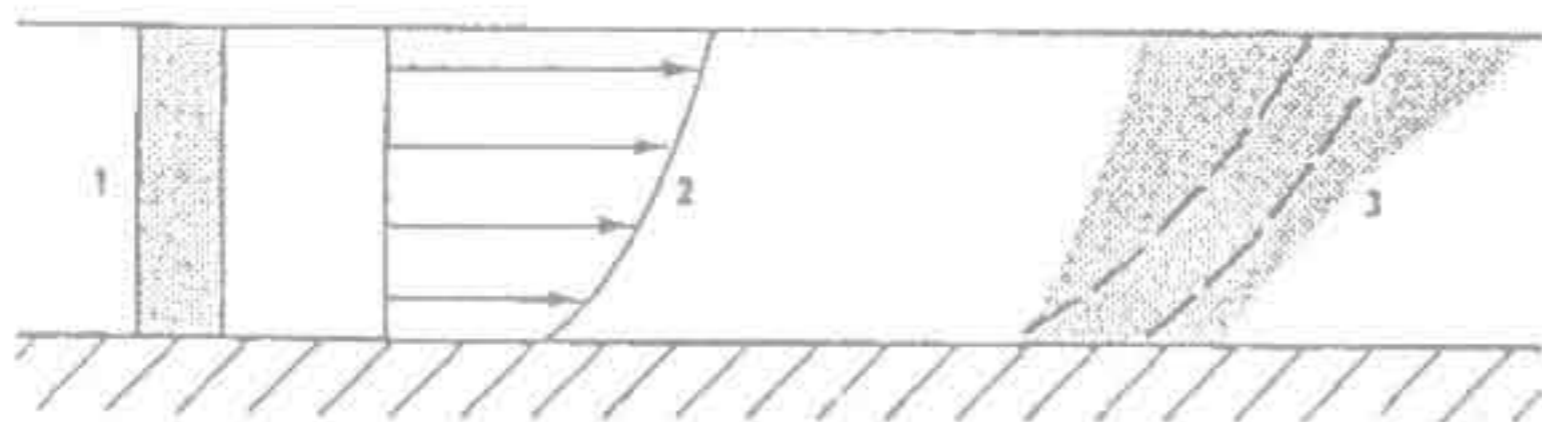
รูป 2-3 ลักษณะการผสมของน้ำเค็มกับน้ำจืดบริเวณปากแม่น้ำ



ก) การพาที่มีความเร็วในหน้าตัดแตกต่างกัน และปราศจากการแพร่



ข) การพาที่มีความเร็วในหน้าตัดเท่ากัน และมีการแพร่



ค) การพาที่มีความเร็วในหน้าตัดแตกต่างกัน และมีการแพร่

- สัญลักษณ์
- 1 = สารละลายเริ่มต้น
 - 2 = หน้าตัดความเร็ว
 - 3 = การกระจายของสารละลายที่เวลาผ่านไป

รูป 2-4 การเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำเนื่องจากการพาและการแพร่

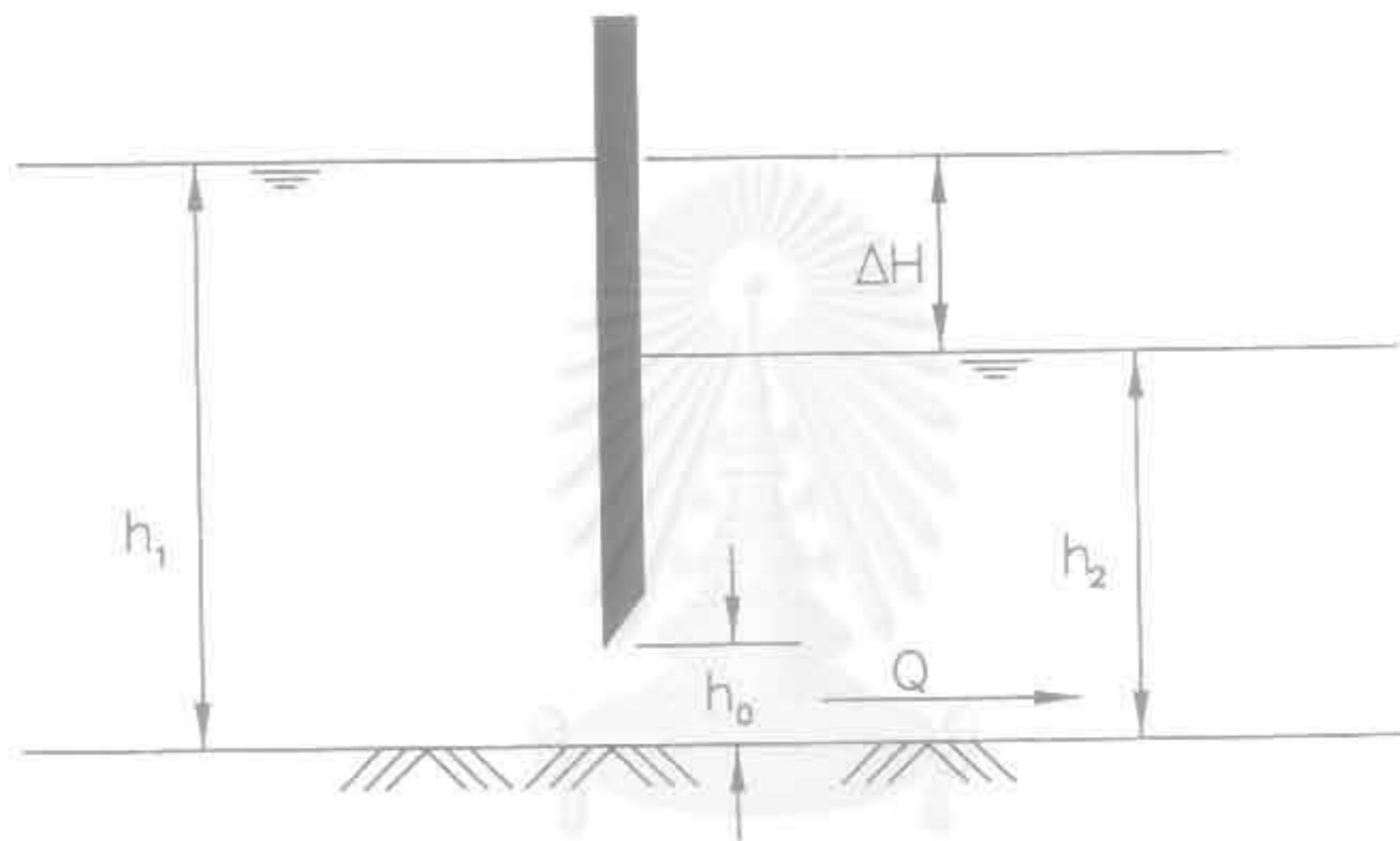
2.3 การไหลผ่านบานประตู

ทฤษฎีวิเคราะห์การไหลผ่านบานประตูชนิดลอดบานประตูจะเกิดได้ 2 ลักษณะคือ

ลักษณะที่ 1 เป็นการไหลแบบอิสระ (Free Flow)

ลักษณะที่ 2 เป็นการไหลแบบจมน้ำ (Submerged Flow)

สำหรับการศึกษานี้ใช้การไหลแบบจมน้ำ (Submerged Flow) ผ่านบานประตูแบบตรงคือ การไหลแบบมีผลกระทบจากน้ำด้านท้ายเขื่อนดังแสดงในรูป 2-5 การคำนวณหาอัตราการไหลใช้สูตรของ Orifice Formula ได้แก่



รูป 2-5 การไหลลอดใต้บานประตูแบบจมน้ำ (Submerge Flow)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$Q = C_d b h_o \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (2.10)$$

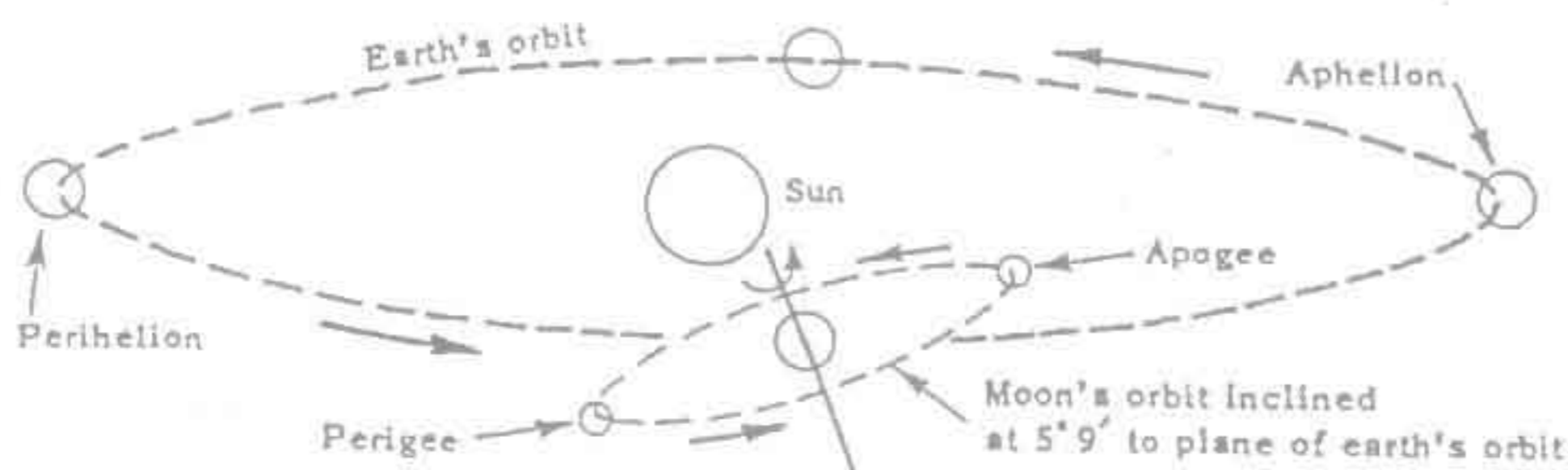
เมื่อ	C_d	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของบานตรง
	b	=	ความกว้างของช่องเปิด (เมตร)
	h_o	=	ขนาดของช่องเปิด (เมตร)
	g	=	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก = 9.81 ลบ.ม./วินาที
	h_1	=	ความสูงของน้ำด้านเหนือบาน (เมตร)
	h_2	=	ความสูงของน้ำด้านท้ายบาน (เมตร)
	ΔH	=	$h_1 - h_2$ (เมตร)

2.4 หลักการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง

ลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อคาร์บอนและคาร์บอนไดออกไซด์และการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง องค์ประกอบที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง ได้แก่ คุณสมบัติของระบบโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ แรงที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

น้ำขึ้นน้ำลงเป็นคลื่นยาว (Longwave) ที่ก่อให้เกิดการสูงขึ้น และลดต่ำลงของระดับน้ำทะเล และส่งผลต่อเนื่องเข้าไปในบริเวณปากแม่น้ำด้วย ความยาวคลื่นและคาบของน้ำขึ้นน้ำลงใหญ่กว่าคลื่นลมธรรมดา การใช้ประโยชน์จากการศึกษาและสังเกตลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงมีมาตั้งแต่สมัยโบราณ ซึ่งมนุษย์ที่อาศัยอยู่ตามแนวชายฝั่งทะเลออกหาปลาในขณะที่น้ำลง นอกจากนี้ น้ำขึ้นน้ำลงยังมีความสำคัญต่อการเดินเรือ โดยการอาศัยกระแสน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal current) ในการเดินเรือเข้าหรือออกจากท่าเรือต่าง ๆ ในปากแม่น้ำ กล่าวคือ ในขณะที่กระแสน้ำขึ้น (Flood current) จะเดินเรือขึ้นไปทางเหนือ และจะเดินเรือออกทะเลในขณะที่กระแสน้ำลด (Edd current)

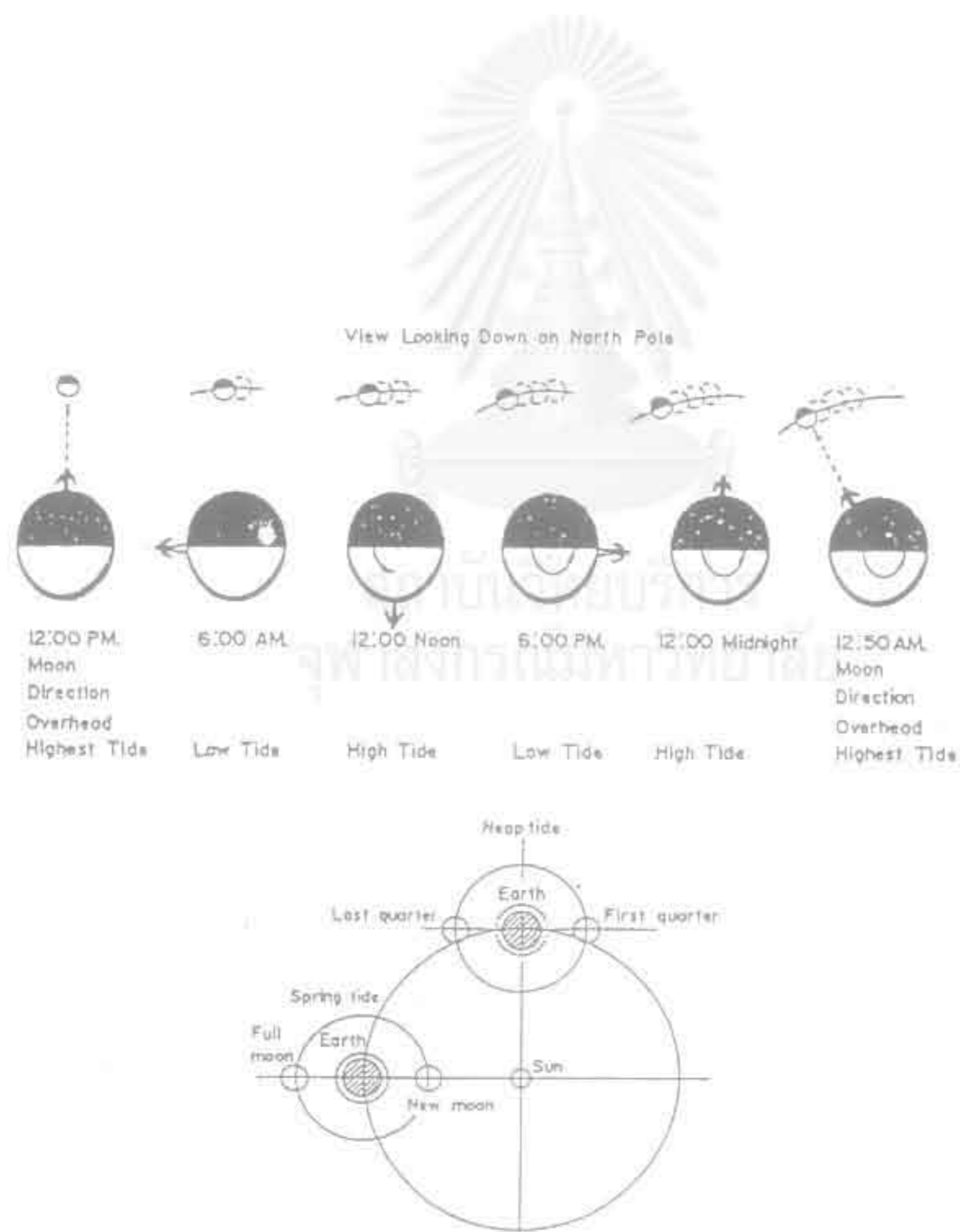
คลื่นน้ำขึ้นน้ำลงไม่เป็นอิสระ เนื่องจากไม่สามารถหนีออกไปจากแรงที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลงได้ ซึ่งเกิดจากปัจจัยพื้นฐานคือ การหมุนของโลกรอบตัวเอง การโคจรของดวงจันทร์รอบโลก และการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ ก็ยังมีอิทธิพลเนื่องจากดวงดาวต่าง ๆ อีก แต่ก็น้อยมาก เมื่อเทียบกับอิทธิพลเนื่องจากดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ จึงมักไม่นำมาพิจารณา



จาก T. Ippen, 1966

รูป 2-6 ระบบของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์

ระบบของโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ดังรูป 2-6 ประกอบด้วยการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ และการโคจรของดวงจันทร์รอบโลก ซึ่งมีลักษณะวงโคจรเป็นรูปวงรี (elliptic) ดวงจันทร์และโลกต่างก็หมุนรอบแกนตัวเองไปด้วย ระนาบที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เรียกว่า ระนาบ Ecliptic และแกนของโลกจะทำมุม $66\frac{1}{2}$ กับระนาบ Ecliptic วงโคจรของดวงจันทร์รอบโลกจะทำมุม $5^{\circ} 9'$ กับระนาบ Ecliptic หรือประมาณ $28\frac{1}{2}$ กับเส้นศูนย์สูตรของโลก (Equator) ตำแหน่งที่ดวงจันทร์โคจรมาอยู่ใกล้โลกมากที่สุดเรียกว่า Perigee และห่างจากโลกมากที่สุดเรียกว่า Apogee ดังนั้นเมื่อดวงจันทร์อยู่ที่ Perigee จะเกิดน้ำขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์มากที่สุด ส่วนตำแหน่งที่โลกโคจรอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า Perihelion และห่างจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า Aphelion



รูป 2-7 การหมุนรอบตัวเองของโลกที่ตำแหน่งคนยืน

ในทางดาราศาสตร์นั้น พบว่า ดวงจันทร์โคจรรอบโลก 1 รอบ ใช้เวลา 29.53 วัน ถ้าเทียบกับการหมุนรอบตัวเองของโลกที่ตำแหน่งคนยืน ดังรูป 2-7 จะพบว่า ตำแหน่งของดวงจันทร์จะตรงศีรษะคนยืนอีกครั้ง ดวงจันทร์จะเคลื่อนที่ไป $1/29.53$ ของวงโคจรของดวงจันทร์รอบโลก ลักษณะเช่นนี้ จะทำให้น้ำขึ้นสูงสุดหรือลงต่ำสุดที่ตำแหน่งใด ๆ บนผิวโลก จะเกิดซ้ำกว่า 50 นาที

ระบบโลก-ดวงจันทร์-ดวงอาทิตย์ (Earth-Moon-Sun system) จากการศึกษาทฤษฎีสมดุลของน้ำขึ้นน้ำลงในกรณีของโลกกลม (Prelate spheroid) พบว่า อัตราส่วนของระดับน้ำเนื่องจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ต่อระดับน้ำเนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์เท่ากับ 0.457 แสดงว่าดวงจันทร์มีอิทธิพลต่อระดับน้ำบนโลก 54.3% ในระบบโลก ดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ อยู่ในแนวตั้งฉากกัน คือ ดวงจันทร์อยู่ที่ตำแหน่งเสี้ยวที่ 1 (First quarter) และเสี้ยวสุดท้าย (Last quarter) จะทำให้เกิดพิสัยน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal range) น้อยที่สุดเรียกว่า น้ำตาย (Neap tide) แต่ถ้าดวงจันทร์ โลก และดวงอาทิตย์ อยู่ในแนวเดียวกัน คือดวงจันทร์อยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้นดวงใหม่อีกครั้ง (New moon) และตำแหน่งดวงจันทร์เต็มดวง (Full moon) จะทำให้เกิดพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงมากที่สุด เรียกว่า น้ำเกิด (Spring tide) การเกิดน้ำเกิดและน้ำตายนี้ ก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ต้องพิจารณา เรียกว่า องค์ประกอบรายปักษ์ทางจันทร์คติ (Lunar fortnightly constituents) ซึ่งมีคาบ (Period) 13 วัน 15 ชั่วโมง 52 นาที

กล่าวโดยทั่วไปลักษณะการขึ้นลงของน้ำทะเล จะมีลักษณะเป็นคลื่นโดยเวลาที่น้ำทะเลสูงขึ้น เรียกว่า น้ำขึ้น (Flood Tide) และช่วงเวลาที่น้ำทะเลลดระดับลงเรียกว่า น้ำลง (Ebb Tide) ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำขึ้นสูงสุดและน้ำลงต่ำสุดจะเรียกว่า พิสัยน้ำขึ้นลง (Tidal Range)

ลักษณะลูกคลื่นของน้ำทะเล จะมีบางช่วงที่มีน้ำขึ้นสูงสุดหรือน้ำลงต่ำสุด 2 ครั้งต่อวัน ซึ่งเรียกว่า น้ำคู่ (Semi-Diurnal) และบางช่วงเวลาที่น้ำขึ้นลงสูงสุดเพียงครั้งเดียวต่อวัน เรียกว่า น้ำเดี่ยว (Diurnal) สำหรับพิสัยน้ำของน้ำขึ้นลง ที่บางช่วงเวลาที่ น้ำทะเลมีค่าพิสัยน้ำขึ้นลงสูง เรียกว่า น้ำเกิด (Spring Tide) และบางช่วงเวลาที่พิสัยของน้ำขึ้นลงไม่สูงมาก เรียกว่า น้ำตาย (Neap Tide)

2.5 หลักการในแบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โปรแกรม ISIS ที่ใช้ศึกษามี 2 ส่วนคือโปรแกรม ISIS Flow และ โปรแกรม ISIS Quality ใช้จำลองสภาพการไหลแบบทรงตัว(Steady Flow)และแบบไม่ทรงตัว(Unsteady Flow) โดยอยู่บนพื้นฐานของสมการ Saint Venant (รูปตามยาวและรูปตัดที่ใช้ในสมการ Saint Venant แสดงดังรูป 2-8) แบบเต็มรูปแบบ และแก้ไขสมการด้วยวิธีของ Preissmann implicit โดยมีรายละเอียดสมการทางชลศาสตร์ที่ใช้ใน ISIS Flow ดังนี้

2.5.1 ทฤษฎีพื้นฐานในการคำนวณด้านชลศาสตร์ การไหลแบบไม่ทรงตัว(Unsteady Flow) ในโครงข่ายของการไหลในทางน้ำเปิด พื้นฐานของการคำนวณของแบบจำลองแม่น้ำจะพิจารณาถึงผลกระทบซึ่งกันและกันระหว่างทางน้ำกับการควบคุมภายในและภายนอกของทางน้ำ ซึ่งการพิจารณาสภาพชลศาสตร์ดังกล่าวจะต้องพิจารณาถึงมวลและโมเมนตัมของมวลน้ำในทางน้ำ โดยมีรายละเอียดดังนี้

การไหลแบบไม่ทรงตัว (Unsteady Flow)

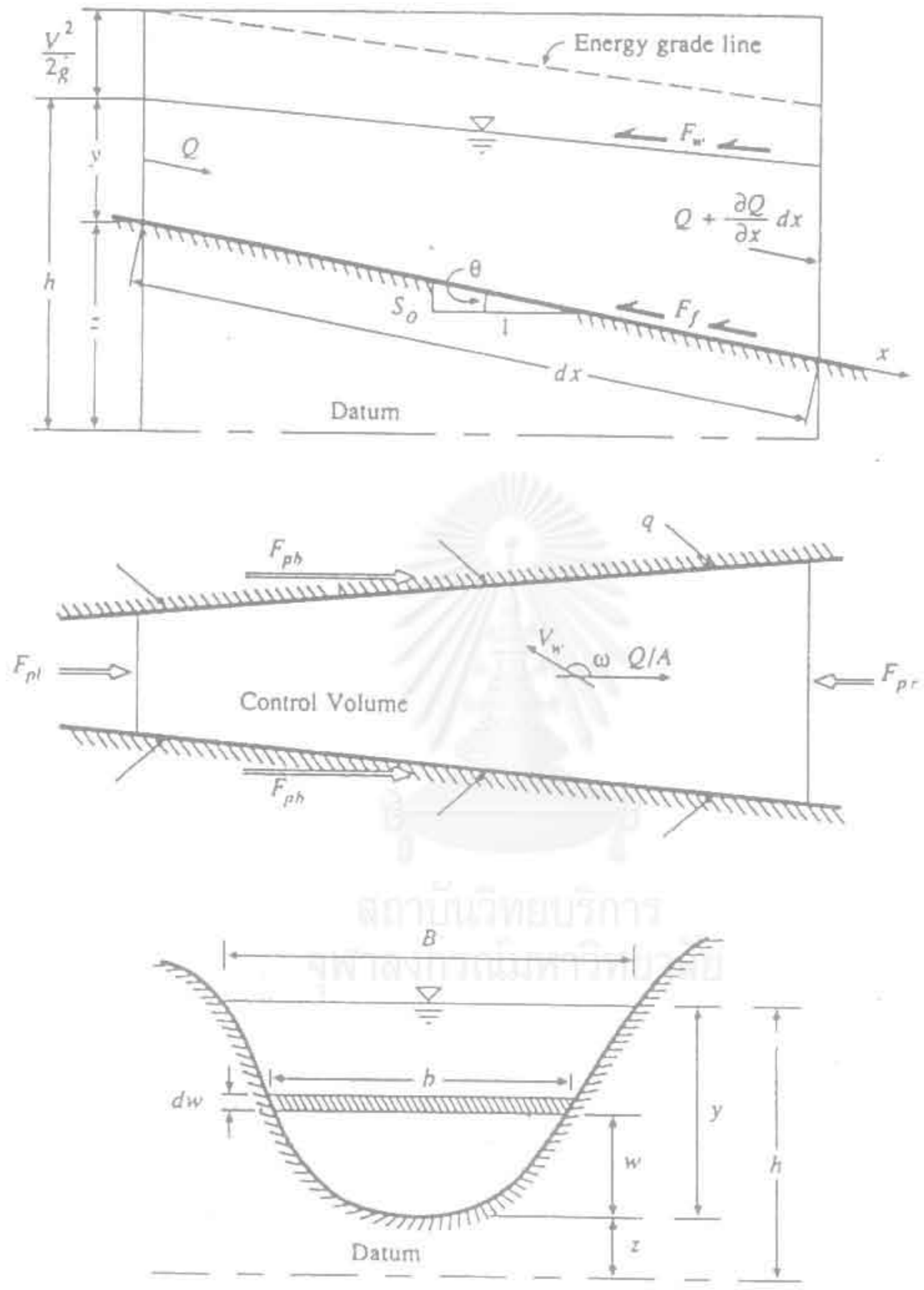
วิธีการคำนวณจะใช้สมการ Saint Venant ซึ่งประกอบด้วยทฤษฎีพื้นฐานคือ กฎทรงมวลและโมเมนตัม รวมทั้งสมการการไหลผ่านจุดควบคุมการไหลภายใน (Internal Boundary) และจุดควบคุมภายนอก (External Boundary) ประกอบด้วย 2 สมการคือ สมการที่ 2.3 และ สมการที่ 2.8

1) สมการต่อเนื่อง (Continuity equation)

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

2) สมการโมเมนตัม (Momentum equation)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial X} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial X} - gAS_f = 0$$



จาก V.T.Chow, 1988

รูป 2-8 รูปตามยาวและรูปตัดที่ใช้ในสมการ Saint Venant

เมื่อ

- Q = อัตราการไหล ลบ.ม/วินาที
 X = ระยะทางแนวราบของลำน้ำ ม.
 A = หน้าตัดการไหล ตร.ม.
 t = เวลา วินาที
 q = อัตราการไหลออกด้านข้างต่อความยาวลำน้ำ ลบ.ม./วินาที/ม.
 g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 ม./วินาที²
 H = ระดับน้ำเทียบจากระดับอ้างอิง ม.
 β = สัมประสิทธิ์ปรับแก้โมเมนตัม
 S_f = ความลาดชันพลังงานการไหล
 $S_f = \frac{Q | Q |}{K^2} = \text{friction slope}$
 K = ดัชนีความจุของหน้าตัด โดยคำนวณจาก

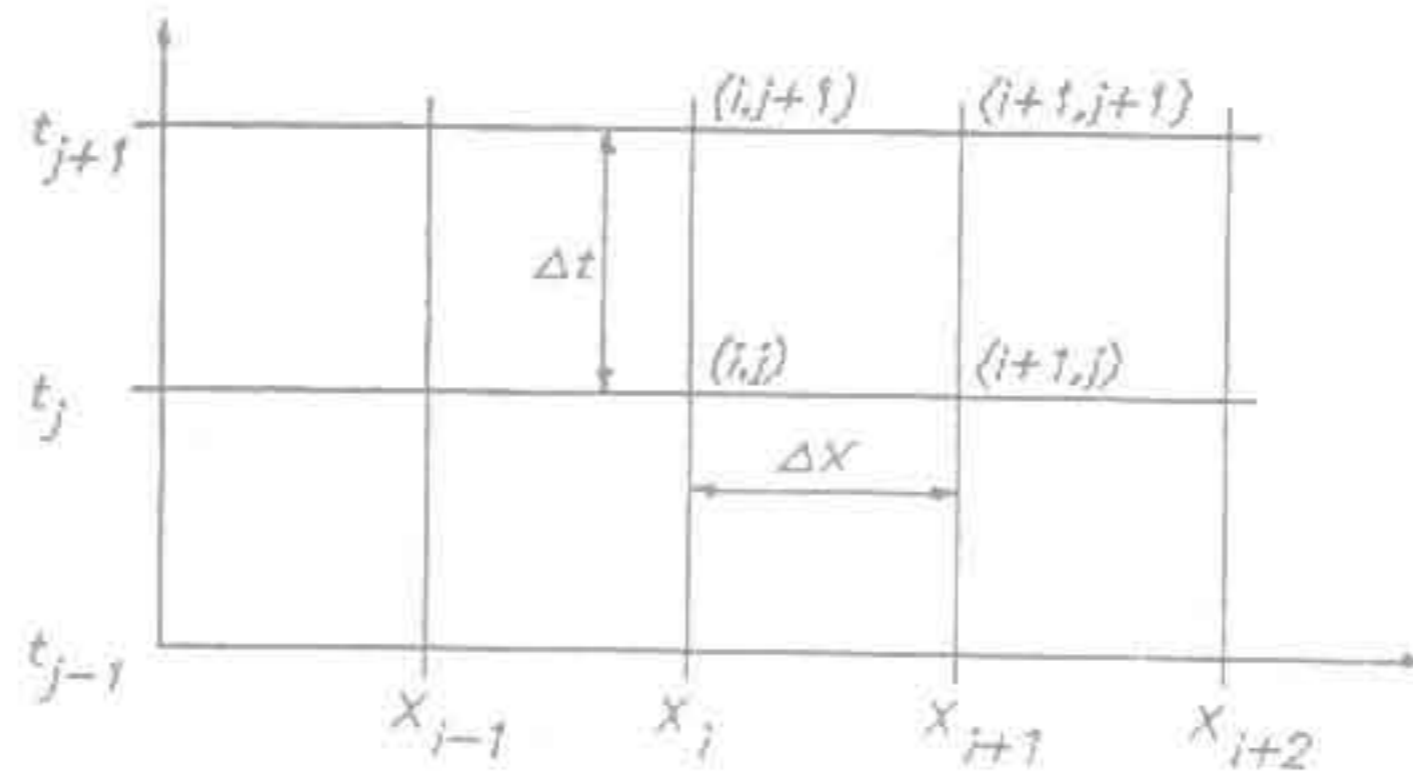
$$K = \frac{A^2 R^{4/3}}{n^2} \quad (2.11)$$

เมื่อ

- n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระ
 R = รัศมีชลศาสตร์ = A/P โดย P = ความยาวเส้นขอบเปียก

สมการความต่อเนื่องจะนำมาใช้เพื่อปรับดุลยภาพระหว่างอัตราการไหลเข้าและไหลออกของพื้นที่ที่พิจารณา สำหรับสมการโมเมนตัม จะใช้เพื่อปรับดุลยภาพของแรงที่กระทำต่อมวลของน้ำที่เกิดจากแรงเฉื่อย การกระจายตัว แรงดึงดูดของโลกและแรงเสียดทาน

การแก้สมการ St.Venant ของโปรแกรม ISIS ใช้วิธีทางตัวเลข (Numerical Solution) ในการแก้สมการโดยสมการทั้งสองจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการ Finite difference equation โดยวิธีของ Preissmann implicit หรือ Preissmann 4 Point มาใช้ในการคำนวณ เป็นการอ้างอิงถึงจุด 4 จุดบนตารางสี่เหลี่ยมแสดงในรูป 2-9



รูป 2-9 จุดอ้างอิงของ Preissmann's implicit finite difference

ให้ f เป็นฟังก์ชันของความลึกหรือปริมาณการไหลที่จุด $(i+1/2, j+\theta)$ ค่าของ f คือค่าอนุพันธ์ความต่อเนื่องเทียบกับเวลาหรือระยะทาง โดยมีสมการดังนี้

$$f(x,t) = \frac{1}{2}\theta(f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1}) + (1-\theta)(f_{i+1}^j + f_i^j) \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{2\Delta x}\theta(f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1}) + (1-\theta)(f_{i+1}^j - f_i^j) \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2\Delta t}\theta(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^j) + (1-\theta)(f_i^{j+1} - f_i^j) \quad (2.14)$$

เมื่อ θ เป็นค่าปรับน้ำหนักมีค่าระหว่าง 0.5 ถึง 1 และ

ค่า f คือ ค่าของ f_i^j ได้มาจากจุด (x_i, t_j)

เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับสมการ St.Venant สามารถเปลี่ยนรูปของสมการให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้น ดังต่อไปนี้

$$aQ_i^{j+1} + bH_i^{j+1} + cQ_{i+1}^{j+1} + dH_{i+1}^{j+1} = e \quad (2.15)$$

ค่าคงที่ a, b, c, d และ e จะเป็นค่าที่คำนวณได้จากการวนรอบในแต่ละรอบในแต่ละจุดเชื่อม ของทางน้ำเปิด และขึ้นอยู่กับตัวแปรที่คำนวณได้ในการวนรอบครั้งก่อน

2.5.2 ทฤษฎีพื้นฐานในแบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model) ซึ่งได้ใช้โปรแกรม ISIS Quality ซึ่งเป็น Module หนึ่งของโปรแกรม ISIS ในการจัดทำแบบจำลองคุณภาพน้ำ ซึ่งโปรแกรมใช้วิธี Finite Difference มาประมาณสมการการพาและการแพร่ (Advection – Diffusion Equation) ดังนี้

$$\frac{\partial(CA)}{\partial t} = -\frac{\partial(uCA)}{\partial X} + \frac{\partial}{\partial X} \left(DA \frac{\partial C}{\partial X} \right) + S \quad (2.16)$$

เมื่อ

- C = ความเข้มข้นของสาร (กก./ม.³)
 A = พื้นที่หน้าตัดของการไหล (ม.²)
 u = ความเร็วเฉลี่ยในพื้นที่หน้าตัดการไหล (ม./วินาที)
 D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (ม.²/วินาที)
 x = ระยะทาง (ม.)
 t = เวลา (วินาที)
 S = องค์ประกอบ อื่นๆ (กก./ม/วินาที)

การแก้สมการ (2.18) ของโปรแกรม ISIS Quality ใช้วิธีทางตัวเลข (Numerical Solution) โดยสมการจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสมการ Finite difference equation ดังนี้

$$\frac{\phi_i^{n+1} - \phi_i^n}{\Delta t} = - \left(\frac{U\phi_{i+1/2}^n - U\phi_{i-1/2}^n}{\Delta X} \right) + D \left[\frac{(A_{i+1}^n + A_i^n)(C_{i+1}^n - C_i^n) - (A_i^n + A_{i-1}^n)(C_i^n - C_{i-1}^n)}{2(\Delta X)^2} \right] + S \quad (2.17)$$

เมื่อ

- n = time index
 i = position index
 Δx = the mean of the element lengths adjacent to node m.
 ΔT = TIME STEP
 ϕ = CxA = scalar transport variable (kg/m)

สมการสำหรับที่โปรแกรมใช้คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion Coefficient) โดยตั้งสมมุติฐานว่าน้ำมีความเข้มข้นของพารามิเตอร์ต่างๆเท่ากันตลอดทั่วทั้งหน้าตัด (ตามความลึกและความกว้างของหน้าตัด) ได้แก่

$$D = \max(D_0, D_1 U_* b) \quad (2.18)$$

เมื่อ

$$U_* = \sqrt{U|n|^2 gR^{-1/3}} \quad (2.19)$$

เมื่อ

- D = ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion Coefficient), ม.²/วิ
- D₀ = ค่าที่เริ่มต้นสัมประสิทธิ์การแพร่ ของแม่น้ำ,ม.²/วิ
- D₁ = ค่าคงที่ของการแพร่
- U* = ความเร็วเฉือน (Shear Velocity), ม./วิ
- U = ความเร็วเฉลี่ยของการไหล, ม./วิ
- b = ความกว้างของทางน้ำ, ม.
- n = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ
- g = 9.81, ม./วิ²
- R = Hydraulic Radian

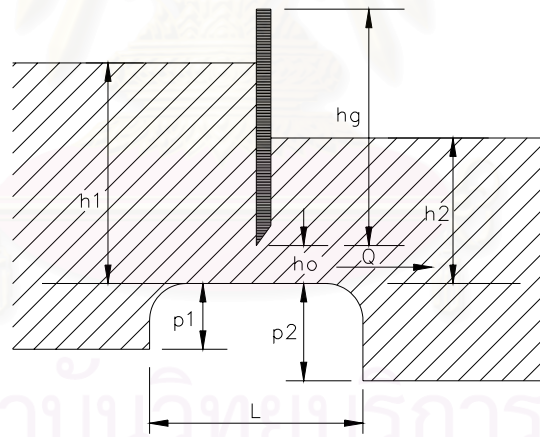
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.3 ทฤษฎีการไหลผ่านบานประตู ของแบบจำลอง ISIS อ้างอิงทฤษฎีและหลักการ ต่างๆ จาก Bos M.G. (1989) ในการไหลลอดใต้บานแบบจมน้ำ(Submerge Flow) หาอัตราการไหลจาก สมการที่ 2.10 ดังนี้

$$Q = C_d b h_0 \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

เมื่อ

- Q = อัตราการไหลผ่านบาน ลบ.ม./วินาที
 C_d = ค่า ส.ป.ส.การไหลผ่านบานบานตรง
b = ความกว้างของบาน ม.
 h_0 = ความสูงของช่องการเปิดบาน ม.
 h_1 = ความสูงของน้ำด้านเหนือบาน ม.
 h_2 = ความสูงของน้ำด้านท้ายบาน ม.



รูป 2-10 ตัวแปรการไหลผ่านบานแบบจมน้ำ (Submerge Flow)

2.6 การตรวจสอบทางสถิติ

2.6.1 ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (Root mean square error, RMSE)

ในการเปรียบเทียบผลของการคำนวณของระดับน้ำ และปริมาณความเค็มกับของค่าที่วัดจริงกับแบบจำลอง จะใช้ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเป็นค่าเปรียบเทียบ ซึ่งมีสมการดังนี้

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2} \quad (2.20)$$

เมื่อ

RMSE	=	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน
x_i	=	ค่าที่ได้จากการวัดจริง
y_i	=	ค่าที่ได้จากการคำนวณ
N	=	จำนวนข้อมูล

2.6.2 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (Cross correlation coefficient)

การศึกษานี้มีตัวแปรที่ต้องการหาความสัมพันธ์หลายตัวแปรได้แก่ ปริมาณความเค็ม ระดับน้ำ และพิสัยน้ำขึ้นน้ำลง ในการหาความสัมพันธ์จะต้องอาศัยสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ซึ่งเป็นการจับคู่ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ละ 2 ตัวแปร โดยการใช้สูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์ ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์, } r_{xy} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{S_x S_y} \quad (2.21)$$

โดยที่ $-1 \leq r_{xy} \leq 1$ และ $r_{xy} = r_{yx}$

เมื่อ

$$\bar{x} = \text{ค่าเฉลี่ยของตัวแปร } x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\bar{y} = \text{ค่าเฉลี่ยของตัวแปร } y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

$$\begin{aligned}
 S_x &= \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร } x \\
 &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\bar{x})^2} \\
 S_y &= \text{ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร } y \\
 &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i^2 - (\bar{y})^2}
 \end{aligned}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ เป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร กล่าวคือ ถ้าคู่ตัวแปรใดมีความสัมพันธ์กันดี ค่า สัมประสิทธิ์ จะเข้าใกล้ 1 หรือ -1 โดยที่ค่าจะเป็นบวก ก็ต่อเมื่อคู่ตัวแปรสัมพันธ์กันแบบแปรตามกัน ค่าจะเป็นลบก็ต่อเมื่อคู่ตัวแปรสัมพันธ์กันแบบแปรผกผันกัน และค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของคู่ตัวแปรใดมีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าคู่ตัวแปรนั้นมีความสัมพันธ์กันน้อยมากหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

สภาพพื้นที่ศึกษา

3.1 ประวัติความเป็นมา

โครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกงเป็นส่วนหนึ่งของแผนพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง ซึ่งได้ทำการศึกษาไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2514 โดยบริษัทที่ปรึกษา Engineering Consultants Inc. ได้ทำการศึกษาวางแผนกำหนดโครงการพัฒนาลุ่มน้ำบางปะกง โดยกำหนดโครงการก่อสร้างอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ขึ้นทั้งหมด 11 แห่ง ภายในเขต 4 พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย อันได้แก่ ลุ่มน้ำนครนายก ปราจีนบุรี คลองสี่ด-คลองระบม และคลองหลวง

ในช่วงปี 2530 ถึง 2533 รัฐบาลญี่ปุ่นได้ให้ความช่วยเหลือต่อไทยโดยมอบหมายให้ JICA ทำการศึกษาความเหมาะสมในการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่อการเกษตรในลุ่มแม่น้ำบางปะกง (The Feasibility Study on the Agricultural Water Development Project of Bang Pakong River Basin) จากผลการศึกษาดังกล่าว ได้มีการเสนอแผนการจัดการระบบแหล่งน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง เพื่อให้มีน้ำเพียงพอต่อความต้องการ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำท่าในแม่น้ำบางปะกงมีปริมาณมากในช่วงฤดูฝน และยังขาดแคลนอ่างเก็บน้ำเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในฤดูแล้ง ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำในฤดูแล้ง โดยมีการเสนอให้ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำเพิ่มเติม 12 แห่ง และก่อสร้างเขื่อนทดน้ำ 1 แห่ง ได้แก่ เขื่อนทดน้ำบางปะกง เพื่อป้องกันน้ำเค็ม ซึ่งปกติจะมีการรุกตัวเข้าไปตลอดลำน้ำบางปะกง ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภค และการเกษตรในฤดูแล้ง อัตราการไหลปกติของปริมาณน้ำท่าในฤดูแล้งจะมีค่าไม่เกิน 10-20 ล้าน ลบ.ม/เดือน เท่านั้น ดังนั้นการใช้น้ำจากอ่างเก็บน้ำมาเพื่อผลักดันน้ำเค็มในปริมาณมากขนาดนี้ จะทำให้ต้องเสียน้ำจืดที่มีค่าไปโดยมิได้ทำให้เกิดประโยชน์ ดังนั้นการก่อสร้างเขื่อนกั้นน้ำเค็ม จึงเป็นวิธีที่เหมาะสม และจัดเป็นโครงการที่มีความเร่งด่วนในการพัฒนาลุ่มน้ำ

3.2 โครงข่ายแม่ น้ำ

แม่ น้ำบางปะกงและแม่ น้ำสาขา มีต้นกำเนิดจากลุ่มน้ำหลัก 2 ลุ่มน้ำได้แก่ ลุ่มน้ำปราจีนบุรี และลุ่มน้ำบางปะกง ดังแสดงในรูป 3-1

3.2.1 ลุ่มน้ำปราจีนบุรี

ได้แก่ แม่ น้ำปราจีนบุรี มีต้นกำเนิดจากภูเขาสูงทางด้านทิศตะวันออกและด้านทิศเหนือ ไหลจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก โดยมีแม่น้ำหनुมานและแม่น้ำพระปรงไหลไปบรรจบกันบริเวณอำเภอภินทรบุรี จังหวัดปราจีนบุรี และไหลบรรจบกับแม่น้ำนครนายกบริเวณอำเภอบางน้ำเปรี้ยว จังหวัดฉะเชิงเทรา และเป็นจุดเริ่มต้นของแม่ น้ำบางปะกงสายหลัก โดยมีความยาวทั้งสิ้น 105 กม.

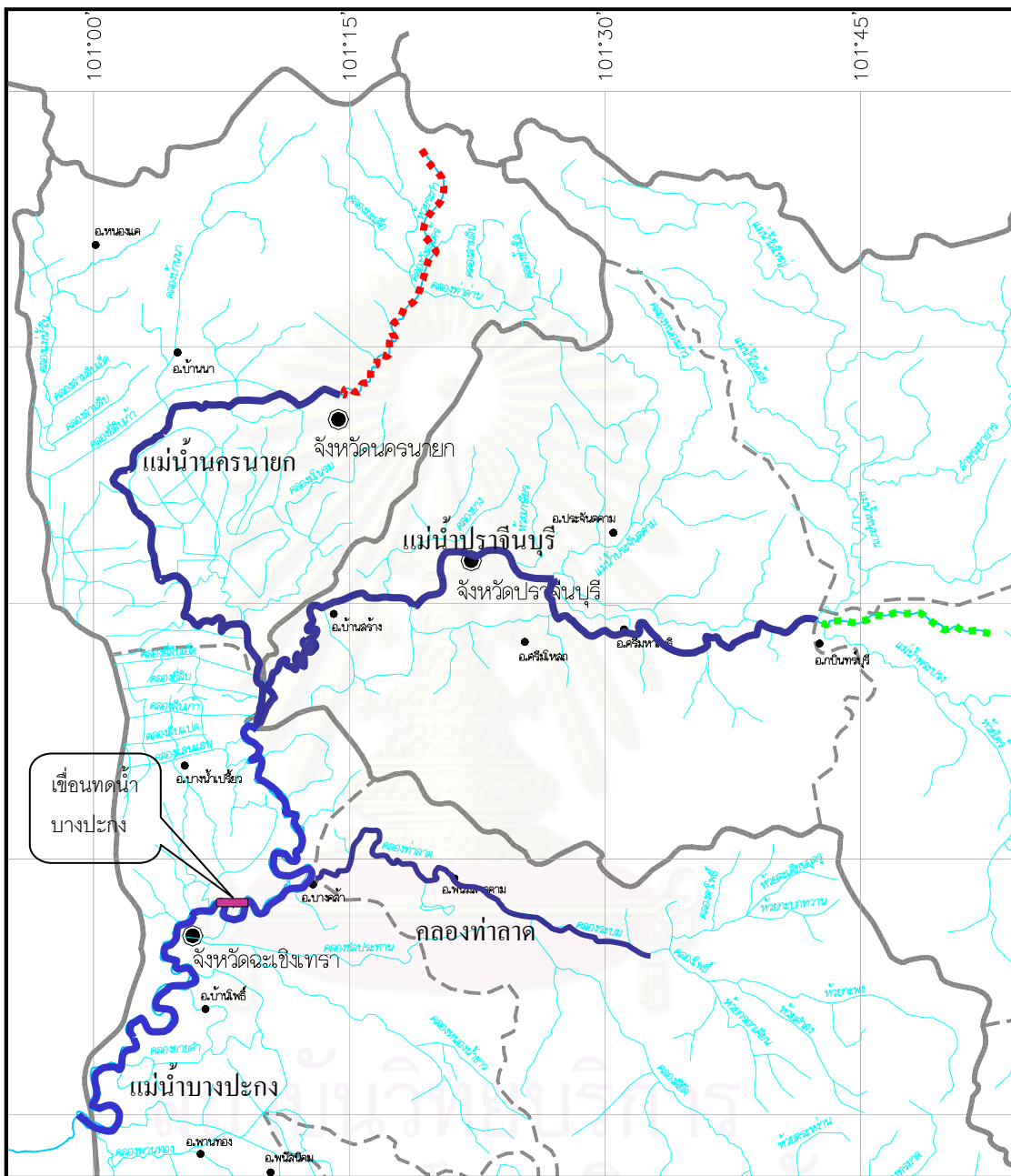
3.2.2 ลุ่มน้ำบางปะกง

ได้แก่ แม่ น้ำบางปะกงเกิดจากแม่น้ำสายใหญ่ 2 สาย คือ แม่น้ำนครนายกและแม่น้ำปราจีนบุรี ซึ่งไหลมาบรรจบกันที่เหนืออำเภอบางน้ำเปรี้ยวกลายเป็นแม่ น้ำบางปะกง และไหลจากทิศเหนือผ่านที่ราบต่ำตอนกลางและตอนล่าง ลงสู่ทิศใต้บรรจบกับคลองท่าลาด และคลองพานทอง ก่อนออกสู่ทะเลด้านอ่าวไทยที่อำเภอบางปะกง มีความยาวทั้งสิ้น 115 กม.

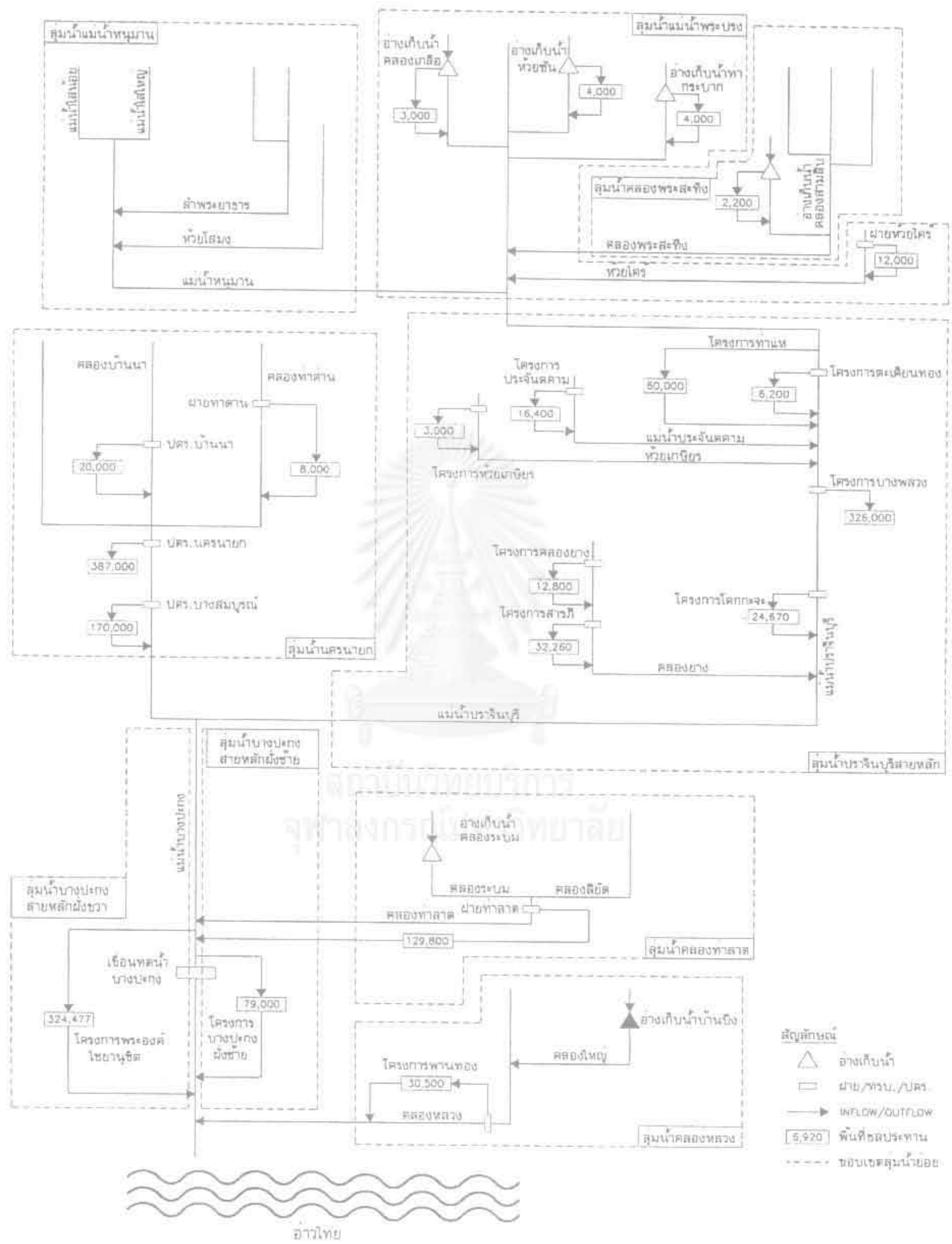
3.2.3 ฝ่ายท่าลาด

ตั้งอยู่บนคลองท่าลาด ห่างจากจุดบรรจบแม่ น้ำบางปะกงขึ้นมาทางด้านเหนือน้ำประมาณ 34 กิโลเมตร ทำหน้าที่ทดน้ำเข้าสู่คลองส่งน้ำสายใหญ่ ฝั่งซ้ายของโครงการส่งน้ำบำรุงรักษาท่าลาด ตัวฝายสูงประมาณ 5.00 เมตรมีระดับสันฝายที่ +5.13 เมตร (ระดับสมมติ) ความยาวสันฝายประมาณ 23 เมตร

สำหรับลุ่มน้ำที่เกี่ยวข้องพร้อมโครงการชลประทานและอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในลุ่มน้ำหลักของบางปะกงและลุ่มน้ำปราจีนบุรี แสดงรายละเอียดในรูป 3-2



รูป 3-1 โครงข่ายแม่ น้ำ บาง ปะ ก ง



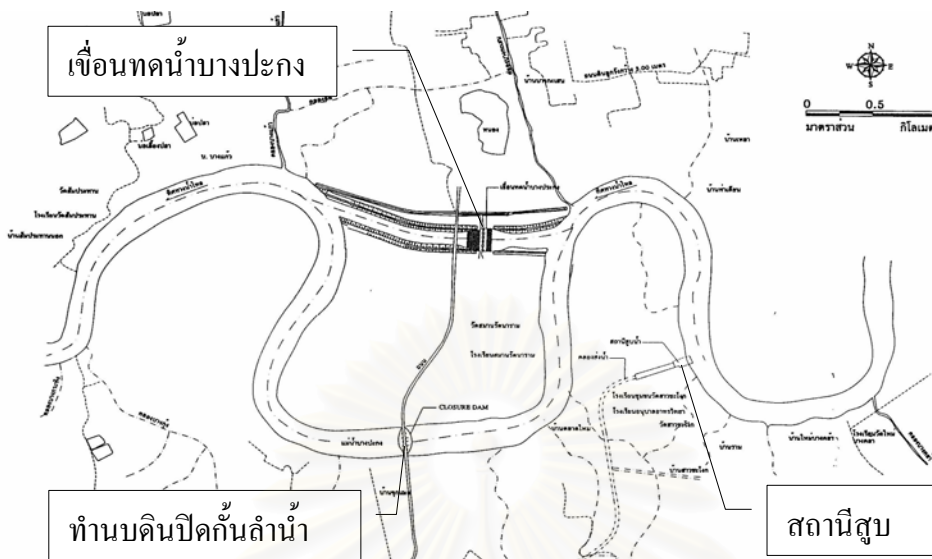
รูป 3-2 แผนภูมิแสดงระบบลุ่มน้ำหลักบางปะกงและลุ่มน้ำปราจีนบุรี

3.3 สภาพทั่วไปของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง

เขื่อนทดน้ำบางปะกงตั้งอยู่ที่กึ่งกลางของแม่น้ำบางปะกง ห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 66 กิโลเมตร (ประมาณ 10 กิโลเมตรเหนืออำเภอเมืองฉะเชิงเทรา) การศึกษาและออกแบบเขื่อนทดน้ำบางปะกงได้จัดทำขึ้นในช่วงปี 2532 ถึง 2536 โดย JICA มีปริมาณน้ำใช้การ ประมาณ 30 ล้าน ลบ.ม.ที่ระดับน้ำ +0.70 ม.รทก.ด้านท้ายเขื่อน โดยแสดงรายละเอียดในตาราง 3-1 ส่วนรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของเขื่อนทดน้ำบางปะกงแสดงในตาราง 3-2 ลักษณะที่ตั้งของเขื่อนทดน้ำบางปะกงเป็นไปตามรูป 3-3 และรูปแบบลักษณะของเขื่อนแสดงในรูป 3-4 การก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะกงเริ่มขึ้นเมื่อเดือนตุลาคม 2539 แล้วเสร็จเมื่อเดือนพฤศจิกายน 2542 หลังจากก่อสร้างเขื่อนและองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ คลองขุดลัด ทำนบปิดกั้นลำน้ำเดิม สถานีสูบน้ำ งานถนนและอาคารบริเวณหัวงานเขื่อนแล้วเสร็จ กรมชลประทานได้ดำเนินการก่อสร้างคลองชลประทานในพื้นที่ฝั่งซ้ายของแม่น้ำบางปะกง ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการดำเนินการ

โครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกงมีจุดประสงค์เพื่อ

- 1) เพื่อป้องกันมิให้น้ำเค็มรุกล้ำเข้าไปในพื้นที่เหนือเขื่อนในฤดูแล้ง เพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้ในการอุปโภค-บริโภคและการเกษตร ในช่วงเชื่อมต่อระหว่างฤดูแล้ง และฤดูฝน และระหว่างฤดูฝน และฤดูแล้ง
- 2) เพื่อควบคุมปริมาณน้ำ ที่จะปล่อยจากเขื่อนกักเก็บน้ำที่จะพัฒนาด้านเหนือต่อไป ระดับกักเก็บน้ำของเขื่อนทดน้ำบางปะกงกำหนดอยู่ที่ระดับประมาณ +0.70 ม.รทก. คิดเป็นปริมาตรกักเก็บน้ำเหนือเขื่อนประมาณ 30 ล้าน ลบ.ม. พื้นที่รับประโยชน์หลักของโครงการ คือ พื้นที่ชลประทานฝั่งซ้ายของแม่น้ำบางปะกง ซึ่งเดิมอยู่ในความรับผิดชอบของโครงการชลประทาน ฉะเชิงเทรา มีพื้นที่ประมาณ 122,000 ไร่ โดยเมื่อก่อสร้างเขื่อนบางปะกงแล้วเสร็จ จะมีการปรับลดพื้นที่ปรับลดพื้นที่ลงจากเดิมเหลือประมาณ 92,000 ไร่ ซึ่งถือเป็นพื้นที่ชลประทานเดิม มิได้มีการเปิดพื้นที่ใหม่ แต่เขื่อนจะช่วยให้ประสิทธิภาพการจ่ายน้ำในพื้นที่เดิมนี้อดีขึ้น และมีปริมาณน้ำชลประทานเพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูแล้ง จากเดิมที่ไม่มีน้ำชลประทานในฤดูแล้ง



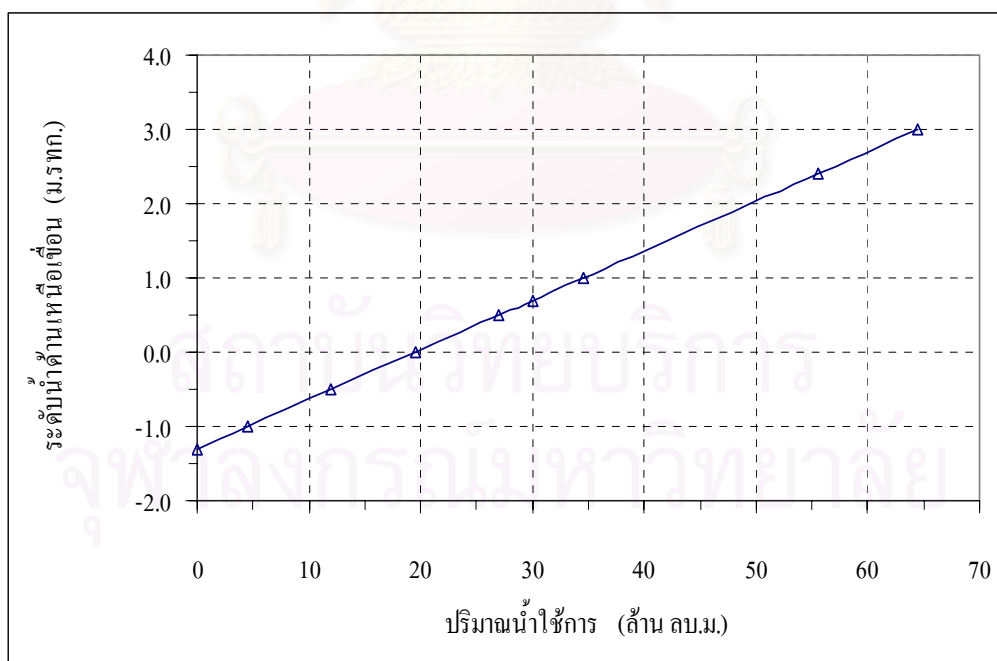
รูป 3-3 ผังบริเวณเขื่อนทดน้ำบางปะกง



รูป 3-4 เขื่อนทดน้ำบางปะกง

ตาราง 3-1 ปริมาณน้ำเก็บกักที่ใช้การได้ของเขื่อนทดน้ำ

ระดับน้ำด้านเหนือเขื่อน ม.รทก.	ปริมาณน้ำใช้การ ล้าน ลบ.ม.
+3.00	64.5
+2.40	55.5
+1.00	34.5
+0.70	30.0
+0.50	27.0
0.00	19.5
-0.50	12.0
-1.00	4.50
-1.30	0.0
-1.50	0.0
-2.00	0.0



รูป 3-5 เส้นความจุปริมาณน้ำใช้การ ของเขื่อนทดน้ำบางปะกง

ตาราง 3-2 ลักษณะของเขื่อนทดน้ำบางปะกง

ลักษณะ	รายละเอียด
ตัวเขื่อนทดน้ำบางปะกง	
ความยาว	166 เมตร
ประตู	5 ชุด (แต่ละชุดกว้าง 30 เมตร) ประกอบด้วย Regulating Gate จำนวน 2 ชุด และ Flood Gate จำนวน 2 ชุด
Regulating Gate	ชนิด Double Leaf Wheel จำนวน 2 ชุด แต่ละชุดกว้าง 30 เมตร ความสูงของบานบน 3.1 เมตร ความสูงของบานล่าง 6.9 เมตร
Flood Gate	ชนิด Single Leaf Wheel จำนวน 3 ชุด แต่ละชุดกว้าง 30 เมตร ความสูงของบาน 10 เมตร
คลองชุดลัด	
ความยาว	ประมาณ 2.2 กิโลเมตร (รวมเขื่อนทดน้ำ)
ความกว้างที่ท้องน้ำ	105 เมตร
ความชันของตลิ่ง	1 : 5
ความลึกของการขุด	ประมาณ 11 เมตร
ทำนบปิดกั้นลำน้ำ	
ความยาวสัน	ประมาณ 180 เมตร
ความสูงของทำนบ	15.9 เมตร
ความชันของทำนบ	1 : 5.5
ปริมาตรของทำนบ	ประมาณ 310,000 ลูกบาศก์เมตร
ถนนและสะพาน	ประมาณ 6.3 กิโลเมตร
สถานีสูบน้ำ	
อัตราการจ่าย	16 ลูกบาศก์เมตร/วินาที
เครื่องสูบน้ำ	Vertical Mixed Flow, ϕ 1,350 มม. x 4 ชุด
มอเตอร์	350 กิโลวัตต์ x 4 ชุด
ระบบควบคุม	TM (Electric income, 2 WL station), TC (Tidal Gate Automatic Control, Pump Remote Control) & Others

ข้อมูลการสำหรับการจัดการระดับน้ำของเขื่อนทดน้ำบางปะกง

ด้านท้ายเขื่อน

ระดับสันบานระบาย(ปิดสนิท) +1.80 ม.รทก.

ระดับน้ำสูงสุด +1.30 ม.รทก.

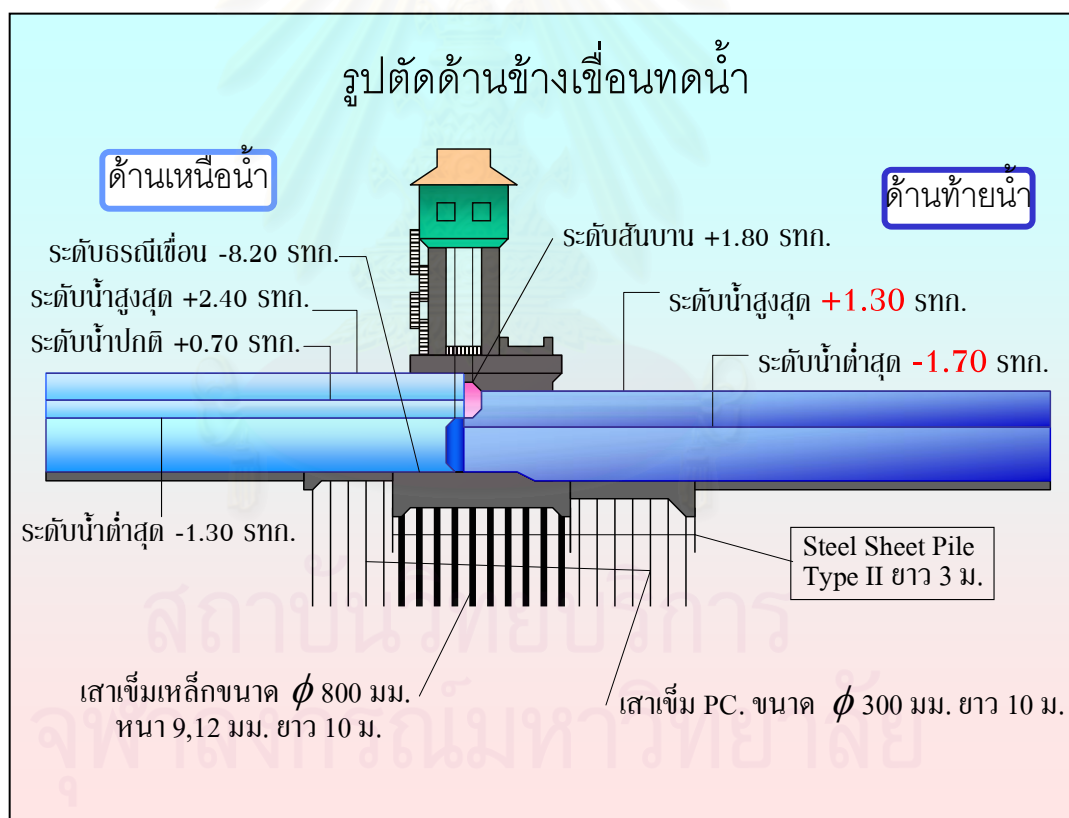
ระดับน้ำต่ำสุด -1.70 ม.รทก.

ด้านเหนือเขื่อน

ระดับน้ำสูงสุด +2.40 ม.รทก.

ระดับน้ำเก็บกักปกติ +0.70 ม.รทก.

ระดับน้ำต่ำสุด -1.30 ม.รทก.



รูป 3-6 รูปตัดด้านข้างเขื่อนทดน้ำบางปะกง

อาคารประกอบหลักที่ช่วยในการจัดการได้แก่

1) สถานีสูบน้ำ

ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีสูบน้ำของโครงการนี้แสดงดังรูป 3-7 เป็นสถานีสูบน้ำที่ตั้งอยู่ริมแม่น้ำบางปะกง ด้านเหนือน้ำของเขื่อนทดน้ำบางปะกง ห่างออกไปประมาณ 3 กม. โดยสูบน้ำเข้าคลองส่งน้ำของโครงการชลประทานบางปะกงฝั่งซ้ายพื้นที่โครงการชลประทานฝั่งซ้ายแม่น้ำบางปะกง จะมีการติดตั้งสถานีสูบน้ำขนาดความจุ 17.6 ลบ.ม./วิ สูบน้ำเข้าคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้ายมีความยาว 12 กิโลเมตรมีความจุสูงสุด 4.8 ลบ.ม./วิ และคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งขวามีความยาว 24 กิโลเมตร มีความจุสูงสุด 12.9 ลบ.ม./วิ



รูป 3-7 สถานีสูบน้ำ ของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง

2) สถานีโทรมาตร

จำนวนสถานีโทรมาตรของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง มีทั้งหมด 3 สถานี ได้แก่ สถานีนครนายก จ.นครนายก เป็นสถานีตรวจวัดค่าในส่วนของแม่น้ำนครนายก สถานีบ้านสร้าง จ.ปราจีนบุรี สำหรับตรวจวัดค่าในส่วนของแม่น้ำปราจีนบุรี และสถานีที่ทำการเขื่อน ตั้งอยู่ในบริเวณโครงการเขื่อนทดน้ำในรูป 3-8 โดยตำแหน่งที่ตั้งระบบโทรมาตรของโครงการแสดงในรูป 3-9

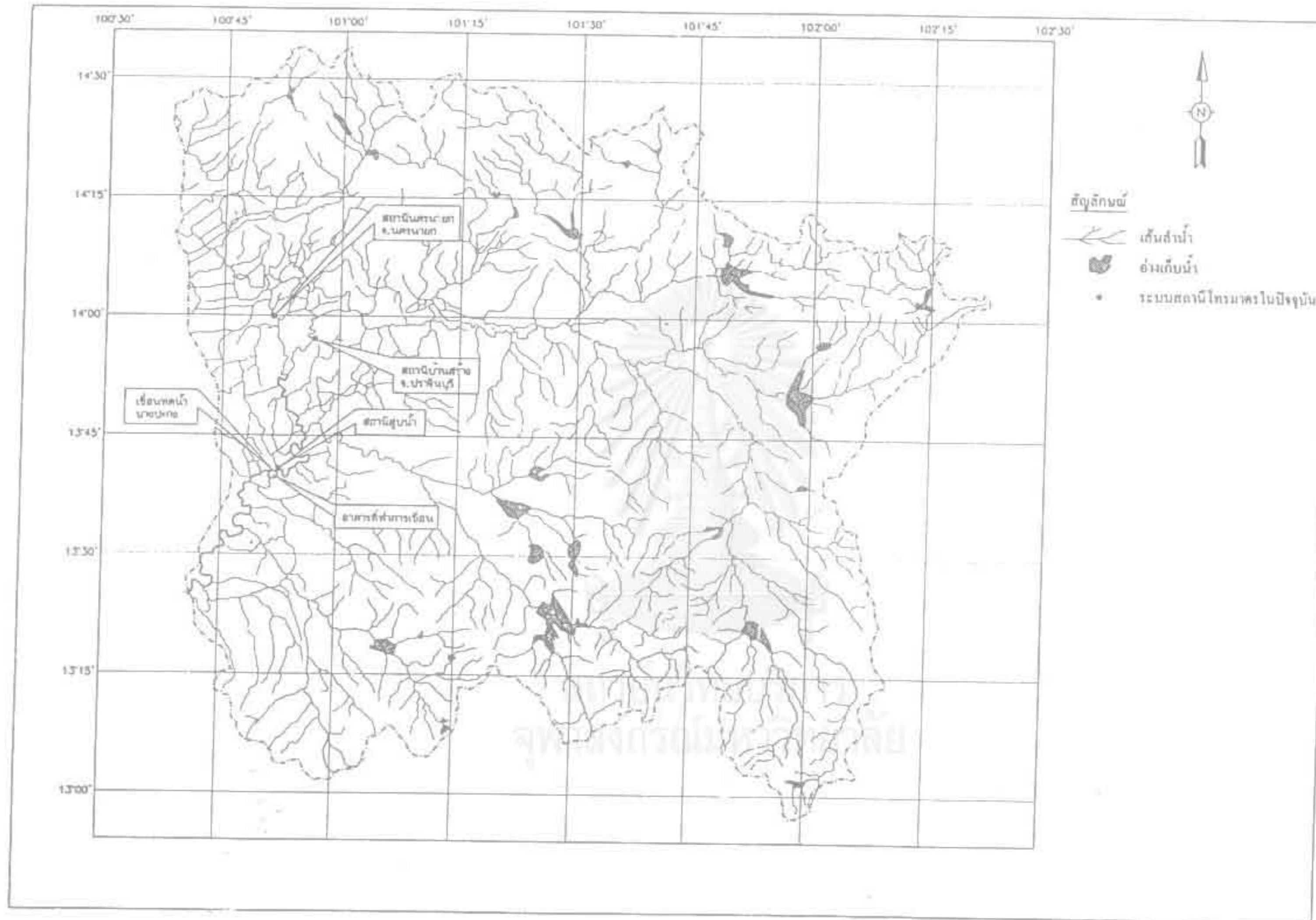
สถานีโทรมาตร 3 สถานีนี้จะประกอบด้วยระบบหลัก 2 ส่วน คือ ระบบตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ของลำน้ำ และระบบส่งสัญญาณ ดังแสดงในรูป 3.10 โดยระบบตรวจวัดค่าพารามิเตอร์ในลำน้ำของทั้ง 3 สถานี ประกอบด้วยอุปกรณ์หลักดังนี้

- เครื่องวัดระดับน้ำในแม่น้ำแบบ Ultrasonic
- เครื่องวัดความเค็ม จำนวน 3 ชุด เพื่อวัดความเค็มที่ระดับ 0.30 ม. จากผิวน้ำ ระดับกึ่งกลางความลึก และระดับสูงจากกันแม่น้ำ 0.30 ม.
- เครื่องวัด pH
- เครื่องวัด DO และอุณหภูมิ
- เครื่องสูบน้ำสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำ 3 ชุด เพื่อใช้เก็บตัวอย่างน้ำที่ทั้ง 3 ระดับ

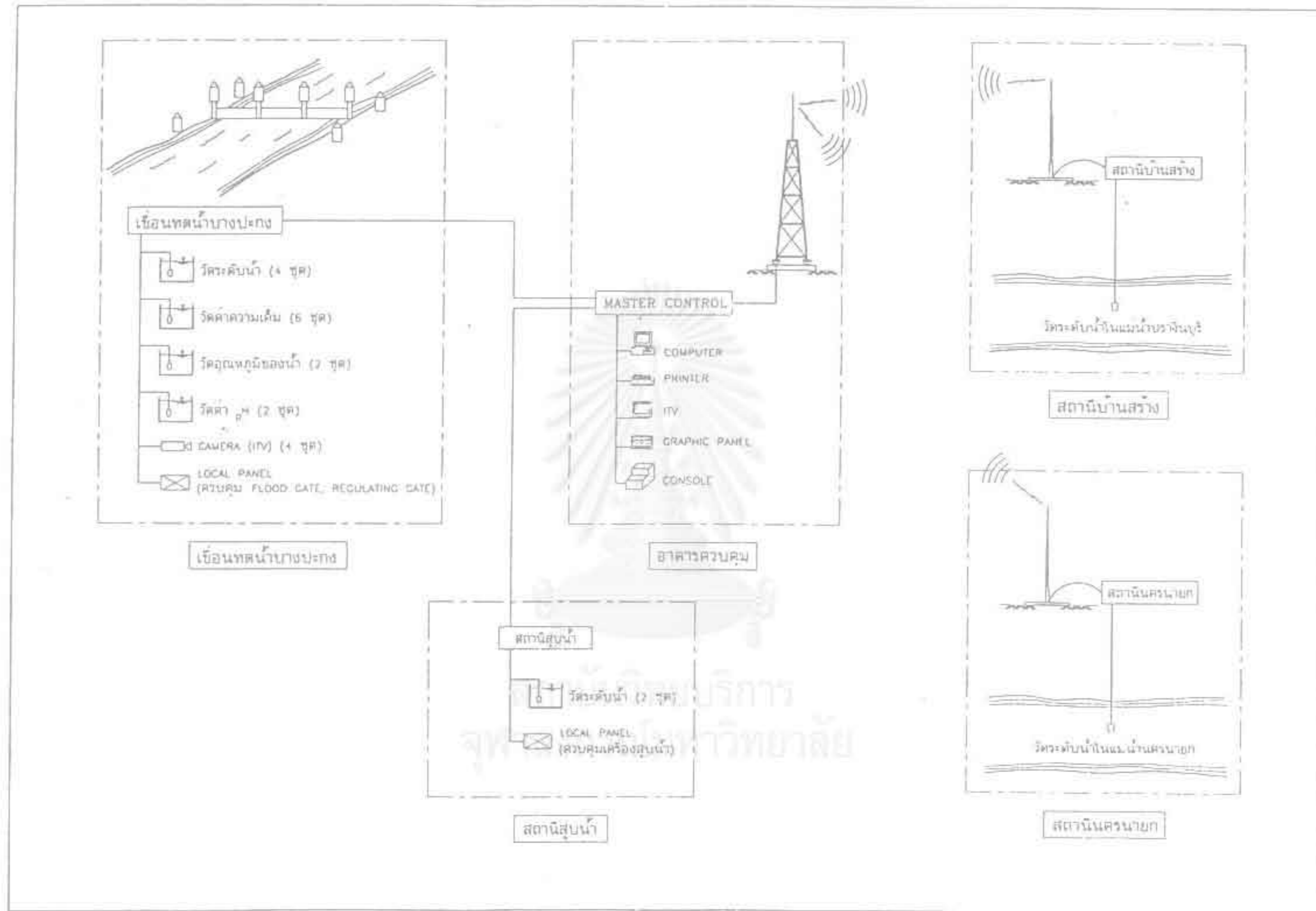


รูป 3-8 สถานีโทรมาตรที่เขื่อนทดน้ำบางปะกงด้านท้ายเขื่อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 3-9 ตำแหน่งสถานีโทรมาตร ในปัจจุบัน



รูป 3-10 แผนผังระบบสถานีโทรมาตร

3.4 แนวทางการเปิดดำเนินการเขื่อนตามเกณฑ์ที่ออกแบบไว้

กรมชลประทานได้กำหนดแนวทางการดำเนินการเขื่อนเมื่อระดับความเค็มของน้ำท้ายเขื่อนมีค่า 0.1 ppt (หนึ่งในพันส่วน) ซึ่งมักจะเกิดในช่วงเดือนธันวาคมหรือมกราคม และจะหยุดการดำเนินการ เมื่ออัตราการไหลของน้ำเหนือเขื่อนซึ่งตรวจวัดได้ที่สถานีวัดน้ำบ้านสร้างและนครนายก ซึ่งอยู่เหนือจุดบรรจบของแม่น้ำปราจีนบุรีและนครนายก ซึ่งถือเป็นจุดกำเนิดของแม่น้ำบางปะกงมีค่าเกินกว่า 300 ลบ.ม./วินาที ซึ่งจะเกิดในช่วงรอยต่อระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน คือ ประมาณเดือนพฤษภาคม ดังนั้น โดยปกติเขื่อนจะเปิดดำเนินการเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง คือ ประมาณเดือนธันวาคมถึงพฤษภาคม โดยแนวทางการเปิดปิดบานของเขื่อนที่ออกแบบไว้ จะเป็นไปตามเงื่อนไข ตามลำดับความสำคัญประกอบด้วย

1) กรณีที่มีปริมาณน้ำท่า (Inflow) มากกว่า 300 ลูกบาศก์เมตร/วินาที บานประตูระบายน้ำทุกบานจะต้องเปิดเพื่อระบายน้ำออกจากเขื่อน เพื่อป้องกันการเกิดน้ำท่วม โดยเรียกว่าการทำงานแบบ Flooding Mode

2) กรณีที่น้ำทะเลหนุน บานประตูระบายน้ำทุกบานจะต้องปิดเพื่อป้องกันน้ำเค็มไหลย้อนขึ้นไปด้านเหนือเขื่อน การทำงานเป็น Inverse Flow Prevention Mode

3) กรณีที่ปริมาณน้ำท่าด้านเหนือเขื่อนน้อยกว่า 30 ลูกบาศก์เมตร/วินาที บานควบคุมบังคับน้ำ บาน Regulating Gate จะทำงานโดยลดระดับบานบนเพื่อให้น้ำไหลข้ามผ่านบานจำนวน 1 บาน การควบคุมการทำงานจะเป็น Small Water Discharge Mode

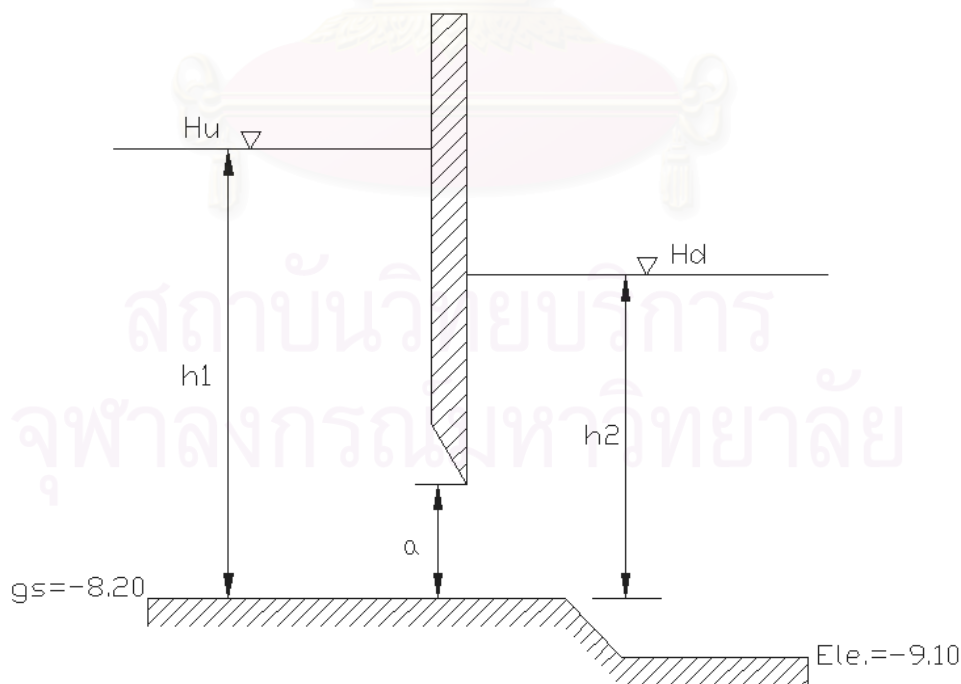
4) กรณีที่ปริมาณน้ำท่าด้านเหนือเขื่อนอยู่ในช่วง 30-80 ลูกบาศก์เมตร/วินาที บาน ควบคุมบังคับน้ำบาน Regulating Gate จะทำงานโดยลดระดับบานบน เพื่อให้น้ำไหลข้ามผ่านบานจำนวนอีก 1 บาน การควบคุมการทำงานจะเป็นแบบ Normal Operation Mode

5) กรณีที่ปริมาณน้ำท่าด้านเหนือเขื่อน อยู่ในช่วง 80-300 ลูกบาศก์เมตร/วินาที บาน ควบคุมบังคับน้ำบาน Regulating Gate จะทำงานโดยลดระดับบานบน เพื่อให้น้ำไหลข้ามผ่านบาน จำนวน 2 บาน การควบคุมการทำงานจะเป็นแบบ Normal Operation Mode

รายละเอียดอัตราการไหลผ่านบาน จากคู่มือปฏิบัติการเขื่อนของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง โดยเป็นการศึกษาของ JICA ได้กำหนดสมการการไหลผ่านบานดังนี้

$$Q = C_u \cdot a \cdot b \sqrt{2gh_1} \quad (3.1)$$

- เมื่อ
- Q = อัตราการไหลผ่านบาน (ม³/วิ)
 - C_u = ค่า ส.ป.ส.การไหลผ่านบาน (แสดงในตารางที่ 3-3)
 - a = ขนาดช่องเปิด (ม.)
 - b = ความกว้างของบาน (ม.)
 - h₁ = ความลึกน้ำด้านเหนือบานประตู (ม.)
 - h₂ = ความลึกน้ำด้านท้ายบานประตู (ม.)
 - g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (ม./วิ²)
 - g_s = ระดับธรณีบานประตู (ระดับ -8.20 ม.รทก.)
 - H_u = ระดับน้ำด้านเหนือเขื่อน (ม.)
 - H_d = ระดับน้ำด้านท้ายเขื่อน (ม.)



รูป 3-11 ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณการไหลลอดใต้บานประตู

ตาราง 3-3 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลลอดผ่านบานประตู, Cu

ระดับน้ำด้านท้าย, $h_2 = 9.0$ ม.

a/h1	h1 = 10 m.		h1 = 9 m.		h1 = 8 m.		h1 = 7 m.	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.3	3.00	0.299						
0.2	2.00	0.252						
0.1	1.00	0.229						
0.05	0.50	0.221						

ระดับน้ำด้านท้าย, $h_2 = 8.0$ ม.

a/h1	h1 = 10 m.		h1 = 9 m.		h1 = 8 m.		h1 = 7 m.	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.3	3.00	0.416	2.70	0.284				
0.2	2.00	0.364	1.80	0.264				
0.1	1.00	0.325	0.90	0.243				
0.05	0.50	0.300	0.45	0.226				

ระดับน้ำด้านท้าย, $h_2 = 7.0$ ม.

a/h1	h1 = 10 m.		h1 = 9 m.		h1 = 8 m.		h1 = 7 m.	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.3	3.00	0.569	2.70	0.441	2.40	0.310		
0.2	2.00	0.475	1.80	0.393	1.60	0.285		
0.1	1.00	0.407	0.90	0.347	0.80	0.255		
0.05	0.50	0.364	0.45	0.326	0.40	0.250		

ระดับน้ำด้านท้าย, $h_2 = 6.0$ ม.

a/h1	h1 = 10 m.		h1 = 9 m.		h1 = 8 m.		h1 = 7 m.	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.3	3.00	0.623	2.70	0.619	2.40	0.465	2.10	0.327
0.2	2.00	0.646	1.80	0.506	1.60	0.409	1.40	0.301
0.1	1.00	0.471	0.90	0.427	0.80	0.374	0.70	0.287
0.05	0.50	0.443	0.45	0.402	0.40	0.349	0.35	0.268

ที่มา กรมชลประทาน

บทที่ 4

การจัดเตรียมและวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลต่างๆ ที่ใช้ประกอบในการศึกษาครั้งนี้ประกอบไปด้วย ข้อมูลที่ใช้กับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (โปรแกรม ISIS) และข้อมูลที่ใช้ประกอบการวิเคราะห์ผลจากแบบจำลองได้แก่

4.1 ข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่า

4.1.1 ปริมาณน้ำฝน

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกง จากการศึกษาของกรมชลประทาน สรุปได้ว่า ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยในพื้นที่ลุ่มน้ำบางปะกงและปราจีนบุรี มีค่าผันแปรตั้งแต่ 1,216 ถึง 1,766 มิลลิเมตร บริเวณที่ฝนตกชุกได้แก่ พื้นที่ในเขตจังหวัดปราจีนบุรี ปริมาณฝนรายเดือนของแต่ละจังหวัดในพื้นที่โครงการตามที่แสดงไว้ในตาราง 4-1 และลักษณะการกระจายของฝนในแต่ละเดือนในพื้นที่เป็นไปตามรูป 4-1

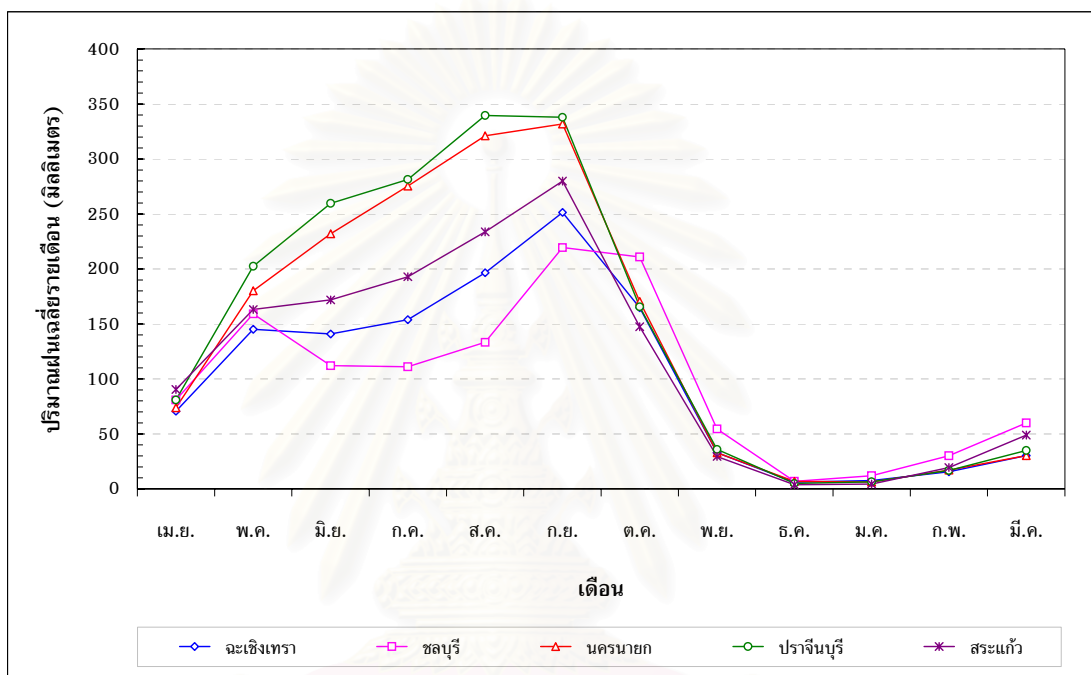
ตาราง 4-1 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในแต่ละจังหวัดในพื้นที่โครงการ

จังหวัด	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ฉะเชิงเทรา	70.68	145.20	140.82	153.95	196.49	251.44	164.79	32.96	6.12	7.57	15.66	30.25
ชลบุรี	80.92	159.18	112.09	111.07	133.29	219.51	210.88	54.53	7.00	12.08	30.17	59.99
นครนายก	73.81	180.19	232.00	275.28	321.05	331.75	170.58	32.92	6.97	6.33	17.21	30.33
ปราจีนบุรี	80.81	202.42	259.61	281.43	339.54	337.92	165.53	35.84	4.97	6.46	16.73	35.00
สระแก้ว	90.41	163.15	171.80	192.84	233.85	279.85	147.41	29.47	3.75	4.45	19.39	48.99

หน่วย : มิลลิเมตร

จากรูป 4-1 พบว่าปริมาณฝนในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน มีค่าต่ำกว่าเดือนอื่นๆ มาก ดังนั้นในช่วงดังกล่าวจึงถือเป็นช่วงฤดูแล้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเดือนธันวาคม มกราคม และ กุมภาพันธ์ มีปริมาณน้ำฝนต่ำมาก และในช่วงเวลานี้เป็นเวลาที่มีการดำเนินการเขื่อนทดน้ำบางปะกง จากลักษณะของพื้นที่โครงการพบว่าในช่วงฤดูแล้งพื้นที่ชลประทานต่างๆ ที่อยู่ริมฝั่งแม่น้ำบางปะกงมีการปิดประตูระบายน้ำที่ปากคลองเพื่อป้องกันน้ำเค็มจากแม่น้ำบางปะกงเข้าพื้นที่ ดังนั้น พื้นที่ส่วนที่เป็นพื้นที่รับน้ำฝนและไหลลงสู่แม่น้ำบางปะกง มีเฉพาะส่วนพื้นที่ริมด้านนอกเขต

ชลประทานเท่านั้น แต่จากปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้งที่สรุปไว้ข้างต้นเห็นได้ว่า ปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ส่วนนี้ในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณน้อยมาก ประกอบกับพื้นที่ในส่วนนี้เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และประมง ซึ่งมีลักษณะเป็นร่องหรือบ่อเก็บน้ำอยู่ทั่วไป ทำให้ปริมาณน้ำฝนในช่วงฤดูแล้งมีโอกาสไหลลงสู่แม่น้ำบางปะกงน้อยมาก



ที่มา กรมชลประทาน (2545)

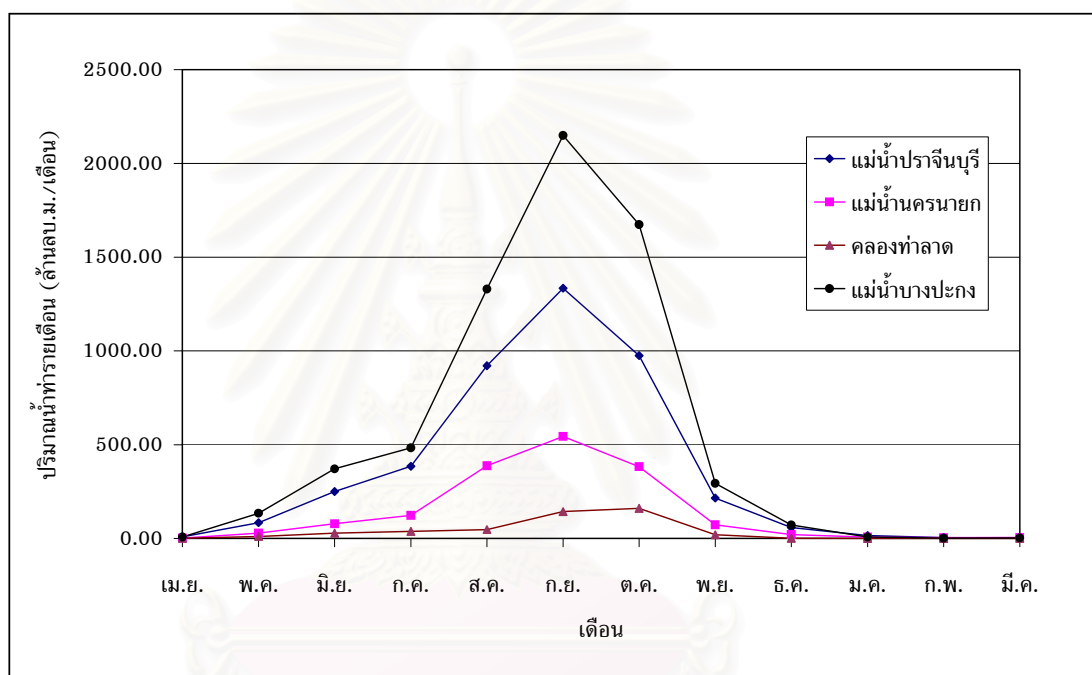
รูป 4-1 การกระจายน้ำฝน

4.1.2 ปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่ารายเดือนของแม่น้ำสายหลักในพื้นที่ศึกษา ผลวิเคราะห์(กรมชลประทาน,2545) สรุปปริมาณน้ำท่ารายเดือนได้ดังรูป 4-2

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลอง ISIS Flow และ ISIS Quality นั้นต้องใช้ข้อมูลรายวันเนื่องจากโปรแกรมทั้งสองใช้เป็นหน่วยอัตราการไหลเป็น ลบ.ม./วินาที และหน่วยของเวลาเป็นชั่วโมง โดยข้อมูลน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษานี้มุ่งเน้นที่อัตราการไหลในช่วงฤดูแล้งซึ่งเป็นช่วงของการเปิดปิดบานประตูของเขื่อน

โดยปกติในฤดูแล้งสภาพพื้นที่ชลประทานริมน้ำทั้งในกลุ่มน้ำบางปะกงและปราจีนบุรี ทั้งหมดปิดประตูน้ำเพื่อกักน้ำเค็มจากแม่น้ำบางปะกงเข้าพื้นที่ในช่วงฤดูแล้ง ดังนั้นในช่วงฤดูแล้ง จึงไม่มี Return Flow จากพื้นที่ชลประทานลงสู่แม่น้ำบางปะกง เมื่อพิจารณาในส่วนในพื้นที่ ริมน้ำที่อยู่นอกเขตชลประทานมีพื้นที่น้อยและประกอบกับปริมาณน้ำฝนที่น้อยมากในช่วงฤดูแล้ง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ปริมาณ Side Flow มีส่วนน้อยมากจนไม่มีผลต่อการคำนวณของแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์

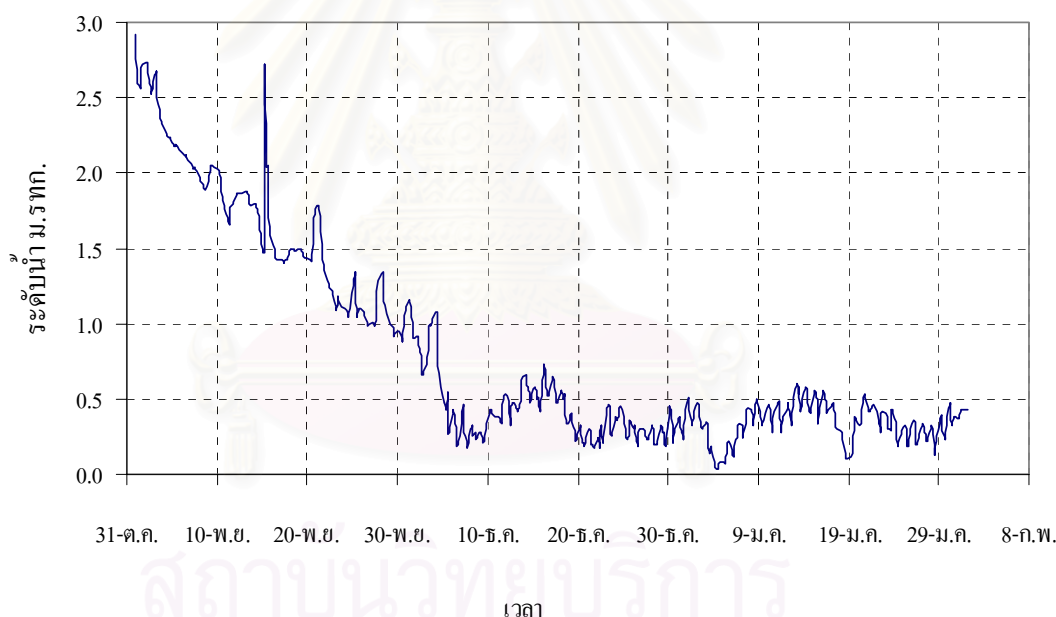


ที่มา กรมชลประทาน (2545)

รูป 4-2 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของแม่น้ำบางปะกงและแม่น้ำสาขาต่างๆ

จากตำแหน่งวัดข้อมูลวัดน้ำท่า ของลุ่มน้ำที่ศึกษาแสดงในรูป 4-3 เพื่อ แนวทางการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำท่า และกำหนดให้เป็นขอบเขตทางด้านเหนือเขื่อน (Upstream Boundary) ในแบบจำลองแยกเป็น 3 ส่วนคือ

1) แม่น้ำนครนายกเป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำบางปะกง จุดควบคุมปริมาณน้ำท่าที่เหมาะสมคือ เขื่อนนายกซึ่งเป็นเขื่อนที่มีประตูน้ำขวางกั้นแม่น้ำนครนายกไว้ ตั้งอยู่ที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครนายก จากรายงานการปิดบานประตูของเขื่อนนายกจะปิดในช่วงปลายฤดูฝนหรือหลังจากช่วงน้ำหลากเพื่อกั้นน้ำไว้ใช้ในพื้นที่ชลประทานด้านเหนือเขื่อน ปริมาณปลายเดือนตุลาคมของทุกปี ดังนั้น ปริมาณน้ำที่ไหลจากเขื่อนนายกจะเป็นน้ำที่ซึมผ่านประตูรวมกับ Side Flow จากพื้นที่ริมน้ำแคบๆ ซึ่งมีปริมาณน้ำต่ำมาก ปริมาณน้ำท่าที่นำมาวิเคราะห์ในแบบจำลอง ISIS Flow สำหรับแม่น้ำนครนายกมีค่าอัตราการไหลเป็นศูนย์ในปัจจุบัน แต่จะมีการบันทึกข้อมูลระดับน้ำที่ท้ายเขื่อนไว้ ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลขอบเขตด้านเหนือ (Upstream Boundary) ของแบบจำลองในส่วนของแม่น้ำนครนายกได้ โดยระดับน้ำตัวอย่างแสดงในรูป 4-4



รูป 4-4 ระดับน้ำท้ายเขื่อนนายกวันที่ 1 พ.ย. 2543 ถึงวันที่ 31 มกราคม 2544

2) แม่น้ำปราจีนบุรี การวิเคราะห์อัตราการไหลของน้ำท่าในแม่น้ำปราจีนบุรี จากข้อมูลตำแหน่งสถานีวัดน้ำท่าของแม่น้ำปราจีนบุรี (รูป 4-3) ซึ่งเริ่มจากจุดบรรจบของแม่น้ำทั้ง 3 พบว่า มีสถานีวัดน้ำท่าไหลจากท้ายน้ำขึ้นไปเรียงตามลำดับคือ KGT.22 KGT.1 KGT.6 และ KGT.3 จากข้อมูลน้ำท่าพบว่า สถานี KGT.22 และสถานี KGT.1 ลำน้ำได้รับอิทธิพล

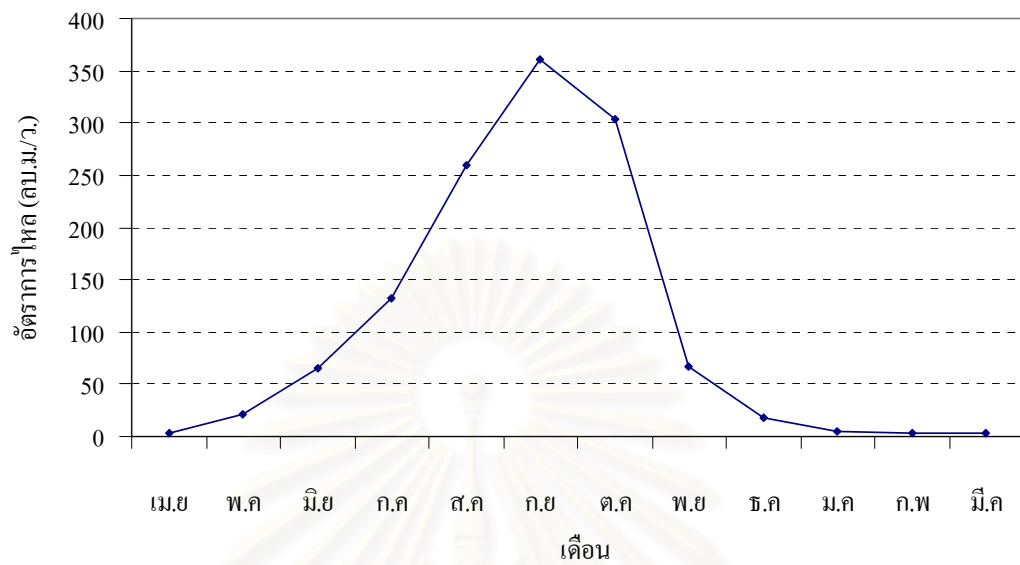
จากการขึ้นลงของทะเลในช่วงฤดูแล้งทำให้น้ำมีการไหลสองทิศทาง จึงไม่สามารถหาค่าอัตราการไหลโดยใช้ Rating Curve ได้ ส่วนที่สถานี KGT.6 นั้น ลำน้ำมีการไหลทิศทางเดียว ทำให้วัดอัตราการไหลได้ แต่ช่วงปีสถิติข้อมูลที่รวบรวมได้มีช่วงสั้นมาก คือ พ.ศ. 2521 ถึง พ.ศ. 2523 เท่านั้น ดังนั้น อัตราการไหลที่ใช้เป็นขอบเขตของแบบจำลองด้านเหนือ (Upstream Boundary) ของแม่น้ำปราจีนบุรี ที่เหมาะสมคือ ใช้ข้อมูลจากสถานี KGT. 3 ในเขต อ.กบินทร์บุรี ซึ่งเกิดจากการไหลรวมของแม่น้ำหุมนานและแม่น้ำพระปรงไหลมาบรรจบกัน มีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 7,502 ตร.กม. เป็นตัวแทนค่าอัตราการไหลของน้ำต้นทุนในแม่น้ำปราจีนบุรี

ลักษณะการกระจายของอัตราการไหลของน้ำท่าที่สถานี KGT.3 ในช่วง พ.ศ.2508–พ.ศ.2542 มีรายละเอียดแสดงตาราง 4-2 และรูป 4-5 จากรูปเห็นได้ว่าอัตราการไหลรายวันในฤดูแล้ง ช่วงเดือนพฤศจิกายนมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงกว่าเดือนอื่นๆ และการเปลี่ยนแปลงเริ่มค่อนข้างคงที่ในช่วงเดือนมกราคม โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังเดือนมกราคมค่าแกว่งตัวจะอยู่ในช่วงแคบ ในรูป 4-6

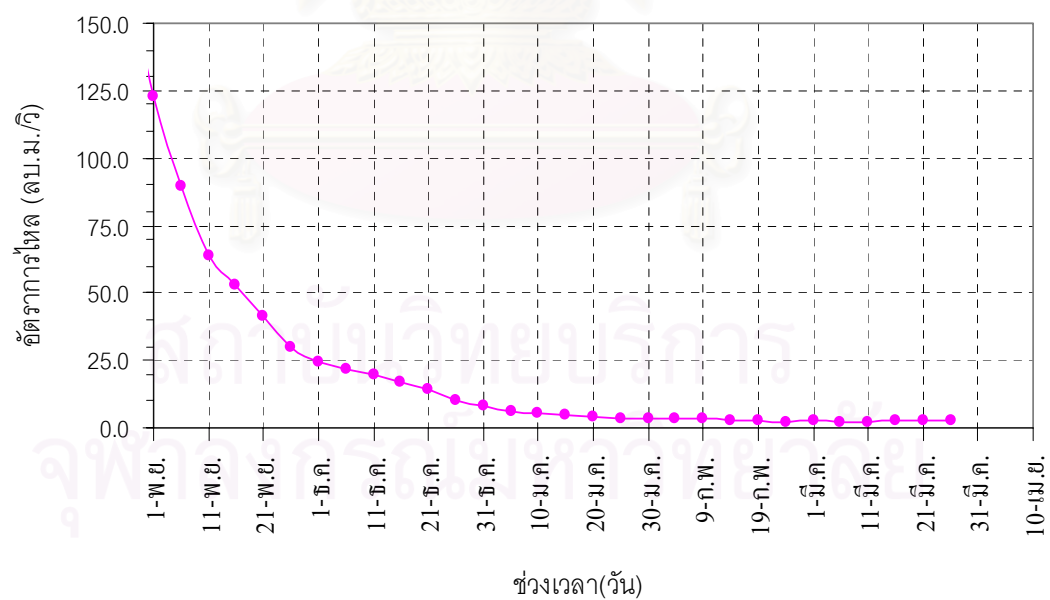
ตาราง 4-2 อัตราการไหลเฉลี่ยราย 5 วัน (ลบ.ม./วินาที) ของสถานี KGT.3 อ. กบินทร์บุรี

จ. ปราจีนบุรี

ช่วงเวลา	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค
1-5	2.3	8.2	34.9	104.4	191.9	307.4	423.7	122.7	24.4	8.3	3.4	2.6
6-10	2.3	9.8	46.1	106.2	237.3	328.7	409.5	89.9	21.4	6.3	3.2	2.4
11-15	2.8	19.3	61.0	123.2	265.9	351.8	333.7	64.0	19.6	5.3	3.1	2.3
16-20	4.4	23.9	70.5	132.0	273.1	354.2	273.2	53.2	16.6	4.5	2.9	2.9
21-25	3.1	27.4	85.3	151.7	275.1	408.1	208.5	41.7	13.9	4.2	2.5	2.8
26-30	5.1	37.7	92.6	178.1	310.4	410.5	170.8	29.6	10.5	3.6	2.0	2.4
เฉลี่ย	3.3	21.0	65.1	132.6	258.9	360.1	303.2	66.8	17.8	5.3	2.8	2.6
max	111.9	360.0	434.0	524.0	657.6	1106.0	1754.0	497.8	81.0	23.0	11.1	59.3
Min	0.0	0.0	0.0	4.7	11.7	31.1	25.8	8.0	3.1	0.0	0.0	0.0
SD	6.7	22.0	65.1	130.1	259.8	357.6	301.1	63.0	17.3	5.2	2.9	2.5
average +SD	10.1	43.1	130.2	262.7	518.8	717.7	604.4	129.8	35.1	10.5	5.8	5.1
average -SD	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.5	2.1	3.8	0.5	0.2	0.0	0.0



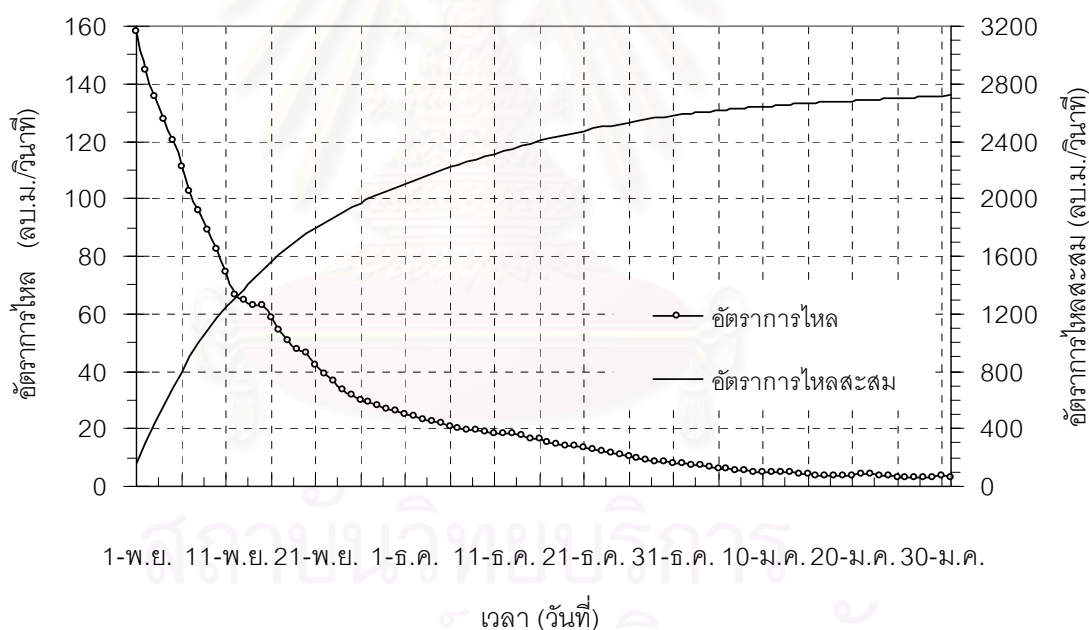
รูป 4-5 ลักษณะการกระจายของอัตราการไหลเฉลี่ย สถานี KGT.3 (ปี พ.ศ. 2508-พ.ศ.2543)



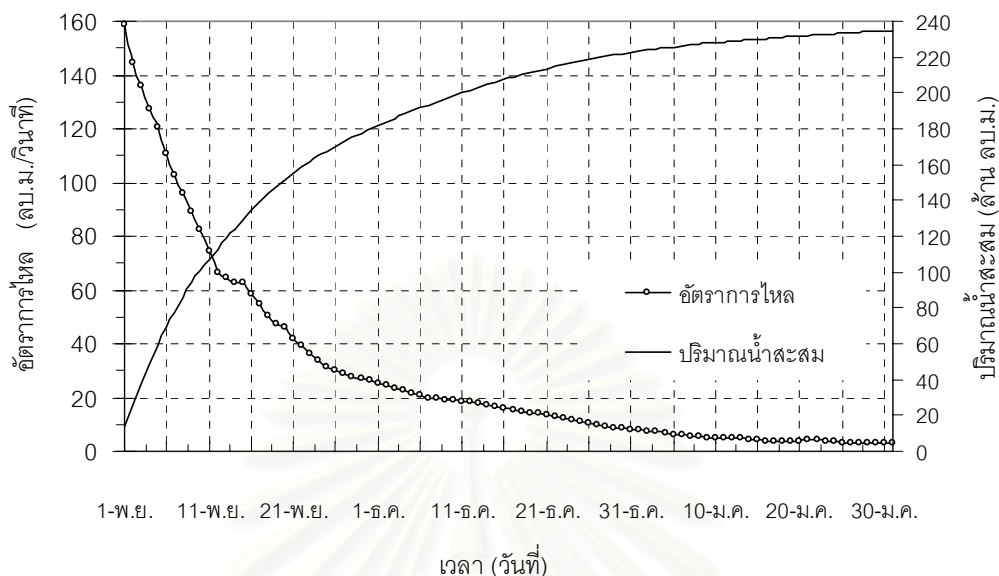
รูป 4-6 อัตราการไหลเฉลี่ยราย 5 วัน ในช่วงการเปลี่ยนแปลงจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง สถานี KGT.3

ช่วงการศึกษาครั้งนี้ มุ่งเน้นในช่วงการเปิดปิดบาน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคม โดยค่าอัตราการไหลเฉลี่ยรายวันของแต่ละเดือนแสดงในภาคผนวก ก

พิจารณาจากข้อมูลและหาความสัมพันธ์ของอัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมต่ออัตราการไหลเฉลี่ยสะสม และปริมาณน้ำสะสมเฉลี่ย ของสถานี KGT.3 แสดงในรูป 4-7 และ รูป 4-8 พบว่าปริมาณน้ำสะสมเฉลี่ยตลอดช่วงพิจารณา มีค่าเท่ากับ 234.85 ล้าน ลบ.ม. อัตราการไหลเฉลี่ยสะสมมีค่าเท่ากับ 2718.18 ลบ.ม./วินาที ช่วงเดือนธันวาคมอัตราการไหลเฉลี่ยเริ่มมีค่าต่ำกว่า 20 ลบ.ม./วินาที ลดลงจนถึงค่าอัตราการไหลเฉลี่ย 4.28 ลบ.ม./วินาที ในต้นเดือนมกราคม และในวันที่ 31 มกราคม มีค่าอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 2.70 ลบ.ม./วินาที



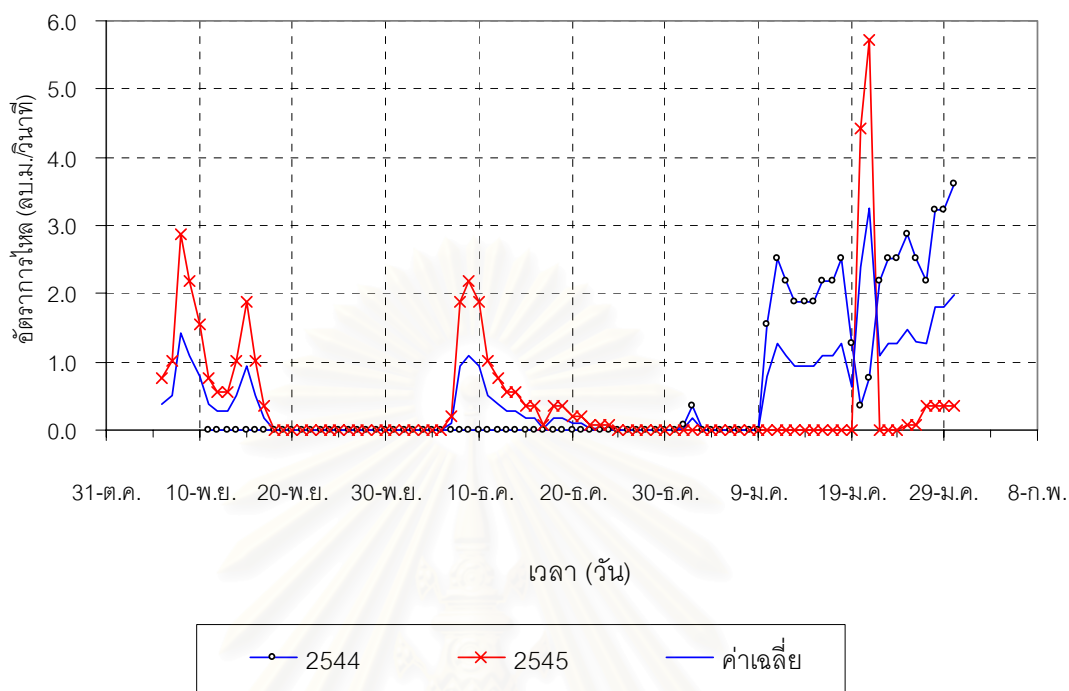
รูป 4-7 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันกับอัตราการไหลเฉลี่ยสะสม ช่วงวันที่ 1 พ.ย.ถึง 31 ม.ค. สถานี KGT.3



รูป 4-8 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันกับปริมาณน้ำสะสมเฉลี่ย ช่วงวันที่ 1 พ.ย. ถึง 31 ม.ค. สถานี KGT.3

3) คลองท่าลาด เนื่องจากคลองท่าลาดไม่มีสถานีวัดน้ำท่า ระบบแหล่งน้ำของคลองท่าลาดในฤดูแล้งมีน้ำต้นทุนหลักจากฝายท่าลาด กำหนดฝายท่าลาดเป็นขอบเขตด้านเหนือ (Upstream Boundary) ของแบบจำลอง ในส่วนของคลองท่าลาด ซึ่งอยู่ห่างจากปากคลองท่าลาดประมาณ 40 กม. ปริมาณน้ำในส่วนของ Return Flow และ Side Flow ของลุ่มน้ำมีค่าต่ำกว่าปริมาณฝนที่มีค่าน้อยมาก ปริมาณน้ำจากคลองท่าลาดที่ไหลลงสู่แม่น้ำบางปะกง จึงมีค่าเท่ากับอัตราการไหลจากฝายท่าลาดลดด้วยการใช้น้ำตลอดลำน้ำ ซึ่งโดยทั่วไปการใช้น้ำจากลำน้ำในฤดูแล้งมีน้อยเนื่องจากน้ำมีความเค็ม

จากข้อมูลพบว่า พบว่าปี พ.ศ. 2542 ตัวฝายมีการปรับปรุงแล้วเสร็จ ประกอบกับเขื่อนลี้ยัดที่ก่อสร้างแล้วเสร็จมีการปล่อยน้ำเพิ่มเติม ทำให้มีปริมาณน้ำปล่อยออกมาจากฝายท่าลาดมีค่ามากขึ้น เริ่มจากปี พ.ศ. 2543 โดยปริมาณน้ำที่ปล่อยออกมามีพิสัยประมาณ 500,000 ถึง 3,000,000 ลบ.ม./วัน (กรมชลประทาน 2545) ในการศึกษาครั้งนี้จึงใช้ข้อมูลอัตราการไหลเฉลี่ยจากฝายท่าลาด ช่วงฤดูแล้ง ในปี พ.ศ. 2544-2545 เป็นข้อมูลตัวแทนของอัตราการไหลจากฝายท่าลาด ดังแสดงในรูปที่ 4-9



รูป 4-9 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันจากฝายท่าลาด ช่วงเดือน พ.ย.-ม.ค. (ปี พ.ศ. 2544 - พ.ศ. 2545)

4.2 การขึ้นลงของน้ำที่ปากแม่น้ำ

ระดับน้ำขึ้นลงที่ปากแม่น้ำใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดน้ำของกรมเจ้าท่าตั้งอยู่ที่ปากแม่น้ำบางปะกงในเขต อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา กำหนดขอบเขตด้านท้าย(Downstream Boundary) ข้อมูลยาว 18 ปี อยู่ในช่วงปี พ.ศ. 2525-2543 ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ปากแม่น้ำอยู่ที่ +2.02 ม.รทก. และ-1.66 ม.รทก.ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดแสดงในตาราง 4-3

ตาราง 4-3 ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดรายเดือนที่ปากแม่น้ำบางปะกงในช่วงปี พ.ศ.2525-2543

เดือน	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
ระดับน้ำสูงสุด	1.90	1.88	1.81	1.80	1.66	1.85	1.78	2.02
ระดับน้ำต่ำสุด	-1.57	-1.61	-1.49	-1.45	-1.44	-1.50	-1.66	-1.65
ระดับน้ำเฉลี่ย	0.27	0.26	0.27	0.26	0.21	0.21	0.10	0.06

หน่วย : (ม.รทก.)

ระดับน้ำขึ้นลงที่ปากแม่น้ำในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมกราคมของทุกปี มีลักษณะเป็นน้ำผสม (Mixed Tide) คือ มีน้ำขึ้นน้ำลงชนิดน้ำเดี่ยว(Diurnal Tide)และชนิดน้ำคู่ (Semi-Diurnal Tide) ปะปนผสมกันอยู่ จากข้อมูล พ.ศ.2525 ถึง พ.ศ. 2543 แสดงในตาราง 4-4 พบว่า

เดือนพฤศจิกายน ค่าระดับสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ +1.67 ม.รทก.

ค่าระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ -1.45 ม.รทก.

เดือนธันวาคม ค่าระดับสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ +1.65 ม.รทก.

ค่าระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ -1.47 ม.รทก.

เดือนมกราคม ค่าระดับสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ +1.63 ม.รทก.

ค่าระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ยเท่ากับ -1.43 ม.รทก.

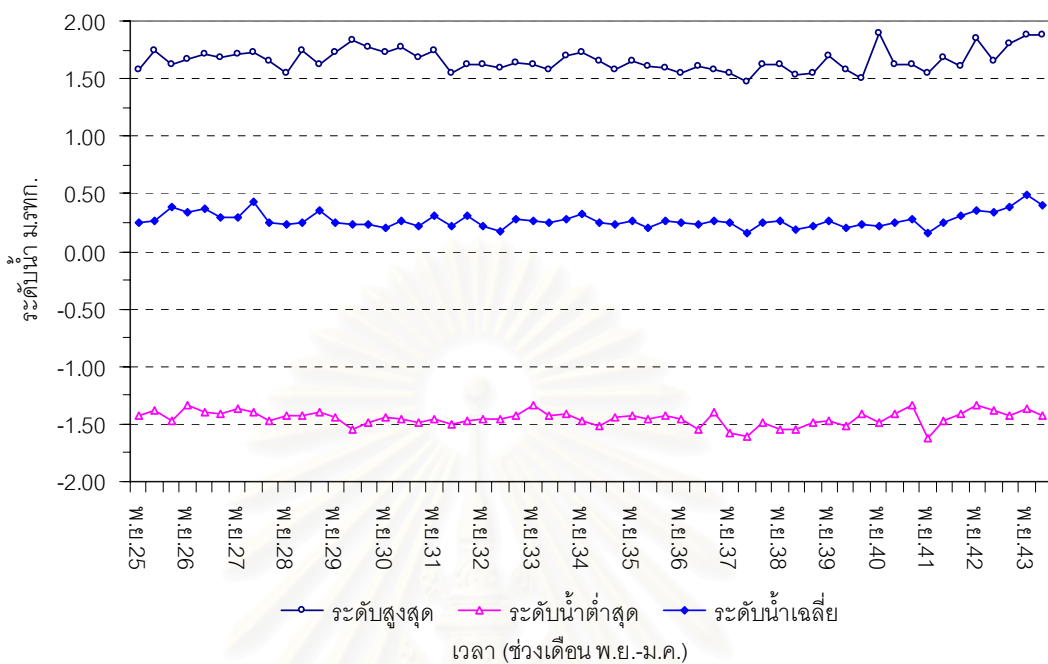
พิจารณาเดือน พฤศจิกายน กับเดือนธันวาคมพบว่า ค่าระดับสูงสุด มีค่าแตกต่างกันเฉลี่ย 0.11 ม. ค่าแตกต่างมากที่สุดเท่ากับ 0.28 ม.ในปี พ.ศ. 2540 สำหรับค่าระดับน้ำต่ำสุดมีค่าแตกต่างกันเฉลี่ยเท่ากับ 0.05 ม. ค่าแตกต่างมากที่สุดเท่ากับ 0.15 ม.ในปี พ.ศ. 2541

เดือน ธันวาคม กับเดือนมกราคม พบว่า ค่าระดับสูงสุด มีค่าแตกต่างกันเฉลี่ย 0.08 ม. ค่าแตกต่างมากที่สุดเท่ากับ 0.21 ม.ในปี พ.ศ. 2529 สำหรับค่าระดับน้ำต่ำสุดมีค่าแตกต่างกันเฉลี่ยเท่ากับ 0.06 ม. ค่าแตกต่างมากที่สุดเท่ากับ 0.22 ม.ในปี พ.ศ. 2537

ตาราง 4-4 ค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ยรายปี ที่ปากแม่น้ำ ช่วงเดือน พ.ย.-ม.ค.

ปี	พ.ย.			ธ.ค.			ม.ค.		
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
2525	1.58	-1.42	0.25	1.74	-1.38	0.26	1.63	-1.35	0.25
2526	1.67	-1.34	0.34	1.72	-1.39	0.37	1.62	-1.47	0.39
2527	1.71	-1.37	0.29	1.73	-1.39	0.43	1.69	-1.41	0.30
2528	1.54	-1.43	0.23	1.75	-1.42	0.25	1.66	-1.47	0.24
2529	1.73	-1.44	0.25	1.83	-1.54	0.23	1.62	-1.39	0.35
2530	1.73	-1.44	0.21	1.78	-1.45	0.27	1.77	-1.49	0.23
2531	1.74	-1.45	0.30	1.55	-1.50	0.22	1.69	-1.49	0.22
2532	1.62	-1.46	0.22	1.60	-1.46	0.18	1.65	-1.47	0.31
2533	1.62	-1.34	0.26	1.58	-1.42	0.24	1.64	-1.43	0.28
2534	1.73	-1.47	0.32	1.65	-1.52	0.25	1.70	-1.41	0.28
2535	1.66	-1.42	0.26	1.61	-1.45	0.20	1.58	-1.44	0.23
2536	1.54	-1.45	0.25	1.61	-1.54	0.24	1.59	-1.42	0.26
2537	1.55	-1.57	0.25	1.47	-1.61	0.16	1.58	-1.39	0.27
2538	1.62	-1.54	0.27	1.53	-1.55	0.19	1.62	-1.49	0.26
2539	1.70	-1.47	0.26	1.57	-1.51	0.20	1.54	-1.48	0.21
2540	1.90	-1.49	0.22	1.62	-1.41	0.25	1.50	-1.41	0.23
2541	1.54	-1.62	0.15	1.69	-1.47	0.24	1.63	-1.34	0.28
2542	1.85	-1.34	0.36	1.66	-1.38	0.33	1.61	-1.41	0.31
2543	1.88	-1.36	0.49	1.88	-1.42	0.40	1.81	-1.43	0.38
มากที่สุด	1.90	-1.34	0.49	1.88	-1.38	0.43	1.81	-1.34	0.39
เฉลี่ย	1.67	-1.45	0.26	1.65	-1.47	0.25	1.63	-1.43	0.27
น้อยสุด	1.54	-1.62	0.15	1.47	-1.61	0.16	1.50	-1.49	0.21

หน่วย ม.รทก.



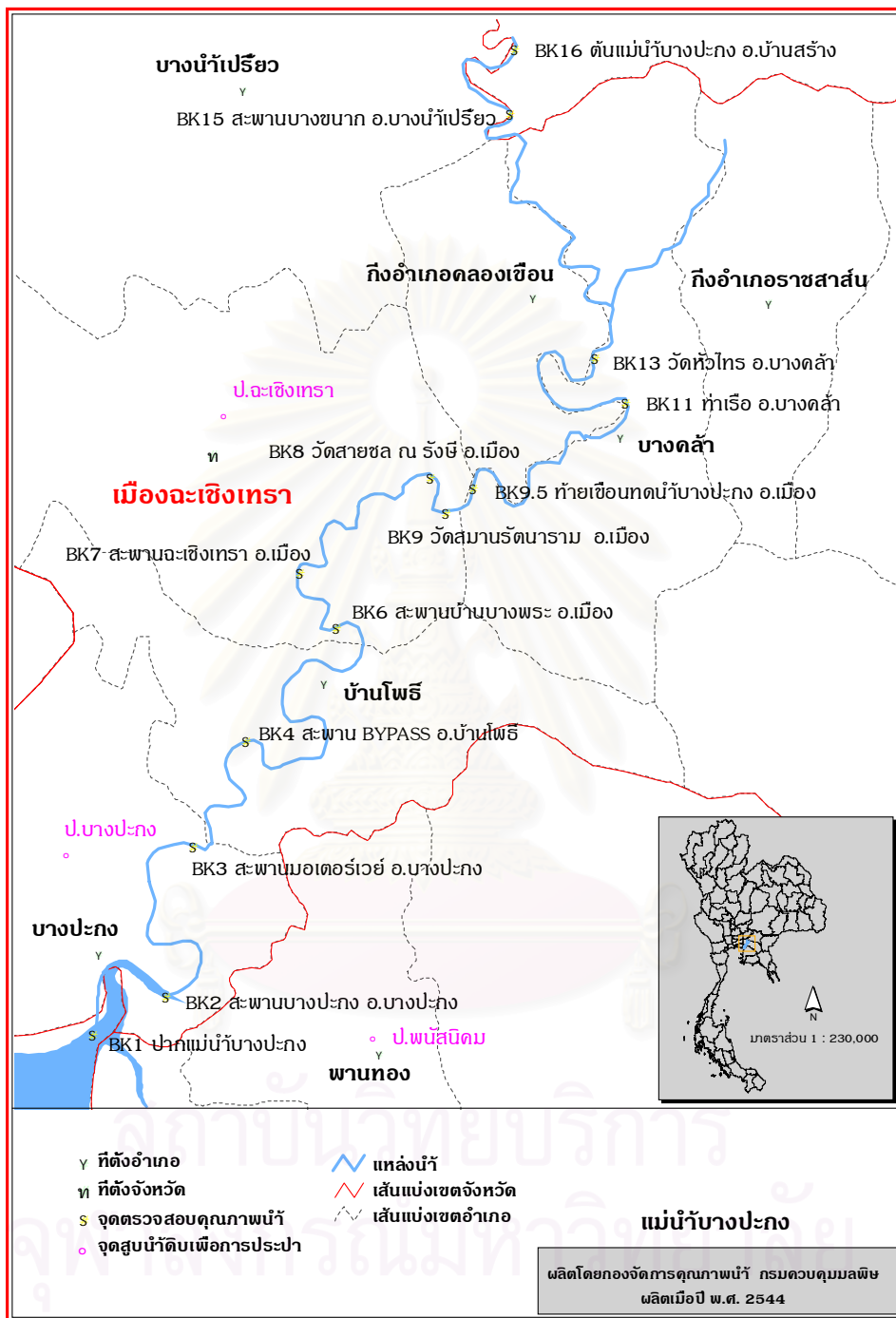
รูป 4-10 ระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุดและเฉลี่ย ที่ปากแม่น้ำ ในช่วงเดือนพ.ย.-ม.ค. ปี พ.ศ. 2525 -2543

4.3 ความเค็มของแม่น้ำ

ข้อมูลค่าความเค็มได้จากการสำรวจโดยกรมควบคุมมลพิษ เป็นข้อมูลที่อยู่ตามจุดต่างๆ ของลำน้ำ ในช่วงปี พ.ศ. 2536 ถึง ปีพ.ศ. 2543 รายละเอียดตำแหน่งที่ตรวจวัดข้อมูลแสดงใน ตารางที่ 4-5 และรูป 4-11

ตาราง 4-5 รายละเอียดจุดตรวจวัดคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ

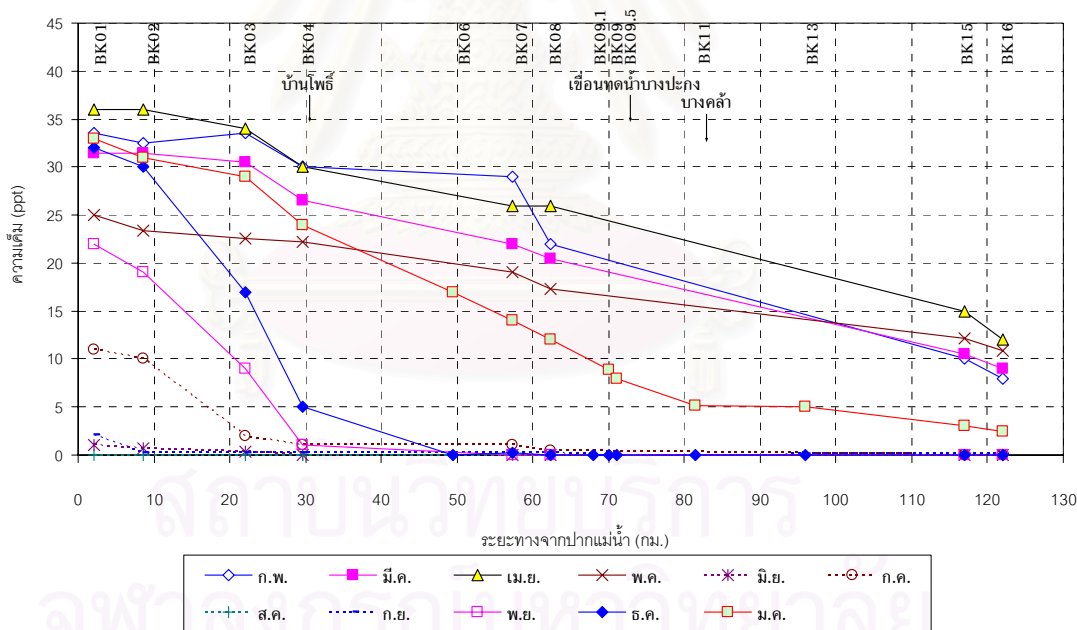
ตำแหน่ง	ระยะทางจากปากแม่น้ำ(กม.)	รายละเอียด		
BK01	2.0	ปากน้ำบางปะกง	อ.บางปะกง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK02	8.6	สะพานบางปะกง	อ.บางปะกง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK03	22.1	สะพานมอเตอร์เวย์	อ.บางปะกง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK04	29.6	สะพาน BY PASS	อ.บ้านโพธิ์	จ.ฉะเชิงเทรา
BK06	49.5	สะพานบ้านบางพระ	อ.เมือง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK07	57.3	สะพานฉะเชิงเทรา	อ.เมือง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK08	62.3	วัดสายชล ณ รั้งชี	อ.เมือง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK09	70.0	วัดสมานรัตนาราม	อ.เมือง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK9.5	71	ท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	อ.เมือง	จ.ฉะเชิงเทรา
BK11	81.5	ท่าเรือ	อ.บางคล้า	จ.ฉะเชิงเทรา
BK13	96.0	วัดหัวไทร	อ.บางคล้า	จ.ฉะเชิงเทรา
BK15	117.0	สะพานบางขนาก	อ.บางน้ำเปรี้ยว	จ.ฉะเชิงเทรา
BK16	122.0	ต้นน้ำบางปะกง	อ.บ้านสร้าง	จ.ปราจีนบุรี



รูป 4-11 ตำแหน่งเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ

จากข้อมูลพิจารณาลักษณะการแพร่กระจายน้ำเค็มในแม่น้ำบางปะกง จะขึ้นกับฤดูกาลเป็นหลัก โดยช่วงฤดูน้ำหลาก ตั้งแต่ เดือน มิถุนายน ถึง ตุลาคม ความเค็มจะแพร่เข้ามาถึงบริเวณบ้านโพธิ์ ประมาณ 30 กม.จากปากแม่น้ำ และในช่วงฤดูแล้งช่วงเดือนธันวาคมถึงพฤษภาคม ความเค็มจะแพร่เข้ามาตลอดแม่น้ำบางปะกง แสดงในตารางที่ 4-6 และรูป 4-12 การศึกษาครั้งนี้จะพิจารณาในช่วงฤดูแล้ง ช่วงที่ความเค็มแพร่เข้ามาถึงเขื่อนทดน้ำ

ลักษณะการแพร่ความเค็มที่ปากแม่น้ำบางปะกงจะลดลงตามระยะทางจากปากแม่น้ำ และความเค็มจะเปลี่ยนตามระดับการขึ้นลงของน้ำทะเล โดยค่าความเค็มจะมีค่ามากในช่วงน้ำขึ้น ซึ่งจะมีน้ำเค็มไหลย้อนจากปากแม่น้ำเข้าไปในลำน้ำบางปะกง และความเค็มจะมีค่าลดลง เมื่อน้ำมีทิศทางไหลจากแม่น้ำลงสู่ทะเล น้ำที่มีความเค็มน้อยกว่าจากต้นน้ำก็จะไหลลงมาแทนที่ทำให้ความเค็มที่วัดค่าได้ลดลง



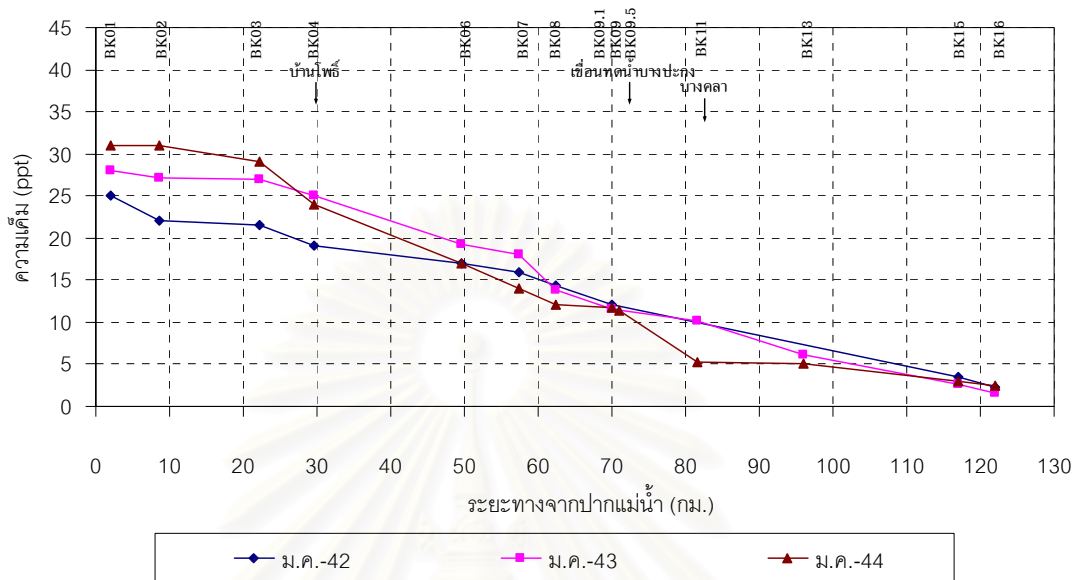
รูป 4-12 ค่าความเค็มเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน แม่น้ำบางปะกง ข้อมูล ปี 2536-2543

ตาราง 4-6 ค่าความเค็มเฉลี่ยสูงสุดรายเดือน ปี พ.ศ. 2536-2543

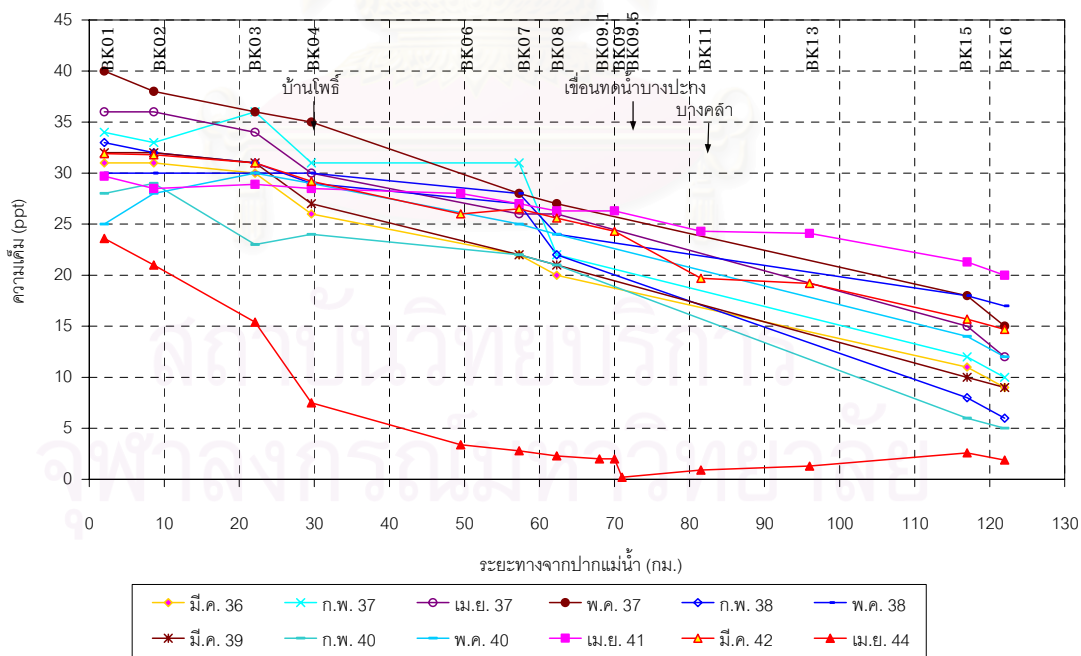
สถานี	ระยะทาง จาก ปากแม่น้ำ (กม.)	ความเค็มสูงสุดเฉลี่ย ppt										
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.
BK01	2.0	33.0	33.5	31.5	36.0	25.0	1.0	11.0	0.0	2.2	22.0	32.0
BK02	8.6	31.0	32.5	31.5	36.0	23.4	0.7	10.0	0.0	0.3	19.0	30.0
BK03	22.1	29.0	33.5	30.5	34.0	22.6	0.3	2.0	0.0	0.2	9.0	17.0
BK04	29.6	24.0	30.0	26.5	30.0	22.2	0.0	1.0	0.0	0.2	1.0	5.0
BK06	49.5	17.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK07	57.3	14.0	29.0	22.0	26.0	19.0	0.0	1.0	0.0	0.2	0.0	0.2
BK08	62.3	12.0	22.0	20.5	26.0	17.3	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.0
BK09	70.0	8.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK9.1	68.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK9.5	71.0	8.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK11	81.5	5.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK13	96.0	5.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BK15	117.0	3.0	10.0	10.5	15.0	12.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
BK16	122.0	2.5	8.0	9.0	12.0	10.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ

พิจารณาช่วงก่อนมีเขื่อน ปฏิบัติการเขื่อน และไม่ปฏิบัติการเขื่อน ในเดือนมกราคม ปี 2542-2544 พบค่าความเค็มที่เขื่อนไม่ได้แตกต่างกันมากนัก น้ำด้านเหนือเขื่อนยังมีความเค็มอยู่ เนื่องการปฏิบัติการเขื่อน ยังไม่สอดคล้องกับเกณฑ์ที่ตั้งไว้แสดงในรูป 4-12 ข้อมูลค่าความเค็ม ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงพฤษภาคม ในแต่ละปี แสดงในรูป 4-13 พบว่าค่าความเค็มในเดือน เม.ย. 2544 จะมีค่าที่ต่ำกว่าเดือนอื่นๆ เนื่องช่วงเวลาดังกล่าว มีการปล่อยน้ำจากเขื่อนสียัด ประมาณวันละ 1 ล้าน ลบ.ม.(11.57 ลบ.ม./วินาที) และพบว่าการรุกตัวของน้ำเค็มจะเข้าไปถึงที่ ระยะ 60-70 กม.จากปากแม่น้ำ



รูป 4-13 ค่าความเค็มช่วงเดือนมกราคม แม่น้ำบางปะกง ข้อมูล ปี 2542-2544



รูป 4-14 ค่าความเค็มสูงสุด ช่วงเดือน ก.พ.-พ.ค.แม่น้ำบางปะกง ข้อมูล ปี 2536-2544

4.4 รูปตัดตามขวางของแม่น้ำ

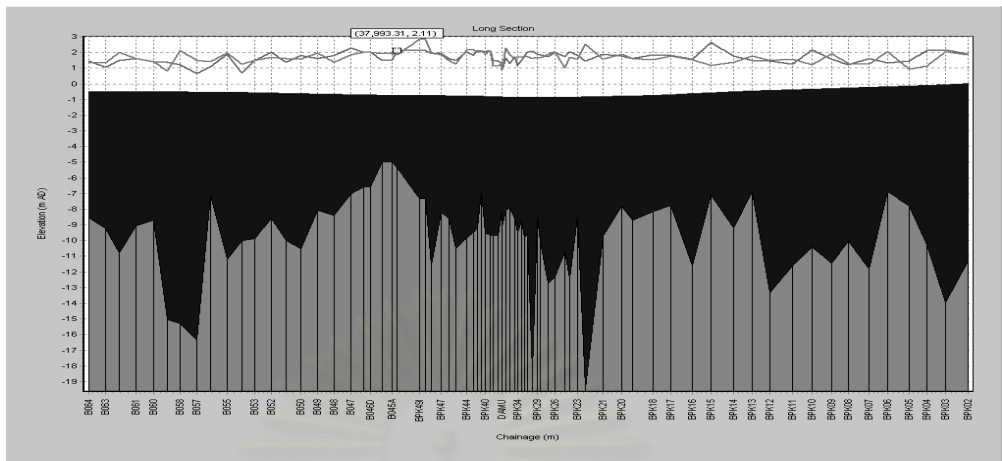
ข้อมูลรูปตัดตามขวางของแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำนครนายก แม่น้ำปราจีนบุรี คลองท่าลาด และคลองซ่งลัดที่เขื่อน มีทั้งหมด 172 รูปตัด ข้อมูลจากกรมชลประทาน โดยจำนวนของรูปตัดตามลำน้ำต่างๆมีดังนี้

- 1) รูปตัดขวางแม่น้ำบางปะกงจากปากแม่น้ำจนถึงเขื่อน จำนวน 37 รูปตัด และจากเขื่อนขึ้นไปถึงจุดบรรจบจำนวน 12 รูปตัด
- 2) รูปตัดขวางของแม่น้ำนครนายก จากจุดบรรจบถึงเขื่อนนายก จำนวน 41 รูปตัด
- 3) รูปตัดขวางของแม่น้ำปราจีนบุรี จากจุดบรรจบจนถึงสถานีวัดน้ำท่า KGT.3 จำนวน 62 รูปตัด
- 4) รูปตัดขวางแม่น้ำบางปะกง บริเวณที่เป็นเขื่อนกั้นลำน้ำเดิมความยาว 10 กิโลเมตรสำรวจเมื่อปี 2534 จำนวน 26 รูปตัด ข้อมูลจากกรมชลประทาน
- 5) รูปตัดขวางของคลองท่าลาด จำนวน 6 รูปตัด

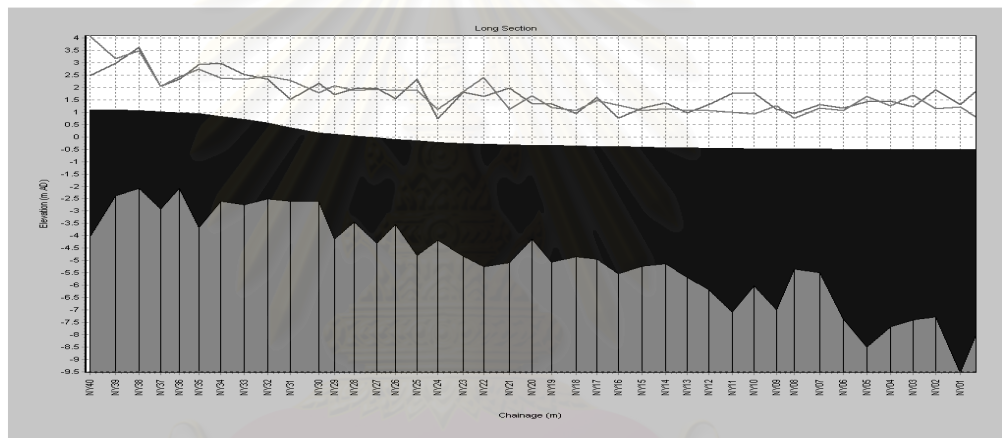
โดยระยะห่างกันของรูปตัดขวางอยู่ในช่วงประมาณ 0.5-2.0 กิโลเมตร ตำแหน่งของรูปตัดขวางต่างๆตามลำน้ำแสดงรูป 4-15 รูปตามยาวของแม่น้ำต่างๆแสดงในรูป 4-16 และรูปตัดขวางตัวอย่าง แสดงในรูป 4-17 สำหรับรายละเอียดตำแหน่งและระยะห่างระหว่างหน้าตัดแสดงในภาคผนวก ก



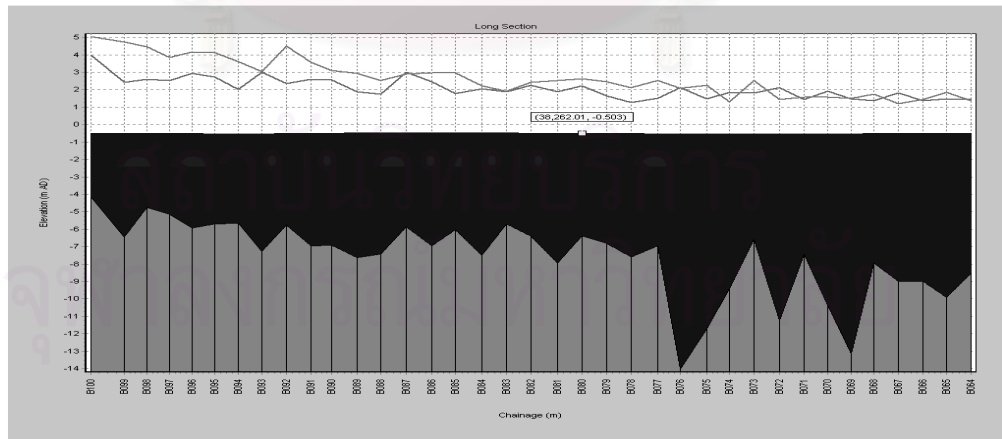
รูป 4-15 ตำแหน่งรูปตัดขวาง ตามลำน้ำที่ใช้ศึกษาในแบบจำลอง



(ก) รูปตามยาวแม่น้ำบางปะกงจากจุดบรรจบจนถึงบริเวณปากแม่น้ำ

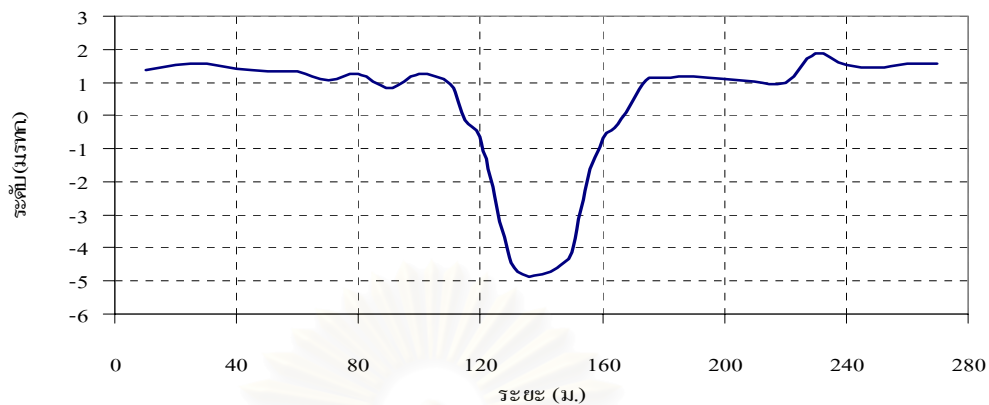


(ข) รูปตามยาวแม่น้ำนครนายกจากเขื่อนนายกถึงจุดบรรจบกับแม่น้ำปราจีนบุรี

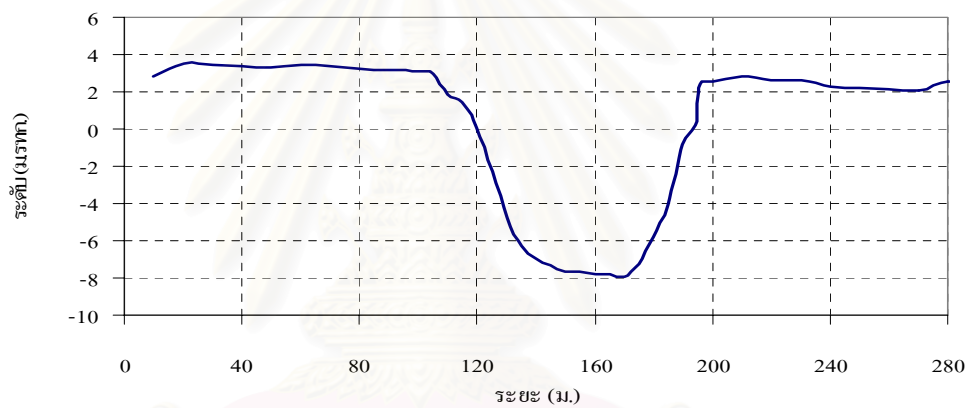


(ค) รูปตามยาว แม่น้ำปราจีนบุรี ถึงจุดบรรจบกับแม่น้ำนครนายก

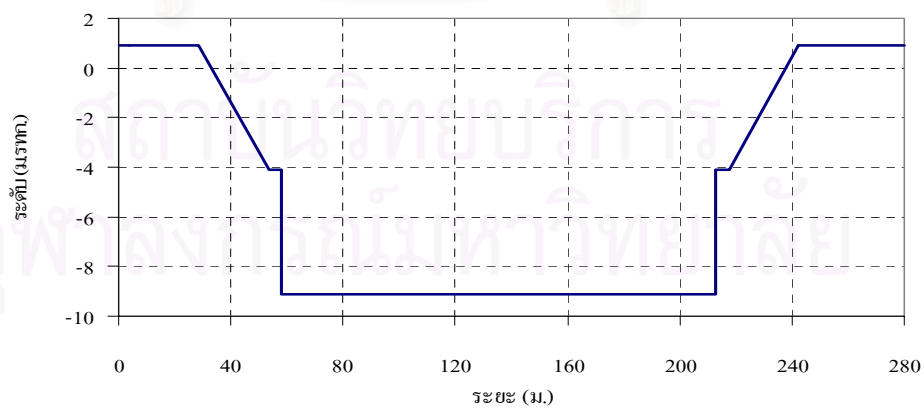
รูป 4-16 รูปตามยาวแม่น้ำบางปะกง แม่น้ำนครนายก และแม่น้ำปราจีนบุรี



(ก) รูปตัดขวางแม่น้ำนครนายก NY18



(ข) รูปตัดขวางแม่น้ำปราจีนบุรี B081



(ค) รูปตัดขวางเขื่อนทดน้ำบางปะกง

รูป 4-17 ตัวอย่างรูปตัดขวางตามลำน้ำ

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางกลศาสตร์ในการเปิดปิดบานประตูเขื่อนทดน้ำบางปะกง ประกอบด้วย การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง กลศาสตร์กับการเริ่มเปิดบานประตู รูปแบบการเปิดปิดบานประตู และ ประยุกต์ใช้รูปแบบการเปิดปิดบานประตูกับเกณฑ์กำหนด

5.1 การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ โปรแกรม ISIS ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นโปรแกรม ISIS Flow ศึกษาทางด้านกลศาสตร์ และส่วนที่สองเป็นโปรแกรม ISIS Quality ศึกษาคุณภาพน้ำด้านความเค็ม โดยกำหนด Δt มีค่าเท่ากับ 37.5 วินาที และ Δx กำหนดแบบ อัตโนมติ พบว่าในการคำนวณช่วงแรกโปรแกรมใช้เวลาในการปรับเพื่อเข้าสู่สมดุลตามเวลาที่กำหนดให้คำนวณประมาณ 2 วัน เวลา การเริ่มคำนวณอยู่ที่วันที่ 1 พ.ย. ของทุกปี ตัวแทน ในทุกกรณีการศึกษา

การเปรียบเทียบและสอบทานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดค่าตัวแปรที่เหมาะสมกับสภาพแม่น้ำบางปะกงก่อนนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ข้อมูลขอบเขตที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง มีรายละเอียดดังนี้

- 1) ข้อมูลอัตราการไหลของเขื่อนนายกเป็นขอบเขตทางด้านเหนือของแม่น้ำนครนายก
- 2) ข้อมูลอัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำท่า KGT.3 เป็นขอบเขตด้านเหนือของแม่น้ำปราจีนบุรี
- 3) ข้อมูลค่าระดับการขึ้นลงที่ปากแม่น้ำของกรมเจ้าท่าเป็นขอบเขตด้านท้ายน้ำของแม่น้ำบางปะกงซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของแบบจำลอง
- 4) ข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำเริ่มต้น เป็นผลจากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบการไหลคงที่ (Steady State) โดยกำหนดค่าในตำแหน่งทุกจุดที่พิจารณา

5.1.1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแม่น้ำ

ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของกลุ่มน้ำบางปะกงที่นำมาใช้ในการศึกษาค้างน้ำได้ อ้างอิงจาก พิทยา (2546) การปรับเทียบใช้วิธี Trial and Error เพื่อปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแม่น้ำในแต่ละช่วงลำน้ำโดยพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลวัดจริง และนำมา สอบทานด้วยข้อมูลที่เตรียมไว้ค่าที่ใช้ในการศึกษาค้างน้ำนี้แสดงในตาราง 5-1

ตาราง 5-1 ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ใช้ศึกษาในแบบจำลอง

ช่วงลำน้ำ	หน้าตัดใน แบบจำลอง	Ahmad(1979)	กรม ชลประทาน	การศึกษานี้
ท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง	BPK37 - BPK02	0.025	0.022	0.024
เขื่อนทดน้ำ	DAM-U - DAM-D	0.025	0.016	0.016
เหนือเขื่อนทดน้ำ บางปะกง	BPK381 - BPK382	0.025	0.025	0.029
	B053 - BPK38	0.025	0.028	0.029
	B062 - B054	0.045	0.025	0.029
	B063	0.045	0.020	0.029
	B065A - B064	0.045	0.025	0.029
คลองท่าลาด	C009 - C007	NA.	0.030	0.030
	C012 - C010	NA.	0.050	0.030
ปราจีนบุรี	B074 - B065	0.045	0.020	0.024
	B085 - B075	0.045	0.025	0.024
	B086	NA.	0.030	0.024
	B089 - B087	NA.	0.020	0.024
	B099 - B090	NA.	0.030	0.024
	B105 - B100	NA.	0.050	0.024
นครนายก	NY09 - NY00A	NA.	0.040	0.032
	NY24 - NY10	NA.	0.045	0.032
	NY28 - NY25	NA.	0.050	0.032
	NY40 - NY29	NA.	0.040	0.032
ช่วงค่าสัมประสิทธิ์		0.025 - 0.045	0.020 - 0.050	0.024 - 0.032

5.1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานประตู

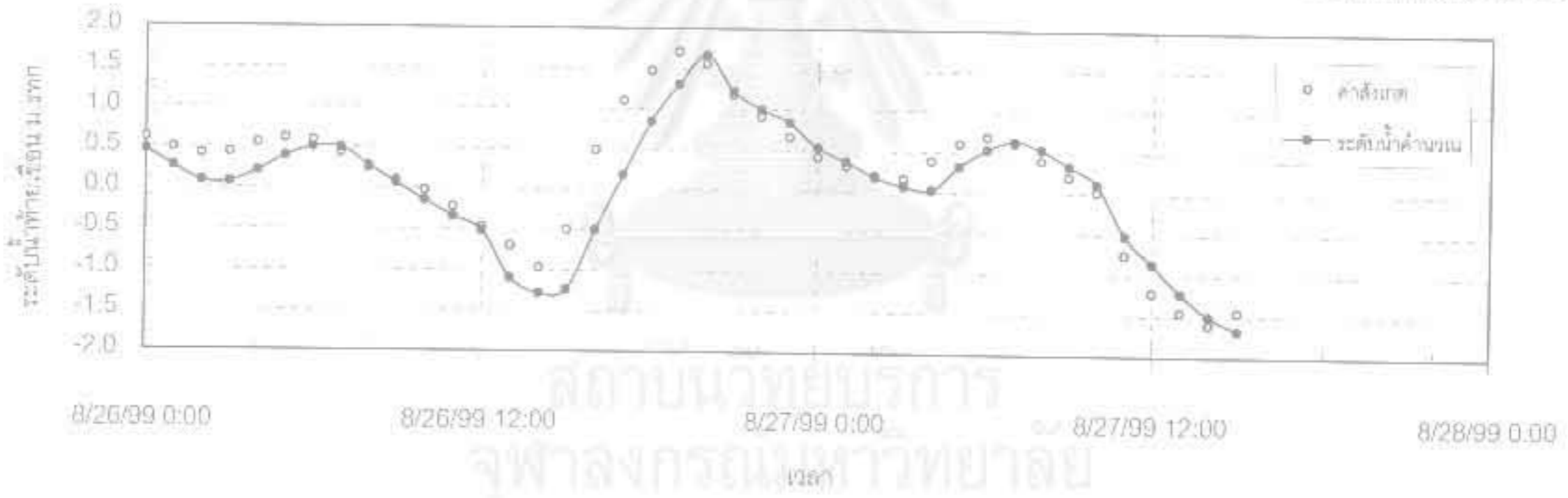
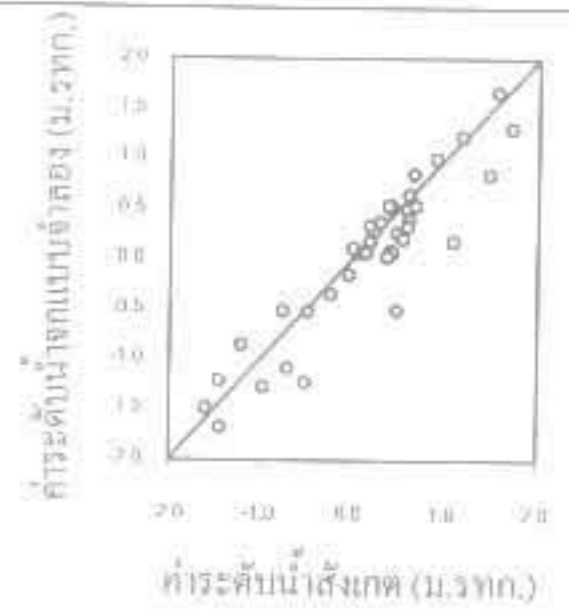
ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานประตูที่ใช้ในการศึกษาอ้างอิงจากกรมชลประทาน(2545) ใช้ค่าคงเท่ากับ 0.70 การศึกษานี้ได้นำค่ามาทดสอบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้ข้อมูลวันที่ 26-27 สิงหาคม พ.ศ. 2542 ซึ่งเป็นลักษณะการปิดบานสนิทเพื่อการทดลองระบบการเปิดปิดบานประตู ของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง (แสดงในภาคผนวก ก)

ผลการทดสอบพบว่า ค่าระดับน้ำที่ท้ายเขื่อนจากแบบจำลองมีลักษณะให้ค่าการผันแปรใกล้เคียงค่ากับค่าตรวจสอบ แต่มีความแตกต่างของช่วงเวลาการเกิดบางช่วง โดยมีผลต่างของค่าระดับเฉลี่ยเท่ากับ 0.14 ม. ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 0.304 ม. และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.857 ผลการคำนวณแสดงในตาราง 5-2 และรูป 5-1 จากการทดสอบ นำค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานประตูที่ทดสอบมาหาความสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานจากคู่มือปฏิบัติการเขื่อนทดน้ำ(ตาราง 3-3) แสดงดังรูป 5-2 พบว่าให้ค่าความสัมพันธ์ที่ดีในช่วงอัตราการไหลไม่เกิน 150 ลบ.ม./วินาที ในขณะที่ช่วงค่าอัตราการไหลที่มากกว่า 150 ลบ.ม./วินาที ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานประตูที่ทดสอบ จะให้ค่าอัตราการไหลที่ต่ำกว่าค่าอัตราการไหลจากคู่มือปฏิบัติการ ค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากคู่มือปฏิบัติการให้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลที่เปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำและขนาดของช่องเปิดจริงเป็นหลัก ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานประตูที่ทดสอบเป็นค่าคงที่ ที่ใช้เป็นตัวแทนสถานการณ์ทั้งหมดที่ไหลผ่านบาน เพื่อสะดวกสำหรับใช้กับกรณีศึกษา

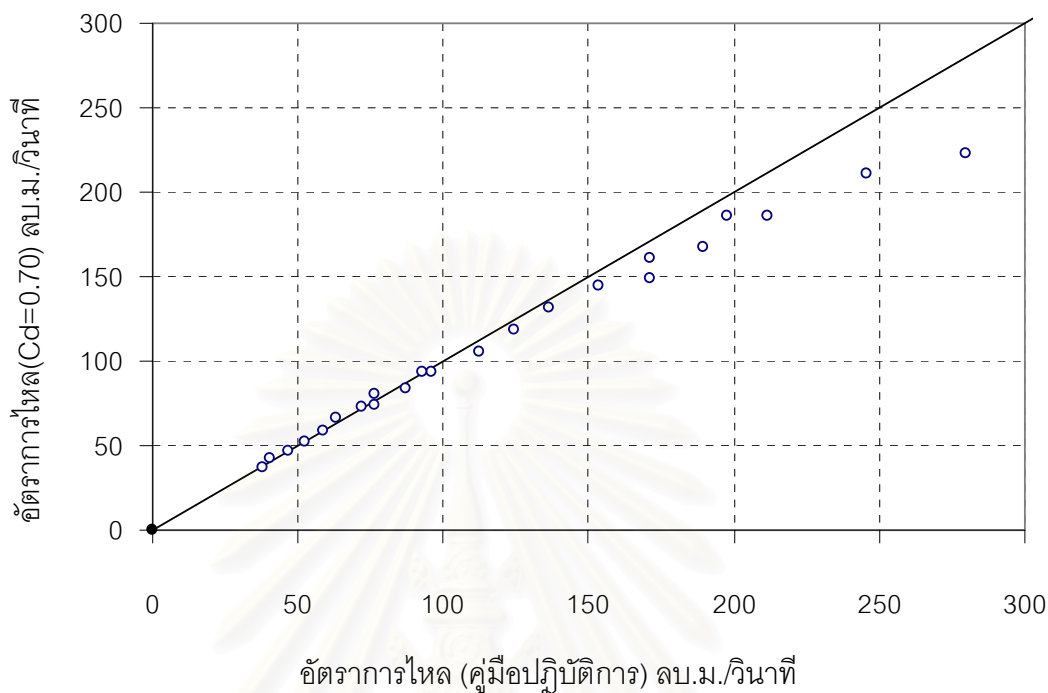
ตาราง 5-2 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตู (Cd=0.70)

ค่าผลต่างของระดับน้ำ(ม.)			RMSE (ม.)	R^2
สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
0.997	-0.351	0.140	0.304	0.857

ค่าผลต่างสูงสุด (Max diff.)	0.997	ม.
ค่าผลต่างต่ำสุด (Min diff.)	-0.351	ม.
ค่าผลต่างเฉลี่ย (Average diff.)	0.140	ม.
ค่าผลต่างกำลังสองสมบูรณ์เฉลี่ย (RMSE)	0.304	ม.
ค่าสหสัมพันธ์ (R^2)	0.857	



รูป 5-1 ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตู ที่เขื่อนทดน้ำวันที่ 26-27 ส.ค. 2542



รูป 5-2 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตูของกรณีที่ศึกษากับคู่มือปฏิบัติการ(กรมชลประทาน)

ผลจากการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตูที่ค่าเท่ากับ 0.70 (กรมชลประทาน 2545) พบว่าได้ค่าค่อนข้างที่สูงกว่าการไหลผ่านบานแบบจมน้ำ (Submerge Flow) เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้ ต้องการใช้กรณีที่เกิดการไหลเข้าออกของความเค็มผ่านประตูเป็นกรณีมากไว้จึงต้องการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานที่สูงและแบบจำลองที่ใช้กำหนดให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์เป็นค่าคงที่

การศึกษาครั้งนี้จึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตูเท่ากับ 0.70 ตามกรมชลประทาน โดยค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตูนี้ให้ค่าอัตราการไหลผ่านบานที่ไม่เกิน 150 ลบ.ม./วินาที (ค่าอัตราการไหลที่ต่ำ) ได้ใกล้เคียงกับค่าอัตราการไหลจากค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตูของคู่มือปฏิบัติการเขื่อน (กรมชลประทาน) อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ไหลผ่านบานประตูที่ถูกต้องการควรมีการตรวจสอบอีกครั้งจากข้อมูลสนามประกอบและควรพิจารณาในแบบจำลองที่สามารถกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แบบแปรเปลี่ยนได้

5.1.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม

การปรับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion Coefficient) ของโปรแกรม ISIS Quality ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรม ISIS เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ เป็นการแพร่ของความเค็มในทิศทางที่ขนานไปกับการไหลของน้ำ (Longitudinal Dispersion) เท่านั้น โดยตั้งสมมุติฐานว่าน้ำมีความเข้มข้นของพารามิเตอร์ต่างๆเท่ากันตลอดทั่วทั้งหน้าตัด (ตามความลึกและความกว้างของหน้าตัด) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็มในแบบจำลองเป็นไปตามสมการ 2-2 มีลักษณะแปรผันตามความเร็วเฉือน (Shear Velocity) ในแม่น้ำ

ค่าความเค็ม (Salinity) ซึ่งจัดว่าเป็นสารที่ไม่ย่อยสลาย (Conservative Constituent) การเคลื่อนที่ของความเค็มจากปากแม่น้ำเข้าสู่แม่น้ำ จึงขึ้นอยู่กับสภาพการไหลน้ำ (Advection Dispersion) เป็นหลัก

ในการคำนวณของโปรแกรม ISIS Quality ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ผันแปรตามลักษณะทางอุทกพลศาสตร์ โดยการนำผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ISIS Flow มาใช้ในการคำนวณร่วม

ขอบเขตของการปรับเทียบแบบจำลอง ISIS Quality

- 1) ครอบคลุมจากเขื่อนนายก สถานี KGT.3 อ.กบินทร์บุรี จนถึงปากแม่น้ำเช่นเดียวกับโปรแกรม ISIS Flow
- 2) การปรับเทียบใช้อัตราการไหล ระดับน้ำ ค่าความเค็ม จากการวัดตรวจวัดจริงของหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง
- 3) ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับเทียบและสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม ตามสมการ 2.20 คือ กำหนดใช้ค่าต่ำสุดในการแพร่ของลำน้ำ $Do = 10 \text{ m}^2/\text{วินาที}$ (กรมชลประทาน 2545 และ กรมควบคุมมลพิษ 2545 ใช้ค่าเท่ากับ $10 \text{ m}^2/\text{วินาที}$) ค่า $D1$ เป็นค่าคงที่ที่ใช้ปรับเทียบ โดยกำหนดค่าความเค็มสูงสุดที่ปากแม่น้ำเท่ากับ 30 ppt (ตามข้อมูลกรมควบคุมมลพิษ)

การปรับเทียบด้วยวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) เพื่อปรับค่าคงที่ของการแพร่ (D₁) โดยพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลวัดจริง และมีการสอบทานด้วยข้อมูลชุดอื่น เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมก่อนการปฏิบัติงาน

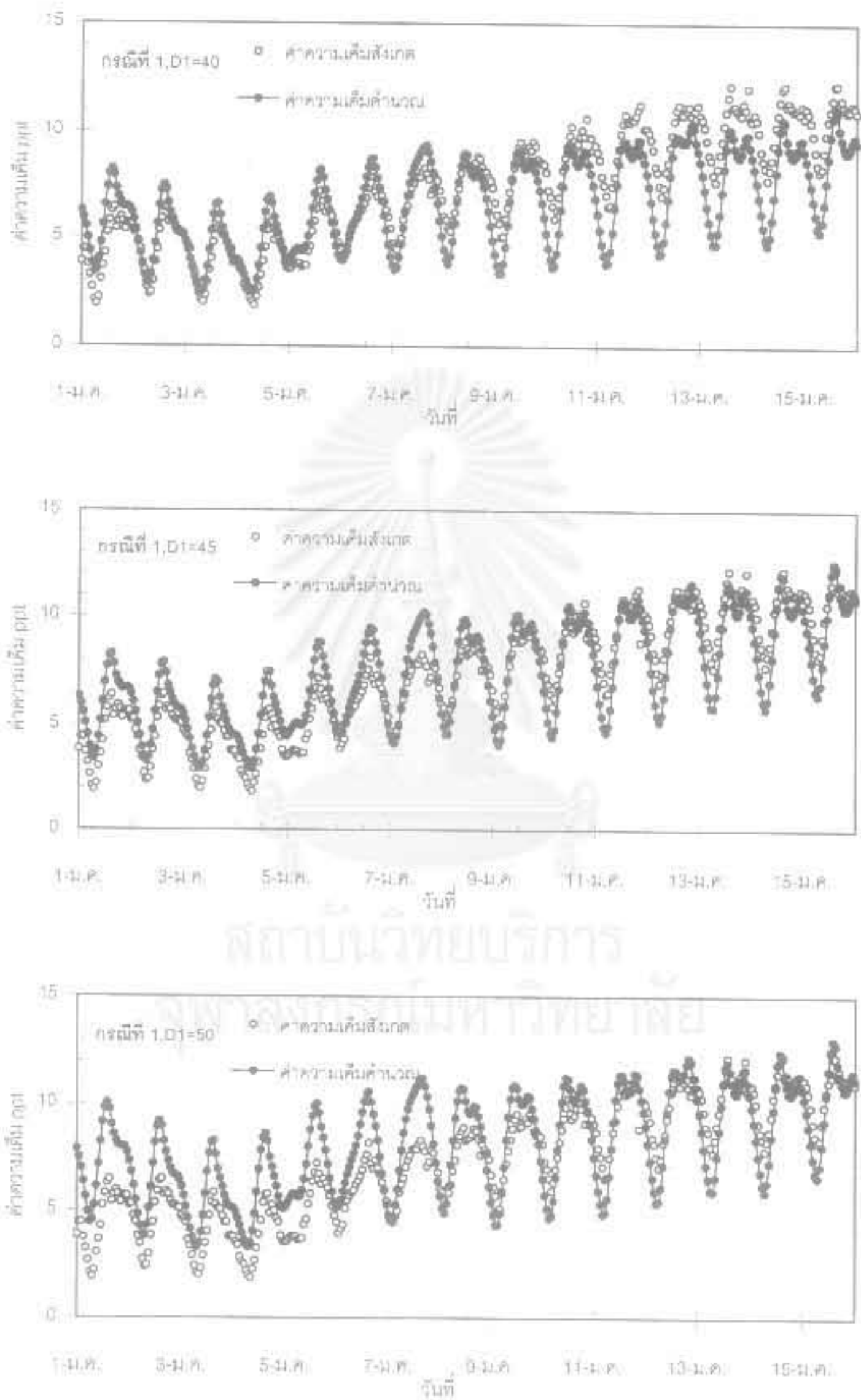
ช่วงเวลาที่ใช้ในการปรับเทียบและสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็มที่เขื่อนบางปะกงได้ทดสอบค่าคงที่ของการแพร่ (D₁) 3 ค่า ได้แก่ 40 45 และ 50 ตร.ม./วินาที โดยแบ่งช่วงข้อมูลดังนี้

- ข้อมูลปรับเทียบใช้ข้อมูลช่วงวันที่ 1-15 มกราคม พ.ศ. 2544
- ข้อมูลสอบทานประกอบด้วยข้อมูล 2 ชุด คือ ข้อมูลช่วงวันที่ 16-25 มกราคม พ.ศ. 2544 และ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามยาวของลำน้ำใช้ข้อมูลช่วงวันที่ 23-24 มกราคม พ.ศ. 2544

การวัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองวัดจากค่าผลต่างความเค็มสูงสุด(Max difference) เฉลี่ย และต่ำสุด ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R²) ที่ได้จากการคำนวณเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดจริง ผลการปรับเทียบการแพร่ความเค็มช่วงวันที่ 1-15 มกราคม พ.ศ. 2544 แสดงดังตาราง 5-3 และรูป 5-3

ตาราง 5-3 ผลการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม

กรณี	ค่าคงที่ ที่ใช้ปรับแก้	ค่าความเค็ม (ppt)		ค่าผลต่างของความเค็ม (ppt)			RMSE (ppt)	R ²
		สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
1	D1 = 40	10.60	2.42	3.48	-2.38	0.66	1.41	0.74
2	D1 = 45	11.96	2.94	2.31	-2.65	-0.18	1.12	0.83
3	D1 = 50	12.43	3.28	2.24	-4.03	-0.82	1.46	0.71



รูป 5-3 ผลการเปรียบเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเค้น ในกรณีต่างๆ

ผลการเปรียบเทียบค่าความเค็มในช่วงวันที่ 1-15 มกราคม พ.ศ. 2544 พบว่า กรณี 2 เมื่อ $D_1 = 45$ ตร.ม./วินาที ให้ค่าความเค็มที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงมากที่สุด เนื่องจากให้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสอง (RMSE) เท่ากับ 1.12 ppt เป็นค่าน้อยสุด และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) เท่ากับ 0.83 เป็นค่าที่มากที่สุด โดยค่าผลต่างสูงสุด ต่ำสุด และเฉลี่ยเท่ากับ 2.31 - 2.65 และ -0.18 ppt ตามลำดับ จึงพิจารณาใช้ค่าตัวแปรในกรณีที่ 2 เป็นค่าที่เหมาะสมกับแบบจำลอง

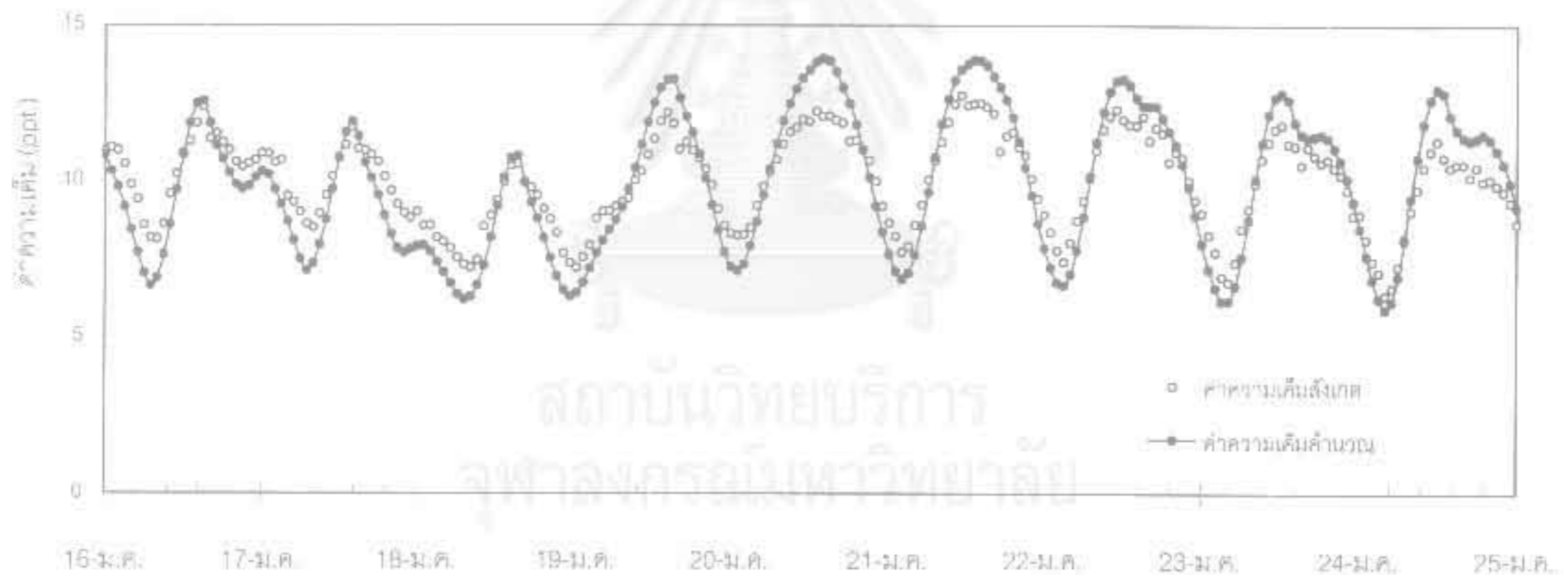
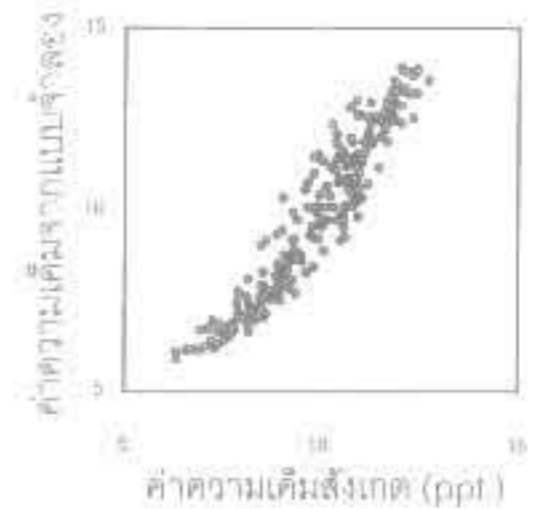
เมื่อเปรียบเทียบค่าความเค็มได้แล้วนำมาสอบทานกับข้อมูลชุดที่ 2 คือ ค่าความเค็มรายชั่วโมงที่สถานีเขื่อนบางปะกง ในวันที่ 16-25 มกราคม พ.ศ. 2544 และตามยาวของลำน้ำใช้ข้อมูลช่วงวันที่ 23-24 มกราคม พ.ศ. 2543 ตามจุดต่างๆในลำน้ำบางปะกง ซึ่งตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษ ผลการสอบทานของทั้ง 2 เหตุการณ์แสดงในตาราง 5-4 และในรูป 5-4 กับรูป 5-5 ตามลำดับ พบว่าค่าที่ได้ให้ค่าความสัมพันธ์ที่ดี และค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

ตาราง 5-4 ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม

เหตุการณ์สอบเทียบ	ค่าผลต่างของความเค็ม(ppt)			RMSE (ppt)	R^2
	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย		
16-25 ม.ค. 2544 ที่เขื่อนทดน้ำ	3.48	-2.38	0.66	1.41	0.74
23-24 ม.ค. 2544 ตามลำน้ำ	1.37	-1.65	-0.15	1.20	0.99

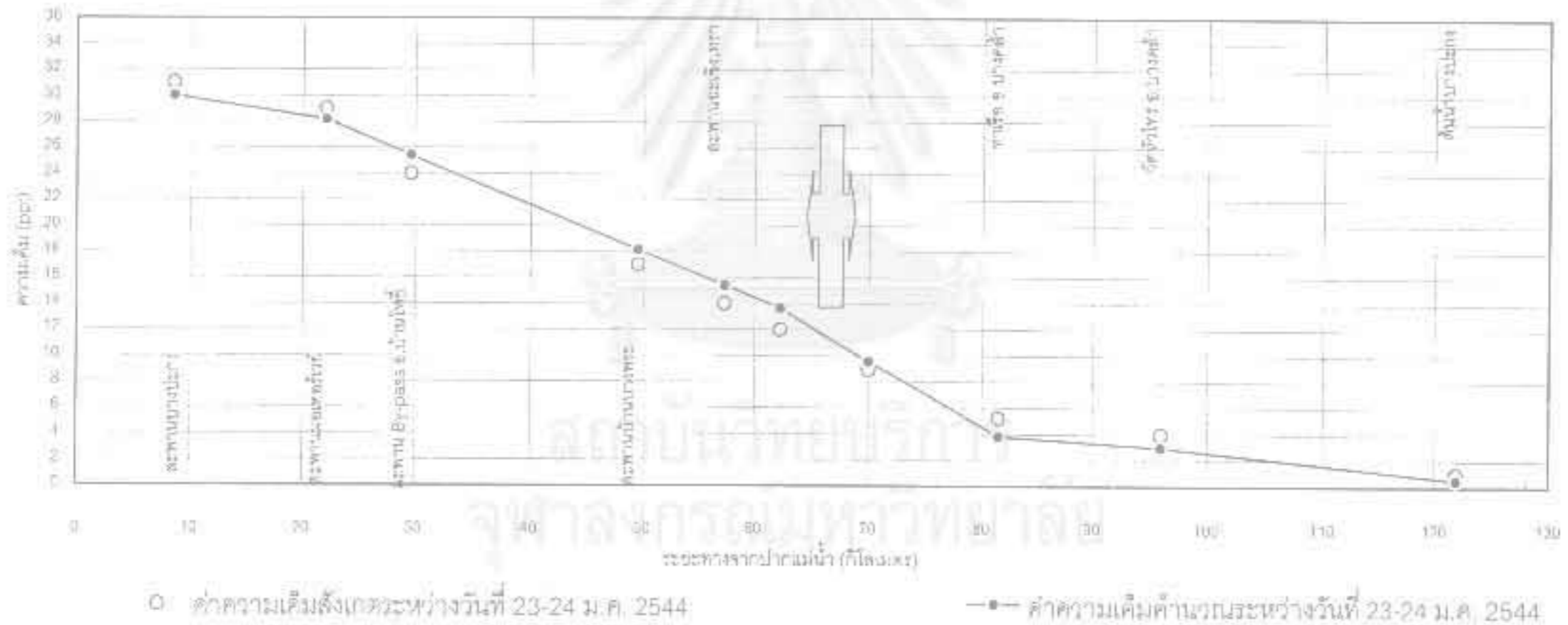
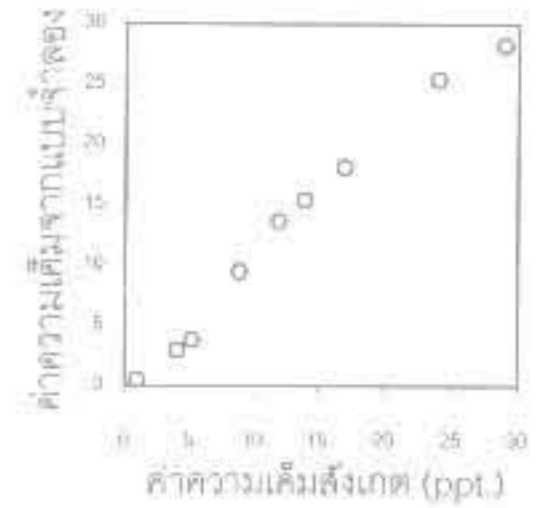
จากการเปรียบเทียบสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตลอดลำน้ำบางปะกงได้โดยเลือกหน้าตัดต่างๆ มาพิจารณา หาค่าความเร็วของหน้าตัด ที่ค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ย นำมาแทนค่าต่างๆในสมการ 2-20 โดยรายละเอียดและผลที่ได้แสดงในตารางที่ 5-5 และรูป 5-6 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่น้อยสุดเท่ากับ $10 \text{ m}^2/\text{วินาที}$ เมื่อความเร็วน้ำมีค่าเท่ากับศูนย์

ค่าผลต่างสูงสุด (Max diff.)	1.69	ppt.
ค่าผลต่างต่ำสุด (Min diff.)	-4.03	ppt.
ค่าผลต่างเฉลี่ย (Average diff.)	-0.08	ppt.
ค่าผลต่างกำลังสองสมบูรณ์เฉลี่ย (RMSE)	1.09	ppt.
ค่าสหสัมพันธ์ (R^2)	0.84	



รูปที่ 5-4 ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม ที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง

ค่าผลต่างสูงสุด (Max diff.)	1.37	ppt.
ค่าผลต่างต่ำสุด (Min diff.)	-1.65	ppt.
ค่าผลต่างเฉลี่ย (Average diff.)	-0.15	ppt.
ค่าผลต่างกำลังสองสมบูรณ์เฉลี่ย (RMSE)	1.20	ppt.
ค่าสหสัมพันธ์ (R^2)	0.99	



รูปที่ 5.5 ผลการสอบทานค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความเค็ม ตามแนวแม่น้ำบางปะกง

ตาราง 5-5 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion Coefficient) ในลำน้ำบางปะกง จากการปรับเทียบ

หน้าตัด พิจารณา	ระยะห่าง จากปากแม่น้ำ กม.	ความเร็วน้ำ		ความลึกน้ำ ม.	ความกว้าง ม.	Manning's	n.		Dispersion Coeff.: D _x	
		มากที่สุด	เฉลี่ย				มากที่สุด	เฉลี่ย	มากที่สุด	เฉลี่ย
		ม./วินาที	ม./วินาที				ม./วินาที	ม./วินาที	ม. ² /วินาที	ม. ² /วินาที
DPK03	6	1.897	0.582	13	300	0.022	0.085	0.026	1150.8	353.1
BPK10	25	1.73	0.542	10	250	0.022	0.081	0.025	913.7	286.2
BPK18	45	1.502	0.483	8	250	0.022	0.073	0.024	823.3	270.2
DAM-D	56	1.374	0.463	9	200	0.016	0.048	0.016	429.7	144.8
B04B	88	1.108	0.389	8.5	180	0.028	0.068	0.024	551.4	193.4
B054	98	0.988	0.362	10	130	0.025	0.063	0.019	308.3	113.0
B064	118	0.919	0.347	8.5	130	0.025	0.060	0.019	294.7	111.3

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ยตลอดแม่น้ำบางปะกง = 210.3

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูงสุด เท่ากับ 10.316



รูป 5-6 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ (Dispersion Coefficient) ในลำน้ำบางปะกง จากการปรับเทียบ

5.2 ชลศาสตร์กับการเริ่มเปิดบานประตู

5.2.1 การวิเคราะห์การแพร่ความเค็มที่เขื่อน

การวิเคราะห์การแพร่ความเค็ม โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลและค่าระดับน้ำทะเลจริง ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2525-2543 จำนวน 19 ปี มาคำนวณหาวันที่ความเค็มจากปากแม่น้ำในแต่ละปี เข้ามาถึงเขื่อนทดน้ำและสถานีสูบน้ำ ถึงค่าความเค็ม ที่กำหนด โดยสถานีสูบน้ำตั้งอยู่เหนือเขื่อน ประมาณ 3 กิโลเมตรเพื่อจะสูบน้ำไปใช้ในฤดูแล้ง ตามวัตถุประสงค์ของโครงการ

การวิเคราะห์การแพร่ความเค็มจะพิจารณาที่เขื่อนและที่สถานีสูบน้ำเป็นหลัก โดยพิจารณาค่าความเค็มเริ่มต้น 3 ค่า คือ 0.1 0.5 และ 1 ppt (กรมชลประทานกำหนดปริมาณความเค็มไม่เกิน 1 ppt สำหรับน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคและการเกษตร) เริ่มคำนวณวันที่ 1 พ.ย. ของทุกปี ผลการคำนวณได้ดังนี้

- 1) ค่าความเค็มน้ำที่แพร่เข้าที่เขื่อน (แสดงในตาราง 5-6) พบว่า
 - 1.1) ค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่แพร่เข้ามาตรงกับอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 38.79 ลบ.ม./วินาที อยู่ในช่วงเวลาเฉลี่ยตรงกับ วันที่ 16 พ.ย.
 - 1.2) ค่าความเค็ม 0.5 ppt ที่แพร่เข้ามาตรงกับอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 27.79 ลบ.ม./วินาที อยู่ในช่วงเวลาเฉลี่ยตรงกับ วันที่ 23 พ.ย.
 - 1.3) ค่าความเค็ม 1 ppt ที่แพร่เข้ามาตรงกับอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 24.42 ลบ.ม./วินาที อยู่ในช่วงเวลาเฉลี่ยตรงกับ วันที่ 28 พ.ย.
- 2) ค่าความเค็มที่แพร่เข้าถึงสถานีสูบน้ำ แสดงในตาราง 5-7 พบว่า
 - 2.1) ค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่แพร่เข้ามาตรงกับอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 35.52 ลบ.ม./วินาที อยู่ในช่วงเวลาเฉลี่ยตรงกับ วันที่ 18 พ.ย.
 - 2.2) ค่าความเค็ม 0.5 ppt ที่แพร่เข้ามาตรงกับอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 25.58 ลบ.ม./วินาที อยู่ในช่วงเวลาเฉลี่ยตรงกับ วันที่ 25 พ.ย.
 - 2.3) ค่าความเค็ม 1 ppt ที่แพร่เข้ามาตรงกับอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 22.68 ลบ.ม./วินาที อยู่ในช่วงเวลาเฉลี่ยตรงกับ วันที่ 30 พ.ย.

โดยช่วงค่าอัตราการไหลที่เกิดค่าความเค็มต่างๆที่เขื่อนและสถานีสูบน้ำ แสดงในรูป 5-7 และ 5-8

ตาราง 5-6 การแพร่ของความเค็มที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง (กม 65+500 จากปากแม่น้ำ)

ปี (พ.ศ.)	ความเค็ม 0.1 ppt		ความเค็ม 0.5 ppt		ความเค็ม 1 ppt	
	วันที่	Q (cms.)	วันที่	Q (cms.)	วันที่	Q (cms.)
2525	14-พ.ย.	47.60	27-พ.ย.	37.50	8-ธ.ค.	28.50
2526	27-พ.ย.	38.10	4-ธ.ค.	23.90	8-ธ.ค.	17.30
2527	9-พ.ย.	30.80	13-พ.ย.	27.30	16-พ.ย.	29.20
2528	20-พ.ย.	51.80	24-พ.ย.	38.00	4-ธ.ค.	39.90
2529	18-พ.ย.	44.40	24-พ.ย.	31.30	30-พ.ย.	23.40
2530	25-พ.ย.	53.00	4-ธ.ค.	39.50	7-ธ.ค.	31.00
2531	16-พ.ย.	45.40	24-พ.ย.	31.00	29-พ.ย.	27.30
2532	8-พ.ย.	49.20	15-พ.ย.	33.10	18-พ.ย.	27.60
2533	28-พ.ย.	42.20	6-ธ.ค.	29.30	9-ธ.ค.	27.50
2534	18-พ.ย.	36.20	24-พ.ย.	33.30	3-ธ.ค.	26.10
2535	15-พ.ย.	25.10	17-พ.ย.	21.70	18-พ.ย.	20.30
2536	15-พ.ย.	27.90	19-พ.ย.	22.00	26-พ.ย.	16.90
2537	8-พ.ย.	28.00	15-พ.ย.	20.20	19-พ.ย.	17.80
2538	10-พ.ย.	25.90	24-พ.ย.	16.60	26-พ.ย.	16.00
2539	3-ธ.ค.	31.00	7-ธ.ค.	25.70	9-ธ.ค.	22.30
2540	6-พ.ย.	47.20	14-พ.ย.	27.10	18-พ.ย.	25.50
2541	8-พ.ย.	29.10	17-พ.ย.	16.50	19-พ.ย.	16.25
2542	28-พ.ย.	48.85	6-ธ.ค.	24.50	10-ธ.ค.	32.70
2543	17-พ.ย.	35.20	19-พ.ย.	31.60	25-พ.ย.	18.50
เฉลี่ย	16-พ.ย.	38.79	23-พ.ย.	27.90	28-พ.ย.	24.42
สูงสุด	3-ธ.ค.	53.00	7-ธ.ค.	39.50	10-ธ.ค.	39.90
ต่ำสุด	6-พ.ย.	25.10	13-พ.ย.	16.50	16-พ.ย.	16.00

ตาราง 5-7 การแพร่ความเค็มที่สถานีสูบน้ำ (กม 68 + 500 จากปากแม่น้ำ)

ปี (พ.ศ.)	ความเค็ม 0.1 ppt		ความเค็ม 0.5 ppt		ความเค็ม 1 ppt	
	วันที่	Q (cms.)	วันที่	Q (cms.)	วันที่	Q (cms.)
2525	17-พ.ย.	42.40	30-พ.ย.	33.30	11-ธ.ค.	23.10
2526	28-พ.ย.	35.00	6-ธ.ค.	20.80	9-ธ.ค.	15.80
2527	10-พ.ย.	29.90	14-พ.ย.	28.30	18-พ.ย.	24.80
2528	22-พ.ย.	44.90	26-พ.ย.	33.10	6-ธ.ค.	35.40
2529	19-พ.ย.	45.70	26-พ.ย.	26.50	1-ธ.ค.	22.10
2530	27-พ.ย.	45.20	6-ธ.ค.	34.10	8-ธ.ค.	30.60
2531	18-พ.ย.	42.40	27-พ.ย.	29.70	30-พ.ย.	27.00
2532	12-พ.ย.	37.00	16-พ.ย.	30.60	19-พ.ย.	26.40
2533	1-ธ.ค.	34.70	7-ธ.ค.	28.10	12-ธ.ค.	25.40
2534	21-พ.ย.	34.10	25-พ.ย.	32.10	4-ธ.ค.	26.70
2535	16-พ.ย.	23.40	18-พ.ย.	20.30	19-พ.ย.	18.50
2536	16-พ.ย.	26.20	20-พ.ย.	21.70	27-พ.ย.	16.40
2537	10-พ.ย.	25.90	17-พ.ย.	19.00	21-พ.ย.	17.20
2538	12-พ.ย.	22.90	25-พ.ย.	16.30	27-พ.ย.	15.40
2539	5-ธ.ค.	26.90	8-ธ.ค.	23.70	11-ธ.ค.	17.70
2540	7-พ.ย.	45.30	16-พ.ย.	25.50	19-พ.ย.	25.50
2541	9-พ.ย.	27.30	18-พ.ย.	16.50	20-พ.ย.	16.00
2542	29-พ.ย.	47.45	7-ธ.ค.	23.50	12-ธ.ค.	28.50
2543	16-พ.ย.	38.20	22-พ.ย.	22.90	27-พ.ย.	18.50
เฉลี่ย	18-พ.ย.	35.52	25-พ.ย.	25.58	30-พ.ย.	22.68
สูงสุด	5-ธ.ค.	47.45	8-ธ.ค.	34.10	12-ธ.ค.	35.40
ต่ำสุด	7-พ.ย.	22.90	14-พ.ย.	16.30	18-พ.ย.	15.40

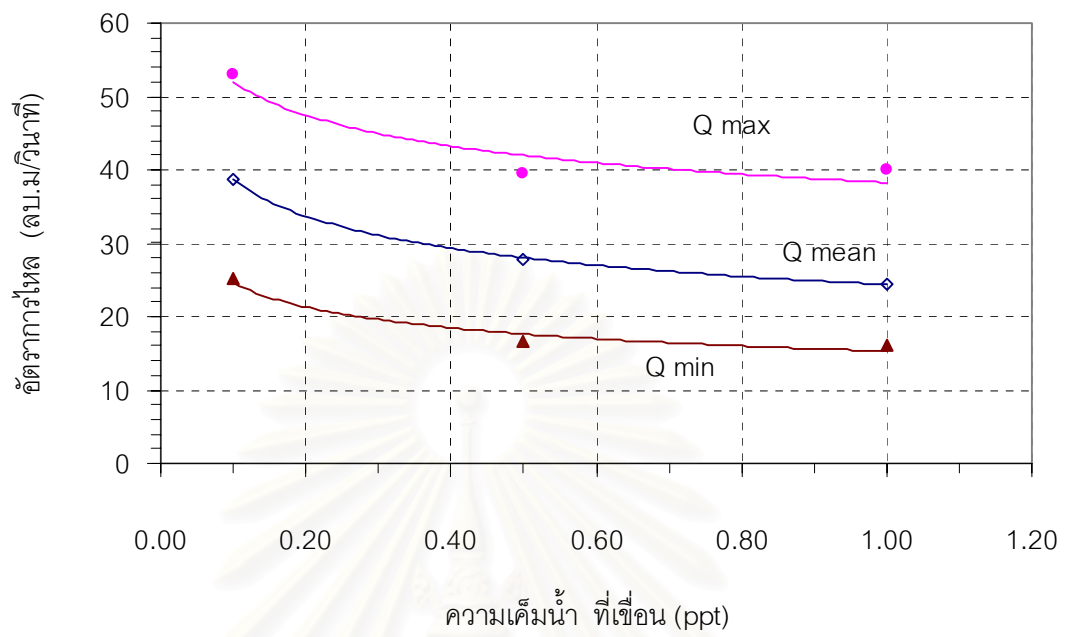
5.2.2 การวิเคราะห์การแพร่ความเค็มจากเขื่อนทดน้ำถึงสถานีสูบน้ำ

ผลการคำนวณพิจารณาค่าความเค็มที่เขื่อนจากค่า 0.1 0.5 1.0 ppt ที่เขื่อนแพร่เข้าถึงสถานีสูบน้ำที่ค่าความเค็ม 1 ppt ที่มีระยะห่างประมาณ 3 กิโลเมตร ในสภาวะตามธรรมชาติโดยไม่มีเขื่อนทดน้ำ แสดงในตาราง 5-8 พบว่า

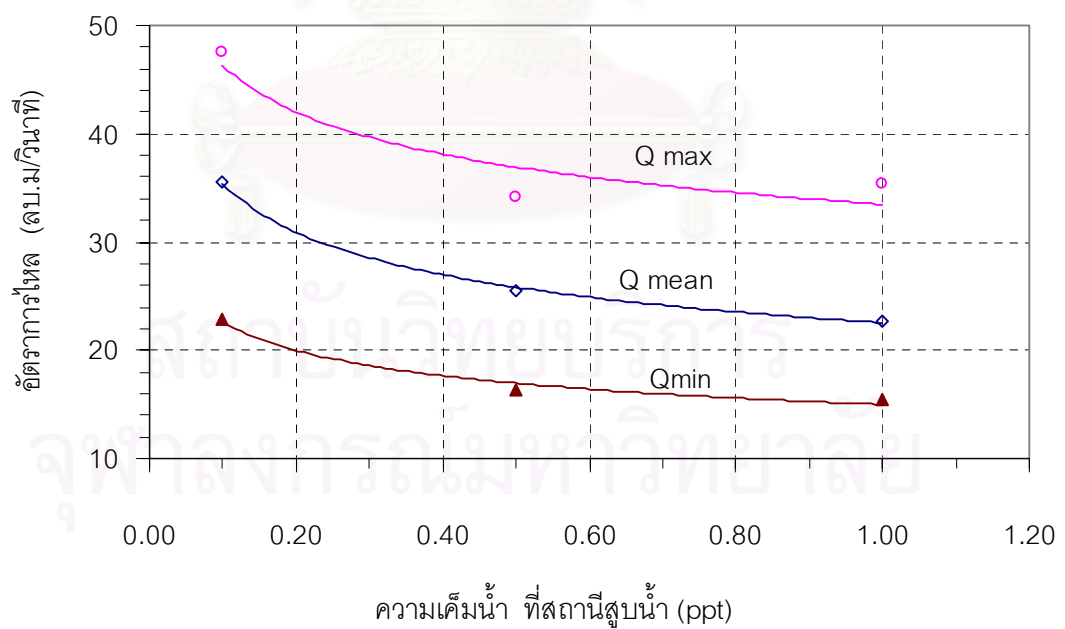
- 1) ค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อนแพร่ถึงสถานีสูบน้ำที่ความเค็ม 1 ppt ใช้เวลาเฉลี่ย 13.05 วัน มีอัตราการไหลสะสมเฉลี่ยในช่วงเวลาที่แพร่เท่ากับ 390.84 ลบ.ม./วินาที
- 2) ค่าความเค็ม 0.5 ppt ที่เขื่อนแพร่ถึงสถานีสูบน้ำที่ความเค็ม 1 ppt ใช้เวลาเฉลี่ย 6.21 มีอัตราการไหลสะสมเฉลี่ยในช่วงเวลาที่แพร่เท่ากับ 165.17 ลบ.ม./วินาที
- 3) ค่าความเค็ม 1 ppt ที่เขื่อนแพร่ถึงสถานีสูบน้ำที่ความเค็ม 1 ppt ใช้เวลาเฉลี่ย 1.53 วัน ช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงที่ 1 ppt ที่เขื่อนเป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำเป็นช่วงเวลาที่สั้นและรวดเร็วในการเดินทางไม่สามารถหาข้อแตกต่างกันได้อย่างชัดเจน จึงไม่นำมาพิจารณาหาความแตกต่างของการแพร่ของความเค็ม แต่ใช้เป็นข้อมูลที่ดีว่า ช่วงการเปลี่ยนค่าความเค็มดังกล่าวไม่มีความเหมาะสม ที่จะใช้ช่วงในเริ่มการเปิดปิดบาน เนื่องจากไม่มีประโยชน์ในการควบคุม เพราะค่าความเค็มเปลี่ยนแปลงในระยะเวลาที่รวดเร็ว

จากผลหาความสัมพันธ์ในรูปของปริมาณน้ำต้นทุนที่ใช้ในการผลักดันน้ำเค็มจากค่าเริ่มต้นที่ 0.1 0.5 ppt ที่เขื่อนเป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ กับจำนวนระยะเวลาที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูป 5-11

จากการวิเคราะห์การแพร่ความเค็มที่เขื่อนพบว่า ค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อนมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นเวลาที่เริ่มปิดบานประตูเขื่อนที่ดีกว่าการเริ่มต้นที่ค่าความเค็ม 0.5 และ 1 ppt ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้มีการนำปริมาณน้ำต้นทุนไปใช้เกิดประโยชน์ได้สูงสุด และช่วงระยะเวลา 13 วัน เป็นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปฏิบัติงานจริงที่ดำเนินการพร้อมกับการแก้ไขตามสถานการณ์ต่างๆที่อาจเกิดขึ้น การเริ่มปิดบานประตูก่อนค่าความเค็ม 0.1 ppt จะก่อเกิดประโยชน์น้อยกว่า ที่ 0.1 ppt เนื่องจากช่วงค่าอัตราการไหลดังกล่าวมีค่าที่สูง ซึ่งอาจจะทำให้เกิดสภาพน้ำท่วมพื้นที่ด้านเหนือเขื่อนได้ อีกทั้งช่วงเวลาดังกล่าวยังไม่มีควมจำเป็นที่จะนำน้ำไปใช้ในพื้นที่ชลประทานของโครงการ ในการศึกษานี้จึงกำหนดใช้ค่าความเค็มที่ 0.1 ppt เป็นค่าเริ่มต้น ซึ่งตรงกับอัตราการไหล ที่โอกาส 20% 50% และ 80% ที่เท่ากับ 49.20 44.40 และ 29.10 ลบ.ม./วินาที



รูป 5-7 ช่วงค่าอัตราการไหลต่อความเค็มที่เชื่อม



รูป 5-8 ช่วงค่าอัตราการไหลต่อความเค็มที่สถานีสูบน้ำ

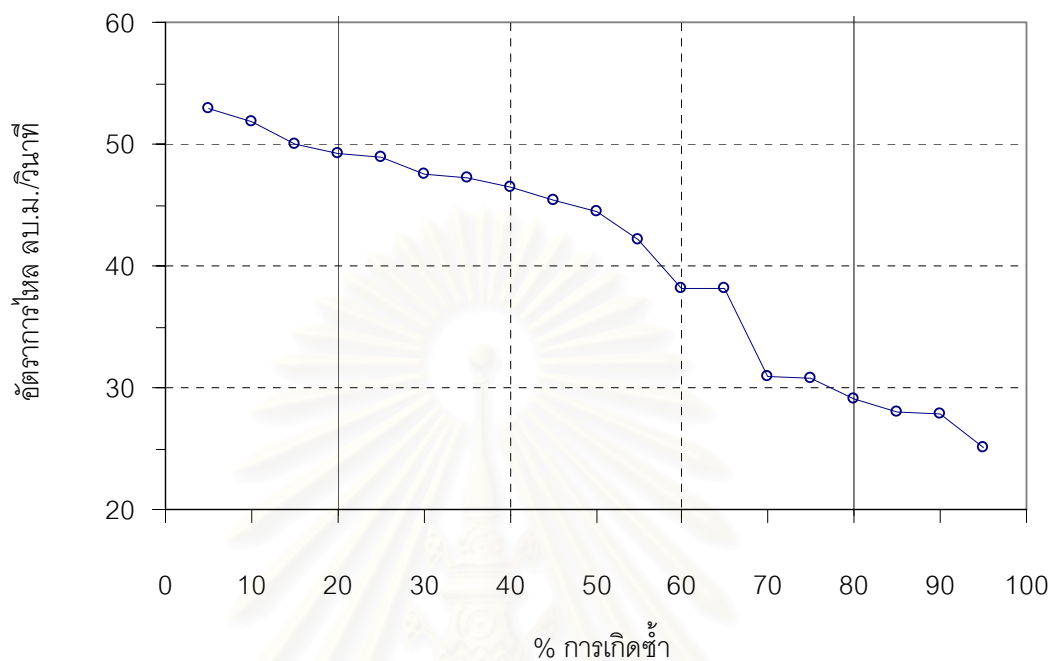
ในส่วนการพิจารณาลักษณะการแพร่ความเค็ม ในการศึกษาที่พิจารณาความเค็มที่ค่า 0.1 ppt ที่เชื่อมเป็นหลักเนื่องจากเป็นค่าที่เริ่มต้นของการแพร่ความเค็มที่เด่นชัด ทั้งผลในแบบจำลอง และจากการวัดจริง ส่วนค่าความเค็มต่างๆ ที่เกิดขึ้นใช้เป็นข้อมูลที่ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณน้ำต้นทุน ที่สูญเสียไปกับการรักษาสภาพความเค็มต่างๆ

จากผลพบว่า ความเค็มที่สามารถแพร่เข้ามาถึงเชื่อมที่ค่า 0.1 ppt เกิดที่อัตราการไหลตั้งแต่ 25.10-53.00 ลบ.ม./วินาที และค่าความเค็มที่สถานีสูบน้ำที่ค่า 0.1 ppt มีค่าอัตราการไหลตั้งแต่ 22.90-35.52 ลบ.ม./วินาที ค่าอัตราการไหลดังกล่าวมีค่าช่วงห่างที่ค่อนข้างสูงเนื่องจากทุกปีมีสภาพการไหลที่แตกต่างกัน แต่ช่วงค่าอัตราการไหลที่ได้เป็นค่าที่ครอบคลุมทุกเหตุการณ์ที่ผ่านมา เมื่อพิจารณาถึงช่วงเวลาที่เกิด แบ่งการพิจารณาอัตราการไหล 2 ส่วนคือ

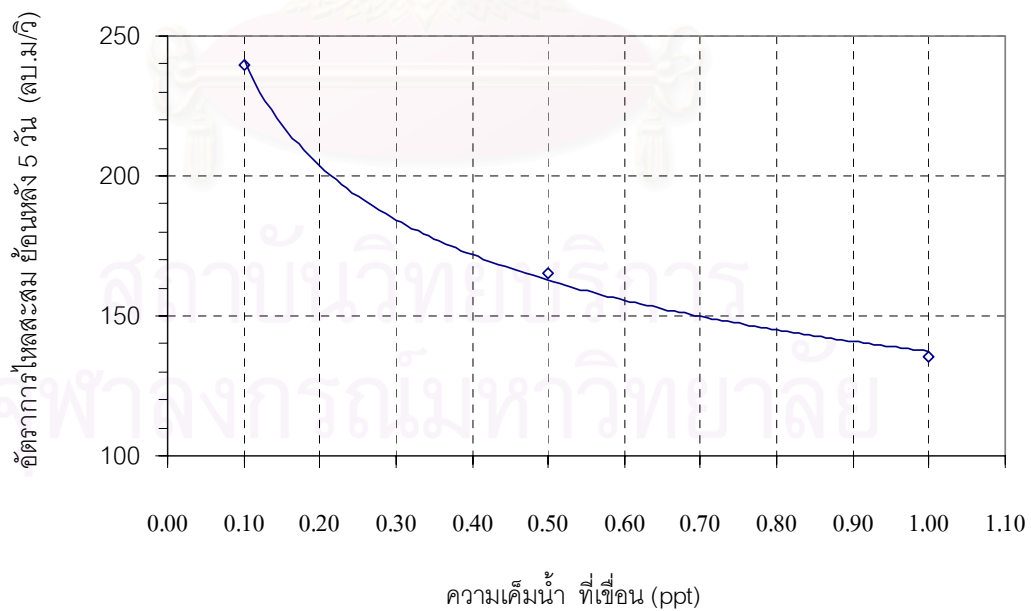
1) พิจารณาค่าอัตราการไหลที่ทำให้ค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่เชื่อมโดยนำมาจัดเรียงและใช้วิธีแจกแจงความถี่ แบ่งโอกาสการเกิด 3 ระดับคือ โอกาสเกิดน้อยที่ 20% โอกาสเกิดปานกลางที่ 50% และโอกาสเกิดมากที่สุดที่ 80% (แสดงรายละเอียดในตาราง ก-5) พบว่าค่าที่ 20% ให้อัตราการไหลเท่ากับ 49.20 ลบ.ม./วินาที ที่ 50% ให้อัตราการไหลเท่ากับ 44.40 ลบ.ม./วินาที และที่ 80 % ให้อัตราการไหลเท่ากับ 29.10 ลบ.ม./วินาที ค่าที่ 20% กับ 50% ให้ค่าที่แตกต่างกันไม่มาก ซึ่งแตกต่างกับค่าที่ 80% โดยชัดเจน ตามรูป 5-9

2) พิจารณาที่อัตราการไหลสะสมเฉลี่ยสะสมย้อนหลัง 5 วันก่อนค่าความเค็มต่างๆ ที่เกิดขึ้นที่เชื่อม เป็นช่วงพิจารณาระยะสั้น ช่วงเวลาดังกล่าวจะอยู่ในฤดูแล้ง และเริ่มมีปริมาณความเค็มที่แพร่เข้ามา พบว่าอัตราการไหลเฉลี่ยสะสมย้อนหลัง 5 วัน ต่อค่าความเค็มที่เชื่อม 0.1 0.5 และ 1 ppt มีค่าเท่ากับ 239.93 165.47 และ 135.63 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ แสดงในรูป 5-10

จากการศึกษาพบว่าค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่เชื่อม ให้ค่าอัตราการไหลที่โอกาสเกิด 50 % เท่ากับ 44.40 ลบ.ม./วินาที และปริมาณอัตราการไหลเฉลี่ยสะสมย้อนหลัง 5 วัน ให้เท่ากับ 239.93 ลบ.ม./วินาที คิดเป็นอัตราการไหลเฉลี่ยมีเท่ากับ 47.88 ลบ.ม./วินาที ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนที่ค่าอัตราการไหลที่มีโอกาสเกิดสูงสุด (80 %) เท่ากับ 29.10 ลบ.ม./วินาที ให้ค่าใกล้เคียงกับ 30 ลบ.ม./วินาที เป็นค่ากำหนดที่ให้เริ่มปิดบานประตู จากคู่มือการปฏิบัติงานเชื่อมของ กรมชลประทาน จากการกำหนดของ JICA (รายละเอียดหัวข้อ 3.2)



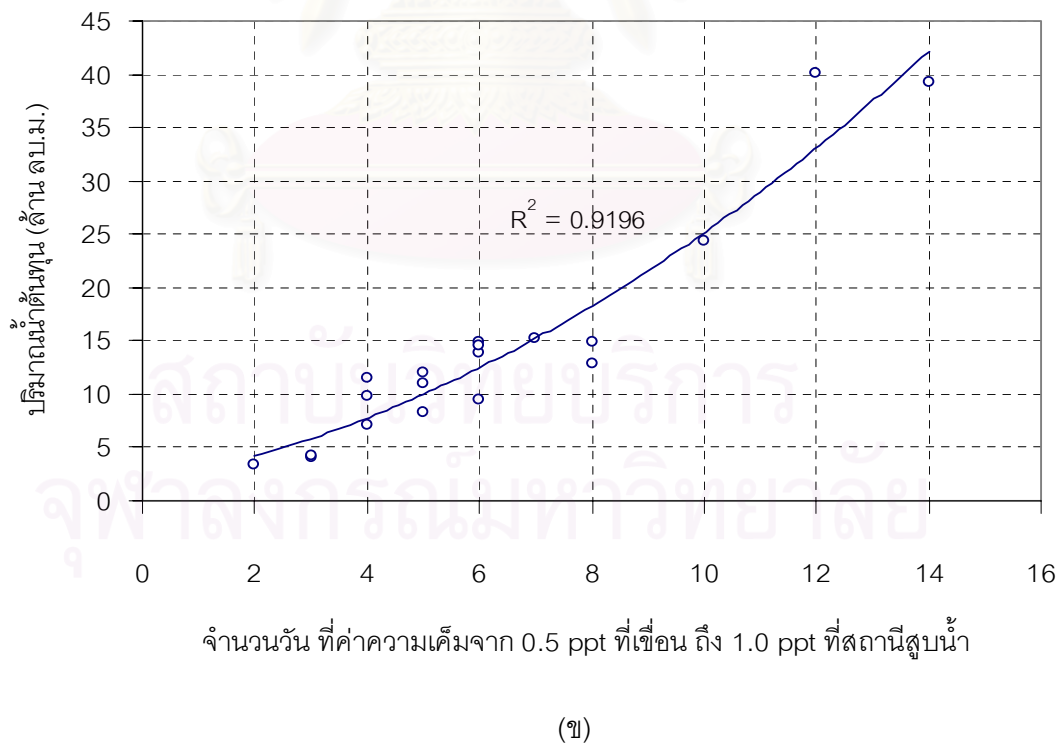
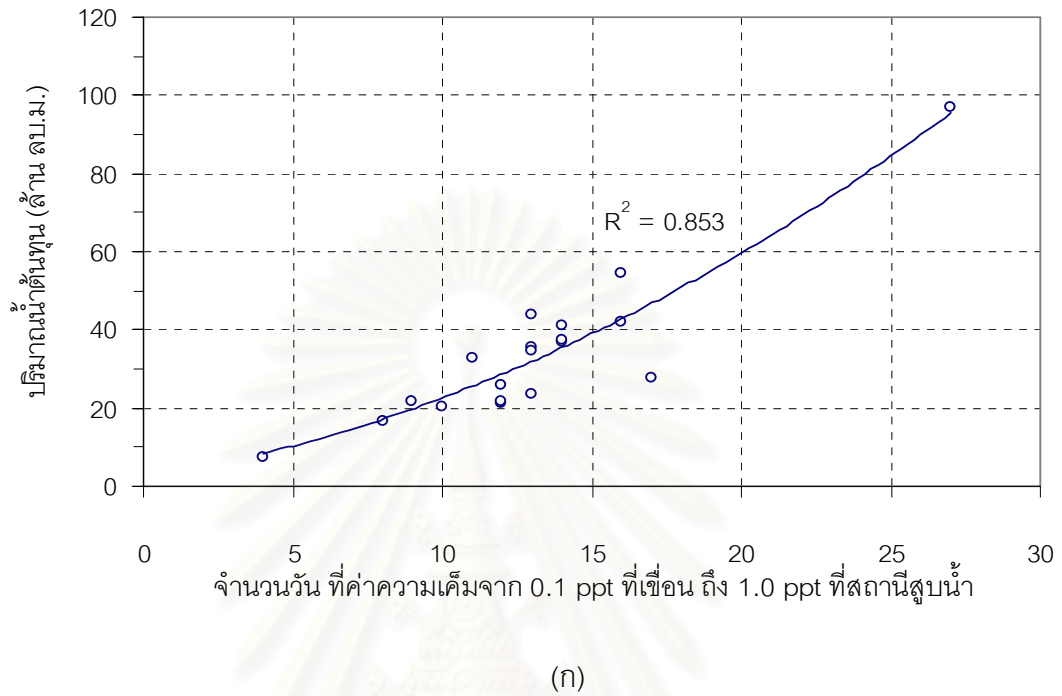
รูป 5-9 ความถี่อัตราการไหลที่เกิดค่าความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อน



รูป 5-10 ปริมาณอัตราการไหลเฉลี่ยสะสมย้อนหลัง 5 วันต่อค่าความเค็มต่างๆที่เขื่อน

ตาราง 5-8 ผลการแพร่ความเค็มจากเขื่อนทดน้ำถึงสถานีสูบน้ำ

ปี (พ.ศ.)	ความเค็ม 0.1 (ที่เขื่อน) – 1.0 (สถานีสูบน้ำ), ppt			ความเค็ม 0.5 (ที่เขื่อน) – 1.0 (สถานีสูบน้ำ), ppt			ความเค็ม 1.0 (ที่เขื่อน) – 1 (สถานีสูบน้ำ), ppt		
	ระยะ เวลา (วัน)	Q สะสม ลบ.ม./ วินาที	Q เฉลี่ย ลบ.ม./ วินาที	ระยะ เวลา (วัน)	Q สะสม ลบ.ม./ วินาที	Q เฉลี่ย ลบ.ม./ วินาที	ระยะ เวลา (วัน)	Q สะสม ลบ.ม./ วินาที	Q เฉลี่ย ลบ.ม./ วินาที
2525	27	1122.20	41.56	14	455.10	32.51	3	73.50	24.50
2526	12	301.10	25.09	5	95.70	19.14	1	15.80	15.80
2527	9	250.90	27.88	5	138.20	27.64	2	51.20	25.60
2528	16	632.90	39.56	12	463.20	38.60	2	74.60	37.30
2529	13	412.20	31.71	7	176.50	25.21	1	22.10	22.10
2530	13	505.10	38.85	4	132.30	33.07	1	30.60	30.60
2531	14	475.00	33.93	6	172.80	28.80	1	27.00	27.00
2532	11	379.50	34.50	4	113.80	28.45	1	26.40	26.40
2533	14	428.70	30.62	6	161.40	26.90	3	78.00	26.00
2534	16	487.30	30.46	10	282.60	28.26	1	26.70	26.70
2535	4	83.90	20.98	2	38.80	19.40	1	18.50	18.50
2536	12	245.90	20.49	8	148.60	18.58	1	16.40	16.40
2537	13	272.50	20.96	6	110.10	18.35	2	34.70	17.35
2538	17	317.90	18.70	3	47.70	15.90	1	15.40	15.40
2539	8	191.40	23.93	4	82.90	20.73	2	36.90	18.45
2540	13	401.10	30.85	5	128.10	25.62	1	25.50	25.50
2541	12	249.30	20.78	3	48.75	16.25	1	32.25	32.25
2542	14	432.20	30.87	6	169.00	28.17	2	58.20	29.10
2543	10	236.80	23.68	8	172.70	21.59	2	35.80	17.90
เฉลี่ย	13.05	390.84	28.70	6.21	165.17	24.90	1.53	36.82	23.83
สูงสุด	27.00	1122.20	41.56	14.00	463.20	38.60	3.00	78.00	37.30
ต่ำสุด	4.00	83.90	18.70	2.00	38.80	15.90	1.00	15.40	15.40



รูป 5-11 ปริมาณน้ำต้นทุนต่อระยะเวลาการแพร่ความเค็มจากเขื่อนถึงสถานีสูบน้ำ

5.2.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มและระดับน้ำกับตัวแปรต่างๆที่เชื่อมโยง

1) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มกับตัวแปรต่างๆ พิจารณาในช่วงฤดูแล้งซึ่งเป็นช่วงการเริ่มปิดบานประตู โดยการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ จากผลของแบบจำลองที่มีต่อปริมาณความเค็มที่เชื่อมโยง ดังสมการ

$$S = f(HWL_B, TR, Q)$$

โดย

S = ปริมาณความเค็มที่เชื่อมโยงขณะน้ำขึ้นสูงสุดที่ปากแม่น้ำ, ppt

HWL_B = ระดับน้ำสูงสุดในรอบวันที่ปากแม่น้ำบางปะกง, ม. รทก.

TR = พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากแม่น้ำบางปะกง, ม.

Q = อัตราการไหลน้ำต้นทุน, ลบ.ม./วินาที

การทดสอบใช้วิธี Cross Correlation โดยใช้ข้อมูลปริมาณความเค็มที่เชื่อมโยงขณะน้ำขึ้นสูงสุดที่ปากแม่น้ำบางปะกง ระดับน้ำสูงสุดในรอบวันที่ปากแม่น้ำบางปะกง พิสัยน้ำขึ้นน้ำลงที่ปากแม่น้ำบางปะกง และอัตราการไหลของน้ำต้นทุนในวันเดียวกัน ในปี พ.ศ. 2525-2543 จำนวน 19 ปี มาทดสอบคู่ความสัมพันธ์ของตัวแปร ผลการทดสอบพบว่า ความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มขณะน้ำขึ้นสูงสุดที่ปากแม่น้ำกับอัตราการไหลมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงกว่าตัวแปรอื่นๆ คือ เท่ากับ 0.4988 ดังแสดงในตาราง 5-9 การศึกษาครั้งนี้จึงได้หาความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มกับอัตราการไหลของน้ำเป็นหลักจากการเปิดปิดบาน

ตาราง 5-9 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มกับตัวแปรต่างๆ

Cross Correlation	ความเค็มที่เชื่อมโยง (ppt.)	อัตราการไหลน้ำต้นทุน (ลบ.ม./วินาที.)	ระดับน้ำสูงสุดที่ปากแม่น้ำ (ม.รทก.)	พิสัยน้ำขึ้นลง (ม.)
ความเค็มที่เชื่อมโยง	1.0000	-0.4988	0.1658	0.0888
อัตราการไหลน้ำต้นทุน	-0.4988	1.0000	0.1460	0.0383
ระดับน้ำสูงสุดที่ปากแม่น้ำ	0.1658	0.1460	1.0000	0.6166
พิสัยน้ำขึ้นลง	0.0888	0.0383	0.6166	1.0000

2) การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำที่เชื่อมกับตัวแปรต่างๆ ช่วงฤดูแล้ง เป็นการทดสอบคู่ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆดังสมการ

$$HWL_D = f(LWL_D, HWL_B, LWL_B, Q)$$

$$LWL_D = f(HWL_D, HWL_B, LWL_B, Q)$$

โดยที่	HWL_D	=	ระดับน้ำสูงสุดในรอบวันที่เขื่อน, ม.รทก.
	LWL_D	=	ระดับน้ำต่ำสุดในรอบวันที่เขื่อน, ม.รทก.
	HWL_B	=	ระดับน้ำสูงสุดในรอบวันที่ปากแม่น้ำบางปะกง, ม.รทก.
	LWL_B	=	ระดับน้ำต่ำสุดในรอบวันที่ปากแม่น้ำบางปะกง, ม.รทก.
	Q	=	อัตราการไหลที่สถานี KGT.3, ลบ.ม./วินาที

การทดสอบใช้วิธี Cross Correlation โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำสูงสุดในรอบวันที่เขื่อน ระดับน้ำต่ำสุดในรอบวันที่เขื่อน ระดับน้ำสูงสุดในรอบวันที่ปากแม่น้ำบางปะกง ระดับน้ำต่ำสุดในรอบวันที่ปากแม่น้ำบางปะกง และอัตราการไหลของน้ำต้นทุนที่สถานี KGT.3 ในวันที่เดียวกับวันที่มีข้อมูลระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อน จำนวน 5 ตัวแปร ในปี พ.ศ. 2525-2543 จำนวน 19 ปี มาทดสอบคู่ความสัมพันธ์ของตัวแปร ผลการทดสอบพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อนกับระดับน้ำสูงสุดที่ปากแม่น้ำบางปะกงมีค่าสูงที่สุด คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9439

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำต่ำสุดในรอบวันที่เขื่อนกับระดับน้ำต่ำสุดในรอบวันที่ปากแม่น้ำบางปะกงเท่ากับ 0.9107 ซึ่งถือว่ามีค่าความสัมพันธ์ที่สูง ค่าความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำต่ำสุดที่เขื่อนกับอัตราการไหลมีค่าเท่ากับ 0.2067 ซึ่งสอดคล้องกับระดับน้ำสูงสุดที่เขื่อน สำหรับระดับน้ำสูงสุดและระดับน้ำต่ำสุดทั้งที่เขื่อน มีความสัมพันธ์กันเท่ากับ -0.4512 และที่ปากแม่น้ำมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ -0.4693 เนื่องจากการผันแปรของระดับน้ำขึ้นน้ำลงเกิดจากการแรงดึงดูดระหว่างดวงจันทร์ โลก และดวงอาทิตย์ ทำให้มีคาบค่อนข้างคงที่คือ 24 ชั่วโมง 50 นาที ส่งผลให้ความสัมพันธ์มีค่าสูง ดังแสดงในตาราง 5-10

ตาราง 5-10 สัมประสิทธิ์สัมพันธของระดับน้ำที่เชื่อมกับตัวแปรต่างๆ

Cross Correlation	HWL _D	LWL _D	HWL _B	LWL _B	Q
HWL _D	1.000	-0.4512	0.9439	-0.2914	0.1624
LWL _D	-0.4512	1.000	-0.5804	0.9107	0.2067
HWL _B	0.9439	-0.5804	1.000	-0.4693	0.0305
LWL _B	-0.2914	0.9107	-0.4693	1.000	0.2067
Q	0.1624	0.2067	0.0305	0.2067	1.000

หมายเหตุ : HWL = High Water Level, LWL = Low Water Level

D = เชื่อนทน้ำ

B = ปากแม่น้ำ

5.2.4 การวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลน้ำต้นทุนกับการแพร่ความเค็ม

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มกับตัวแปรต่างๆ ที่เชื่อมพบว่า อัตราการไหลน้ำต้นทุนมีความสัมพันธ์มากที่สุดกับความเค็มของน้ำที่เกิดขึ้น ดังนั้นจึงพิจารณาค่าอัตราการไหลน้ำต้นทุนต่างๆ กับการแพร่ความเค็ม เพื่อให้ทราบถึงลักษณะการแพร่ความเค็มตลอดแนวยาวของแม่น้ำบางปะกง โดยกำหนดเป็นค่าอัตราการไหลคงที่ 30 40 และ 50 ลบ.ม./วินาที เป็นช่วงอัตราการไหลที่เกิดขึ้นในฤดูแล้งและมีผลต่อการแพร่ความเค็มที่เข้ามาถึงเชื่อนทน้ำ

สำหรับเหตุการณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าอัตราการไหลน้ำต้นทุนกับการแพร่ความเค็ม คัดเลือกมาจากข้อมูลปี พ.ศ. 2525-2543 จำนวน 19 ปี โดยเลือกปีตัวแทนที่เกิดค่าการระดับน้ำสูงสุดและพิสัยน้ำสูงสุด เนื่องจากการแพร่ความเค็มจากปากแม่น้ำเข้าสู่ลำน้ำขึ้นกับการแพร่ความเค็มแบบการนำพา(convection) เป็นหลักซึ่งขึ้นกับอิทธิพลการขึ้นลงของน้ำทะเลปีตัวแทนที่เลือกได้แก่

- 1) ปีพิสัยน้ำมากที่สุด (+3.30 ม. รทก.) ได้แก่ ปี พ.ศ. 2539
- 2) ปีที่มีระดับน้ำสูงสุด (+1.88 ม.รทก.) ได้แก่ ปี พ.ศ. 2543

เริ่มการคำนวณตั้งแต่วันที่ 1 พ.ย. ซึ่งเป็นเวลาที่ความเค็มยังเข้าไม่ถึงเขื่อน โดยผลการคำนวณให้ค่าระยะเวลาที่ความเค็มเกิดขึ้น ต่ออัตราการไหลคงที่ แสดงในรูป 5-12 และรูป 5-13 ผลการคำนวณของอัตราการไหลคงที่ต่อการแพร่ความเค็มพบว่า

1) ที่เขื่อน (ระยะห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 65.5 กม.) ค่าอัตราการไหล 30 40 และ 50 ลบ.ม./วินาที ทำให้เกิดค่าความเค็มที่เขื่อนสูงสุดเท่ากับ 2.69 1.47 และ 0.65 ppt ตามลำดับ

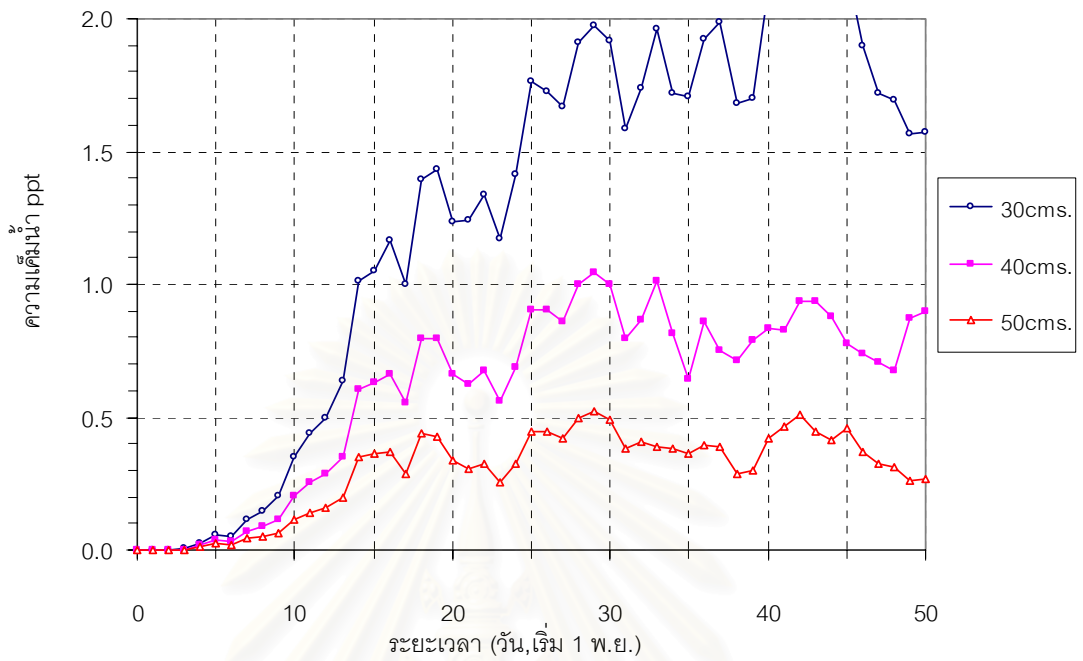
2) ที่สถานีสูบน้ำ (ระยะห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 68.5 กม.) ค่าอัตราการไหล 30 40 และ 50 ลบ.ม./วินาที ทำให้เกิดค่าความเค็มเท่ากับ 1.85 0.96 และ 0.37 ppt ตามลำดับ

พิจารณาที่เขื่อนและที่สถานีสูบน้ำพบว่าค่าอัตราการไหลแบบคงที่ 30 40 และ 50 ลบ.ม./วินาที ไม่สามารถทำให้น้ำมีสภาพที่จิตสนิทได้ตลอดเวลา แต่ที่ค่าอัตราการไหล 50 ลบ.ม./วินาที ทำให้น้ำที่สถานีสูบน้ำมีค่าความเค็มไม่เกิน 1ppt ตลอดเวลา

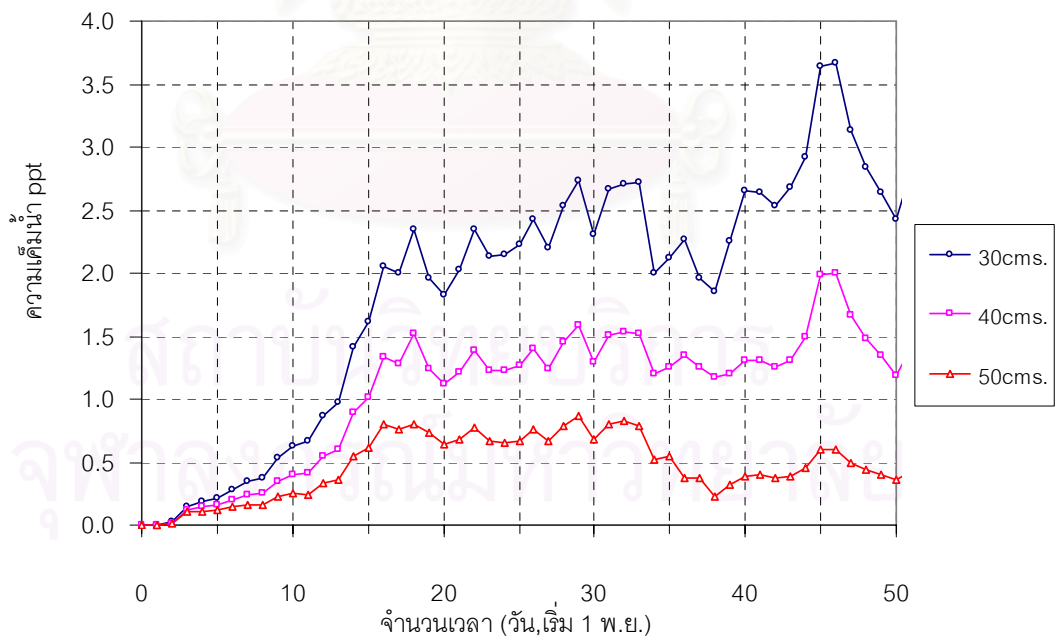
พิจารณาหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำต้นทุนที่สูญเสียไปกับการดำเนินการแพร่ความเค็มจากที่เขื่อน 0.1 ppt เป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ ได้ค่าแสดงในตาราง 5-11

ตาราง 5-11 ผลการแพร่ความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อนเป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ

ปี พ.ศ.	การแพร่ความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อนเป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ			
	อัตราไหลคงที่ = 30 ลบ.ม./วินาที		อัตราไหลคงที่ = 40 ลบ.ม./วินาที	
	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำ (ล้าน ลบ.ม.)
2539 (พิสัยน้ำมากที่สุด)	18	46.7	65	224.6
2543 (ระดับน้ำสูงสุด)	12	31.1	17	58.8

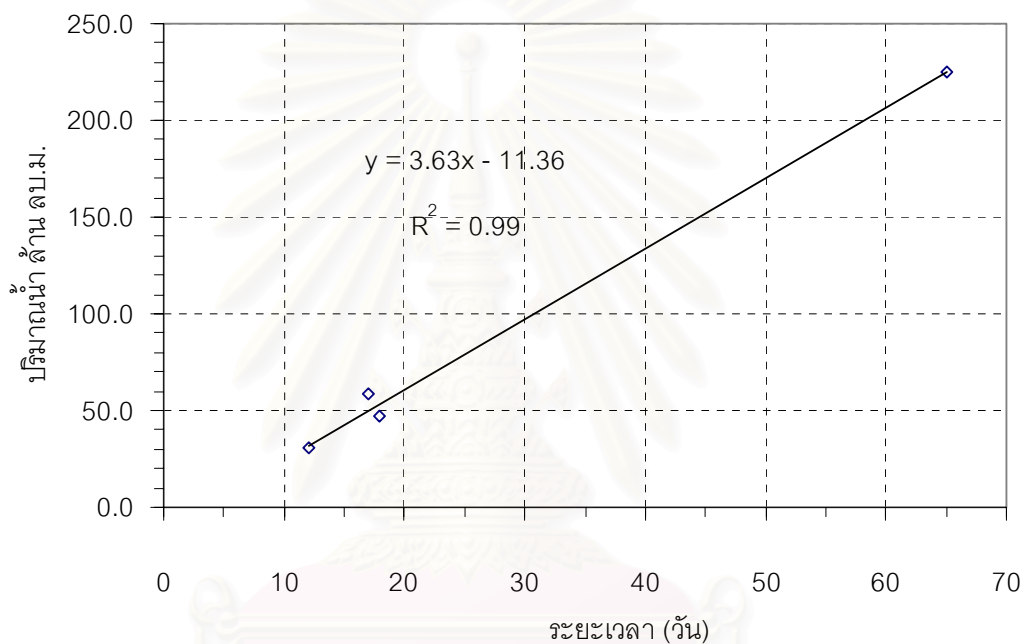


รูป 5-12 ค่าความเค็มที่เขื่อนต่ออัตรการไหลคงที่และระยะเวลาที่เกิด ปี พ.ศ. 2539 (พิสัยน้ำมากที่สุด)



รูป 5-13 ค่าความเค็มที่เขื่อนต่ออัตรการไหลคงที่และระยะเวลาที่เกิด ปี พ.ศ. 2543 (ระดับน้ำสูงสุด)

ผลจากตาราง 5-11 นำหาความสัมพันธ์ในรูปของปริมาณน้ำที่มีผลต่อระยะเวลาในการแพร่ความเค็มที่ 0.1 ppt ที่เชื่อมเป็น 1ppt ที่สถานีสูบน้ำ จากค่าอัตราการไหลคงที่ได้ ความสัมพันธ์ในรูป 5-14 ผลการเปรียบเทียบค่าความสัมพันธ์ในรูป 5-11 (ก)ซึ่งได้จากค่าอัตราการไหลจริง และค่าความสัมพันธ์ในรูป 5-14ซึ่งได้จากค่าอัตราการไหลที่กำหนดพบว่า ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน



รูป 5-14 ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำกับระยะเวลาในการแพร่ความเค็ม 0.1 ppt ที่เชื่อม เป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ

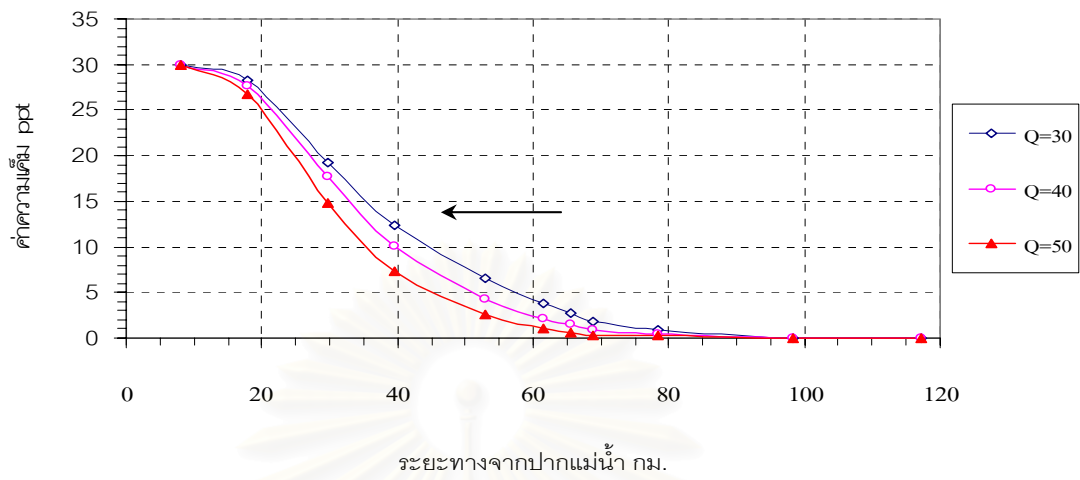
พิจารณาค่าความเค็มสูงสุดที่ตำแหน่งต่างๆของแม่น้ำบางปะกงจากอัตราการไหลคงที่ โดยนำค่าความเค็มสูงสุดที่เกิดกับทั้ง 2 เหตุการณ์ มาเฉลี่ยตามจุดต่างๆที่พิจารณา แสดงผลในตาราง 5-13 และรูป 5-15

จากผลพบว่าที่จุดบรรจบของแม่น้ำไม่มีปริมาณความเค็มเกิดขึ้น(ระยะห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 117กม.) ต่อกับค่าอัตราการไหลที่กำหนด ที่ค่าอัตราการไหล 30 ลบ.ม./วินาที สามารถต้านให้น้ำมีความเค็มไม่เกิน 1 ppt ได้ที่ระยะทางประมาณ 78 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ที่ค่าอัตรา

การไหล 40 ลบ.ม./วินาที สามารถต้านให้น้ำมีความเค็มไม่เกิน 1 ppt ได้ที่ระยะทางประมาณ 68.5 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ ที่ค่าอัตราการไหล 50 ลบ.ม./วินาที สามารถต้านให้น้ำมีความเค็มไม่เกิน 1 ppt ได้ที่ระยะทางประมาณ 60 กิโลเมตรจากปากแม่น้ำ โดยรวมพบว่าอัตราการไหลที่ 30 40 และ 50 ลบ.ม./วินาที มีอิทธิพลต้านปริมาณความเค็มน้ำ 1 ppt ที่ระยะทางต่างกันประมาณ 10 กม.

ตาราง 5-12 ความเค็มน้ำสูงสุดตามยาวแม่น้ำบางปะกงกับอัตราการไหลน้ำต้นทุนคงที่

ระยะห่าง จากปากแม่น้ำ (กม.)	ค่าความเค็มสูงสุด ppt								
	Q = 30 cms.			Q = 40 cms.			Q = 50 cms.		
	2539	2543	เฉลี่ย	2539	2543	เฉลี่ย	2539	2543	เฉลี่ย
117.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
98.0	0.03	0.11	0.07	0.01	0.03	0.02	0.00	0.02	0.01
78.0	0.44	1.36	0.90	0.20	0.60	0.40	0.08	0.50	0.29
68.5	1.07	2.63	1.85	0.58	1.34	0.96	0.29	0.45	0.37
65.5 (เขื่อน)	1.72	3.66	2.69	0.94	2.00	1.47	0.52	0.79	0.65
61.0	2.54	4.97	3.75	1.47	2.89	2.18	0.87	1.29	1.08
53.0	4.88	8.28	6.58	3.11	5.48	4.30	2.11	2.96	2.53
40.0	9.99	14.85	12.42	8.18	11.94	10.06	6.45	8.28	7.37
30.0	16.60	21.97	19.29	15.63	19.78	17.70	13.89	15.91	14.90
18.0	27.02	29.39	28.20	26.65	28.54	27.59	26.80	26.84	26.82
8.0	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00



รูป 5-15 ความเค็มน้ำสูงสุดตามยาวแม่น้ำบางปะกงต่อค่าอัตราการไหลน้ำต้นทุนคงที่

5.3 รูปแบบการเปิดปิดบานประตู

เป็นการกำหนดขนาดของช่องเปิดบาน เพื่อหาสภาพการเปลี่ยนแปลงทางชลศาสตร์ที่เกิดขึ้น จากการเปิดปิดบานประตู ขอบเขตการศึกษาครั้งนี้พิจารณาค่าตัวแปรที่สำคัญ 2 ค่าคือค่าของระดับน้ำที่เกิดขึ้นด้านท้ายเขื่อนและค่าความเค็มที่สถานีสูบน้ำ โดยเริ่มทำการเปิดบานตามขนาดต่างๆ ที่ค่าความเค็มน้ำที่เขื่อนมีค่า เท่ากับ 0.1 ppt เหตุการณ์ที่ใช้เป็นตัวแทนการศึกษาเป็นปีที่มีอัตราการไหลสะสมต่างๆหลังที่เขื่อนมีปริมาณความเค็ม 0.1 ppt พิจารณาจากการแบ่งช่วงความถี่ (ตาราง ก-7) ได้ปีที่ใช้เป็นตัวแทนการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) ปีปริมาณน้ำสะสมมากที่สุด ได้แก่ ปี พ.ศ. 2525 เท่ากับ 131.17 ล้าน ลบ.ม.
- 2) ปีปริมาณน้ำสะสมน้อยสุด ได้แก่ ปี พ.ศ. 2535 เท่ากับ 44.38 ล้าน ลบ.ม.
- 3) ปีปริมาณน้ำสะสมเฉลี่ย ได้แก่ ปี พ.ศ. 2538 เท่ากับ 84.78 ล้าน ลบ.ม.

โดยรูปแบบของการเปิดบานได้กำหนดไว้ 3 แบบ คือ

1.แบบเปิดบานหมด เป็นการศึกษาทบทวนข้อมูลจากกรมชลประทาน โดยลักษณะทางชลศาสตร์ของแม่น้ำบางปะกงเป็นการไหลตามธรรมชาติไม่มีบานประตูมาเกี่ยวข้องเพื่อทราบถึงลักษณะของแม่น้ำบางปะกงที่แท้จริง ใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น สำหรับกำหนดกับการกำหนดการเปิดปิดบาน

2.การเปิดแบบคงที่ เป็นการเปิดบานแบบกำหนด ขนาดของช่องเปิดที่คงตลอดเวลาในการคำนวณในแบบจำลอง

3.การเปิดแบบไม่คงที่ เป็นการเปิดบาน ขนาดช่องเปิดมีการเปลี่ยนแปลงค่าตามช่วงเวลาต่างๆ รายละเอียดการศึกษาจากแบบจำลอง มีดังต่อไปนี้

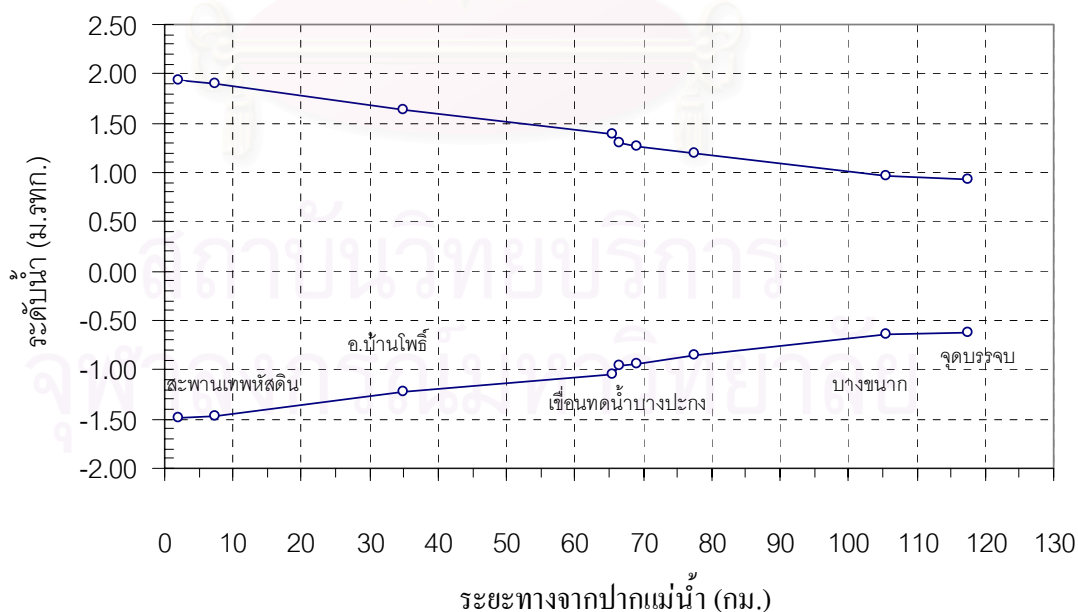
5.3.1 แบบเปิดบานหมด

เป็นการทบทวนข้อมูลจากรายงานการศึกษาสภาพทางชลศาสตร์ของแม่น้ำบางปะกง(กรมชลประทาน,2545) เพื่อใช้ประกอบกับผลการศึกษาพบว่า ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดตลอดความยาวแม่น้ำลำน้ำบางปะกง แสดงในตาราง 5-13

ตาราง 5-13 ค่าระดับน้ำต่ำสุดและสูงสุดตามความยาวของแม่น้ำบางปะกง

ระยะทางจากปากแม่น้ำ กม.	ที่ตั้ง	ระดับน้ำสูงสุด ม.รทก.	ระดับน้ำต่ำสุด ม.รทก.
2.00	สถานีวัดระดับน้ำ	+1.94	-1.49
7.50	สะพานเทพหัสดิน	+1.90	-1.47
35.00	อ.บ้านโพธิ์	+1.63	-1.22
66.50	ท้ายเขื่อนทดน้ำ	+1.35	-1.05
105.58	บางขนาก	+0.97	-0.64
118.0	จุดบรรจบ	+0.93	-0.62

ที่มา : กรมชลประทาน 2545



รูป 5-16 ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด กรณีเปิดบานหมด

จากค่าระดับน้ำที่ได้นำมาหาความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการ ของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน จะได้ดังนี้

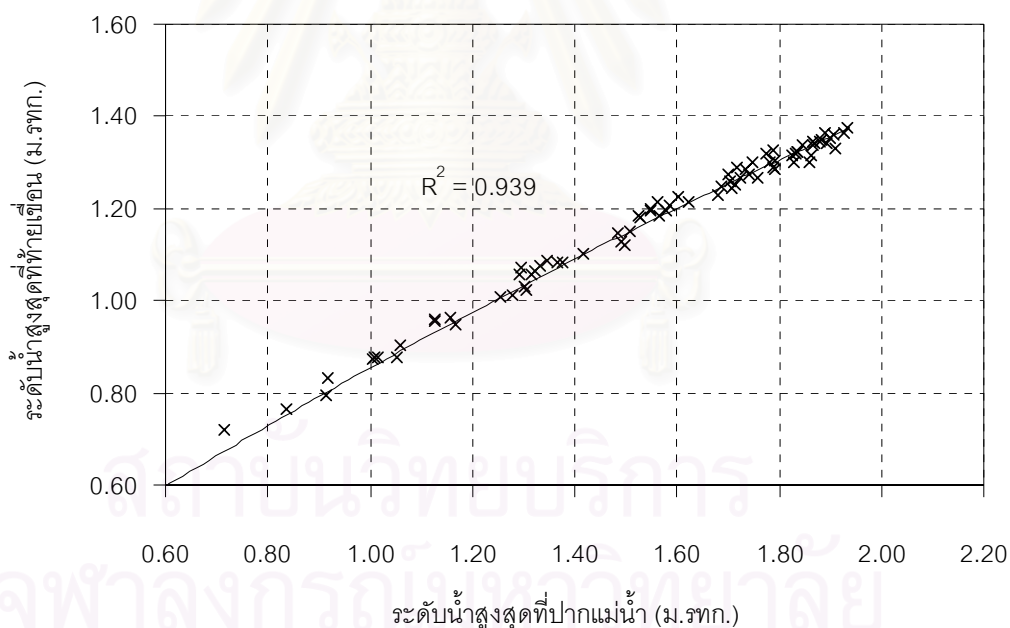
$$\text{สมการความสัมพันธ์ของระดับน้ำสูงสุด} : Y=0.5716X+0.2801 \quad R^2 =0.9362$$

$$\text{สมการความสัมพันธ์ของระดับน้ำต่ำสุด} : Y=0.6714X+0.0373 \quad R^2 =0.9710$$

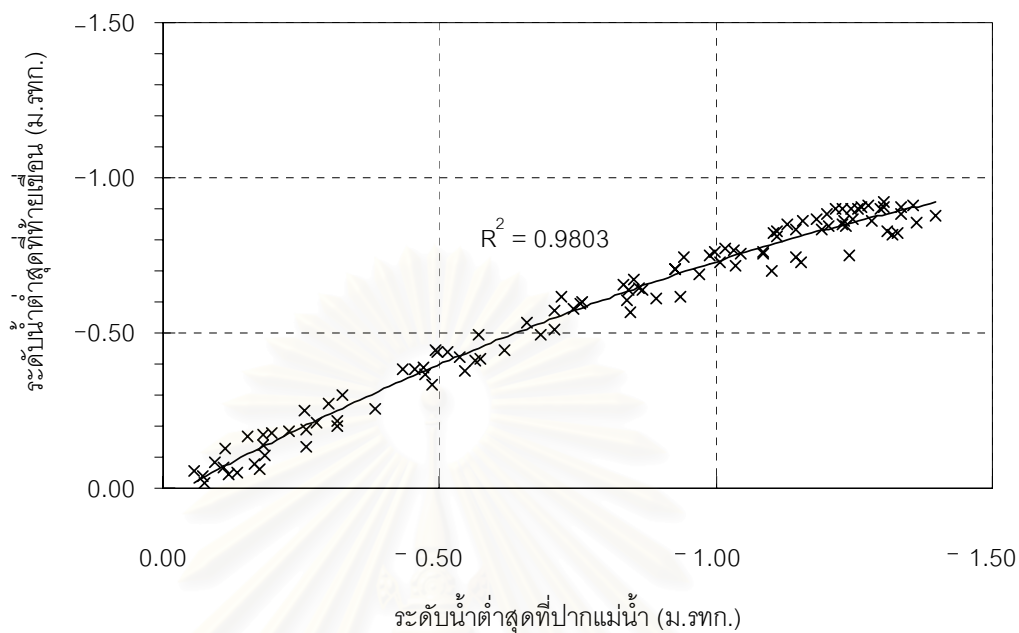
เมื่อ X = ค่าระดับน้ำสูงสุดหรือต่ำสุดที่ ปากแม่น้ำ ม.รทก.

Y = ค่าระดับน้ำสูงสุดหรือต่ำสุดที่ ท้ายเขื่อน ม.รทก.

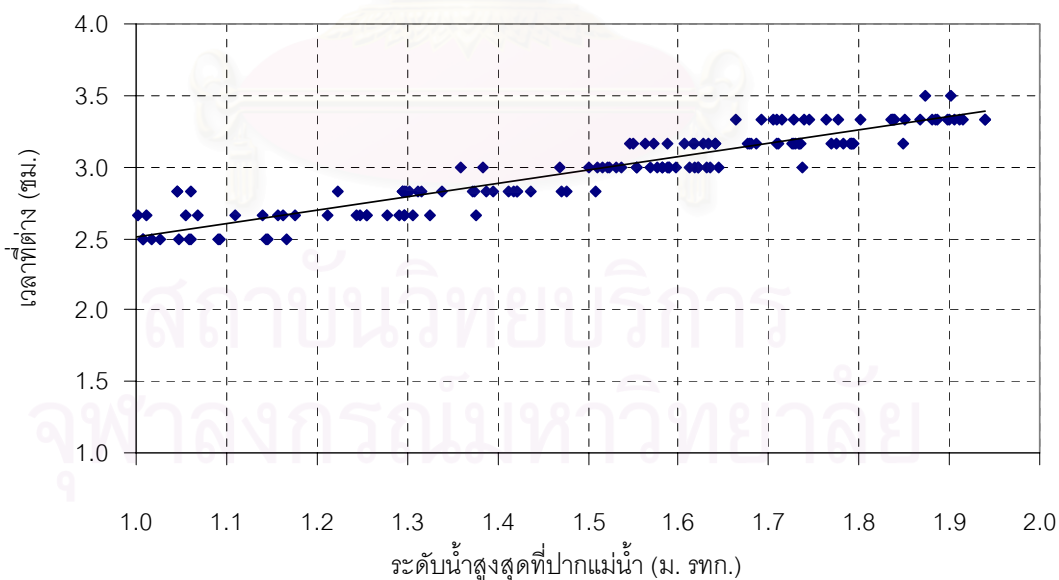
โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงใน รูป 5-17 และ รูป 5-18 พิจารณาในส่วนของเวลาการเกิดที่เหลื่อมกันของระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อนแสดงในรูป 5-19 โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5-3.5 ชม.



รูป 5-17 ความสัมพันธ์ค่าระดับน้ำสูงสุด ที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด

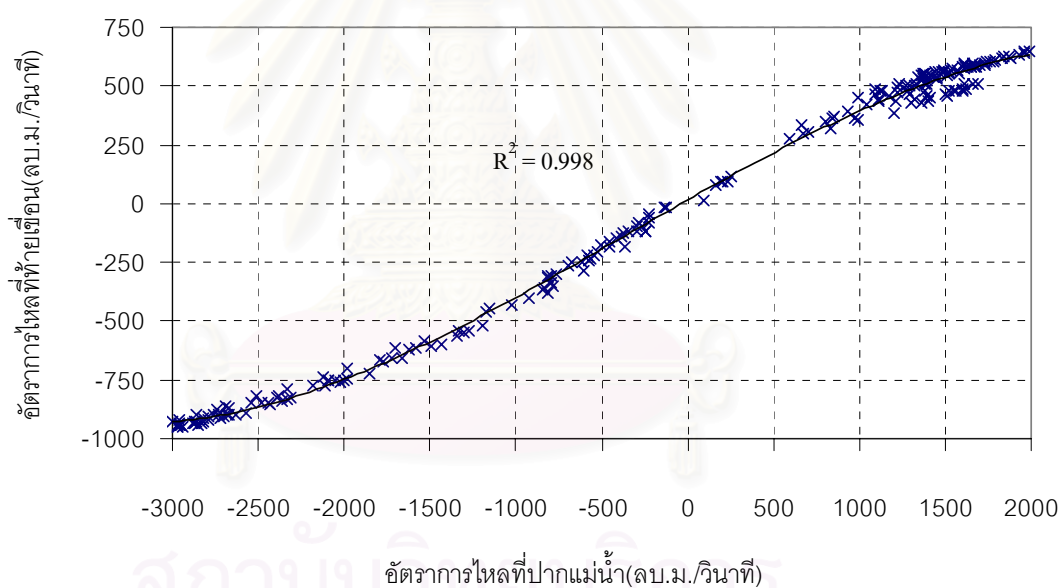


รูป 5-18 ความสัมพันธ์ค่าระดับน้ำต่ำสุด ที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด



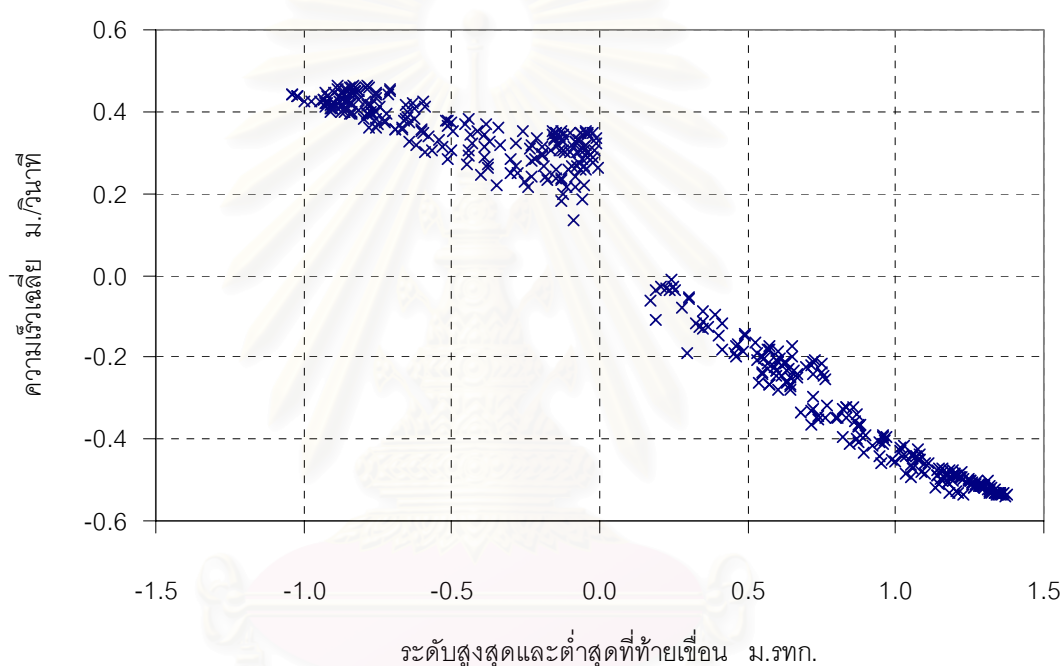
รูป 5-19 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำสูงสุดที่ปากแม่น้ำ กับความต่างเวลา(Lag Time) ระหว่างที่ ระดับน้ำขึ้นสูงสุดที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด

พิจารณาค่าอัตราการไหลของแม่น้ำบางปะกงซึ่งเป็นผลมาจากการขึ้นลงของน้ำทะเล มีทิศทางการไหล 2 ทาง ได้ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน แสดงในรูป 5-20 (โดยค่าอัตราการไหลมีค่าบวกลบหมายถึงเป็นการไหลจากต้นน้ำลงสู่ปากแม่น้ำ ค่าเป็นลบคือปริมาณการไหลของน้ำจากปากแม่น้ำขึ้นทางสู่ต้นน้ำ) พบว่า ที่ด้านท้ายเขื่อน ค่าอัตราการไหลในแม่น้ำมีค่าระหว่าง 500-1000 ลบ.ม./วินาที ในขณะที่อัตราการไหลน้ำต้นทุนในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 ลบ.ม./วินาที สรุปได้ว่าค่าอัตราการไหลที่เขื่อนเป็นผลมาจากการขึ้นลงของน้ำที่ปากแม่น้ำมากกว่า อัตราการไหลของน้ำต้นทุนจากทางด้านเหนือเขื่อน โดยความสัมพันธ์ของอัตราการไหลที่ปากแม่น้ำและท้ายเขื่อนที่แสดงในรูป 5-20 พิจารณาเฉพาะระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้น



รูป 5-20 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานหมด

พิจารณาค่าความเร็วเฉลี่ย ในกรณีไม่เปิดปิดบานประตู ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ทำยเชื่อมมีค่าระหว่าง 0.50 ถึง -0.50 ม./วินาที แสดงในรูป 5-21 (ค่าความเร็วเฉลี่ย ที่เป็นบวก คือเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลจากต้นน้ำลงปากแม่น้ำ ค่าที่เป็นลบ คือเป็นค่าความเร็วเฉลี่ยของน้ำที่ไหลจากปากแม่น้ำขึ้นสู่ต้นน้ำ) ซึ่งค่าความเร็วเฉลี่ยทั้งหมดยังคงได้รับอิทธิพลจากการขึ้นลงของน้ำทะเลเป็นหลัก เช่นเดียวกับค่าอัตราการไหล

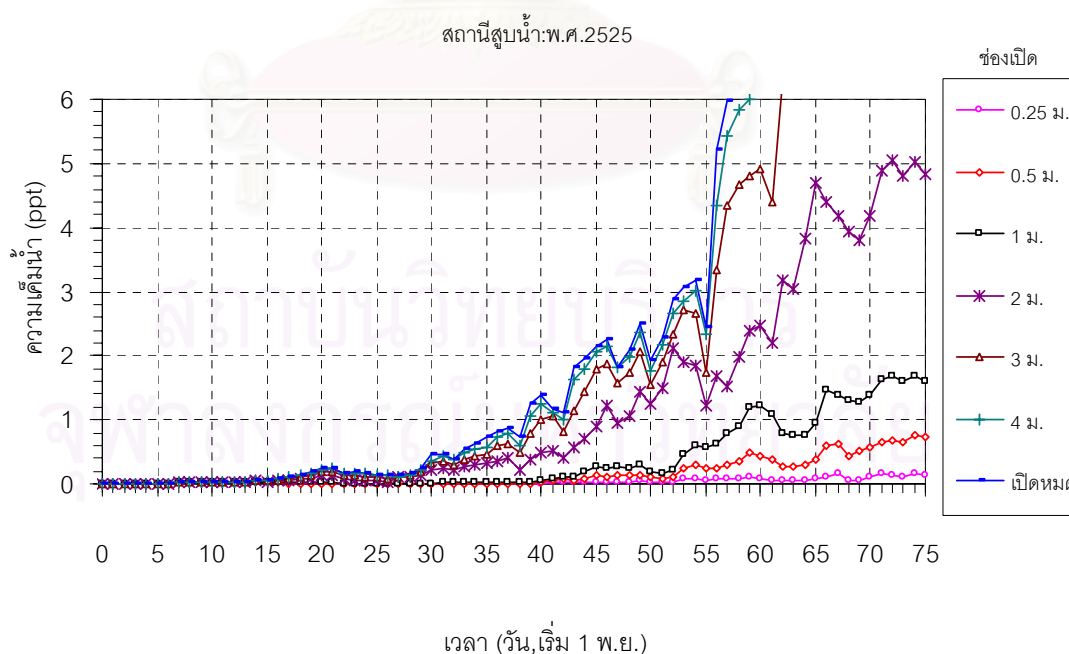


รูป 5-21 ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่เขื่อนทดน้ำ กรณีเปิดบานหมด

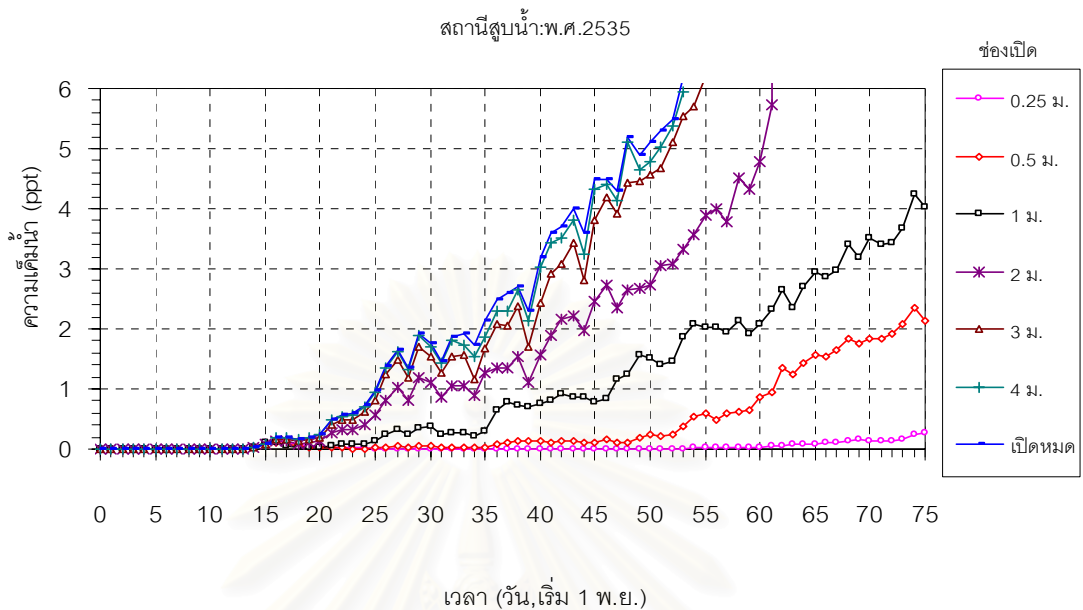
5.3.2 แบบเปิดคงที่

กำหนดขนาดของช่องเปิดที่ค่าต่างๆแบบคงที่ตลอดเวลา โดยมีการเปิดบานแบบเต็มทีและปิดบานสนิท เพื่อเปรียบเทียบกับค่าขนาดช่องเปิดต่างๆที่กำหนด ได้แก่ขนาดช่อง 0.25 0.50 1.00 2.00 3.00 และ 4.00 เมตร ผลการคำนวณที่ได้จากข้อมูลตัวแทน มีลักษณะดังต่อไปนี้

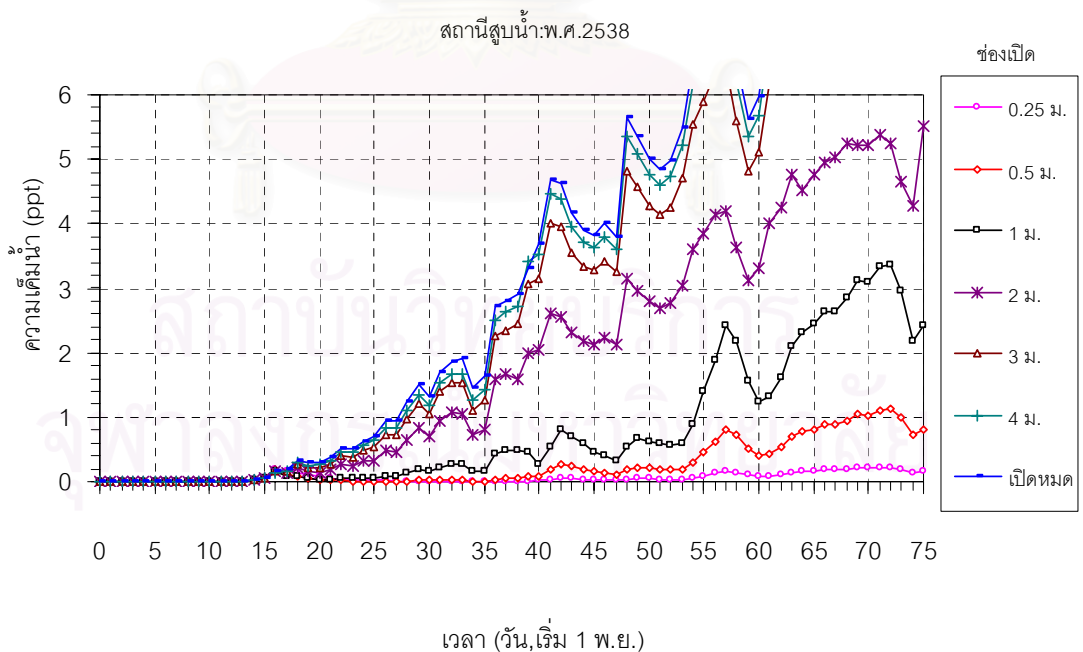
1) ผลปริมาณความเค็มที่สถานีสูบน้ำ มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแต่ละปี แสดงในรูป 5-22 ถึงรูป 5-24 จากผลพบว่า การแพร่ความเค็มที่ช่องเปิดบาน 3 เมตรกับ 4 เมตร ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการเปิดบานแบบเต็มที ปริมาณความเค็มที่มากกว่า 1 ppt เกิดที่ขนาดช่องเปิด 4 3 2 และ 1 ม.ที่ปริมาณความเค็มที่มากกว่า 1 ppt กับช่องเปิด 0.5 ม. ในปี 2535 มีระยะเวลาประมาณ 61 วัน และ ปี 2538 มีระยะเวลาประมาณ 69 วัน โดยเริ่มนับจากวันที่ 1 พ.ย. ส่วนปี 2525 ไม่ทำให้เกิดปริมาณความเค็ม 1 ppt ตลอดช่วงระยะเวลาการคำนวณ เนื่องจากเป็นปีที่มีอัตราการไหลสะสมที่มาก ที่ขนาดช่องเปิด 0.25 ให้ค่าความเค็มที่น้อยกว่า 1 ppt ตลอดช่วงระยะเวลาการคำนวณ



รูป 5-22 ปริมาณความเค็ม ที่สถานีสูบน้ำ การเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2525
(ปีปริมาณน้ำสะสมมากที่สุด)



รูป 5-23 ปริมาณความเค็ม ที่สถานีสูบน้ำ การเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2535 (ปริมาณน้ำสะสมน้อยสุด)



รูป 5-24 ปริมาณความเค็ม ที่สถานีสูบน้ำ การเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2538 (ปีปริมาณน้ำสะสมเฉลี่ย)

ตาราง 5-14 ปริมาณน้ำสะสมที่ใช้ ควบคุมความเค็ม 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ จากการเปิดแบบคงที่

ช่องเปิด (ม.)	ปี	วันที่ความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อน	วันที่ความเค็ม 1ppt ที่สถานีสูบน้ำ	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำสะสม (ล้าน ลบ.ม.)
1	2525	14-พ.ย.	28-ธ.ค.	44	121.70
	2535	15-พ.ย.	16-ธ.ค.	31	37.45
	2538	10-พ.ย.	24-ธ.ค.	39	76.41
2	2525	14-พ.ย.	15-ธ.ค.	31	107.96
	2535	15-พ.ย.	27-พ.ย.	12	19.41
	2538	10-พ.ย.	1-ธ.ค.	21	52.75
3	2525	14-พ.ย.	9-ธ.ค.	25	96.97
	2535	15-พ.ย.	25-พ.ย.	10	17.34
	2538	10-พ.ย.	27-พ.ย.	17	46.81
4	2525	14-พ.ย.	8-ธ.ค.	24	94.72
	2535	15-พ.ย.	25-พ.ย.	10	17.34
	2538	10-พ.ย.	26-พ.ย.	16	45.22

2) ผลค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงจากการเปิดบานแบบคงที่ แสดงในรูปของค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดเป็นค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 เหตุการณ์ โดยค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดตลอดแม่น้ำบางปะกง แสดงในตาราง 5-15 และรูป 5-20 ถึงรูป 5-21 จากผลการคำนวณพบว่า ค่าระดับน้ำด้านเหนือเขื่อนจนถึงจุดบรรจบให้ค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ใกล้เคียงกันตลอด ไม่ต่างจากสภาพธรรมชาติ ส่วนระดับด้านท้ายเขื่อน มีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากการเปิดปิดบานประตู ซึ่งเป็นประเด็นสำคัญในการศึกษาครั้งนี้ จึงได้กำหนดวิเคราะห์ระดับน้ำด้านท้ายเขื่อนในการศึกษานี้ ผลการวิเคราะห์ค่าระดับน้ำด้านท้าย สรุปได้ดังนี้

2.1 ค่าระดับน้ำสูงสุด พบว่า ที่ช่องเปิดบานขนาด 4 ม. ให้ค่าระดับน้ำที่ใกล้เคียงกับการเปิดบานแบบเต็มที่ ซึ่งเหมือนกับการไหลตามสภาพธรรมชาติ ตรงกันข้ามกับขนาดช่องเปิด 0.25 ม. ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับ การปิดบานประตูสนิท

2.2 ค่าระดับน้ำต่ำสุด พบว่า ที่ช่องเปิดบานขนาด 4 ม. ให้ค่าระดับน้ำที่ใกล้เคียงกับการเปิดบานแบบเต็มที และที่ขนาดช่องเปิด 0.25 ม.ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับ การปิดบาน ประตูสนิท ซึ่งเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงค่าระดับน้ำสูงสุด

อิทธิพลจากการเปิดบานแบบคงที่ทำให้ระดับน้ำเปลี่ยนแปลงจากสภาพธรรมชาติเป็น ระยะทางประมาณ 50 กม.นับจากเขื่อนถึงปากแม่น้ำ ผลค่าระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงนำมาหา ความสัมพันธ์ของระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ที่เขื่อนและที่ปากแม่น้ำ กับขนาดของช่องเปิดบาน แบบคงที่ จากปีตัวแทน จะได้ความสัมพันธ์แสดงในรูป 5-22 และรูป 5-23 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ความสัมพันธ์ของค่าระดับน้ำสูงสุดกับช่องเปิดบาน
ขนาดช่องเปิด

$$0.25 \text{ ม.} \quad Y=0.8591x+0.3880 \quad : R^2=0.994$$

$$0.50 \text{ ม.} \quad Y=0.8527x+0.3629 \quad : R^2=0.994$$

$$1.00 \text{ ม.} \quad Y=0.8044x+0.3399 \quad : R^2=0.995$$

$$2.00 \text{ ม.} \quad Y=0.7004x+0.2900 \quad : R^2=0.997$$

$$3.00 \text{ ม.} \quad Y=0.6088x+0.3084 \quad : R^2=0.995$$

$$4.00 \text{ ม.} \quad Y=0.5620x+0.3279 \quad : R^2=0.994$$

เมื่อ $Y =$ ระดับน้ำสูงสุดท้ายเขื่อน ม.รทก.

$X =$ ระดับน้ำสูงสุดที่ทะเล ม.รทก.

ความสัมพันธ์ของค่าระดับน้ำต่ำสุดกับช่องเปิดบาน

ขนาดช่องเปิด

$$0.25 \text{ ม.} \quad Y=0.9939x-0.2164 \quad : R^2=0.994$$

$$0.50 \text{ ม.} \quad Y=0.9277x-0.2251 \quad : R^2=0.994$$

$$1.00 \text{ ม.} \quad Y=0.7953x-0.2067 \quad : R^2=0.989$$

$$2.00 \text{ ม.} \quad Y=0.6738x-0.1179 \quad : R^2=0.9534$$

$$3.00 \text{ ม.} \quad Y=0.6427x-0.0923 \quad : R^2=0.9357$$

$$4.00 \text{ ม.} \quad Y=0.6356x-0.0864 \quad : R^2=0.9279$$

เมื่อ $Y =$ ระดับน้ำต่ำสุดท้ายเขื่อน ม.รทก.

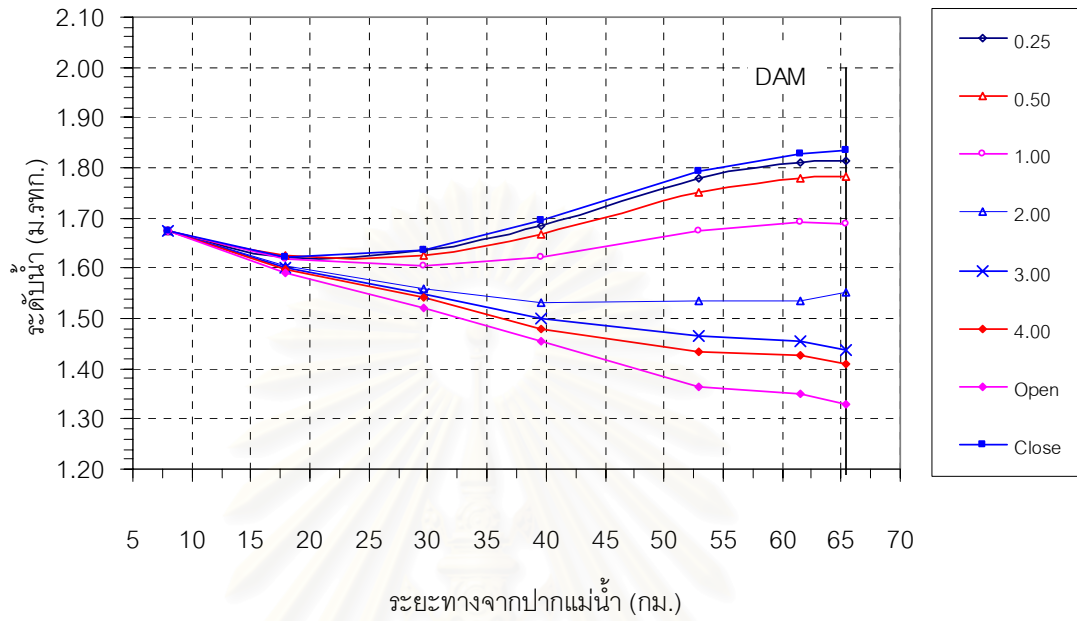
$X =$ ระดับน้ำต่ำสุดที่ทะเล ม.รทก.

ตาราง 5-15 ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด เฉลี่ยตลอดแม่น้ำบางปะกง กรณีเปิดบานแบบคงที่

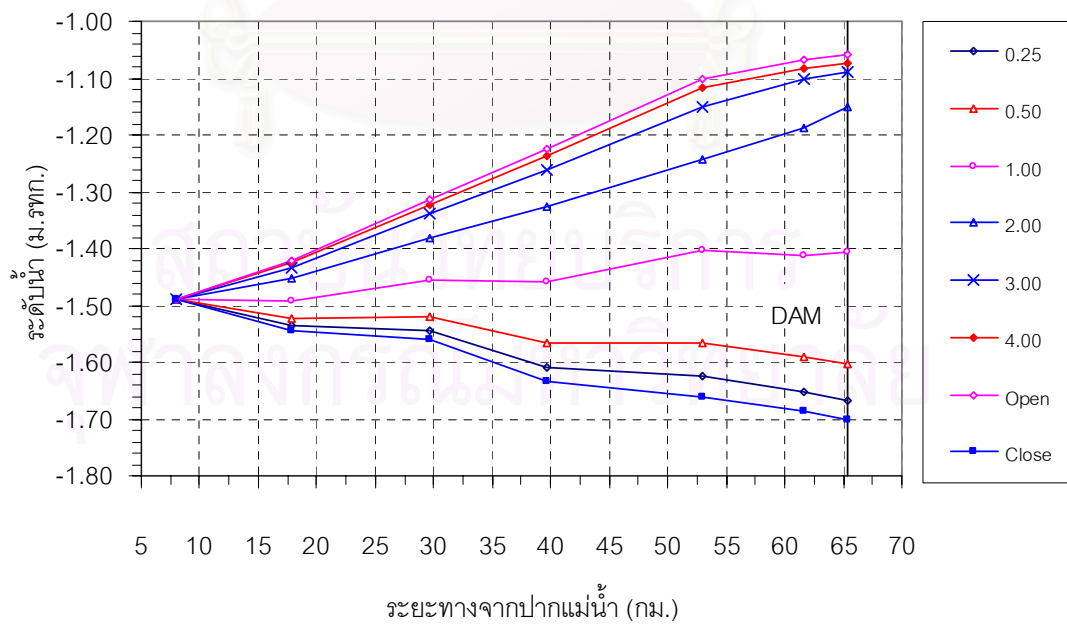
ช่องเปิด ม.	ระดับน้ำ ม.รทก.												
	ระยะห่าง จากปาก แม่น้ำ (กม.)	8.00	18.00	30.00	40.00	53.00	62.00	65.4*	65.45**	69.00	78.00	98.00	118.00
0.25	มากที่สุด	1.67	1.62	1.64	1.69	1.78	1.81	1.82	1.24	1.23	1.21	1.17	1.17
	น้อยสุด	-1.49	-1.54	-1.54	-1.61	-1.62	-1.65	-1.67	-0.96	-0.93	-0.88	-0.76	-0.75
0.50	มากที่สุด	1.67	1.62	1.63	1.67	1.75	1.78	1.78	1.14	1.13	1.10	1.03	1.03
	น้อยสุด	-1.49	-1.52	-1.52	-1.57	-1.57	-1.59	-1.60	-0.96	-0.93	-0.88	-0.76	-0.75
1.00	มากที่สุด	1.67	1.62	1.61	1.62	1.67	1.69	1.69	1.14	1.13	1.10	1.03	1.03
	น้อยสุด	-1.49	-1.49	-1.46	-1.46	-1.40	-1.41	-1.41	-0.96	-0.93	-0.88	-0.76	-0.75
2.00	มากที่สุด	1.67	1.61	1.56	1.53	1.54	1.54	1.55	1.14	1.13	1.10	1.03	1.03
	น้อยสุด	-1.49	-1.45	-1.38	-1.33	-1.24	-1.19	-1.15	-0.96	-0.93	-0.88	-0.76	-0.75
3.00	มากที่สุด	1.67	1.60	1.55	1.50	1.46	1.45	1.44	1.28	1.26	1.25	1.17	1.16
	น้อยสุด	-1.49	-1.43	-1.34	-1.26	-1.15	-1.10	-1.09	-0.98	-0.95	-0.89	-0.76	-0.75
4.00	มากที่สุด	1.67	1.60	1.54	1.48	1.43	1.43	1.35	1.32	1.30	1.27	1.19	1.18
	น้อยสุด	-1.49	-1.42	-1.32	-1.24	-1.12	-1.08	-1.07	-1.00	-0.97	-0.91	-0.76	-0.75
เปิดหมด	มากที่สุด	1.67	1.59	1.52	1.45	1.36	1.35	1.33	1.25	1.22	1.18	1.07	1.07
	น้อยสุด	-1.49	-1.42	-1.31	-1.23	-1.10	-1.07	-1.06	-1.00	-0.97	-0.92	-0.77	-0.75
ปิดบาน	มากที่สุด	1.67	1.62	1.64	1.70	1.79	1.83	1.83	2.19	2.19	2.19	2.19	2.19
	น้อยสุด	-1.49	-1.54	-1.56	-1.63	-1.66	-1.69	-1.70	-0.96	-0.93	-0.88	-0.76	-0.75

*ด้านท้ายเขื่อน

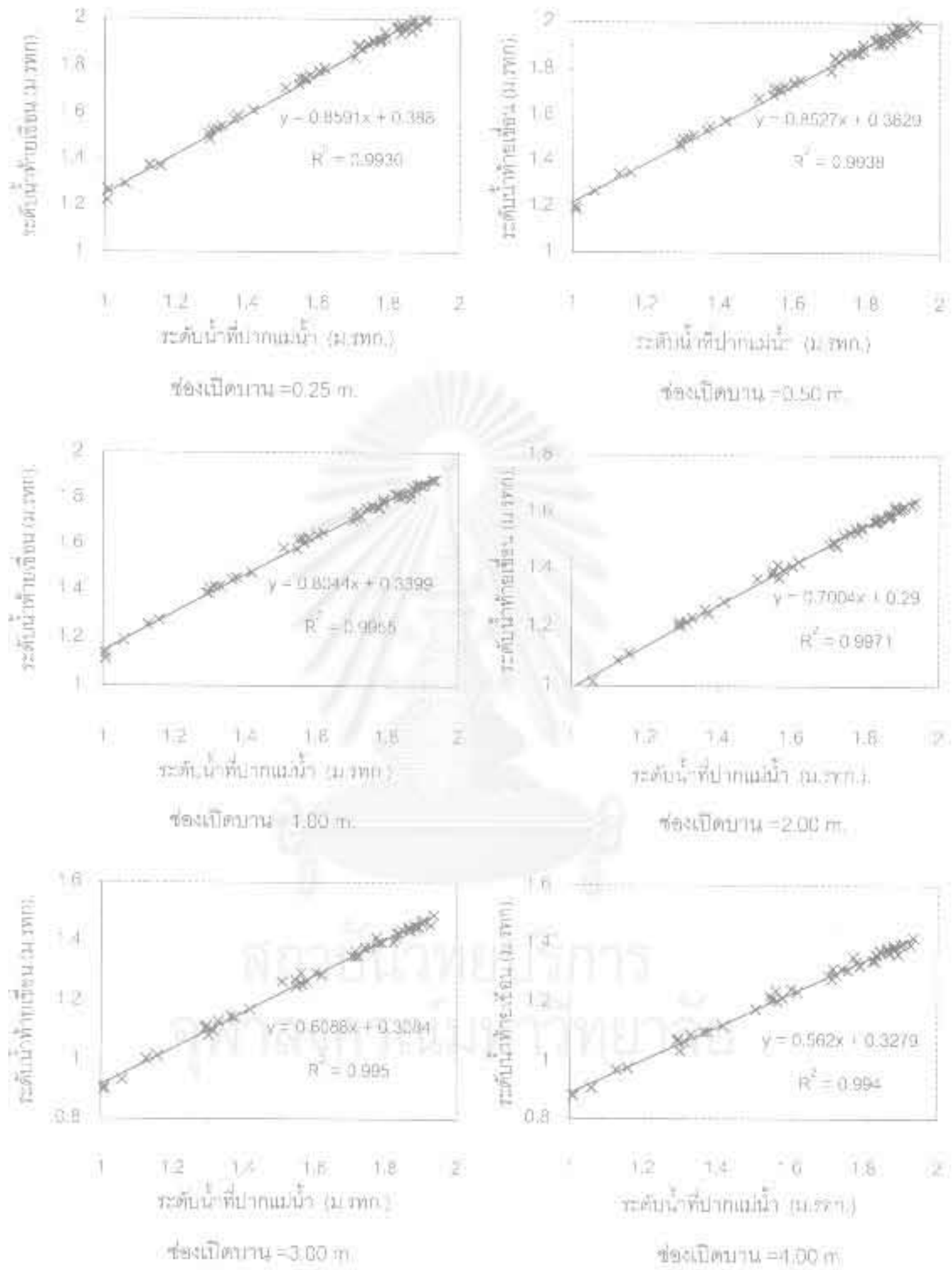
**ด้านเหนือเขื่อน



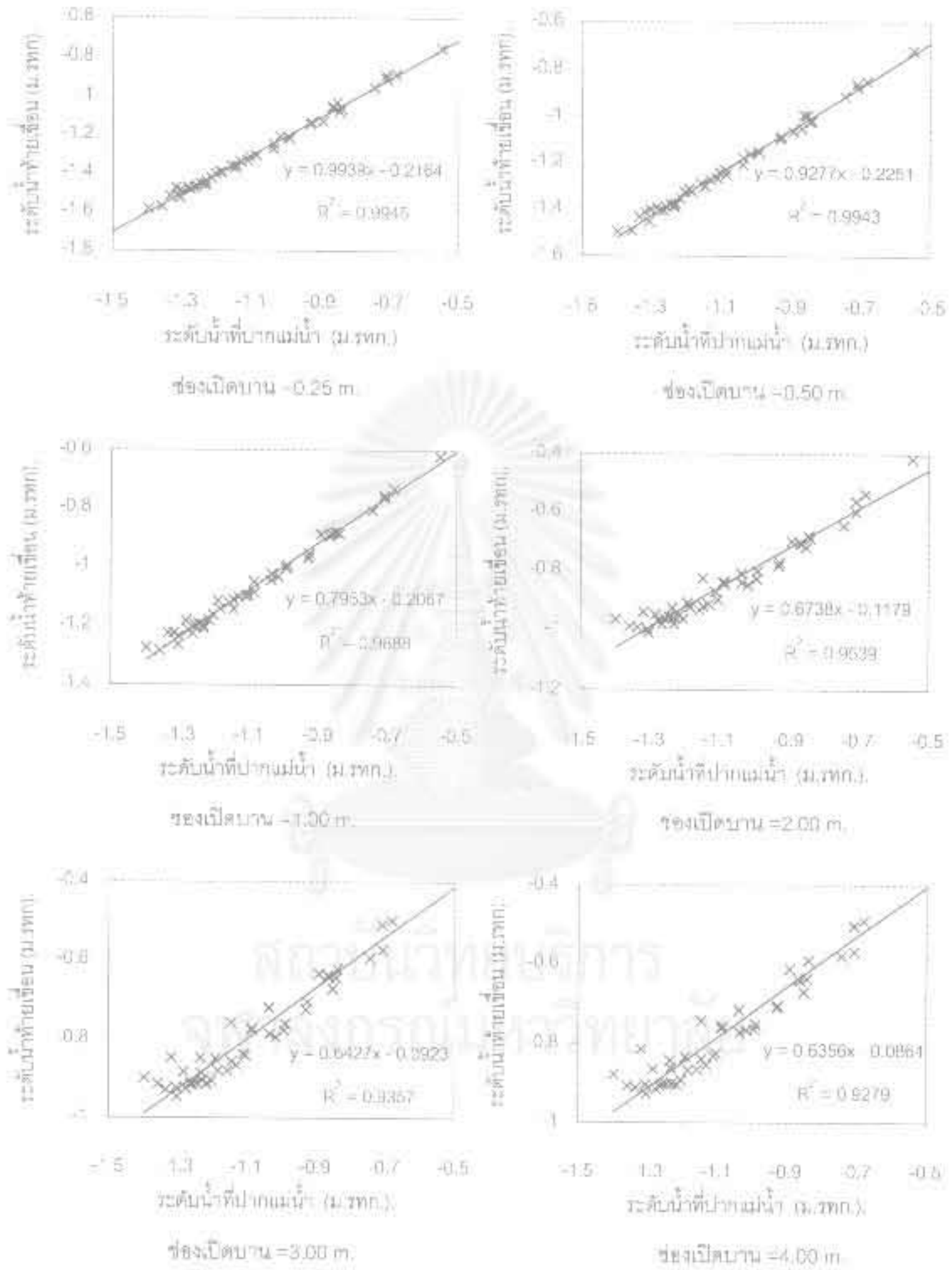
รูป 5-25 ระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ยจากปากแม่น้ำถึงท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานแบบคงที่



รูป 5-26 ระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ยจากปากแม่น้ำ ถึงท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานแบบคงที่



รูป 5-27 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำสูงสุดที่ขยับขึ้นกับขนาดช่องเปิดบานต่างๆ



รูป 5-28 ความสัมพันธ์ของระดับน้ำต่ำสุดที่ท้ายเขื่อนกับขนาดช่องเปิดบานต่างๆ

5.3.2 แบบเปิดไม่คงที่

จากการศึกษาในหัวข้อ 5.3.1 การเปิดบานแบบคงที่ ทำให้เกิดค่าระดับน้ำที่แตกต่างจากสภาพเดิม โดยระยะทางที่ได้รับอิทธิพลจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน มีความยาวประมาณ 50 กิโลเมตร

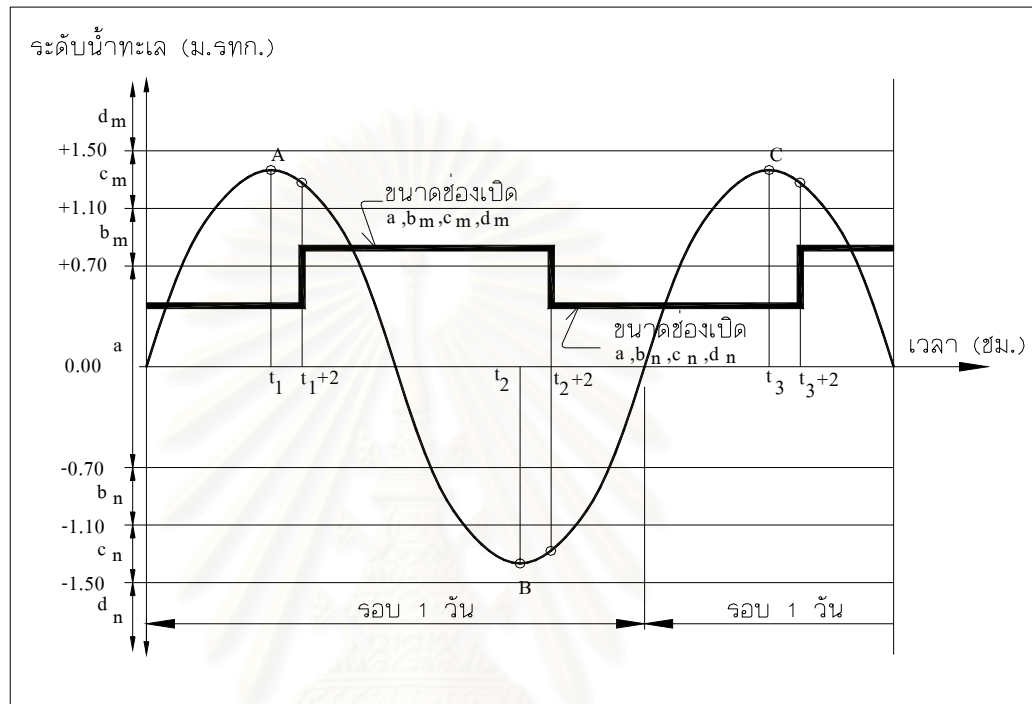
การศึกษาการเปิดบานแบบไม่คงที่ จึงได้แบ่งเป็นกรณีการเปิดบานทั้งหมด 9 กรณีเพื่อให้ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน ที่หลายค่าพร้อมกับค่าระยะเวลาที่น้ำมีปริมาณความเค็มน้อยกว่า 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ เพื่อใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นที่เหมาะสมกับเกณฑ์ที่กำหนดในการปฏิบัติจริง

การศึกษาการเปิดบานแบบไม่คงที่ เป็นลักษณะเหมือนการปฏิบัติงานจริง ตามช่วงเวลา (Real time Operation) โดยเริ่มปฏิบัติการเมื่อ น้ำที่เขื่อนมีปริมาณความเค็ม 0.1 ppt จังหวะในการเปิดบาน ดูจากค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ที่ปากแม่น้ำ โดยทำการเปิดปิดบานประตูหลังจากเกิดน้ำขึ้นลงสูงสุดแล้ว 2 ชม. โดยปรับเปลี่ยนขนาดบานในรอบใหม่อีกครั้งเมื่อเกิดน้ำขึ้นลงสูงสุดแล้ว 2 ชม. เช่นกัน กำหนดสภาพการเปิดปิดแบบเดียวกันนี้ตลอดการคำนวณ

เหตุการณ์ที่ใช้เป็นตัวแทนการศึกษา คือ ปี พ.ศ. 2525 2535 และปี พ.ศ. 2538 พิจารณาแบ่งช่วงการเกิดค่าระดับน้ำสูงสุดต่ำสุด ออกเป็น 7 ช่วงดังต่อไปนี้

- ช่วงที่ 1 ค่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ น้อยกว่า -1.50 ม.รทก. ช่องเปิดขนาด d_n
- ช่วงที่ 2 ค่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ มากกว่า -1.50 ถึง -1.10 ม.รทก. ช่องเปิดขนาด c_n
- ช่วงที่ 3 ค่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ มากกว่า -1.10 ถึง -0.70 ม.รทก. ช่องเปิดขนาด b_n
- ช่วงที่ 4 ค่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ มากกว่า -0.70 ถึง +0.70 ม.รทก. ช่องเปิดขนาด a
- ช่วงที่ 5 ค่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ มากกว่า +0.70 ถึง +1.10 ม.รทก. ช่องเปิดขนาด b_m
- ช่วงที่ 6 ค่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ มากกว่า +1.10 ถึง +1.50 ม.รทก. ช่องเปิดขนาด c_m
- ช่วงที่ 7 ค่าระดับน้ำที่ปากแม่น้ำ ตั้งแต่ +1.50 ขึ้นไป ช่องเปิดขนาด d_m

เกณฑ์ในการแบ่งช่วงพิจารณา ศึกษาจากข้อมูลค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นที่ปากแม่น้ำโดยค่าขนาดของช่องเปิดในช่วงต่างๆแสดงในตาราง 5-16 การเปิดบานในการศึกษาครั้งนี้กำหนดไว้ทั้งหมด 9 กรณี



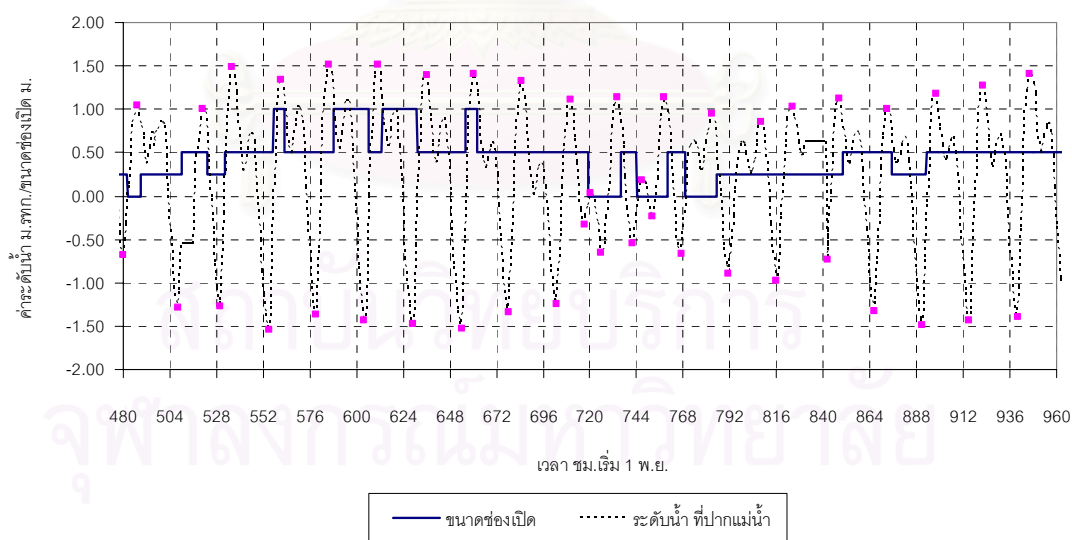
รูป 5-29 รูปแบบการเปิดบานแบบไม่คงที่

รายละเอียดการเปิดบานแบบไม่คงที่

1. เมื่อระดับน้ำขึ้นสูงสุดที่ปากแม่น้ำ(จุด A)ที่เวลา t_1 หลังจากนั้น 2 ชม.(จะเริ่มเปิดบาน โดยขนาดช่องเปิดมีค่า ตามแต่ละกรณีที่กำหนด แสดงค่าในตาราง 5-16 โดยจะเปิดค้างไว้ตลอดเวลา จะเริ่มปรับเปลี่ยนขนาดบานใหม่อีกครั้งหลังจากเกิดระดับน้ำลงต่ำสุด(จุด B)ที่ปากแม่น้ำแล้ว 2 ชม.
2. เมื่อระดับน้ำลงต่ำสุดที่ปากแม่น้ำ จุด B ที่เวลา t_2 ตามรูป หลังจากนั้น 2 ชั่วโมงจะเริ่มทำการเปลี่ยนขนาดช่องเปิดบาน จากข้อ 1 เป็นขนาดบานที่กำหนดตามแต่ละกรณีแสดงค่าในตาราง 5-16 เมื่อปรับเปลี่ยนขนาดบานแล้วเสร็จจะเปิดค้างไว้ตลอดเวลา และจะเริ่มเปลี่ยนขนาดบานใหม่อีกครั้ง หลังจากเกิดระดับน้ำขึ้นสูงสุด(จุด C ,ที่เวลา t_3) ในรอบใหม่ไปแล้ว 2 ชม. (ที่เวลา $t_3 + 2$) จะทำการปรับเปลี่ยนขนาดบานลักษณะเช่นเดียวกันนี้ ตลอดระยะเวลาในการคำนวณ

ตาราง 5-16 รายละเอียดการเปิดปิดบานแบบไม่คงที่ ตามกรณีต่างๆ

กรณี	ขนาดช่องเปิดในแต่ละช่วง ของระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ที่ปากแม่น้ำ (ม.)						
	< -1.50 ม.รทก.	-1.50 ถึง -1.10 ม.รทก.	-1.10 ถึง -0.70 ม.รทก.	-0.70 ถึง +0.70 ม.รทก.	+0.70 ถึง +1.10 ม.รทก.	+1.10 ถึง +1.50 ม.รทก.	> +1.50 ม.รทก.
	d_n	c_n	b_n	a	b_m	c_m	d_m
1	5.00	4.00	3.00	0.00	3.00	4.00	5.00
2	5.00	4.00	3.00	0.00	2.00	3.00	4.00
3	4.00	3.00	2.00	0.00	2.00	3.00	4.00
4	4.00	3.00	2.00	0.00	1.00	2.00	3.00
5	3.00	2.00	1.00	0.00	1.00	2.00	3.00
6	3.00	2.00	1.00	0.00	0.50	1.00	2.00
7	2.00	1.00	0.50	0.00	0.50	1.00	2.00
8	2.00	1.00	0.50	0.00	0.25	0.50	1.00
9	1.00	0.50	0.25	0.00	0.25	0.50	1.00



รูป 5-30 ตัวอย่างการเปิดแบบไม่คงที่ กรณีที่ 9

ผลการคำนวณ การเปิดบานแบบไม่คงที่ จากปีตัวแทนที่ศึกษา แสดงในตาราง 5-17 ค่าที่เป็นผลตัวแทนของแต่ละกรณีการเปิดบานแบบไม่คงที่ทั้ง 9 กรณี ใช้เป็นค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 เหตุการณ์ ลักษณะของผลการเปิดปิดที่ได้ มีดังนี้

1) การแพร่ความเค็มที่สถานีสูบน้ำ

หลังจากเริ่มเปิดบานแบบไม่คงที่ จากที่เขื่อนมีปริมาณความเค็ม 0.1 ppt จะเริ่มนับจำนวนวันที่ความเค็มแพร่เข้าที่สถานีสูบน้ำมีปริมาณความเค็ม 1 ppt ในแต่ละกรณีพบว่า

ค่าระยะเวลาที่ความเค็มน้อยกว่า 1 ppt ในแต่ละกรณีแสดงค่าในตารางที่ 5-17 โดยแบ่งช่วงจำนวนวันที่พิจารณา ดังนี้ ช่วงที่ 1 จำนวนวันตั้งแต่ 1-20 วัน ได้แก่ กรณีที่ 1 2 3 ช่วงที่ 2 จำนวนวันตั้งแต่ 21-40 กรณีที่ 4 5 6 7 ช่วงที่ 3 จำนวนวัน ตั้งแต่ 40 วันขึ้นไป ได้แก่กรณี 8 9

2) ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ทำยเขื่อน จากทุกกรณี ให้ค่าระดับน้ำสูงสุด ตั้งแต่ +1.33 ถึง +1.80 ม.รทก. ระดับน้ำต่ำสุด มีค่าตั้งแต่ -1.58 ถึง -1.01 ม.รทก. โดยกรณี 1 2 3 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน แตกต่างกันไม่เกิน 5 ซม. ซึ่งสอดคล้องกับค่าจำนวนวันที่ความเค็มน้อยกว่า 1 ppt โดยตั้งแต่กรณี 4 5 6 7 8 และ 9 ให้ค่าระดับน้ำสูงสุดมีค่าห่างกันประมาณ 10 ซม. แสดงในตาราง 5-17 มีค่าตั้งแต่ +1.45 ถึง +1.80 ม.รทก. ค่าระดับน้ำต่ำสุดในกรณี 4 5 6 7 8 และ 9 มีค่าช่วงห่างกันประมาณ 7 ซม. มีค่าระดับน้ำตั้งแต่ -1.13 ถึง -1.58 ม.รทก.

ผลการเปิดบานแบบไม่คงที่ในกรณีต่าง ๆ แสดงความสัมพันธ์ดังในรูป 5-26 พบว่า มีบางกรณีให้ผลที่ใกล้เคียงกัน จึงจัดแบ่งกรณีการเปิดบานใหม่เพื่อให้ผลที่ได้มีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนและนำไปประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์จริงได้อย่างเหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าระดับน้ำสูงสุด ต่ำสุดและระยะเวลาในการแพร่ความเค็ม ที่ค่าใกล้เคียงกันเป็นหลัก มีเกณฑ์ในการแบ่งกรณีใหม่ดังต่อไปนี้

1) ค่าระดับน้ำสูงสุดในแต่ละกรณีต่างกันไม่เกิน 10 ซม.

2) ค่าระดับน้ำต่ำสุดในแต่ละกรณีแตกต่างกันไม่เกิน 10 ซม.

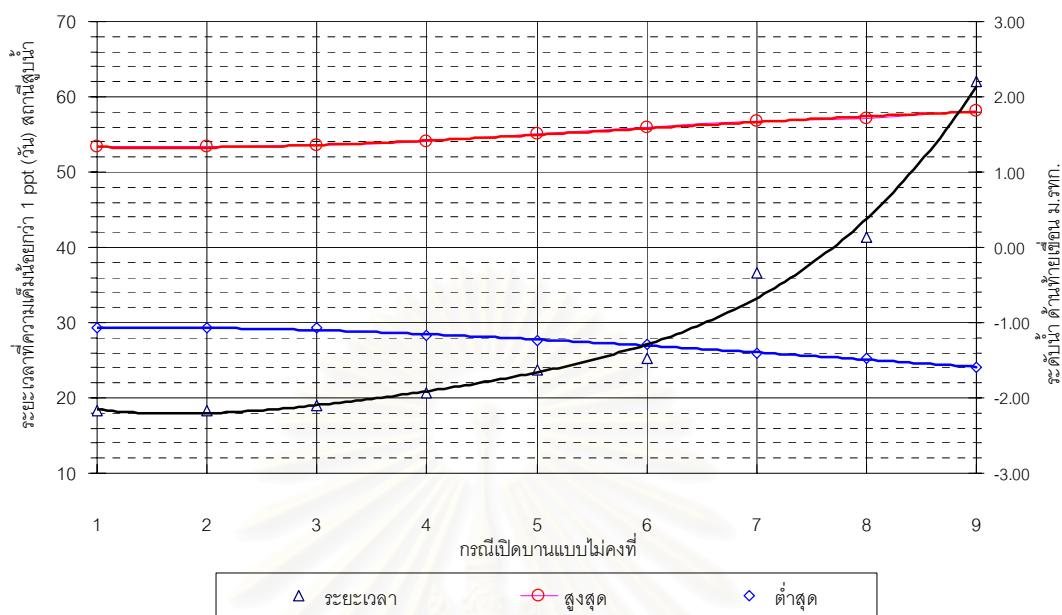
2) ระยะเวลาในการแพร่ความเค็มในแต่ละกรณีแตกต่างกันไม่เกิน 2 วัน

ผลการจัดแบ่งกรณีการเปิดบานใหม่จากกรณีเดิมทั้ง 9 แสดงในตาราง 5-18 โดยมีการปรับค่าตัวเลขใหม่ให้เหมาะสมและสะดวกในการใช้งานจริง ทั้งนี้ยังอยู่บนพื้นฐานข้อมูลเดิม

ตาราง 5-17 ผลการคำนวณการเปิดบานแบบไม่คงที่

กรณี	ปี พ.ศ. 2525			ปี พ.ศ. 2535			ปี พ.ศ. 2538			ค่าเฉลี่ย		
	ระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน ม.รทท.		ระยะเวลา ความเค็ม < 1 ppt (วัน) ที่สถานีสูบน้ำ	ระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน ม.รทท.		ระยะเวลา ความเค็ม < 1 ppt (วัน) ที่สถานีสูบน้ำ	ระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน ม.รทท.		ระยะเวลา ความเค็ม < 1 ppt (วัน) ที่สถานีสูบน้ำ	ระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน ม.รทท.		ระยะเวลา ความเค็ม < 1 ppt (วัน) ที่สถานีสูบน้ำ
	สูงสุด (ม.รทท.)	ต่ำสุด (ม.รทท.)		สูงสุด (ม.รทท.)	ต่ำสุด (ม.รทท.)		สูงสุด (ม.รทท.)	ต่ำสุด (ม.รทท.)		สูงสุด (ม.รทท.)	ต่ำสุด (ม.รทท.)	
1	1.38	-1.01	25	1.35	-1.11	14	1.29	-1.08	16	1.33	-1.07	19
2	1.39	-1.01	25	1.34	-1.11	14	1.30	-1.09	16	1.34	-1.07	19
3	1.42	-1.02	25	1.38	-1.11	15	1.32	-1.10	19	1.37	-1.08	20
4	1.51	-1.05	26	1.48	-1.21	15	1.37	-1.12	23	1.45	-1.13	21
5	1.65	-1.14	30	1.50	-1.35	17	1.50	-1.14	26	1.55	-1.21	24
6	1.71	-1.22	32	1.68	-1.37	18	1.57	-1.25	28	1.65	-1.28	26
7	1.76	-1.37	40	1.71	-1.40	25	1.59	-1.45	37	1.69	-1.41	37
8	1.84	-1.47	45	1.78	-1.44	24	1.69	-1.45	47	1.77	-1.44	42
9	1.86	-1.51	70	1.82	-1.55	48	1.73	-1.68	70	1.80	-1.58	63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 5-31 ระดับน้ำสูงสุดที่ทำยเชื่อมโยง กับระยะเวลาที่ค่าความเค็มน้อยกว่า 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ ในการเปิดบานแบบไม่คงที่ ทั้ง 9 กรณี

ตาราง 5-18 รายละเอียดการเปิดปิดบานแบบควบคุม จัดแบ่งจากการเปิดบานแบบไม่คงที่

กรณีใช้จริง	ค่าระดับควบคุมน้ำ ทำยเชื่อมโยง ม.รทก.		ระยะเวลาที่ความ เค็มน้อยกว่า 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ	ครอบคลุม กรณีเดิม	รูปแบบที่ใช้ใน การเปิดปิด จากกรณีเดิม
	สูงสุด	ต่ำสุด			
A	+1.35	-1.08	19	1 2 3	3
B	+1.45	-1.10	21	4	4
C	+1.55	-1.20	24	5	5
D	+1.65	-1.25	26	6	6
E	+1.75	-1.40	42	7 8	8
F	+1.80	-1.55	63	9	9

สรุป กรณีการเปิดปิดบานแบบควบคุม มีทั้งหมด 6 กรณี ได้แก่ กรณี A B C D E และ F

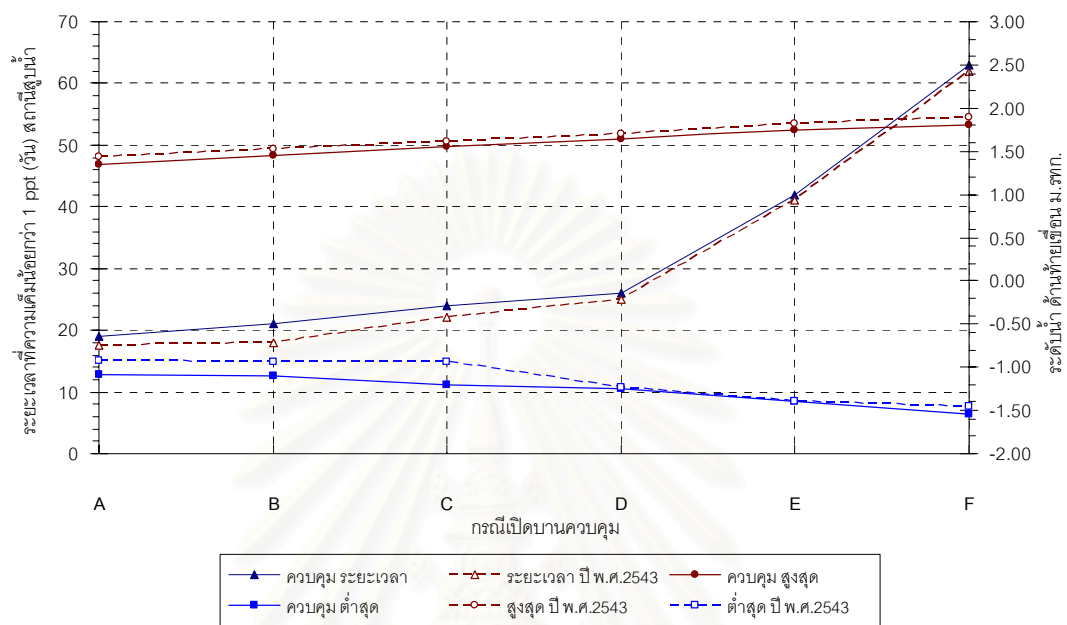
5.4 การประยุกต์ใช้การเปิดปิดบานประตูแบบควบคุม

จากเกณฑ์ควบคุมของกรณีการเปิดปิดบาน A B C D และ E นำมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริงในปี พ.ศ. 2543 ผลการประยุกต์แสดงในตาราง 5-19 จากผลพบว่า ที่ท้ายเขื่อน ค่าระดับน้ำสูงสุดมีค่าที่มากกว่าเกณฑ์ที่ควบคุมเฉลี่ย 4.65% เนื่องมาจากระดับน้ำสูงสุดของปี พ.ศ.2543 (+1.88 ม.รทก.) มีค่าระดับที่สูงกว่าปีตัวแทนที่ใช้ศึกษา จึงทำให้มีเกิดค่าระดับที่สูงกว่าเกณฑ์ควบคุม ส่วนค่าระดับน้ำต่ำสุดมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมถือว่าเป็นผลที่ดี เนื่องจากค่าระดับน้ำต่ำสุดของปี พ.ศ. 2543 (-1.45 ม.รทก.) มีค่าต่ำกว่าปีตัวแทนทั้งหมด ค่าระยะเวลาในการแพร่ความเค็ม 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ มีค่าน้อยว่าต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมเฉลี่ย 1.5 วัน เนื่องจากปริมาณน้ำของปี พ.ศ. 2543 มีค่าต่ำที่ใกล้เคียงกับปีที่มีปริมาณน้ำน้อย (ปี 2535) ค่าระยะเวลาที่ได้จึงใกล้เคียงกับปี พ.ศ. 2535 มากกว่าใกล้เคียงกับกรณีควบคุม

สรุป จากการประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์ปี พ.ศ. 2543 พบว่าค่าที่เกิดขึ้นกับค่าของเกณฑ์ควบคุมจากการเปิดปิดบานที่กำหนด มีค่าผลต่างที่มากไม่เกิน 5% ทั้งนี้สืบเนื่องมาจากเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นมาจากค่าเฉลี่ยของปีตัวแทนในการศึกษา ซึ่งถือว่ากรณีการเปิดปิดบานแบบควบคุมให้ค่าที่ดีและเหมาะสม ค่าที่แตกต่างในแต่ละกรณีแสดงในรูป 5-32

ตาราง 5-19 ผลการประยุกต์ใช้การเปิดปิดบานประตูแบบควบคุม กับข้อมูลปี พ.ศ. 2543

กรณี	เกณฑ์ควบคุม			ผลการประยุกต์ใช้กับข้อมูลปี พ.ศ. 2543			เปอร์เซ็นต์ผลต่าง		ผลต่าง
	ระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน		ระยะเวลา	ระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน ม.		ระยะเวลา	ระดับน้ำที่ท้ายเขื่อน		
	ม.รทก.			รทก.			%		ระยะเวลา
	สูงสุด (ม.รทก.)	ต่ำสุด (ม.รทก.)	สูงสุด (ม.รทก.)	ต่ำสุด (ม.รทก.)	สูงสุด	ต่ำสุด	แพร่ความเค็ม		
A	+1.35	-1.08	19	+1.43	-0.92	17.5	5.93	-15.00	-1.50
B	+1.45	-1.10	21	+1.53	-0.94	18.0	5.52	-14.64	-3.00
C	+1.55	-1.20	24	+1.61	-0.95	22.0	3.87	-21.25	-2.00
D	+1.65	-1.25	26	+1.70	-1.23	25.0	3.03	-1.28	-1.00
E	+1.75	-1.40	42	+1.82	-1.44	41.0	4.00	2.86	-1.00
F	+1.80	-1.55	63	+1.90	-1.45	62.0	5.56	-6.45	-1.00
						เฉลี่ย	4.65	-9.29	-1.6



รูป 5-32 เปรียบเทียบค่าการเปิดบานแบบควบคุมในกรณีต่างๆกับค่าจากการประยุกต์ใช้เหตุการณ์ ปี พ.ศ.2543

บทที่ 6

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาอัตราการไหลและระดับน้ำขึ้นลงที่มีผลต่อการเปิดปิดบานประตูของเขื่อนทดน้ำบางปะกง การจำลองการไหลในแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การประยุกต์ใช้แบบจำลองกำหนดรูปแบบการเปิดปิดบานประตู และการหาความสัมพันธ์ของปริมาณความเค็มและระดับน้ำกับการเปิดปิดบานประตู จากผลการศึกษสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 ผลการศึกษาอัตราการไหล ระดับน้ำขึ้นลงที่ปากแม่น้ำและการแพร่กระจายความเค็มของแม่น้ำบางปะกง ในฤดูแล้ง พบว่า

1) อัตราการไหลน้ำต้นทุนของแม่น้ำบางปะกงมาจากแม่น้ำสาขาสายหลักๆ ได้แก่ แม่น้ำนครนายก แม่น้ำปราจีนบุรี และคลองท่าลาด โดยอัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำท่า KGT.3 อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี (กรมชลประทาน) เป็นสถานีหลักที่ใช้ศึกษาเนื่องจากมีค่าอัตราการไหลที่ไม่ได้รับผลจากการขึ้นลงของน้ำทะเล โดยในช่วงตั้งแต่เริ่มเข้าสู่ฤดูแล้ง คือ เดือน พ.ย. ธ.ค. และ ม.ค. มีค่าอัตราการไหลเฉลี่ยเท่ากับ 66.8 17.8 และ 5.3 ลบ.ม./วินาที สำหรับอัตราการไหลที่เขื่อนทดน้ำบางปะกงมีทิศทางการไหล 2 ทิศทางซึ่งเป็นผลมาจากการขึ้นลงของน้ำทะเล

2) ลักษณะการขึ้นลงของระดับน้ำที่ปากแม่น้ำบางปะกงจากสถานีวัดระดับน้ำ อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา (กรมเจ้าท่า) ในช่วงเดือน พ.ย. ถึงเดือน ม.ค. ของทุกปี มีลักษณะเป็นน้ำผสม (Mixed Tide) คือ มีน้ำขึ้นลงชนิดน้ำเดี่ยว (Diurnal Tide) และชนิดน้ำคู่ (Semi-Diurnal Tide) ปะปนผสมกันอยู่ โดยสรุปค่าพิสัยของระดับน้ำในช่วงดังกล่าว ได้ดังตาราง

เดือน	ระดับน้ำสูงสุดเฉลี่ย (ม.รทก.)	ระดับน้ำต่ำสุดเฉลี่ย (ม.รทก.)
พ.ย.	+1.67	-1.45
ธ.ค.	+1.65	-1.47
ม.ค.	+1.63	-1.43

3) ลักษณะการแพร่ความเค็มของแม่น้ำบางปะกงในช่วงฤดูน้ำหลาก ตั้งแต่เดือน มิ.ย. ถึง ต.ค. พบว่า ความเค็มแพร่เข้ามาถึงบริเวณสะพานบายพาส อ.บ้านโพธิ์ จ.ฉะเชิงเทรา (ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ) ซึ่งอยู่ห่างจากปากแม่น้ำบางปะกงประมาณ 30 กม.และในช่วงฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือน ธ.ค.ถึง พ.ค. ความเค็มจะแพร่เข้ามาตลอดทั้งแม่น้ำบางปะกงโดยการแพร่ความเค็มในฤดูแล้งขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำต้นทุนเป็นหลัก

6.1.2 ผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การจำลองการไหลในแม่น้ำบางปะกงใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ โปรแกรม ISIS Flow และ ISIS Quality พบว่าสามารถจำลองสภาพทางชลศาสตร์ของแม่น้ำบางปะกงได้อย่างเหมาะสมและให้ค่าผลการคำนวณที่ดี โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่

- ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉื่อยของแม่น้ำบางปะกง (Dx) เท่ากับ 210.3 ตร.ม./วินาที (ผลจากการปรับเทียบและสอบเทียบ)
- ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบาน (Cd) ที่ใช้ศึกษาเท่ากับ 0.70 (ใช้ค่าของกรมชลประทาน โดยตรวจสอบ และคิดในกรณีที่มากที่สุด)
- ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแม่น้ำบางปะกงที่ใช้ศึกษา (n) อยู่ในช่วง 0.024-0.032 (พิทยา 2546)

6.1.3 ผลการกำหนดเวลาเริ่มต้นในการเปิดปิดบานประตู

1) จากการวิเคราะห์ข้อมูลจริง ซึ่งประกอบด้วย ค่าระดับน้ำขึ้นลงที่ปากแม่น้ำและอัตราการไหล ในปี พ.ศ. 2525-2543 ในสภาพที่ไม่มีเขื่อนทดน้ำ พบว่า เวลาที่เหมาะสมเริ่มการเปิดปิดบานประตูเมื่อปริมาณความเค็มที่เขื่อนมีค่าเท่ากับ 0.1 ppt โดยมีระยะเวลาเฉลี่ยประมาณ 13 วัน ก่อนที่สถานีสูบน้ำจะมีปริมาณความเค็ม 1 ppt (น้ำที่มีปริมาณความเค็มที่น้อยกว่า 1 ppt เป็นน้ำที่เหมาะสมในการอุปโภคบริโภคและการเกษตร กรมชลประทาน) ระยะเวลาดังกล่าวสามารถทำการเปิดปิดบานประตูได้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริง ซึ่งเวลาเริ่มต้นดังกล่าวตรงกับค่าอัตราการไหลที่โอกาสการเกิด 20 50 และ 80% เท่ากับ 49.2 44.4 และ 29.10 ลบ.ม./วินาที

2) การวิเคราะห์จากค่าอัตราการไหลที่กำหนดขึ้นแบบคงที่ 30 40 50 ลบ.ม./วินาที จากปีตัวแทนการศึกษา พบว่า ค่าปริมาณความเค็มเฉลี่ย 1 ppt สามารถแพร่จากปากแม่น้ำเข้ามาในลำน้ำ เป็นระยะทางประมาณ 78.0 68.5 และ 60.0 กม.จากปากแม่น้ำตามลำดับ โดยค่าอัตราการไหลที่ 50 ลบ.ม./วินาที สามารถทำให้ปริมาณความเค็มที่สถานีสูบน้ำ(ห่างจากปากแม่น้ำประมาณ 68.50 กม.) มีค่าน้อยกว่า 1 ppt ตลอดเวลา

3) ผลการเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำที่ใช้ในช่วงเวลาการแพร่ปริมาณความเค็ม 0.1 ppt ที่เขื่อนเป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ จากค่าอัตราการไหลจริงกับค่าอัตราการไหลที่กำหนดขึ้นแบบคงที่ พบว่าให้ค่าปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน เช่น ที่ระยะเวลาในการแพร่ 20 วัน ข้อมูลอัตราการไหลจริงให้ค่าปริมาณน้ำเท่ากับ 60 ล้าน ลบ.ม. และค่าอัตราการไหลที่กำหนดแบบคงที่ให้ปริมาณน้ำเท่ากับ 61.24 ล้าน ลบ.ม.

6.1.4 ผลการศึกษารูปแบบการเปิดปิดบานประตู

การศึกษารูปแบบการเปิดปิดบานประตูทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ แบบเปิดหมด(ทบทวนจากรายงานของกรมชลประทาน) แบบเปิดคงที่ และแบบเปิดไม่คงที่ ได้ผลดังนี้

1) รูปแบบการเปิดปิดบานประตูแบบเปิดหมด ได้ทบทวนรายงานจากการศึกษาสภาพการไหลตามธรรมชาติของแม่น้ำบางปะกง (กรมชลประทาน 2545) พบว่า ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่เขื่อนอยู่ที่ +1.35 ม.รทก. และ -1.05 ม.รทก. และเวลาการเกิดที่เหลื่อมกันของระดับน้ำสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ปากแม่น้ำกับที่ท้ายเขื่อนมีค่าอยู่ระหว่าง 2.5-3.5 ชั่วโมง

2) รูปแบบการเปิดปิดบานประตูแบบเปิดคงที่ กำหนดขนาดช่องเปิดบาน เท่ากับ 0.25 0.50 1.00 2.00 3.00 และ 4.00 ม. โดยใช้ปี พ.ศ. 2525 (ปริมาณน้ำมากที่สุด) ปี พ.ศ. 2535 (ปริมาณน้ำน้อยที่สุด) และปี พ.ศ. 2538 (ปริมาณน้ำเฉลี่ย) เป็นปีตัวแทนการศึกษา พบว่าค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ช่องเปิด 4.00 ให้ค่าใกล้เคียงกับกรณีเปิดหมดและและ 0.25 เมตร ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกรณีปิดบานสนิท ตามค่าที่แสดงในตาราง

ขนาดช่องเปิด (ม.)	ระดับน้ำสูงสุด(ม.รทก.)	ระดับน้ำต่ำสุด(ม.รทก.)
ปิดบานสนิท	+1.83	-1.70
0.25	+1.82	-1.67
0.50	+1.78	-1.60
1.00	+1.69	-1.41
2.00	+1.55	-1.15
3.00	+1.44	-1.09
4.00	+1.41	-1.07
เปิดหมด	+1.33	-1.07

ผลการแพร่ปริมาณความเค็มจากการเปิดบานแบบคงที่ ที่ช่องเปิดบาน 0.25 0.50 1.00 2.00 3.00 และ 4.00 ม.ที่เขื่อนทดน้ำ พบว่าที่ช่องเปิด 0.25 ไม่ทำให้เกิดค่าปริมาณความเค็ม 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ (ห่างจากเขื่อนด้านเหนือ น้ำ ประมาณ 3 กม.) ที่ช่องเปิด 4 ม.ให้ค่าระยะเวลาในการแพร่ความเค็มที่ใกล้เคียงกับการเปิดบานหมด ดังแสดงค่าในตาราง

ช่องเปิดบาน (ม.)	ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ใช้ ผลักดันความเค็ม(ล้าน ลบ.ม.)	ระยะเวลา (วัน)	หมายเหตุ
0.25	-	-	ไม่เกิดความเค็ม 1 ppt เกิดในปี พ.ศ. 2535
0.50	59.02	49	และ 2538
1.00	78.52	40	-
2.00	60.04	21	-
3.00	53.70	17	-
4.00	52.43	16	-

3) รูปแบบการเปิดปิดบานประตูแบบเปิดไม่คงที่ โดยใช้ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ปากแม่น้ำเป็นเกณฑ์ประกอบในการเปิดปิดบานประตู ผลจากการศึกษา สามารถหากรณีการ

เปิดปิดบานที่ใช้ควบคุมระดับน้ำที่ท้ายเขื่อนสูงสุดและต่ำสุด กับระยะเวลาในการแพร่ความเค็ม จากค่า 0.1 ppt ที่เขื่อนเป็น 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ ได้ทั้งหมด 6 กรณี ดังแสดงในตาราง

กรณีควบคุม	ค่าระดับควบคุมน้ำ ท้ายเขื่อน ม.รทก.		ระยะเวลาที่ความ เค็มน้อยกว่า 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ
	สูงสุด	ต่ำสุด	
เปิดบานหมด	+1.33	-1.07	16
A	+1.35	-1.08	19
B	+1.45	-1.10	21
C	+1.55	-1.20	24
D	+1.65	-1.25	26
E	+1.75	-1.40	42
F	+1.80	-1.55	63
ปิดบานสนิท	+1.83	-1.70	-

โดยเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์ตัวแทนพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับเกณฑ์ที่ได้ โดยใช้ข้อมูล ในปี พ.ศ. 2543 มาทดสอบพบว่า ค่าระดับน้ำสูงสุดมีสูงกว่าค่าของเกณฑ์ควบคุมเฉลี่ย 4.65% ค่าระดับน้ำต่ำสุด ให้ค่าต่ำกว่าค่าของเกณฑ์ควบคุมเฉลี่ย 9.29% ส่วนค่าระยะเวลาการแพร่ความเค็มที่ทำให้ปริมาณความเค็มน้อยกว่า 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำได้ค่าที่ต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมเฉลี่ย 1.6 วัน โดยสรุปพบว่ากรณีการเปิดบานแบบควบคุมทั้ง 6 ให้ผลตามค่าควบคุมที่ตั้งไว้

อย่างไรก็ตามการนำไปประยุกต์เพื่อกำหนดเกณฑ์การปฏิบัติงานจริงนั้น ต้องพิจารณาด้านอื่นๆประกอบกันซึ่งแล้วแต่ความสำคัญของด้านต่างๆที่จะเกิดขึ้นจากการเปิดปิดบานประตู เช่น ปัญหาคุณภาพน้ำเน่าเสียด้านเหนือเขื่อน ปัญหาการพังทลายของตลิ่งด้านท้ายเขื่อนจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ เป็นต้น

6.1.5 ผลทางชลศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเปิดปิดบานประตู

โดยผลจากการเปิดปิดบานประตูที่ขนาดช่องเปิดต่างๆ จากข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำขึ้นลงสูงสุดที่ปากแม่น้ำ พบว่า

1) อัตราการไหลของน้ำต้นทุนกับขนาดของช่องเปิดบานมีอิทธิพลต่อการแพร่ความเค็มจากเขื่อนถึงสถานีสูบน้ำ โดยอัตราการไหลจะมีอิทธิพลที่มากกว่าขนาดของช่องเปิดบาน เนื่องจากการเปิดบานทุกขนาดทำให้ปริมาณความเค็มแพร่เข้ามาได้ โดยขนาดของช่องเปิดต่างๆที่ยอมให้ความเค็มแพร่เข้ามาได้เมื่อรวมกับอัตราการไหลของน้ำต้นทุนทำให้ปริมาณความเค็มถูกเจือจางและมีผลทำให้ค่าความเค็ม 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำ เกิดขึ้นในเวลาที่แตกต่างกัน

จากการทดสอบค่าอัตราการไหลต่างๆกับช่องเปิดบานคงที่ พบว่า ในปีที่มีอัตราการไหลที่มากจะทำให้มีการแพร่ความเค็มที่ช้ากว่าปีที่มีอัตราการไหลน้อย และจากการศึกษาโดยกำหนดอัตราการไหลคงที่ 50 ลบ.ม/วินาที โดยไม่มีการเปิดปิดบานพบว่าปริมาณความ 1 ppt จะไม่เกิดขึ้นที่สถานีสูบน้ำ ตามสภาพธรรมชาติ อัตราการไหลของแม่น้ำบางปะกงในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 ลบ.ม/วินาที เป็นค่าที่ไม่สามารถผลักดันความเค็มไม่ให้มีค่าเกิน 1 ppt ที่สถานีสูบน้ำได้ ขนาดของช่องเปิดบานจึงกลับมามีผลการแพร่ความเค็มแทนค่าอัตราการไหลที่น้อย โดยสรุปพบว่า ค่าอัตราการไหลที่มากกับช่องเปิดบานที่น้อยจะทำให้ความเค็มมีลักษณะการแพร่ที่ช้าที่สุดในทุกกรณีของการศึกษา

2) ค่าระดับน้ำขึ้นลงที่ปากแม่น้ำกับขนาดของช่องเปิด มีอิทธิพลต่อการเกิดระดับน้ำที่ท้ายเขื่อนที่สูง เกณฑ์การเปิดปิดบานจึงพิจารณาจากค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ปากแม่น้ำเป็นหลัก โดยขนาดช่องเปิดที่น้อยจะมีผลกระทบทำให้เกิดค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดมีค่ามากพิจารณาจากช่องเปิด 0.25 กับ 4.00 ม.ซึ่งให้ค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ช่องเปิดคงที่ 0.25 ให้ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ +1.83 และ -1.70 ม.รทก.ที่ช่องเปิด 4 ม.ให้ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ +1.41 และ -1.07 ม.รทก. ผลต่างค่าระดับน้ำสูงสุดเท่ากับ 0.42 ม.และผลต่างค่าระดับน้ำต่ำสุดเท่ากับ 0.63 ม. ทั้งนี้การกำหนดขนาดของช่องยังส่งผลต่อปริมาณความเค็มที่แพร่เข้ามา ดังกล่าวไปแล้ว

เพราะฉะนั้นการเปิดบานเพื่อให้ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุดที่ท้ายเขื่อนกับลักษณะการแพร่ความเค็มมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นั้น จึงต้องกำหนดรูปแบบการเปิดปิดแบบต่างๆเพื่อให้มี

แนวทางในการเลือกใช้ที่เหมาะสมต่างกันไป โดยการศึกษานี้จึงได้เสนอรูปแบบการควบคุมทั้งหมด 6 แบบ ที่ให้ผลต่างกัน ดังการนำเสนอที่ผ่านมา

6.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในขณะการเปิดปิดบาน ควรมีการตรวจสอบข้อมูล ค่าระดับน้ำ หรือผลกระทบจากการเปิดปิดบานพร้อมกันไป เพื่อการปรับแก้เกณฑ์การควบคุมเปิดปิดบานประตูให้เหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆ
- 2) พิจารณาเพิ่มจุดเครื่องมือวัดค่าระดับน้ำ วัดการเปลี่ยนแปลงของตลิ่ง วัดความเค็มของน้ำให้เหมาะสมกับจุดที่สำรวจติดตามผล ในภายหลังจากการเปิด-ปิดบานประตูของเขื่อน
- 3) ควรมีการติดตามผลการเปิดปิดบานประตูของเขื่อนท่อน้ำบางปะกงในสภาพจริงเทียบกับผลการคำนวณ เพื่อใช้เปรียบเทียบและปรับปรุงแบบจำลองไว้ใช้งานในกรณีประยุกต์ต่อไปได้
- 4) เนื่องจากโปรแกรม ISIS เป็นแบบจำลอง 1 มิติ ผลที่ได้จะบอกเป็นลักษณะเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งเหมาะสำหรับการศึกษาที่ต้องการผลข้อมูลที่ไม่ซับซ้อน แต่สามารถให้ผลเบื้องต้นที่ดีสำหรับผู้ที่ต้องการทราบผลที่ละเอียดมากกว่านี้ ควรศึกษาจากแบบจำลองที่มากกว่า 1 มิติ ทั้งนี้ค่าที่คำนวณได้ยังขึ้นกับปริมาณของข้อมูลและความถูกต้องของข้อมูลที่นำมาใช้ จึงควรมีการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลก่อนนำไปใช้จริงในแบบจำลอง
- 5) เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานที่ใช้ศึกษา เท่ากับ 0.70 (กรมชลประทาน 2545) มีค่าค่อนข้างที่สูงกว่าการไหลผ่านบานแบบจมน้ำ (Submerge Flow) ทัวไปอาจเป็นเพราะว่าต้องการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านบานที่สูงเพื่อครอบคลุมทุกสถานการณ์ที่เกิดขึ้นเพื่อที่จะได้ผลการศึกษาที่ให้อัตราการไหลผ่านบานที่มากและมีผลทำให้มีการแพร่ความเค็มที่เกิดขึ้นเร็วตามกันเพื่อที่นำผลการศึกษาที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูล สำหรับออกแบบแก้ไขปัญหาแบบบูรณาการจาก

การเปิดปิดบานประตู โดยค่า สปส.การไหลผ่านบานที่ถูกต้อง ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบจากช่องเปิดบานจริงโดยใช้ข้อมูลในสนามอีกครั้ง

6) ข้อจำกัดของแบบจำลองในส่วนของค่าสปส.การไหลผ่านบาน พบว่าไม่สามารถกำหนดค่าสปส.การไหลผ่านบานที่เปลี่ยนแปลงจากผู้ใช้ได้เอง ทั้งนี้โดยความเป็นจริงค่าสปส.การไหลผ่านบานมีเปลี่ยนแปลงตามสภาพศาสตร์ ซึ่งขึ้นกับระดับน้ำเหนือท้ายบานประตูและช่องเปิดบาน ควรพัฒนาแบบจำลองให้สามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์แบบไม่คงที่ได้



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กีรติ ลีวัจนกุล. ชลศาสตร์. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2541.

ชลประทาน, กรม. ข้อเสนอด้านเทคนิค โครงการศึกษาแนวทางการดำเนินการประดูระบายน้ำอุทก
วิทยาประสิทธิ์. กรุงเทพฯ : บริษัท รัชจ แอนด์ แอสโซซิเอทส์ จำกัด, บริษัท พอล คอนซัล
แตนท์ จำกัด และ บริษัท แอสดีคอน คอร์ปอเรชั่น จำกัด, 2544.

ชลประทาน, กรม. ข้อเสนอด้านเทคนิค โครงการศึกษาผลกระทบด้านชลศาสตร์และสิ่งแวดล้อม
เพื่อจัดทำประชาพิจารณ์ โครงการประดูระบายน้ำแม่น้ำท่าจีน. จัดทำโดยบริษัท ทีเอ็ม คอน
ซัลติง เอนจิเนียริง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด, 2544.

ชลประทาน, กรม. โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนปฏิบัติการแก้ไขผลกระทบด้านชลศาสตร์และการ
กัดเซาะตลิ่งอันเนื่องมาจากเขื่อนทดน้ำบางปะกง. กรุงเทพฯ :บริษัท โปรเกรส คอนซัล
แตนท์ จำกัด, 2545.

ชลประทาน, กรม. โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการก่อสร้างเขื่อนทดน้ำบางปะ
กง. จัดทำโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2535.

ชลประทาน, กรม. โครงการศึกษาแนวทางแก้ไขผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ
เนื่องจากการปิดบานระบายเขื่อนทดน้ำบางปะกง. กรุงเทพฯ : วีระพล แต่สมบัติ, 2543.

ชลประทาน, กรม. โครงการศึกษาวิเคราะห์และสำรวจออกแบบ ระบบการจัดการรักษาคุณภาพน้ำ
ในแม่น้ำบางปะกง. โครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา, 2544

ชลประทาน, กรม. โครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง บ้านไผ่เสวก ตำบลบางแก้ว อำเภอเมือง จังหวัด
ฉะเชิงเทรา. โครงการก่อสร้าง 9 สำนักพัฒนาแหล่งน้ำ 4.

ชัยพันธุ์ รักริฉัย. ชลศาสตร์ของทางน้ำเปิด. ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร

พิทยา แซ่ปึ้ง. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำอันเนื่องมาจากเขื่อนทดน้ำบางปะกง.
วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

สุจิตต์ คุณธนกุลวงศ์. โมเดลไฟไนท์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาการแพร่ของน้ำเค็มเข้าแม่น้ำ.
สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ลน-005,
2529.

ภาษาอังกฤษ

Ahmed E. Mathematical Model of Unsteady Flow in a Tidal Reach of the Bang Pakong River, Thailand. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1980.

Amnat A. Diffusion Process in Chao Phraya Estuary. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1976.

Asian Institute of Technology. Salinity Intrusion in the Chao Phraya and Mae Klong River. Research Report No.80, Conducted for the Water Resources Planning Subcommittee, National Economic and Social Development Board, Thailand, 1978.

Bos M.G. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement , 1989.

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

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

Ippen, A.T. Estuary and Coastline Hydrodynamic. 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 Consultant (Thailand), 2001.

Japan International Cooperation Agency (JICA). The Feasibility on the Agricultural Water Development Project of Bang Pakong River Basin. Thailand, 1990.

Japan Radio Co.,Ltd. Operation maintenance manual of Bang Pakong Diversion Dam project. Thailand, 1999.

Linsley, R.K. Franzini, J.B., Freyberg, D.L. and Tchobanoglous, G. Water Resource Engineering-Fourth Edition. Singapore: McGraw-Hill Book, 1992.

- Patchanok, S. The Interaction Between Tide and Salinity Barriers. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 2002.
- Prida T. et al. Effect of the Channel Dredging on Discharge Pattern and Salinity Distribution of Songkhla Lagoon. AIT Research Report No.104, 1979.
- Tawatchai T. et al. Salinity Intrusion Problem During Severe Drought in the Chao Phraya River. AIT Research Report No.122, 1980.
- US. Army Corps of Engineers. Tidal Hydraulics-Engineering Manual. Washington, DC: Department of the US.Army Corps of Engineers, 1991.
- US. Development of the Interior. Department. Hydraulic Laboratory Techniques. Colorado: Department of the US. Department of the Interior, 1980.
- Wallingford, ISIS Version 2.0-Release Notes. Wallingford, 1999.
- Witaya C. Prediction of Salt water Concentration in the Chao Phraya Estuary. M.Eng Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand, 1975.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ข้อมูลการวิเคราะห์อุทกวิทยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก-1 อัตราการไหลรายวันสะสมในแต่ละเดือน สถานี KGT.3

ร.พ.	อัตราการไหลรายวันสะสมในแต่ละเดือน สถานี KGT.3 (ลบ.ม./วินาที)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ย.	ก.ค.	ธ.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.พ.	มี.ค.	ก.พ.	มิ.ย.
2525	150.0	170.2	880.0	3297.7	10435.9	13832.8	6840.7	1776.5	674.7	132.6	46.9	0.5
2526	123.3	77.9	870.9	2497.1	14647.2	10504.3	22534.6	3029.6	451.7	0.4	0.4	0.2
2527	80.3	258.7	2352.3	2588.1	8635.6	7578.2	22863	851.4	263.4	78.7	34.1	15.6
2528	105.3	1788.6	8518.2	6289.8	7103.1	10294.2	5917.4	2085.7	725.7	156.8	67.5	28.0
2529	70.5	2680.6	1605.8	4426.6	8787.3	11840.5	13758.5	1360.0	505.8	254.8	84.7	53.8
2530	137.7	289.0	325.3	1344.6	702.2	11781.8	1718.6	2067.0	768.2	241.0	131.7	128.2
2531	108.1	716.0	3631.8	4490.6	7373.8	6177.2	12891.8	2111.8	852.8	223.7	127.4	55.2
2532	87.4	732.7	2786.0	3031.6	6328.8	7241.6	42302.5	1322.2	446.1	100.5	88.0	266.9
2533	152.2	443.3	826.1	1687.5	2888.2	7285.2	28893.3	3262.8	726.3	318.5	148.0	111.1
2534	68.6	200.8	1435.5	3401.6	12374.1	12894.1	12801.8	1542.2	130.6	262.0	122.4	81.3
2535	31.3	151.2	316.6	447.0	4296.3	5621.5	4714.8	1343.1	262.7	41.1	1.1	0.0
2536	58.4	221.2	770.8	1554.2	7818.8	11387.4	8407.3	1346.2	330.6	88.6	204.1	237.2
2537	86.1	278.7	1474.8	10677.3	12171.8	12329.4	6345.3	897.4	316.8	129.3	88.0	68.3
2538	58.7	784.5	881.8	5210.1	8085.2	25785.2	11620.6	1788.2	337.1	95.2	71.8	18.2
2539	20.6	1287.8	515.4	1867.2	4879.9	8842.7	11820.2	4481.7	581.9	88.3	16.0	2.2
2540	2.4	356.2	278.7	2082.7	5820.3	8849.9	17379.8	258.4	363.2	32.8	8.0	108.9
2541	164.8	721.3	784.7	2180.7	11491.8	6782.3	1831.2	726.8	782.2	42.8	92.2	28.7
2542	278.8	1759.8	5477.3	3025.1	8648.8	6388.7	8736.2	7082.2	588.3	200.6	48.8	98.2
2543	1354.1	2678.2	727.2	1046.8	6481.7	13422.0	12368.2	2173.0	362.8	85.2	47.1	73.6
รวมทุก	218.8	3789.6	3631.8	10837.6	44842.2	23785.0	22897.3	7968.2	766.2	373.5	264.1	268.8
เฉลี่ย	158.8	875.5	2740.4	3578.8	7885.5	16600.7	10341.2	2372.3	896.2	141.5	78.7	48.2
ปีรวมทุก	2.4	77.6	228.7	447.0	1780.2	5031.5	4270.2	881.4	262.7	30.9	2.2	0.0

ตาราง ก-2 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน เดือน พฤศจิกายน สถานที่ KGT.3

วัน	อัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน ที่สถานี KGT.3 (ลบ.วินาที)																			
	2526	2526	2527	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	
1-พ.ย.	198.4	274.2	227.8	158.4	174.4	45.9	403.5	217.2	304.1	198.4	55.4	173.8	41.2	98.5	132.0	50.4	107.2	483.1	205.1	
2-พ.ย.	109.0	220.2	48.0	128.1	148.9	47.1	214.2	32.3	217.4	64.9	32.2	161.4	41.6	95.5	85.4	98.2	42.9	481.5	202.5	
3-พ.ย.	96.0	191.6	44.0	117.2	127.6	45.2	188.8	48.4	223.8	96.0	158.5	120.9	39.2	78.0	205.0	82.7	40.2	454.2	231.2	
4-พ.ย.	34.5	167.1	41.4	117.2	110.5	78.7	136.7	44.4	208.5	84.0	184.9	100.0	55.2	84.8	215.5	95.2	43.5	407.6	178.2	
5-พ.ย.	75.5	145.8	38.8	98.5	97.1	138.3	114.1	43.2	188.0	27.5	143.5	83.9	87.5	101.8	148.8	48.2	38.4	451.9	128.0	
6-พ.ย.	88.4	328.2	17.4	86.0	88.1	174.5	99.4	44.4	301.6	22.0	85.4	166.5	31.3	48.4	288.4	47.2	34.0	429.8	110.8	
7-พ.ย.	88.8	109.2	38.3	25.5	88.8	44.7	85.1	65.4	151.4	88.8	26.2	60.5	26.2	47.9	283.2	45.3	26.2	487.1	82.4	
8-พ.ย.	88.4	97.3	33.6	73.0	71.1	25.0	72.8	48.2	140.6	83.8	26.2	53.8	28.0	45.8	277.8	42.1	25.1	481.1	32.0	
9-พ.ย.	88.0	85.5	30.8	63.0	87.4	64.2	72.5	45.6	125.4	57.2	48.1	47.4	28.2	45.8	226.4	37.2	27.2	458.1	12.1	
10-พ.ย.	84.8	83.5	28.5	36.3	62.5	80.2	87.8	41.1	118.5	33.8	47.8	42.1	11.5	28.4	209.0	37.2	28.5	417.1	63.8	
11-พ.ย.	63.2	74.5	27.5	81.7	28.8	81.3	83.8	38.1	111.5	60.8	23.8	31.5	22.4	48.4	181.4	31.5	34.2	238.4	54.8	
12-พ.ย.	54.0	83.8	27.9	83.8	53.4	85.2	88.0	47.0	132.0	60.0	32.9	31.5	29.9	38.4	162.2	28.0	21.9	256.2	15.4	
13-พ.ย.	54.2	108.8	27.3	88.0	80.3	77.1	41.0	35.2	85.9	50.8	28.8	32.1	22.0	38.0	181.3	27.8	23.8	202.8	47.2	
14-พ.ย.	47.8	162.0	78.3	88.8	47.5	88.8	14.2	34.1	82.0	48.6	28.8	29.8	31.1	38.6	181.8	27.1	17.8	172.0	48.8	
15-พ.ย.	44.8	136.8	22.8	101.2	44.8	82.7	47.7	33.7	87.5	18.4	28.1	27.9	23.2	40.4	188.2	26.8	18.2	154.1	25.4	
16-พ.ย.	42.8	97.2	28.2	92.3	41.7	78.4	44.4	38.8	83.3	42.4	22.4	28.2	23.2	36.0	182.8	25.5	15.8	151.1	38.2	
17-พ.ย.	40.8	80.5	28.4	77.5	40.8	88.2	43.8	28.2	87.9	18.0	21.7	25.4	18.0	32.8	188.0	24.8	16.6	142.8	55.2	
18-พ.ย.	46.4	87.5	34.8	37.1	44.4	65.3	12.4	27.6	32.3	88.0	50.3	23.7	18.4	28.5	180.2	25.8	16.6	128.0	32.5	
19-พ.ย.	51.2	108.8	23.8	87.7	48.7	80.0	38.7	26.4	73.4	34.8	15.5	22.8	17.8	25.7	170.5	25.2	16.9	115.8	31.8	
20-พ.ย.	70.5	168.0	23.0	81.8	47.4	92.8	37.2	25.8	88.8	38.1	17.9	21.7	17.5	28.8	88.4	43.8	16.0	88.8	28.2	
21-พ.ย.	78.0	78.0	23.0	88.0	40.4	80.3	38.7	25.1	83.8	34.1	15.1	21.4	17.2	24.7	88.8	24.8	14.8	75.3	25.8	
22-พ.ย.	68.8	83.8	21.8	44.7	35.2	82.0	35.8	26.2	80.8	35.5	18.4	31.0	16.3	22.2	135.0	21.2	13.8	78.5	22.8	
23-พ.ย.	57.2	54.8	23.2	66.6	34.1	83.2	33.3	21.3	88.2	33.7	14.9	16.4	15.3	22.2	72.8	23.8	16.8	75.2	38.8	
24-พ.ย.	48.0	49.2	18.0	38.8	21.3	88.2	11.8	23.4	22.0	23.8	3.8	11.4	18.5	21.1	88.2	22.4	18.8	84.5	70.0	
25-พ.ย.	42.8	44.2	22.0	38.8	28.5	81.0	33.3	22.2	47.8	32.1	12.1	18.2	18.8	19.3	81.2	21.8	15.5	57.8	38.3	
26-พ.ย.	38.9	43.8	19.8	33.1	28.8	49.1	30.2	21.9	17.2	38.8	12.8	18.8	18.1	18.2	88.0	21.5	17.8	53.8	17.3	
27-พ.ย.	37.5	88.1	17.4	80.8	25.8	45.2	28.1	21.9	48.2	38.0	18.2	18.4	18.4	18.4	88.0	21.8	19.5	51.8	18.5	
28-พ.ย.	36.0	36.0	15.9	38.8	25.4	42.8	28.8	21.3	43.2	26.4	12.3	18.3	18.2	17.8	84.3	21.8	26.5	48.8	18.1	
29-พ.ย.	34.5	32.5	18.3	37.7	24.8	42.8	27.2	19.8	38.4	27.6	11.1	12.1	12.9	18.1	87.3	20.0	23.3	42.8	18.8	
30-พ.ย.	33.3	31.9	15.5	30.4	23.4	38.8	27.0	14.2	37.4	27.0	13.3	11.4	12.9	18.8	88.5	20.0	21.3	41.5	18.3	
รวม	1776.0	3029.6	881.4	2884.2	1831.3	2084.0	2111.4	1328.4	3210.5	1648.2	1342.1	1482.1	881.4	1188.2	4881.2	888.4	125.3	7888.2	2112.1	
ค่าสูงสุด	198.4	274.2	82.8	174.4	174.4	138.2	403.5	217.2	304.1	198.4	194.1	194.1	194.1	194.1	293.2	88.4	50.2	487.4	328.0	
เฉลี่ย	58.2	101.0	28.4	88.6	88.8	88.8	78.4	34.3	166.4	51.3	44.8	44.2	28.3	38.8	149.3	21.8	24.2	288.4	72.1	
ค่าต่ำสุด	33.3	31.9	15.5	28.6	23.4	28.8	27.0	14.2	37.4	27.0	13.3	11.4	12.9	18.8	88.5	20.0	21.3	41.5	18.3	

ตาราง ก-4 อัตราการไหลเฉลี่ยรายวัน เดือน มกราคม สถานี KGT.3

วัน	อัตราการไหลเฉลี่ยรายวันที่สถานี KGT.3 (ลบ.ม./วินาที)																			
	2528	2529	2530	2531	2532	2533	2534	2535	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547
14.ค.	6.7	7.0	4.0	7.3	14.7	10.0	11.2	8.0	10.4	8.7	14	5.5	7.4	4.3	8.0	5.0	2.3	5.8	3.5	
24.ค.	7.3	7.4	4.4	7.8	14.0	13.6	10.8	8.4	15.8	8.8	5.0	3.5	7.3	4.7	7.6	4.8	2.5	8.8	3.5	
34.ค.	6.8	7.8	4.3	7.4	10.0	12.0	10.8	6.4	15.2	9.0	2.8	8.8	7.0	6.5	6.0	7.2	2.2	3.6	3.5	
44.ค.	6.8	8.0	3.8	7.0	13.6	11.7	10.3	7.8	15.5	5.1	2.8	4.0	6.0	4.3	6.6	13.8	1.3	5.6	3.1	
54.ค.	5.4	7.3	3.7	6.6	10.3	11.0	8.8	7.4	16.5	6.5	2.8	3.2	5.4	4.0	5.3	3.0	1.4	3.3	3.2	
64.ค.	6.4	6.4	3.9	6.4	8.5	10.8	5.3	7.2	18.8	3.1	2.8	3.2	5.8	3.8	5.8	2.1	2.0	6.0	3.0	
74.ค.	5.3	5.8	3.2	6.3	8.7	18.1	8.5	5.8	14.0	3.1	2.5	3.4	5.3	3.7	4.3	1.7	1.5	5.0	3.0	
84.ค.	5.7	4.7	3.0	5.9	7.3	8.7	8.3	8.4	15.7	3.1	7.1	3.1	8.1	3.7	3.8	1.1	6.0	4.8	3.0	
94.ค.	5.7	4.2	2.8	3.8	7.3	8.8	7.8	10.4	14.6	8.5	4.8	2.8	4.8	4.4	3.8	1.2	1.4	4.8	3.2	
104.ค.	5.4	3.8	2.7	5.0	8.8	1.6	7.8	6.5	14.7	7.7	1.0	2.7	4.7	3.0	2.7	1.8	0.6	4.0	3.0	
114.ค.	5.1	3.4	2.7	5.1	6.3	8.6	7.7	7.7	11.3	7.7	1.4	2.7	4.7	3.4	3.5	1.8	6.4	4.8	3.1	
124.ค.	4.9	3.0	2.6	5.4	6.4	4.2	7.8	3.7	11.3	1.2	1.5	2.1	4.4	3.3	2.6	1.8	0.5	4.6	3.1	
134.ค.	4.7	2.7	2.4	5.2	6.1	5.3	7.1	5.7	10.8	2.7	1.4	2.1	4.3	3.2	3.1	1.8	0.4	4.2	3.0	
144.ค.	4.4	2.3	2.3	5.2	5.9	7.8	7.0	5.4	10.8	10.0	1.2	2.8	4.4	2.8	7.8	1.0	3.8	4.3	3.0	
154.ค.	4.2	2.0	2.1	4.6	5.8	7.1	6.6	4.3	8.4	3.3	1.1	1.9	3.8	2.4	7.1	1.0	1.8	4.7	2.9	
164.ค.	4.0	1.7	2.0	4.9	5.5	6.8	6.4	5.2	8.8	8.1	1.0	1.2	3.1	2.8	2.2	1.8	3.7	3.1	2.8	
174.ค.	3.8	1.7	1.8	4.8	5.3	6.5	4.2	8.7	8.4	8.4	2.8	1.1	3.8	2.8	3.1	1.6	2.1	4.3	2.8	
184.ค.	3.8	1.5	1.6	4.8	5.1	6.5	5.2	8.3	5.1	8.1	0.6	1.0	3.8	2.7	1.8	1.8	0.6	3.8	2.5	
194.ค.	3.6	1.3	2.0	4.3	5.0	6.0	6.1	6.6	7.5	7.3	1.0	1.3	3.4	2.7	1.2	1.3	0.2	3.8	2.4	
204.ค.	3.3	1.2	1.9	4.8	4.7	6.3	8.1	6.6	7.4	3.0	0.6	0.8	3.4	2.8	1.4	1.8	0.4	10.6	1.8	
214.ค.	3.3	1.1	1.8	4.5	4.7	6.5	6.8	6.0	7.8	6.0	0.3	0.8	3.4	2.5	1.4	1.8	0.3	10.1	1.8	
224.ค.	2.9	1.0	1.7	4.1	4.8	3.0	6.6	5.0	7.4	6.1	0.8	0.8	3.4	2.4	1.3	1.0	3.1	10.0	1.8	
234.ค.	2.5	1.0	1.7	4.1	4.4	3.7	6.4	5.7	7.6	6.3	0.8	0.8	3.0	2.4	1.4	1.0	3.1	14.2	1.8	
244.ค.	2.5	1.0	1.8	4.1	4.2	8.0	6.2	5.7	7.4	8.1	0.8	0.8	3.3	2.4	1.4	1.0	8.0	10.2	1.8	
254.ค.	2.8	1.0	1.8	4.1	4.2	8.3	5.7	5.7	7.4	8.1	0.8	0.7	3.8	2.4	1.1	1.0	8.8	18.2	2.3	
264.ค.	2.3	1.1	1.8	3.8	4.8	4.2	5.2	3.4	7.1	8.8	0.3	0.3	2.7	2.4	1.8	1.0	0.8	8.4	2.6	
274.ค.	2.3	0.9	1.7	3.7	3.8	4.8	5.1	3.4	7.2	8.7	0.3	0.4	3.3	2.4	1.1	1.0	1.0	4.8	2.6	
284.ค.	2.0	1.0	2.1	3.8	3.8	5.2	5.2	3.0	7.3	8.0	0.4	0.8	3.3	2.1	2.3	1.3	7.5	4.4	2.8	
294.ค.	2.0	0.8	2.3	3.8	3.7	5.0	6.1	4.3	8.8	8.8	0.2	1.4	2.3	2.4	1.8	1.8	3.2	4.6	2.5	
304.ค.	2.0	0.7	2.1	3.7	3.7	4.8	5.4	3.7	8.8	3.7	3.2	2.1	2.7	2.4	1.7	1.8	7.8	3.7	2.4	
314.ค.	2.8	1.5	2.3	4.2	4.6	4.4	3.2	1.3	6.8	3.4	3.1	4.5	2.7	2.4	1.9	1.4	1.7	3.3	1.8	
รวม	142.5	54.4	78.1	118.8	244.8	214.3	220.7	193.5	218.2	200.0	11.1	68.4	129.9	86.2	95.3	48.1	13.8	200.0	88.2	
ค่าเฉลี่ย	7.7	6.0	4.8	7.5	11.7	13.8	11.2	9.7	8.4	15.5	3.4	3.5	7.4	4.9	6.0	5.4	7.8	23.0	4.5	
ค่าต่ำ	4.3	3.0	2.5	5.1	6.6	3.8	7.1	3.1	3.3	3.4	1.3	2.1	4.2	3.1	3.1	1.4	0.5	4.6	2.1	
ค่าสูง	10.0	6.5	4.8	7.7	13.6	11.0	8.8	8.4	16.5	8.4	3.1	4.0	6.0	4.3	6.6	13.8	1.3	5.6	3.1	

ตาราง ก-5 ช่วงข้อมูลอัตราการใช้ไฟฟ้าที่เกิดค่าความเค็ม 0.1 ppm ที่เจือปน โดยใช้วิธีแยกแยะความถี่

ปี	วันที่ ความเค็ม 0.1 ppt	อัตราการไหล (ลบ.ม./วินาที)	การจัดเรียงลำดับ ข้อมูลตามขนาด (ลบ.ม./วินาที)	ปีที่จัด เรียงใหม่	ลำดับ m (N=19)	ความถี่ การเกิดซ้ำ % $m/100/(N+1)$
2525	14-พ.ย.	47.60	53.00	2530	1	5.0
2526	27-พ.ย.	38.10	51.80	2528	2	10.0
2527	9-พ.ย.	30.80	50.00	2534	3	15.0
2528	20-พ.ย.	51.80	49.20	2532	4	20.0
2529	18-พ.ย.	44.40	48.90	2542	5	25.0
2530	25-พ.ย.	53.00	47.60	2525	6	30.0
2531	16-พ.ย.	45.40	47.20	2540	7	35.0
2532	8-พ.ย.	49.20	46.40	2538	8	40.0
2533	28-พ.ย.	42.20	45.40	2531	9	45.0
2534	12-พ.ย.	50.00	44.40	2529	10	50.0
2535	15-พ.ย.	25.10	42.20	2533	11	55.0
2536	16-พ.ย.	27.90	38.20	2543	12	60.0
2537	8-พ.ย.	28.00	38.10	2526	13	65.0
2538	10-พ.ย.	46.40	31.00	2539	14	70.0
2539	3-ธ.ค.	31.00	30.80	2527	15	75.0
2540	6-พ.ย.	47.20	29.10	2541	16	80.0
2541	8-พ.ย.	29.10	28.00	2537	17	85.0
2542	28-พ.ย.	48.90	27.90	2536	18	90.0
2543	16-พ.ย.	38.20	25.10	2535	19	95.0

ตาราง ก-6 ช่วงข้อมูลอัตราการไหลสะสม ย้อนหลัง 5 วันจากวันที่ค่าครามเต็ม 0.1 ppt ที่เขื่อน
โดยใช้วิธีแจกแจงความถี่

ปี	วันที่ ความเค็ม 0.1 ppt	อัตราการไหล สะสม (ลบ.ม./วินาที)	จัดเรียงลำดับ ข้อมูลตามขนาด (ลบ.ม./วินาที)	ปีที่จัด เรียงใหม่	ลำดับ m (N + 1)	ความถี่ การเกิดซ้ำ % $m/100/(N+1)$	อัตราการไหล เฉลี่ย (ลบ.ม./วินาที)
2525	14-พ.ย.	271.20	396.10	2529	1	5.00	79.22
2526	27-พ.ย.	252.50	312.60	2530	2	10.00	62.52
2527	9-พ.ย.	186.50	302.50	2542	3	15.00	60.5
2528	20-พ.ย.	396.10	271.20	2525	4	20.00	54.24
2529	18-พ.ย.	224.80	270.40	2531	5	25.00	54.08
2530	25-พ.ย.	312.60	266.70	2540	6	30.00	53.34
2531	16-พ.ย.	270.40	252.50	2526	7	35.00	50.5
2532	8-พ.ย.	230.80	249.40	2533	8	40.00	49.88
2533	28-พ.ย.	249.40	249.20	2538	9	45.00	49.84
2534	12-พ.ย.	228.20	230.80	2532	10	50.00	46.16
2535	15-พ.ย.	171.10	228.20	2534	11	55.00	45.64
2536	15-พ.ย.	175.70	224.80	2529	12	60.00	44.96
2537	8-พ.ย.	167.40	215.10	2539	13	65.00	43.02
2538	10-พ.ย.	249.20	205.10	2543	14	70.00	41.02
2539	3-ธ.ค.	215.10	186.50	2527	15	75.00	37.3
2540	6-พ.ย.	266.70	183.30	2541	16	80.00	36.66
2541	8-พ.ย.	183.30	175.70	2536	17	85.00	35.14
2542	28-พ.ย.	302.50	171.10	2535	18	90.00	34.22
2543	16-พ.ย.	205.10	167.40	2537	19	95.00	33.48

ตาราง ก-7 ช่วงข้อมูลปริมาณน้ำสะสมหลังจากวันที่ความเค็ม 0.1 ppt ถึง 31 ม.ค. ที่เขื่อน
โดยใช้วิธีแจกแจงความถี่

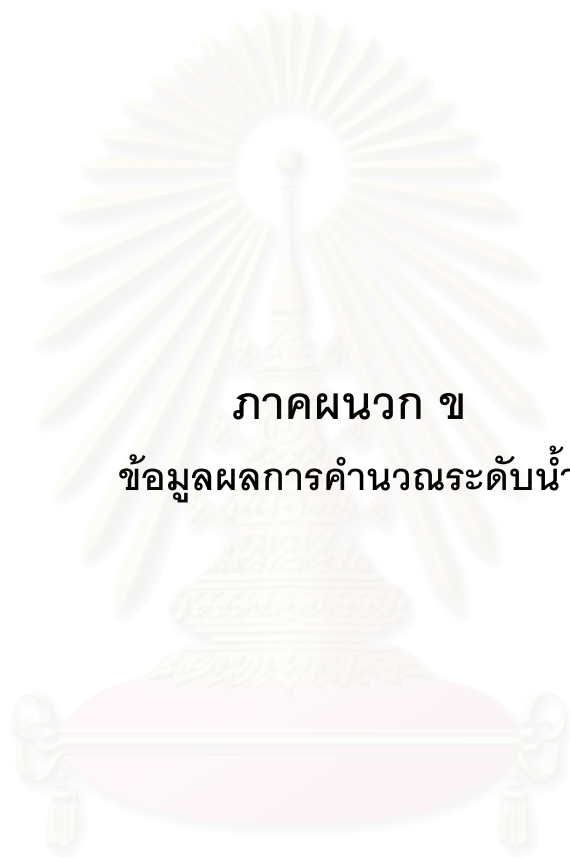
ปี	วันที่ ความเค็ม 0.1 ppt	ปริมาณน้ำ สะสม (ล้าน ลบ.ม.)	การจัดเรียงลำดับ ข้อมูลตามขนาด (ล้าน ลบ.ม.)	ปีที่จัด เรียงใหม่	ลำดับ m (N = 19)	ความถี่ การเกิดซ้ำ % $m/100/(N+1)$
2525	14-พ.ย.	131.17	131.17	2525	1	5.00
2526	27-พ.ย.	55.72	124.94	2534	2	10.00
2527	9-พ.ธ.	80.08	116.49	2531	3	15.00
2528	20-พ.ย.	109.81	109.81	2528	4	20.00
2529	18-พ.ย.	102.88	108.95	2532	5	25.00
2530	25-พ.ย.	105.98	105.98	2530	6	30.00
2531	16-พ.ธ.	116.49	102.88	2529	7	35.00
2532	8-พ.ย.	108.95	97.08	2533	8	40.00
2533	28-พ.ธ.	97.08	91.22	2540	9	45.00
2534	12-พ.ธ.	124.94	84.78	2538	10	50.00
2535	15-พ.ธ.	44.38	80.08	2527	11	55.00
2536	15-พ.ย.	60.43	76.78	2542	12	60.00
2537	8-พ.ย.	74.04	74.68	2541	13	65.00
2538	10-พ.ย.	84.78	74.04	2537	14	70.00
2539	3-ธ.ค.	47.55	64.56	2543	15	75.00
2540	6-พ.ย.	91.22	60.43	2536	16	80.00
2541	8-พ.ย.	74.68	55.72	2526	17	85.00
2542	28-พ.ย.	76.78	47.55	2539	18	90.00
2543	16-พ.ย.	64.56	44.38	2535	19	95.00

ตาราง ก-8 ตำแหน่งรูปตัดขวางแม่น้ำ ที่ใช้ศึกษา

หน้าตัด	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (กม.)	หน้าตัด	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (กม.)	หน้าตัด	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (กม.)
BPK02	8.0	BPK29	61.1	B049	89.0
BPK03	10.8	BPK30	61.6	B050	91.1
BPK04	13.1	BPK31	62.3	B051	92.8
BPK05	15.3	BPK32	62.6	B052	94.6
BPK06	17.9	BPK33	63.0	B053	96.8
BPK07	20.2	BPK34	63.4	B054	98.3
BPK08	22.8	BPK35	63.9	B055	100.1
BPK09	24.8	BPK36	64.4	B056	102.1
BPK10	27.3	BPK37	64.9	B057	103.9
BPK11	29.6	DAM	65.5	B058	105.9
BPK12	32.4	BPK38	66.4	B059	107.4
BPK13	34.6	BPK39	66.9	B060	109.2
BPK14	36.9	BPK40	67.4	B061	111.4
BPK15	39.6	BPK41	67.9	B062	113.4
BPK16	41.9	BPK42	68.4	B063	115.1
BPK17	44.6	BPK43	68.9	B064	117.1
BPK18	46.7	BPK44	69.8	B065	119.0
BPK19	49.4	BPK45	71.0	B066	120.9
BPK20	50.7	BPK46	71.9	B067	122.8
BPK21	52.9	BPK47	72.8	B068	124.7
BPK22	55.1	BPK48	74.0	B069	126.5
BPK23	56.1	BPK49	75.5	B070	128.3
BPK24	57.0	B044	78.3	B071	130.2
BPK25	57.7	B045	80.9	B072	132.0
BPK26	58.9	B046	83.3	B073	134.1
BPK27	59.7	B047	84.8	B074	136.0
BPK28	60.6	B048	87.0	B075	137.8

ตาราง ก-8 ตำแหน่งรูปตัดขวางตามลำน้ำ (ต่อ)

หน้าตัด	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (กม.)	หน้าตัด	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (กม.)	หน้าตัด	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ (กม.)
B076	139.8	B103	215.8	NY24	164.2
B077	141.6	B104	225.8	NY25	165.9
B078	143.7	B105	235.8	NY26	167.7
B079	145.6	NY0	119.3	NY27	169.3
B080	147.5	NY1	120.7	NY28	171.2
B081	149.4	NY2	122.7	NY29	172.8
B082	151.4	NY3	124.8	NY30	174.1
B083	153.3	NY4	126.5	NY31	176.5
B084	155.3	NY5	128.4	NY32	178.4
B085	157.3	NY6	130.4	NY33	180.4
B086	159.2	NY7	132.3	NY34	182.3
B087	161.2	NY8	134.5	NY35	184.1
B088	163.1	NY9	135.9	NY36	185.7
B089	165.0	NY10	137.8	NY37	187.3
B090	167.0	NY11	139.7	NY38	189.1
B091	168.6	NY12	141.6	NY39	191.0
B092	170.5	NY13	143.5	NY40	193.2
B093	172.4	NY14	145.2	C007	82.6
B094	174.3	NY15	147.2	C008	87.3
B095	176.1	NY16	149.1	C009	93.4
B096	177.9	NY17	150.9	C010	101.2
B097	179.6	NY18	152.7	C011	109.5
B098	181.4	NY19	154.8	C012	118.5
B099	183.1	NY20	156.3		
B100	185.8	NY21	158.3		
B101	195.6	NY22	160.3		
B102	205.8	NY23	162.1		



ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการคำนวณระดับน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข-1 ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2525

ช่องเปิด	ระดับน้ำ ม.รทก.	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ กม.											
		8.00	16.00	30.00	40.00	53.00	62.00	65.4*	65.45**	69.00	78.00	98.00	116.00
0.25	สูงสุด	1.74	1.69	1.71	1.72	1.86	1.89	1.89	1.60	1.50	1.51	1.50	1.50
	ต่ำสุด	-1.47	-1.49	-1.52	-1.57	-1.57	-1.62	-1.63	-0.80	-0.78	-0.69	-0.56	-0.59
0.50	สูงสุด	1.74	1.69	1.70	1.75	1.83	1.85	1.86	1.21	1.21	1.18	1.11	1.12
	ต่ำสุด	-1.47	-1.48	-1.50	-1.53	-1.53	-1.57	-1.57	-0.80	-0.78	-0.69	-0.56	-0.59
1.00	สูงสุด	1.74	1.68	1.68	1.70	1.75	1.76	1.76	1.21	1.21	1.16	1.11	1.12
	ต่ำสุด	-1.47	-1.46	-1.44	-1.47	-1.39	-1.39	-1.37	-0.80	-0.78	-0.69	-0.56	-0.59
2.00	สูงสุด	1.74	1.66	1.64	1.61	1.60	1.59	1.66	1.21	1.21	1.16	1.11	1.12
	ต่ำสุด	-1.47	-1.40	-1.35	-1.29	-1.16	-1.11	-1.05	-0.80	-0.78	-0.69	-0.56	-0.59
3.00	สูงสุด	1.74	1.66	1.64	1.61	1.61	1.63	1.62	1.50	1.49	1.49	1.46	1.44
	ต่ำสุด	-1.47	-1.38	-1.32	-1.19	-1.09	-1.03	-1.02	-0.88	-0.84	-0.71	-0.57	-0.59
4.00	สูงสุด	1.74	1.66	1.63	1.64	1.60	1.62	1.61	1.54	1.53	1.54	1.49	1.47
	ต่ำสุด	-1.47	-1.37	-1.30	1.11	-1.08	-1.02	1.01	-0.94	-0.90	-0.77	-0.57	-0.59
เปิดหมด	สูงสุด	1.74	1.64	1.58	1.51	1.42	1.41	1.38	1.31	1.20	1.24	1.12	1.12
	ต่ำสุด	-1.47	-1.37	-1.30	-1.18	1.07	-1.01	-1.01	0.95	-0.91	-0.78	-0.58	-0.59
ปิดสนิท	สูงสุด	1.74	1.68	1.71	1.72	1.86	1.89	1.90	2.84	2.84	2.84	2.84	2.84
	ต่ำสุด	-1.47	-1.50	-1.52	-1.59	-1.60	-1.64	-1.66	-0.80	-0.78	-0.69	-0.56	-0.59

ตาราง ข-2 ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2535

ช่วงเปิด	ระดับน้ำ	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ กม.											
		8.00	18.00	30.00	40.00	53.00	62.00	65.4*	66.45**	69.00	76.00	99.00	116.00
0.25	สูงสุด	1.66	1.64	1.65	1.68	1.73	1.82	1.87	1.92	1.91	1.90	0.98	0.97
	ต่ำสุด	-1.45	-1.51	-1.53	-1.56	-1.61	-1.62	-1.62	-1.06	-1.03	-1.00	-0.87	-0.86
0.50	สูงสุด	1.66	1.64	1.65	1.67	1.77	1.79	1.80	1.92	1.91	1.90	0.98	0.97
	ต่ำสุด	-1.45	-1.50	-1.50	-1.54	-1.56	-1.55	-1.56	-1.06	-1.03	-1.00	-0.87	-0.86
1.00	สูงสุด	1.66	1.63	1.63	1.65	1.70	1.71	1.71	1.92	1.91	1.90	0.98	0.97
	ต่ำสุด	-1.45	-1.48	-1.44	-1.43	-1.40	-1.39	-1.40	-1.06	-1.03	-1.00	-0.87	-0.86
2.00	สูงสุด	1.66	1.61	1.57	1.54	1.53	1.52	1.50	1.92	1.91	1.90	0.98	0.97
	ต่ำสุด	-1.45	-1.43	-1.34	-1.30	-1.24	-1.16	-1.14	-1.06	-1.03	-1.00	-0.87	-0.86
3.00	สูงสุด	1.66	1.59	1.54	1.48	1.43	1.41	1.38	1.14	1.12	1.11	1.05	1.05
	ต่ำสุด	-1.45	-1.42	-1.31	-1.25	-1.18	-1.13	-1.11	-1.06	-1.03	-1.00	-0.87	-0.86
4.00	สูงสุด	1.66	1.59	1.52	1.45	1.38	1.35	1.33	1.21	1.19	1.14	1.08	1.08
	ต่ำสุด	-1.45	-1.41	1.30	-1.24	-1.14	-1.13	-1.12	-1.06	1.01	-1.00	-0.87	-0.86
เปิดหมด	สูงสุด	1.66	1.50	1.52	1.44	1.36	1.33	1.31	1.24	1.22	1.16	1.08	1.07
	ต่ำสุด	-1.45	1.41	-1.30	-1.24	-1.13	-1.11	-1.10	-1.06	1.01	-1.00	-0.87	-0.86
ปิดสนิท	สูงสุด	1.66	1.64	1.67	1.70	1.81	1.85	1.86	1.66	1.66	1.66	1.66	1.66
	ต่ำสุด	-1.45	-1.52	-1.55	-1.60	-1.66	-1.66	1.66	-1.06	-1.03	-1.00	-0.87	-0.86

* บริเวณท้ายเขื่อน

** บริเวณเหนือเขื่อน

ตาราง ข-3 ค่าระดับน้ำสูงสุดและต่ำสุด ที่ท้ายเขื่อน กรณีเปิดบานแบบคงที่ ปี พ.ศ. 2538

ช่องเปิด	ระดับน้ำ	ระยะห่างจากปากแม่น้ำ กม.											
		0.00	18.00	30.00	40.00	50.00	62.00	65.4*	65.45**	69.00	78.00	86.00	118.00
0.25	สูงสุด	1.62	1.55	1.54	1.61	1.69	1.72	1.73	1.21	1.18	1.14	1.03	1.03
	ต่ำสุด	-1.55	-1.61	-1.59	-1.68	-1.68	-1.72	-1.75	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80
0.50	สูงสุด	1.62	1.55	1.53	1.59	1.66	1.69	1.69	1.21	1.18	1.14	1.03	1.03
	ต่ำสุด	-1.55	-1.59	-1.55	-1.63	-1.61	-1.65	-1.68	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80
1.00	สูงสุด	1.62	1.55	1.51	1.54	1.58	1.60	1.59	1.21	1.18	1.14	1.00	1.00
	ต่ำสุด	-1.55	-1.58	-1.49	-1.51	-1.43	-1.46	-1.46	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80
2.00	สูงสุด	1.62	1.55	1.47	1.45	1.48	1.49	1.50	1.21	1.18	1.14	1.03	1.03
	ต่ำสุด	-1.55	-1.53	-1.45	-1.43	-1.33	-1.29	-1.25	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80
3.00	สูงสุด	1.62	1.55	1.47	1.38	1.35	1.37	1.32	1.21	1.18	1.14	1.00	1.00
	ต่ำสุด	-1.55	-1.51	-1.33	-1.34	-1.18	-1.15	-1.14	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80
4.00	สูงสุด	1.62	1.55	1.47	1.38	1.32	1.31	1.29	1.21	1.18	1.14	1.03	1.03
	ต่ำสุด	-1.55	-1.49	-1.37	-1.30	-1.13	-1.10	-1.09	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80
เปิดหมด	สูงสุด	1.62	1.55	1.47	1.42	1.32	1.31	1.29	1.21	1.18	1.14	1.00	1.00
	ต่ำสุด	-1.55	-1.48	-1.34	-1.26	-1.10	-1.08	-1.06	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80
ปิดสนิท	สูงสุด	1.62	1.55	1.54	1.62	1.71	1.74	1.75	2.05	2.05	2.06	2.05	2.05
	ต่ำสุด	-1.55	-1.61	-1.60	-1.71	-1.72	-1.76	-1.79	-1.01	-0.98	-0.96	-0.85	-0.80

* บริเวณท้ายเขื่อน

** บริเวณเหนือเขื่อน



ภาคผนวก ค
แบบจำลอง ISIS

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

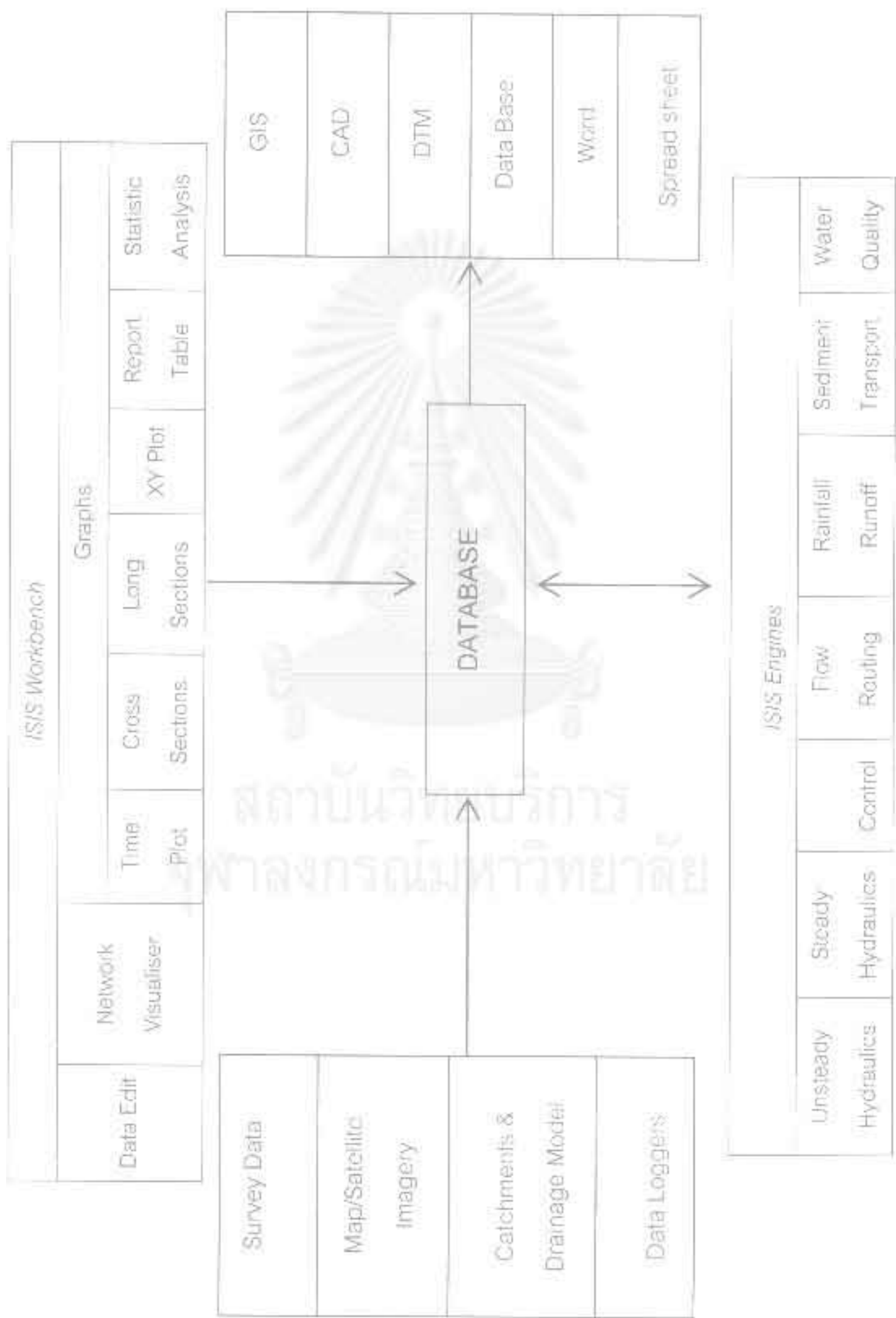
แบบจำลอง ISIS เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ที่ใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมทางชลศาสตร์ ได้แก่ อัตราการไหล คุณภาพน้ำ และการพัดพาของตะกอน ทั้งในลำน้ำ คลอง และปากแม่น้ำ โดยมีระบบการคำนวณแบบ 1 มิติ โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นโดย Halcrow & Partners Ltd. และ HR Wailingford Ltd. ในที่นี้จะกล่าวถึง การทำงานและการใช้งานแบบจำลอง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

ค.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 เป็นแบบจำลองการเคลื่อนที่ของน้ำตะกอนที่ท้องน้ำ
- 7) ISIS Control เป็นแบบจำลองระบบการควบคุมซับซ้อน
- 8) ISIS WMS การทำแผนที่น้ำท่วม

การสร้าง การใช้งาน และการประมวลผลแสดงในรูปของตาราง ไล่เส้นของภาพเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงตามเวลา โครงสร้างการนำข้อมูลเข้าและผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง ISIS ดังรูป ค-1



รูป ต-1 โครงสร้างการนำเข้ามาข้อมูลและผลลัพธ์ของแบบจำลอง ISIS

ค.2 โมดูลในแบบจำลอง ISIS ที่ใช้ในการศึกษานี้

โมดูลของแบบจำลอง ISIS ที่ใช้ในการศึกษานี้ มีด้วยกัน 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 โมดูล ISIS Flow เป็นแบบจำลองทางชลศาสตร์จำลองการไหลทั้งแบบคงที่และไม่คงที่สามารถใช้ได้กับทางน้ำเปิดที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายและเป็นพื้นที่น้ำท่วม

ส่วนที่ 2 โมดูล ISIS Quality เป็นแบบจำลองคุณภาพน้ำโดยใช้ข้อมูลคุณภาพน้ำมาวิเคราะห์ร่วมกับโมดูล ISIS Flow

ค.3 หลักการของแบบจำลอง ISIS Flow

หลักการของแบบจำลอง ISIS ซึ่งมีสมการที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นสมการ empirical และทฤษฎีแบบไม่เชิงเส้น 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 อาจใช้ค่าเริ่มต้นจากการไหลแบบคงที่ หรือกำหนดเงื่อนไขขอบเขตคงที่ตลอดเวลา โดยมีช่วงเวลาเริ่มต้นก่อนประเมินผลน้อยที่สุด (อาจต่ำกว่า 10 วินาที)

ค.3.1 การคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำท่วม

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

ค.3.2 ขนาดและตำแหน่งของหน้าตัด

ขนาดและตำแหน่งของหน้าตัดของทางน้ำมีความสำคัญมากต่อความถูกต้องในการประมวลผลสำหรับสมการ Saint Venant ดังนั้นในการจำลองต้องพิจารณาพฤติกรรมการไหลในธรรมชาติก่อนแล้วออกแบบการจำลองให้เหมาะสม เช่น ในกรณีการไหลที่มีค่า Froude Number มาก และการไหลมีความลึกน้อย ต้องใช้ระยะทางของทางน้ำมากในการจำลอง

การนำพารามิเตอร์ต่างๆ ของทางน้ำมาคำนวณระดับน้ำและอัตราการไหลในทางน้ำเปิดโดยแบ่งการคำนวณในแต่ละหน้าตัดห่างกันเป็นช่วง (distance step, Δx) แล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำเป็นช่วงของระยะเวลา (time step, Δt) ต่อไปเรื่อยๆ จนจบการจำลอง การกำหนดค่า Δx และ Δt มีแนวทางการกำหนดดังจะกล่าวต่อไป

ค.3.3 ทางน้ำที่ไม่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือก Δx และ Δt ได้แก่ ความลาดชันท้องน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) อัตราการไหลต่ำสุด ความกว้างผิวน้ำ และรูปร่างของผิวน้ำ โดยมีข้อแนะนำในการเลือก Δx ที่ใช้ในการประมวลผล คือ

- 1) จำนวนหน้าตัดต้องไม่มากกว่า 20 เท่า ของความกว้างผิวน้ำ
- 2) แต่ละหน้าตัดห่างกันไม่เกิน $1/2S$;

$$S = \text{ความลาดชันเฉลี่ยของแม่น้ำ}$$

3) แต่ละหน้าตัดห่างกันไม่เกิน $0.2D/S$;

$D =$ ชนิดของความลึกการไหล

4) ในพื้นที่ที่มีความเร็วการไหลเฉลี่ยเกิน 1 m/s พื้นที่หน้าตัดเปียกกระหว่างหน้าตัดต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกิน 35% ระหว่างหน้าตัด

และมีข้อแนะนำในการเลือก Δt คือ

- 1) ช่วงของระยะเวลาจะต้องน้อยเพียงพอ เพื่อแก้ปัญหารูปร่างของเงื่อนไหลขอบเขต
- 2) ช่วงเวลาต้องน้อยมาก ถ้าการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในแบบจำลองอย่างรวดเร็ว เช่นการเปิด ปิดบานประตูระบายน้ำอย่างรวดเร็ว
- 3) ถ้ามีการเคลื่อนที่ของระบายน้ำตามเวลาและระยะทางที่วัดได้จากแบบจำลองจำเป็นต้องลดช่วงของระยะเวลาลงเพื่อให้การคำนวณคงที่

ค.3.4 ทางน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง

ทางน้ำที่ได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง โดยทั่วไปมีความลาดชันท้องน้ำต่ำมาก ดังนั้นค่า Δx และ Δt ต้องมากพอในการแก้ไขปัญหาคำนวณจากคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง การหาค่า Δx และ Δt สามารถหาได้ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

ช่วงของระยะเวลา (Δx)

พิจารณาจากความยาวคลื่นที่คำนวณจากความลึกน้ำและคาบคลื่น โดยแบ่งพิจารณาเป็น 100 ช่วง ใน 1 ความยาวคลื่น หรือ $\Delta x = L / 100$ หากหน้าตัดของทางน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว อาจต้องลดระยะห่างระหว่างหน้าตัดให้น้อยลงในช่วยหน้าตัดวิกฤต ระยะห่างระหว่างหน้าตัด อาจเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของข้อมูลและจุดประสงค์ของการศึกษา

ช่วงระยะเวลา (Δt)

การกำหนดช่วงระยะเวลาสำหรับการคำนวณสามารถกำหนดจาก

ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาระยะทาง ซึ่งการเลือกใช้อัตราส่วนระหว่าง $\Delta x / \Delta t$ มีผลต่อความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้ พารามิเตอร์ที่ใช้ทั่วไปที่ใช้เลือกอัตราส่วนความสัมพันธ์นี้ในการคำนวณด้วยแบบจำลองคณิตศาสตร์ได้แก่ Courant Number

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

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

ค.3.5 ทฤษฎีที่ใช้

แบบจำลองแม่น้ำ ในแบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นการเชื่อมต่อกันของทางน้ำ โดยมีจุดควบคุมภายนอกและจุดควบคุมภายในเป็นตัวกำหนดพฤติกรรมที่เปลี่ยนแปลงไป

ค.3.6 พลศาสตร์การไหลในทางน้ำ

พลศาสตร์การไหลในทางน้ำ (Hydrodynamic Channel Flow) ของการเคลื่อนตัวของน้ำในทางน้ำเปิดสามารถอธิบายด้วย “ทฤษฎีน้ำตื้น” หรือ Saint Venant Equation เสนอการใช้กฎการอนุรักษ์มวลและโมเมนตัม การอนุรักษ์มวลก็คือ สมการต่อเนื่อง ซึ่งเป็นการสมดุลระหว่างอัตราการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำและปริมาตรเก็บกัก การอนุรักษ์โมเมนตัม ก็คือสมการพลศาสตร์ ซึ่งเป็นการสมดุลระหว่างแรงเฉื่อย, การแพร่กระจาย, แรงโน้มถ่วง, และแรงเสียดทาน ส่วนแรงอื่น ๆ เช่น แรงลม ความเค้นเฉี่ยของแม่น้ำถือว่าน้อยมาก และแนะนำเอกสารอ้างอิงสำหรับผู้อ่าน เช่น Manmood and Yevjevich (1975) และ Cunge, Holly and Verwey (1980)

ค.3.7 เงื่อนไขขอบเขตภายนอก

เงื่อนไขขอบเขตภายนอก (External Boundary) สำหรับรูปแบบสมการการไหลต่ำกว่าวิกฤตการไหลสามารถเคลื่อนที่ไปได้ 2 ทิศทาง และต้องการเงื่อนไขขอบเขตอิสระทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำ เงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ได้แก่ อัตราการไหล-เวลา, ระดับน้ำ-เวลาและระดับน้ำ-อัตราการไหล (Rating curve) ส่วนการไหลแบบเหนือวิกฤตการไหลเคลื่อนที่ไปทางด้านท้ายน้ำต้องการเงื่อนไขขอบเขตอิสระด้านเหนือน้ำ 2 ตัวแปร ได้แก่ อัตราการไหลและระดับน้ำ

ค.3.8 เงื่อนไขขอบเขตภายใน

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

ค.3.9 ชนิดการประมวลผล

ชนิดของการประมวลผล (Run) ในแบบจำลอง ISIS สามารถเลือกได้ 3 แบบ ได้แก่ การประมวลผลคงที่ การประมวลผลแบบไม่คงที่หรือโหมด ซึ่งมีความเหมาะสมในการใช้งานต่างๆ กันไปคือ การประมวลผลแบบคงที่ หากเลือกการประมวลผลแบบนี้ต้องพิจารณาข้อมูลและเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งการประมวลผลแบบคงที่ใช้วิธีโดยตรง (direct method) หรือวิธีช่วงเวลา (timestepping method)

การประมวลผลแบบไม่คงที่ที่ต้องใส่เวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดเพื่อกำหนดระยะเวลาการประมวลผล ข้อมูลที่ใส่ในเงื่อนไขขอบเขตต้องครอบคลุมการจำลองตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดเวลาจำลอง เช่น การกำหนดคลื่นต้องกำหนดต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดการประมวลผล และสามารถกำหนดช่วงเวลาในระหว่างการคำนวณได้ หากไม่ใส่ค่านี้โปรแกรมจะกำหนดให้มีช่วงเวลาเป็น 20 วินาที และสามารถเลือกบันทึกข้อมูลตามช่วงเวลาที่ต้องการได้ด้วย และหากมีการประมวลผลแบบคงที่มาก่อนหน้านี้ก็สามารถใช้การประมวลผลแบบคงที่นี้เป็นเงื่อนไขเริ่มต้นได้

โหมด (mode) ใช้สำหรับทดสอบข้อมูลจากขอบเขตในช่วงเวลาสม่ำเสมอ ในช่วงเวลาที่กำหนดโดยไม่ต้องการจบการประมวลผล ได้แก่ การทดลอง Rating Curve หรือผลระหว่างกรไหลผ่านสะพาน ผลจากการประมวลผล นำเสนอในรูปของตาราง โดยค่าที่นำเสนอในตารางสามารถเลือกแสดงได้ดังนี้

- 1) ค่าสูงสุดและต่ำสุดของทุกตัวแปรและทุกตำแหน่ง
- 2) ตารางแสดงผลของช่วงเวลา que เลือกในทุตำแหน่ง
- 3) ตารางแสดงผลของช่วงเวลา que เลือก ณ ตำแหน่งที่เลือก

ผลการประมวลผล ที่นำเสนอในรูปของกราฟ ได้แก่

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

นอกจากนี้ยังสามารถแสดงเป็นรูปเคลื่อนไหวได้ตามเวลาของรูปตัดตามขวาง และรูปตัดตามยาว

ค.4 หลักการแบบจำลอง ISIS Quality

ISIS Quality เป็น Module หนึ่งของโปรแกรม ISIS ในการจัดทำแบบจำลองคุณภาพน้ำ รายละเอียดของโปรแกรม ISIS Quality มีดังต่อไปนี้

โปรแกรม ISIS Quality ใช้วิธี Finite Difference มาประมาณสมการการพาและการแพร่ (Advection - Diffusion Equation) เป็นแบบจำลองที่ใช้ความลึกโดยเฉลี่ยของลำน้ำ และสามารถสร้างแบบจำลองการไหลของโคลน และการทำนายคุณภาพน้ำนั้นได้โปรแกรม ISIS Quality สามารถใช้จำลอง Parameter และกระบวนการดังต่อไปนี้

- 1) สารมลพิษที่คงตัว
- 2) สารมลพิษที่สามารถย่อยสลายได้
- 3) โคลิฟอร์ม
- 4) เกลีส
- 5) อุณหภูมิของน้ำ
- 6) ตะกอน
- 7) สมดุลของออกซิเจน
- 8) การทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับน้ำหรือตะกอน
- 9) Phytoplankton
- 10) Macrophytes
- 11) Benthic Algae
- 12) สภาพกรดต่าง

โปรแกรม ISIS Quality ได้แยกแต่ละปัจจัยออกไปโมดูลทำให้ไม่จำเป็นต้องมีข้อมูลทุกๆ กระบวนการเพื่อสร้างแบบจำลอง อย่างไรก็ตามในสภาพจริงของแม่น้ำจะประกอบด้วยหลายๆ กระบวนการที่มีผลเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น ในบางโมดูลจะไม่สามารถจำลองขึ้นมาได้ถ้าขาดข้อมูลบางอย่างไปตัวอย่างเช่น การเจริญเติบโตของ Phytoplankton จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดและความสัมพันธ์ของโมดูลต่างๆ แสดงในรูป ค-2 สามารถสรุปได้ดังนี้

ค.4.1 สารมลพิษที่คงตัว

โปรแกรม ISIS Quality สามารถจำลองการเคลื่อนที่ของสารมลพิษที่คงตัว เช่น แคดเมียม โดยกำหนดให้สารมลพิษในส่วนนี้ไม่ทำปฏิกิริยากับสารมลพิษอื่นหรือตัวแปรอื่นๆ ทำให้โมดูลนี้สามารถกระทำได้โดยอิสระ

ค.4.2 สารมลพิษที่ย่อยสลายได้ และโคลิฟอร์ม (Decaying Pollutants and Coli form)

โคลิฟอร์มและสารมลพิษบางอย่างสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถจำลองการเคลื่อนที่และการย่อยสลายได้ โดยไม่ขึ้นกับโมดูลอื่น

ค.4.3 เกลือ (Salt)

การเคลื่อนที่ของเกลือจะมีความสำคัญเป็นพิเศษในบริเวณที่มีน้ำทะเลเข้าถึงหรือบริเวณปากแม่น้ำ ค่าความเค็มที่เปลี่ยนแปลงไปมีผลต่อการไหลและค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย รวมทั้งออกซิเจนที่ละลายในน้ำเค็มจะมีปริมาณที่น้อยกว่าที่ละลายในน้ำจืดมาก ดังนั้น ค่าความเค็ม (Salinity) จะเป็นตัวแปรที่สำคัญต่อการคาดการณ์ระดับ DO บริเวณปากแม่น้ำ ค่าความเค็มที่ได้จากการจำลองสามารถนำไปใช้หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายได้ซึ่งโมดูลนี้สามารถกระทำได้โดยอิสระและจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการจำลองคุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำ

ค.4.4 อุณหภูมิ (Temperature)

การจำลองกระบวนการทางชีวเคมี และชีวภาพส่วนใหญ่ในโปรแกรม ISIS Quality จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิจะมีผลต่ออัตราการทำปฏิกิริยาของกระบวนการ การจำลองอุณหภูมิมักจะใช้ค่าคงที่หรือให้มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาและพื้นที่ก็ได้ สำหรับการจำลองบริเวณปากแม่น้ำความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในแม่น้ำและอุณหภูมิของทะเลจะมีความสำคัญ รวมทั้งต้องพิจารณาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลด้วย โมดูลนี้สามารถกระทำได้โดยอิสระถึงแม้ว่าปกติจะใช้ร่วมกับโมดูล เช่น DO, Phytoplankton, Benthic Algae และ Macrophytes

ค.4.5 ตะกอน (Cohesive Sediment)

สารแขวนลอยหรือโคลนมีการเคลื่อนย้ายเช่นเดียวกับสารมลพิษที่ไม่ย่อยสลายหรือเกลือ นอกจากนี้โคลนสามารถตกตะกอนลงไปยังก้นแม่น้ำอัตโนมัติบนพื้นล่างหรือถูกกักเซาะขึ้นมาถึงชั้น Water Column ใหม่โดยขึ้นอยู่กับการไหลในแม่น้ำ นอกจากนี้น้ำที่ยังอยู่ในท้องน้ำจะถูกนำมาสร้างแบบจำลองด้วยสมมูลนี้ก็สามารถทำได้โดยอิสระ ถ้าหากการสร้างแบบจำลองปฏิริยาระหว่างสมมูลของออกซิเจนและการตกตะกอนหรือโมดูล Phytoplankton มีความจำเป็นแล้ว โมดูลนี้ก็ต้องรวมอยู่ในการสร้างแบบจำลองด้วย

ค.4.6 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

สมมูลของออกซิเจนในโปรแกรม ISIS Quality จะขึ้นอยู่กับเคลื่อนย้ายการฟุ้งกระจายและการทำปฏิริยาของสารที่ละลายและไม่ละลายได้ของอินทรีย์สารและไนโตรเจนที่สามารถออกซิไดส์ได้ โมดูลนี้จะครอบคลุมเฉพาะตัวแปรที่ละลายน้ำได้ เช่น BOD ที่ละลายน้ำอินทรีย์ไนโตรเจน แอมโมเนียไนโตรเจน ไนไตรท์ ไนเตรต และออกซิเจนละลายน้ำ ออกซิเจนละลายน้ำที่ใช้ในแบบจำลองนี้มาจากการเติมอากาศซ้ำที่ผิวน้ำและถูกใช้ไปในการย่อยสลาย BOD และในกระบวนการไนตริฟิเคชัน โดยให้ BOD ใช้ ออกซิเจนออกไซด์ของไนโตรเจน และถ้าไม่มีทั้งไนไตรท์ และไนเตรต ออกซิเจนก็จะถูกดึงจากซัลเฟต อัตราการเกิดปฏิริยาที่จำลองในโมดูลนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังนั้นจะต้องใช้โมดูลอุณหภูมิร่วมด้วย สำหรับแบบจำลองบริเวณปากแม่น้ำหรือบริเวณที่มีน้ำเค็มก็จะต้องมีโมดูลเกลือประกอบเนื่องจากความเค็มจะมีผลต่อค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำที่อิ่มตัว

ค.4.7 โครงสร้างทางอุทกศาสตร์ (Structure)

เมื่อมีการจำลองสมมูลของออกซิเจน อาจจะมีการเติมอากาศโดยใช้โครงสร้างทางอุทกศาสตร์ เช่น ฝาย (Weir) หรือประตูน้ำ ซึ่งสามารถจำลองได้โดยกำหนดพารามิเตอร์ของโครงสร้างในโมดูลนี้ และจะต้องใช้ร่วมกับโมดูลออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen Module)

ค.4.8 ความต้องการออกซิเจนของตะกอน (Oxygen with Sediment)

ในกระบวนการสมดุลของออกซิเจนของโปรแกรม ISIS Quality จะเกี่ยวข้องกับกระบวนการตะกอน โดยตะกอน BOD จะดึงออกซิเจนในน้ำมาใช้ และสามารถตกตะกอนหรือถูกกักเซาะบริเวณท้องแม่น้ำได้ กระบวนการสมดุลของออกซิเจนที่อธิบายแล้วในโมดูลออกซิเจนละลายน้ำก็จำลองในแบบเดียวกันที่กับโมดูลนี้ ดังนั้น 2 โมดูลนี้จึงใช้ควบคู่กัน

ค.4.9 Phutoplankton

ผลิตผลขั้นต้น (Primary Productivity) เป็นกระบวนการซึ่งพืชและสาหร่ายใช้ส่วนประกอบอินทรีย์มาผลิตสารอินทรีย์ โดยสิ่งที่มีชีวิตเหล่านี้ใช้พลังงานจากการสังเคราะห์แสงทำการถึงสารอาหารที่มีอยู่ในน้ำในรูปของไนเตรตและฟอสฟอรัสสร้างเซลล์ใหม่และมีออกซิเจนเป็นผลพลอยได้ ส่วนสารอาหารที่เหลือก็จะถูกปล่อยกับมายังแหล่งน้ำด้วยกระบวนการหายใจและการย่อยสลายซากผู้พัง (Detritus) ในโมดูลนี้ ซากผู้พังนี้จะถูกจำลองให้เป็นอนุภาคที่สามารถตกตะกอนและถูกกักเซาะที่ก้นแม่น้ำได้ โดยกำหนดให้สาหร่ายเป็นตัวแทนของสิ่งที่มีชีวิตทั้งหมด โมดูลนี้จะต้องใช้ควบคู่กับ Oxygen with Sediment Module และ Solar Radiation Module

ค.4.10 Macrophyted

Macrophyted เป็นพืชขนาดใหญ่ที่มีรากฝังอยู่ในก้นแม่น้ำ และสามารถดึงสารอาหารจากน้ำที่ขังอยู่ที่ก้นน้ำ (Pore Water) ได้นอกจากนี้การเจริญเติบโตของพืชชนิดนี้จะถูกจำกัดด้วยแสงอาทิตย์และปริมาณสารอาหาร โมดูลนี้จะต้องใช้ร่วมกับ Phytoplankton Module

ค.4.11 Benthic Algae

โมดูลนี้จะใช้จำลองการเจริญเติบโตของสาหร่ายบางชนิดที่อาศัยอยู่บริเวณก้นแม่น้ำ โดยนำกระบวนการจำลองจาก Phytoplankton Module มาปรับใช้ยกเว้นกำหนดให้สาหร่ายอาศัยอยู่บริเวณก้นแม่น้ำ ดังนั้นสาหร่ายนี้สามารถกลับมาแขวงลอยได้ใหม่ เมื่อก้นน้ำถูกกัดเซาะและถูกพัดพาไปบริเวณอื่นได้ โมดูลนี้จะต้องใช้ Phytoplankton Module มาประกอบด้วย

ค.4.12 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)

การเจริญเติบโตของ Phytoplankton, Macrophyte และ Benthic Algae ขึ้นอยู่กับแสงแดดซึ่งวัดปริมาณจากการแผ่รังสีและใช้ค่านี้หาแพดเตอร์ของแสงที่จำกัดการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้สมดุลงจำเป็นต้องมีถ้ามีการใช้ Phytoplankton Module

ค.4.13 Sillicate

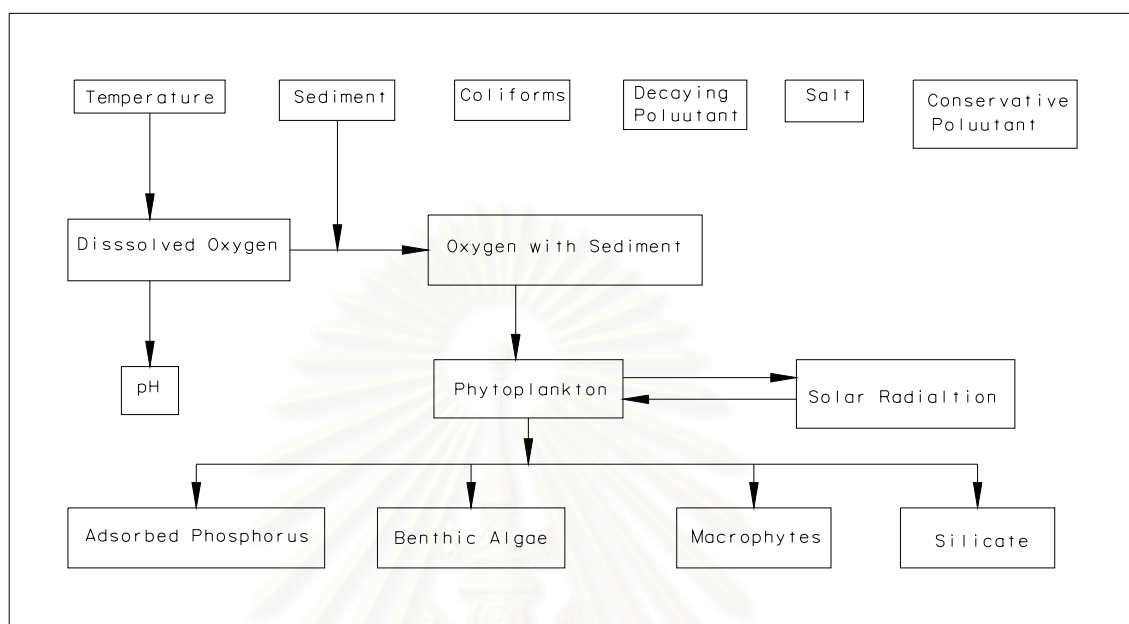
ในโมดูลเหล่านี้ไม่ว่าจะเป็น Phytoplankton, Macrophyte และ Benthic Algae ต่างก็กำหนดให้ไนเตรตและฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่จะเป็นที่สุดต่อการเจริญเติบโตสำหรับซิลิเกต ก็ถือว่าเป็นสารอาหารชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการเจริญเติบโตเช่นกัน โดยมีผลต่อการเจริญเติบโตของไดอะตอม เมื่อซิลิโคนรวมตัวกับผนังเซลล์ ดังนั้น ถ้ากำหนดให้ซิลิเกตเป็นสารอาหารที่จำเป็นแล้ว โมดูลนี้ก็จะต้องรวมอยู่ในแบบจำลองด้วย และใช้ร่วมกับ Phytoplankton Module

ค.4.14 Adsorbed Phosphorus

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่ตะกอนสามารถดูดซับได้ แต่ Phytoplankton, Macrophytes และ Benthic Algae ไม่สามารถถึงฟอสฟอรัสรูปนี้มาใช้ได้ จะต้องเป็นฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในรูปออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphates) ถึงเป็นรูปที่เหมาะสมให้พืชและสาหร่ายนำมาใช้ได้ ISIS Quality สามารถจำลองการดูดซับฟอสเฟตบนผิวตะกอนและกลับกันเป็นรูปสารละลายได้ ซึ่งกระบวนการนี้จะมีความสำคัญเมื่อมีการจำกัดฟอสเฟตสำหรับพืชและสาหร่าย โดยโมดูลนี้จะใช้ร่วมกับ Phytoplankton Module

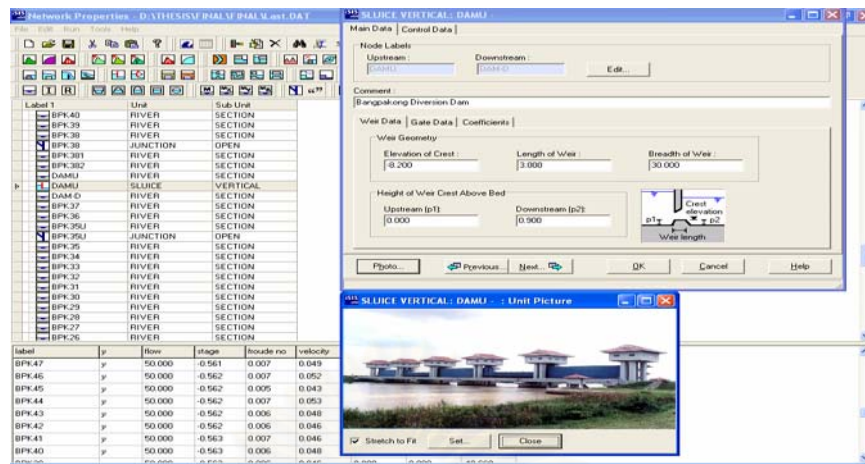
ค.4.15 สภาพกรดต่าง (pH)

ค่า pH จะเป็นตัวกำหนดค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำ โดยโปรแกรม ISIS Quality จะใช้ค่านี้คำนวณหาสัดส่วนแอมโมเนียไนโตรเจน ซึ่งมีคุณสมบัติไม่แตกประจุ สัดส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับ pH และอุณหภูมิ โมดูลนี้จะต้องใช้ร่วมกับ Dissolved Oxygen Module

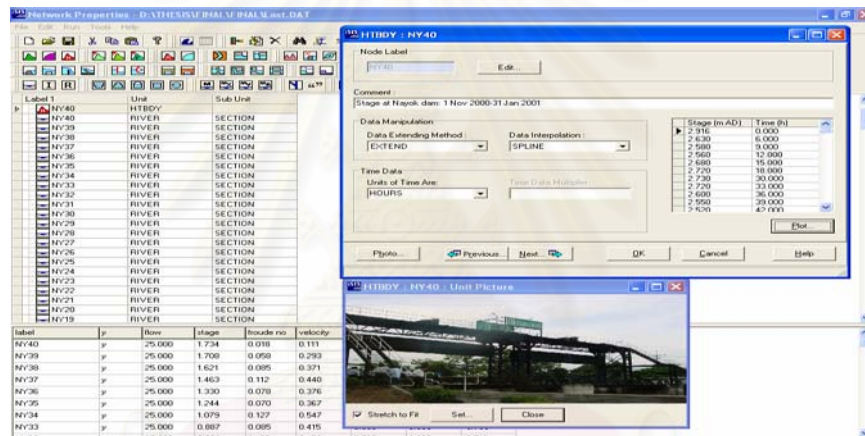


รูป ค-2 ความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรในกระบวนการวิเคราะห์คุณภาพน้ำแบบจำลอง ISIS Quality

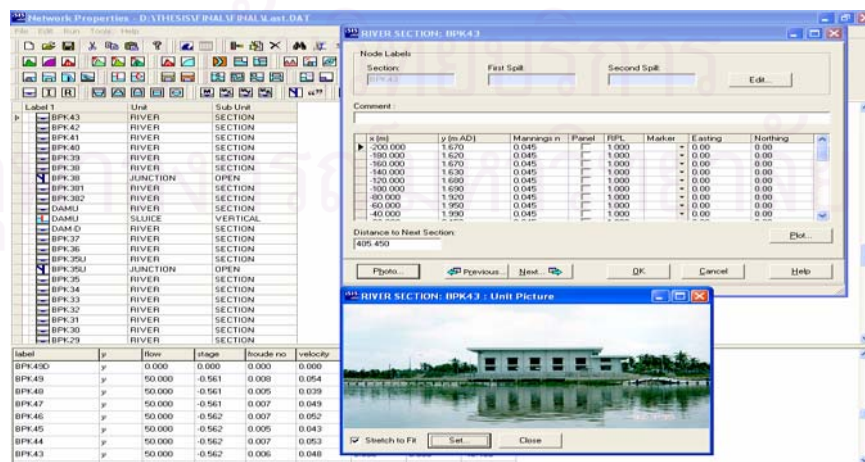
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



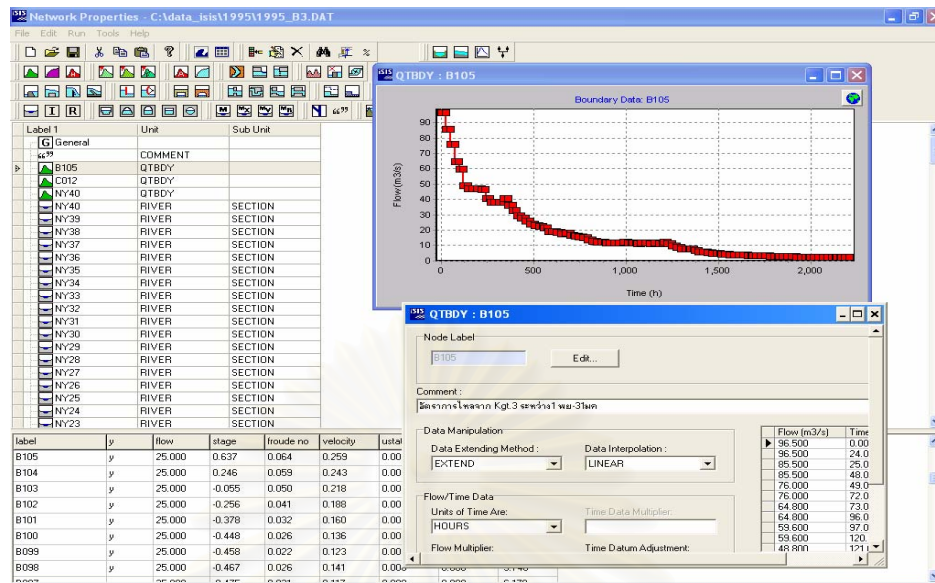
รูป ค-3 ข้อมูลหน้าตัดเขื่อนทดน้ำ ในโปรแกรม ISIS



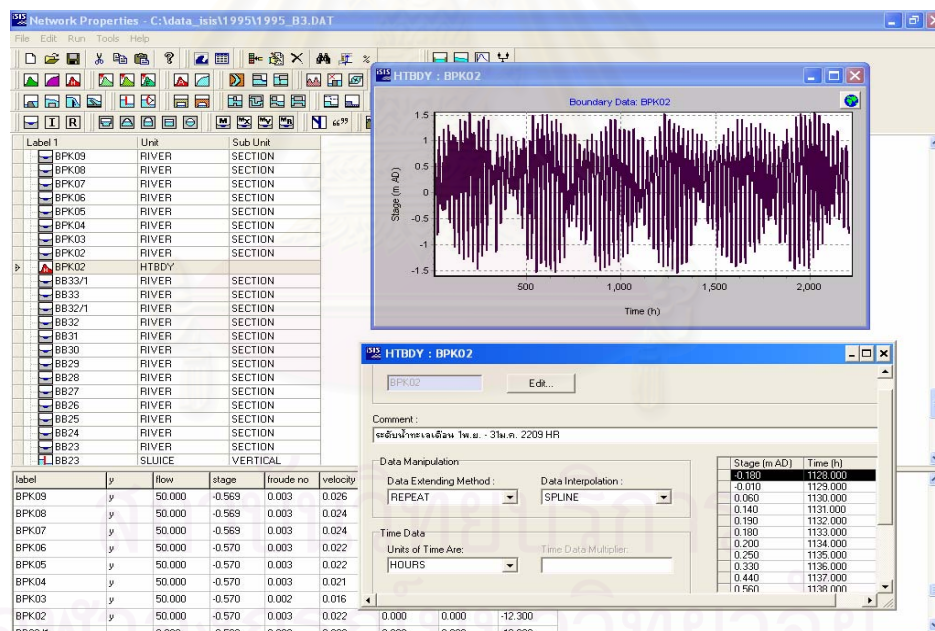
รูป ค-4 ข้อมูลหน้าตัดบริเวณเขื่อนนายก ในโปรแกรม ISIS



รูป ค-5 ข้อมูลหน้าตัดบริเวณสถานีสูบน้ำในโปรแกรม ISIS



รูป ค-6 ตัวอย่างข้อมูล สถานีวัดน้ำท่า KGT.3 ในโปรแกรม ISIS



รูป ค-7 ตัวอย่างข้อมูล สถานีวัดระดับน้ำ ที่ปากแม่น้ำ กรมเจ้าท่า ในโปรแกรม ISIS



ภาคผนวก ง
รายงานสำรวจภาคสนาม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.1 การตรวจคุณภาพพื้นที่ศึกษาเบื้องต้น ครั้งที่ 1

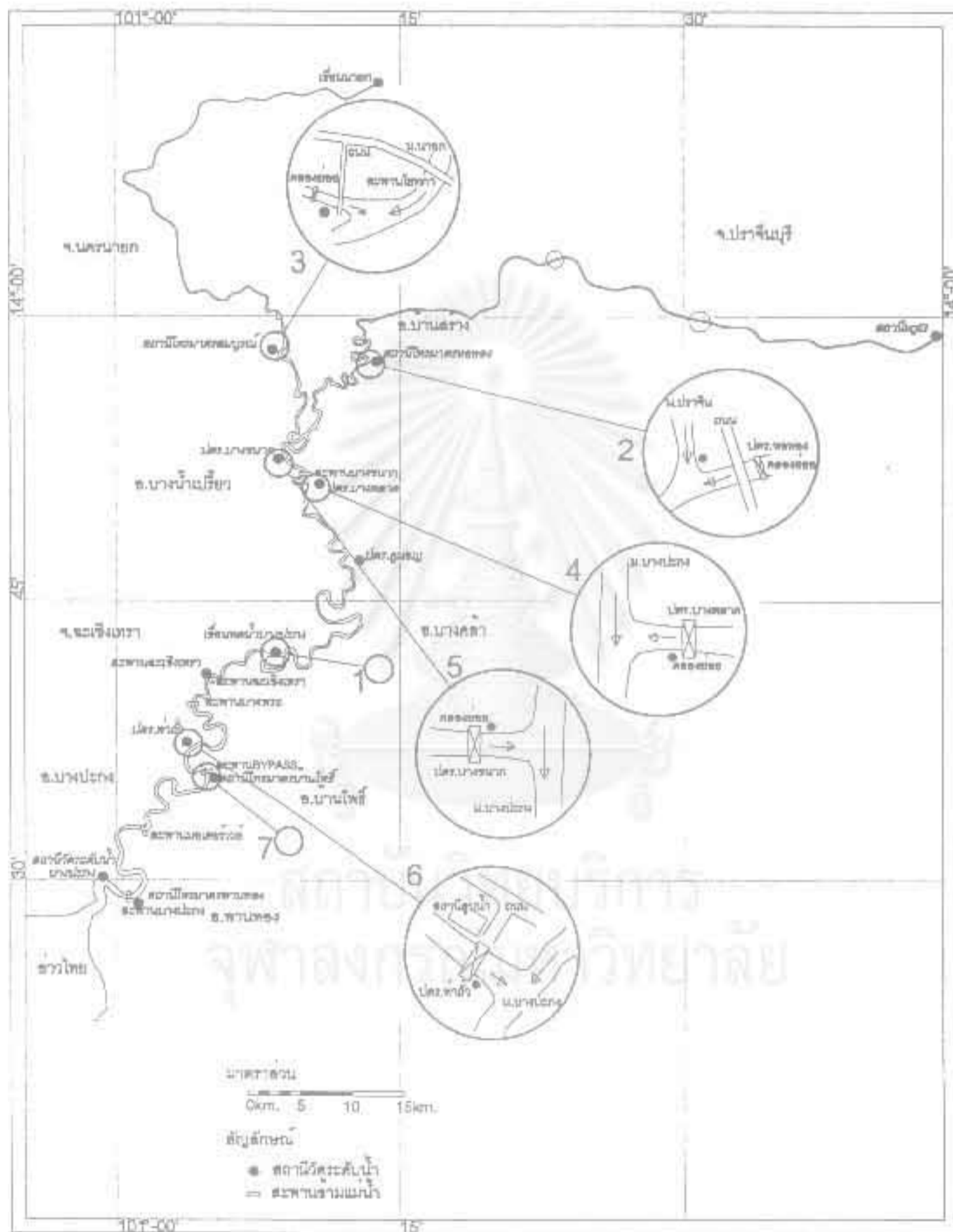
การตรวจคุณภาพพื้นที่ของโครงการเขื่อนทดน้ำบางปะกง และสถานที่ต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้ดำเนินการเมื่อวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2546

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาสภาพพื้นที่ทั่วไป จากการออกภาคสนามและ สังเกตการณ์ลักษณะและที่ตั้งของสถานีวัดระดับน้ำที่สำคัญ ที่ตั้งอยู่ในช่วงระหว่างสถานีโทรมาตรบ้านโพธิ์ถึงสถานีโทรมาตรหอทอง และสถานีโทรมาตรสมบุญ
- 2) เพื่อติดต่อขอเข้าสำรวจระดับน้ำ ความเร็วการไหล และการตรวจวัดความเค็ม ที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง

สรุปผลการสำรวจ

จากการออกสำรวจภาคสนามครั้งที่ 1 ได้สังเกตเห็นที่ตั้งของสถานีวัดระดับน้ำที่สำคัญ ดังแสดงที่ตั้งในรูป ง-1 ซึ่งตำแหน่งของสถานีวัดระดับน้ำอยู่ห่างจากแม่น้ำบางปะกงสายหลัก ประมาณ 50-200 เมตร สภาพโดยทั่วไปอยู่ในสภาพดี และได้กำหนดตำแหน่งสำหรับวัดระดับน้ำ ความเร็วการไหล และการตรวจวัดความเค็ม ที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง เนื่องจากจุดอื่นมีระดับสะพานที่สูงเกินไป



รูป 4-1 ตำแหน่งจุดสกัดจากคณนามเบื้องต้น ตามลำดับ



รูปที่ ง-2 สถานีโทรมาตรท้ายเขื่อนทดน้ำบางปะกง



รูปที่ ง-3 ซ้าย: สถานีโทรมาตรหอทอง ขวา: ด้านต้นน้ำของสถานีโทรมาตรหอทอง



รูปที่ ง-4 ปตร.หอทอง



รูปที่ ง-5 ซ้าย: ปตร.สมบรูณ์ ขวา: ด้านท้ายน้ำของ ปตร.สมบรูณ์

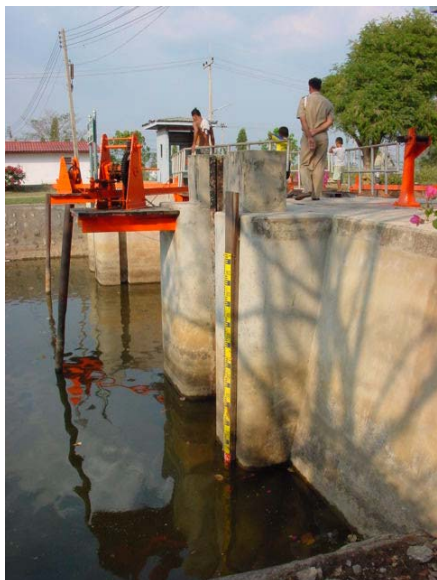
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ง-6 ซ้าย: ปตร.บางกระดานทางด้านต้นน้ำ ขวา: ปตร.บางกระดานทางด้านท้ายน้ำ



รูปที่ ง-7 ซ้าย: ไม้ระดับทางด้านท้ายน้ำของ ปตร.บางขนาก ขวา: ปตร.บางขนากทางด้านต้นน้ำ



รูปที่ ง-8 ซ้าย: ปตร.ทำถ้วทางด้านต้นน้ำ ขวา: ปตร.ทำถ้วทางด้านท้ายน้ำ



รูปที่ ง-9 ซ้าย: สถานีโทรมาตรบ้านโพธิ์ ขวา: เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำที่สถานีโทรมาตรบ้านโพธิ์



รูปที่ ง-10 ซ้าย: สะพานบายพาสใกล้สถานีโทรมาตรบ้านโพธิ์ ขวา:ท่าเทียบเรือ

ง.2 การตรวจวัดคุณภาพน้ำด้านความเค็มแม่น้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ครั้งที่ 2

การตรวจวัดคุณภาพน้ำด้านความเค็มของแม่น้ำบางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา ครั้งที่ 2 ได้ดำเนินการเมื่อวันที่ 3-4 มีนาคม 2546

วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อการเรียนรู้การปฏิบัติงานจริงในการตรวจวัดคุณภาพน้ำด้านความเค็มในสนาม เช่น การเก็บตัวอย่าง การใช้เครื่องมือตรวจวัด เป็นต้น
- 2) เพื่อให้ทราบค่าการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำในช่วงเวลา 24 ชั่วโมงของแม่น้ำบางปะกง
- 3) เพื่อหาความสัมพันธ์การขึ้นลงของแม่น้ำกับการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของแม่น้ำบางปะกง
- 4) เพื่อนำข้อมูลมาใช้ปรับเทียบหาค่า Dispersion Coefficient ที่เหมาะสมกับแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Isis Quality Program)

ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

- 1) เลือกสถานที่เก็บตัวอย่างน้ำคือสะพานที่เขื่อนทดน้ำบางปะกง
- 2) กำหนดตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างน้ำ ซึ่งกำหนดตำแหน่งหลักไว้ 3 จุดดังรูป ง-11 คือ
 - 2.1) บนสะพานฝั่งซ้ายของแม่น้ำ
 - 2.2) บนสะพานฝั่งขวาของแม่น้ำ
 - 2.3) บนสะพานตรงกลางแม่น้ำ
- 3) จัดเตรียมเครื่องมือที่ปรับเทียบเรียบร้อยแล้วซึ่งที่ใช้เป็นแบบตรวจวัดค่าโดยการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) ดังรูป ง-12 พร้อมเครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ โดยกำหนดความลึกในการเก็บตัวอย่างจากผิวน้ำลึก 1 เมตร 3 เมตร โดยการทำสัญลักษณ์ไว้ที่เชือกที่จะหย่อนเก็บตัวอย่างน้ำ
- 4) เริ่มปฏิบัติงานที่เวลา 17.00 น.ของวันที่ 3 มีนาคม 2546 โดยกำหนดเก็บข้อมูลทุกๆ 1 ชั่วโมง กำหนดแล้วเสร็จที่เวลา 17.00 น.ของวันที่ 4 มีนาคม 2546

- 5) นอกเหนือการเก็บตัวอย่างน้ำที่กำหนดแล้ว ในรูป ง-13 และ ง-14 ยังมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมบริเวณริมฝั่งซ้ายขวาของตัวเขื่อนทดน้ำ ในรูป ง-15 เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดตามจุดว่าให้ค่าความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด
- 6) เมื่อได้ข้อมูลครบตามที่กำหนดแล้ว นำข้อมูลมาหาค่าความเค็มเฉลี่ยของ ณ.เวลานั้น
- 7) นำข้อมูลระดับน้ำขึ้น-ลงมาหาความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความเค็มของน้ำ

ผลการวิเคราะห์การตรวจวัดค่าความเค็ม

1) ในช่วงเวลาดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเค็มของน้ำ ประมาณ 3 ppt โดยค่าสูงสุดที่วัดได้ประมาณ 14.3 ppt และต่ำสุดประมาณ 11.3 ppt โดยค่าระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่ประมาณ 1.82 ม. โดยค่าระดับน้ำต่ำสุดเท่ากับ -0.94 ม.รทก.และค่าระดับน้ำสูงสุดเท่ากับ +0.88 ม.รทก.

2) ในแต่ละช่วงเวลาที่วัดค่าความเค็ม ค่าที่วัดได้ในแต่ละความลึกและตลอดทั้งหน้าตัดของแม่น้ำให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก กล่าวได้ว่าความเค็มของแม่น้ำบางปะกงมีค่าเท่ากันตลอดทั้งหน้าตัด ไม่มีการแยกชั้นระหว่างน้ำจืดและน้ำเค็ม เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของแม่น้ำเป็นลักษณะมีความกว้างมากแต่ความลึกไม่มาก ทำให้ความเค็มกระจายได้ทั่วทั้งหน้าตัด

3) จากกราฟที่แสดงเปรียบเทียบการขึ้นลงของน้ำกับการขึ้นลงของความเค็มมีการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน คือเมื่อช่วงที่น้ำขึ้นค่าความเค็มก็จะมากขึ้นตามเพราะว่าเป็นการไหลของน้ำจากปากแม่น้ำที่มีความเค็มมากไหลขึ้นไปทางต้นน้ำทำให้น้ำพาความเค็มเข้ามาด้วย และในทางกลับกันช่วงที่น้ำลง ทิศทางการไหลของน้ำจะไหลลงสู่ปากแม่น้ำ ก็จะนำความเค็มไหลลงไปด้วยทำให้ค่าความเค็มของน้ำลดลงตาม เนื่องด้วยการแพร่ของน้ำเค็มขึ้นกับขบวนการพา (convection) และการฟุ้งกระจาย (diffusion) โดยมีทิศทางอัตราการไหลและความเร็วของกระแสที่เกี่ยวข้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ง-11 ตำแหน่งในการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณเขื่อนทดน้ำบางปะกง



รูป ง-12 เครื่องมือวัดความเค็มแบบนำไฟฟ้า Conductivity Meter



รูป ง-13 การเก็บตัวอย่างน้ำ ณ ตำแหน่งกลางแม่น้ำ บนสะพานเขื่อนทดน้ำบางปะกง



รูป ง-14 การเก็บตัวอย่างน้ำ ณ ตำแหน่งฝั่งขวาของแม่น้ำ
บนสะพานเชื่อมทตน์น้ำบางปะกง



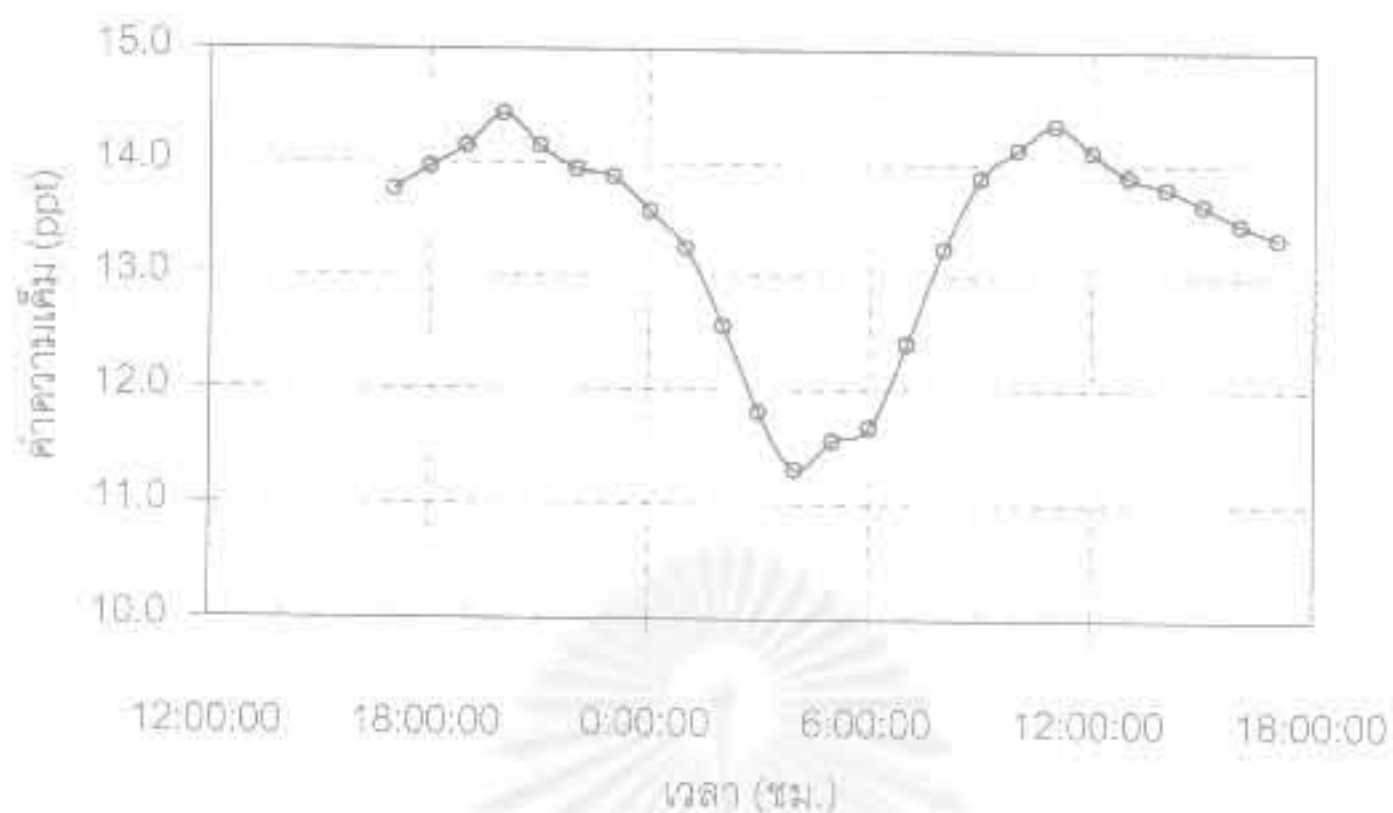
รูป ง-15 การเก็บตัวอย่างน้ำตำแหน่งริมฝั่งของแม่น้ำ (เพิ่มเติม)



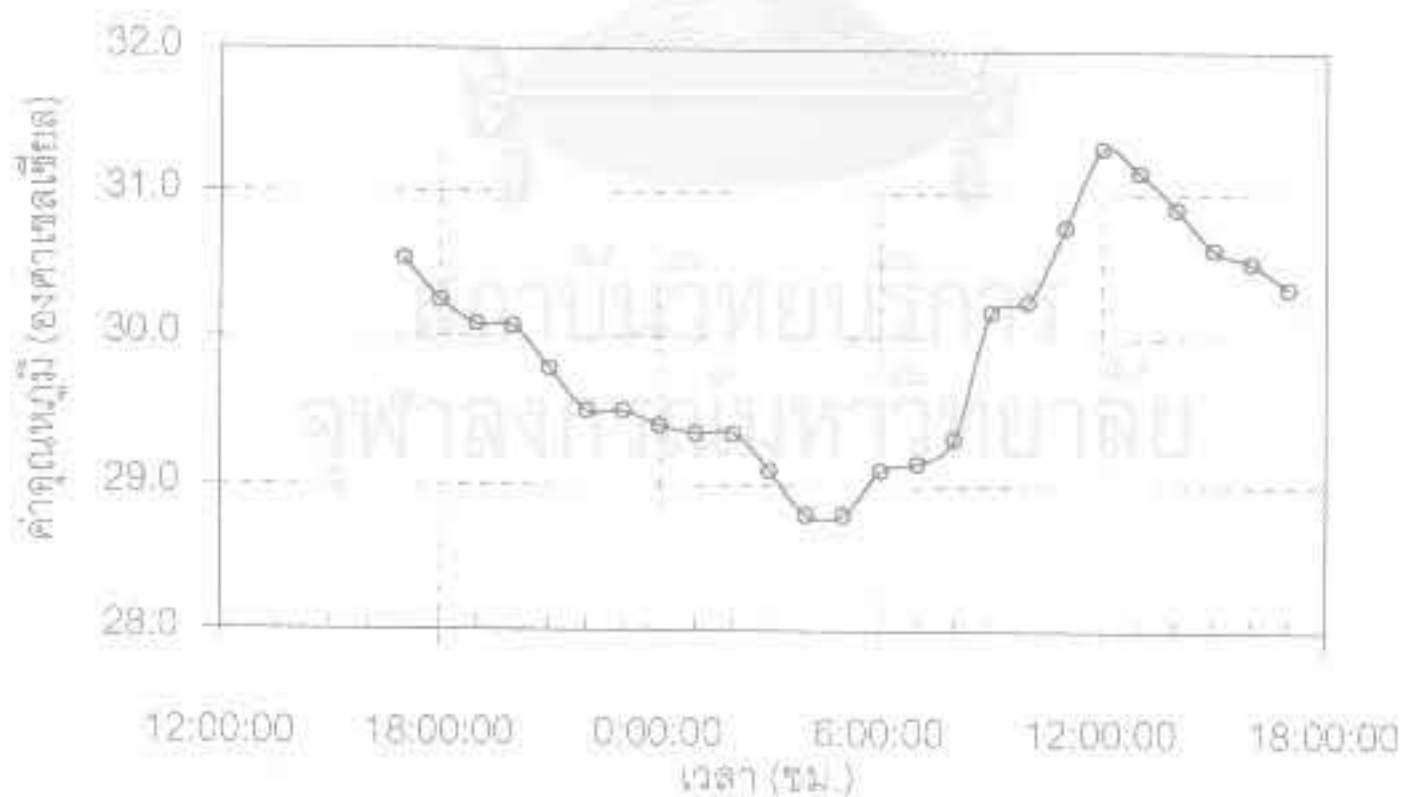
รูป ง-16 การวัดและอ่านค่าความเค็มจากตัวอย่างน้ำ
ของเครื่อง Conductivity Meter

ตาราง ร-1 ผลการตรวจวัดข้อมูลคุณภาพน้ำ ด้านความเค็ม แม่น้ำบางปะกง สัปดาห์ที่ 3-4 มีนาคม พ.ศ.2546

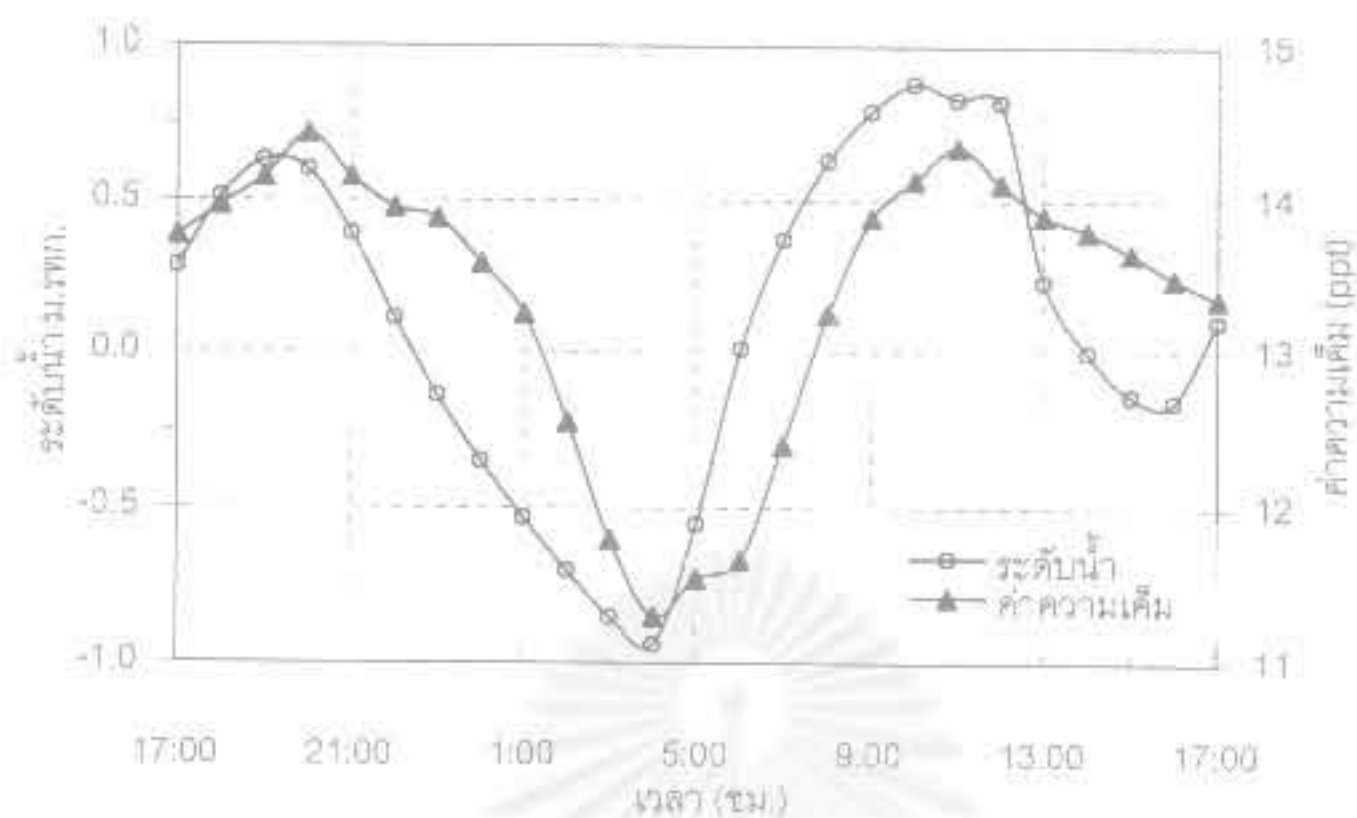
ลำดับที่	วันที่	เวลา	Conductivity Meter		Salinity (ppt)							
			ระดับน้ำ ม.ทก.	ความลึก เมตร	ฝั่งซ้ายของแม่น้ำ		ตรงกลางของแม่น้ำ		ฝั่งขวาของแม่น้ำ		ความเค็มเฉลี่ย (ppt)	
					1 m.	3m.	1 m.	3m.	1 m.	3m.		
1	3/3/2003	17:00	0.28	0.28	13.8	13.8	13.7	13.8	13.7	13.8	13.8	13.77
2	3/3/2003	18:00	0.51	0.51	12.9	14.0	14.0	14.0	13.9	14.0	14.0	13.87
3	3/3/2003	19:30	0.63	0.63	14.1	14.1	14.1	14.2	14.1	14.3	14.3	14.15
4	3/3/2003	20:00	0.60	0.60	14.4	14.5	14.4	14.5	14.3	14.5	14.5	14.43
5	3/3/2003	21:00	0.39	0.39	14.1	14.4	14.0	14.0	14.1	14.3	14.3	14.15
6	3/3/2003	22:00	0.11	0.11	14.0	14.1	13.8	14.0	13.8	14.0	14.0	13.95
7	3/3/2003	23:00	-0.14	0.14	13.9	14.0	13.7	13.8	13.9	14.0	14.0	13.88
8	4/3/2003	0:00	-0.35	0.35	13.5	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.56
9	4/3/2003	1:00	-0.53	0.53	13.1	13.2	12.2	12.4	12.5	12.5	12.5	12.25
10	4/3/2003	2:00	-0.70	0.70	12.4	12.4	12.5	12.4	12.5	12.5	12.5	12.55
11	4/3/2003	3:00	0.85	0.85	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.80
12	4/3/2003	4:00	-0.94	0.94	11.2	11.2	11.3	11.3	11.3	11.3	11.3	11.30
13	4/3/2003	5:00	-0.55	0.55	11.5	11.5	11.6	11.6	11.5	11.5	11.5	11.55
14	4/3/2003	6:00	0.01	0.01	11.6	11.7	11.6	11.7	11.7	11.7	11.7	11.67
15	4/3/2003	7:00	0.37	0.37	12.3	12.4	12.4	12.5	12.4	12.4	12.4	12.40
16	4/3/2003	8:00	1.63	0.82	13.1	13.3	13.5	13.3	13.2	13.3	13.3	13.25
17	4/3/2003	9:00	0.79	0.79	13.6	13.8	13.9	13.9	13.8	13.8	13.8	13.68
18	4/3/2003	10:00	0.68	0.68	14.1	14.1	14.1	14.2	14.1	14.2	14.2	14.13
19	4/3/2003	11:00	0.63	0.63	14.2	14.3	14.4	14.5	14.3	14.4	14.4	14.35
20	4/3/2003	12:00	0.82	0.82	13.5	13.9	14.1	14.3	14.3	14.3	14.3	14.12
21	4/3/2003	13:00	0.73	0.73	14.0	13.8	14.0	13.9	13.9	13.8	13.8	13.80
22	4/3/2003	14:00	0.00	0.00	13.7	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.60
23	4/3/2003	15:00	-0.14	0.14	13.7	13.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.65
24	4/3/2003	16:00	-0.16	0.16	13.4	13.4	13.4	13.5	13.5	13.5	13.5	13.46
25	4/3/2003	17:00	0.10	0.10	13.3	13.3	13.3	13.4	13.4	13.4	13.4	13.35



รูป ง-17 ค่าการตรวจวัดคุณภาพน้ำ ด้านความเค็ม แม่น้ำบางปะกง
ณ บริเวณเขื่อนทดน้ำบางปะกง ระหว่างวันที่ 3-4 มีนาคม 2546



รูป ง-18 ค่าการตรวจวัดอุณหภูมิ น้ำ แม่น้ำบางปะกง
ณ บริเวณเขื่อนทดน้ำบางปะกง ระหว่างวันที่ 3-4 มีนาคม 2546



รูป ง-19 ค่าระดับน้ำกับความเค็มของน้ำ แม่น้ำบางปะกง
ณ บริเวณเขื่อนทดน้ำบางปะกง วันที่ 3-4 มีนาคม 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรุปและข้อเสนอแนะ

1) ค่าความเค็มของแม่น้ำบางปะกงตลอดทั้งหน้าตัดมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหนึ่งมิติ(Isis Quality Program)มาร่วมศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์เรื่ององค์ประกอบทางศาสตร์ในการเปิด-ปิด บานประตูเชื่อมท่อน้ำบางปะกง จึงน่าจะทำให้ผลการศึกษาในส่วนของการศึกษาการรุกตัวของน้ำเค็มในแม่น้ำบางปะกงมีความน่าเชื่อถือได้เป็นอย่างดี

2) การตรวจวัดครั้งนี้ สภาพระดับน้ำที่ขึ้นลงยังอยู่ในช่วงที่มีค่าน้อย สำหรับผู้ที่สนใจหรือผู้ที่ศึกษาเน้นทางด้านความเค็มหลัก ควรจะมีข้อมูลความเค็มในสภาพการเกิดของน้ำแบบต่างๆเพื่อจะได้มีข้อมูลที่ชัดเจนยิ่งขึ้น

3) ควรมีการตรวจวัดที่จุดต่างๆของลำน้ำเพื่อจะได้เห็นค่าความเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนยิ่งขึ้นอย่างน้อยควรจะมี 2 จุด เนื่องจากการตรวจวัดครั้งนี้มีการตรวจเพียง 1 จุด ผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูลค่าความเค็มของน้ำ แม่น้ำบางปะกงจากระบบโทรมาตรของกรมชลประทานเพิ่มอีก 3 จุด มาร่วมในการศึกษาเพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้



สถาบันวิจัยบริการ
จฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ
คู่มือปฏิบัติการเขื่อนบทที่ 4 ถึงบทที่ 5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHAPTER 4. CALCULATION METHOD

4.1 Outline

Outline of calculating method for inflow data from data input is shown in Fig.4.1.

4.2 Calculating Formula

The formulas for calculating dam and telemetry quantities are shown in Table 4.1 through Table 4.4.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

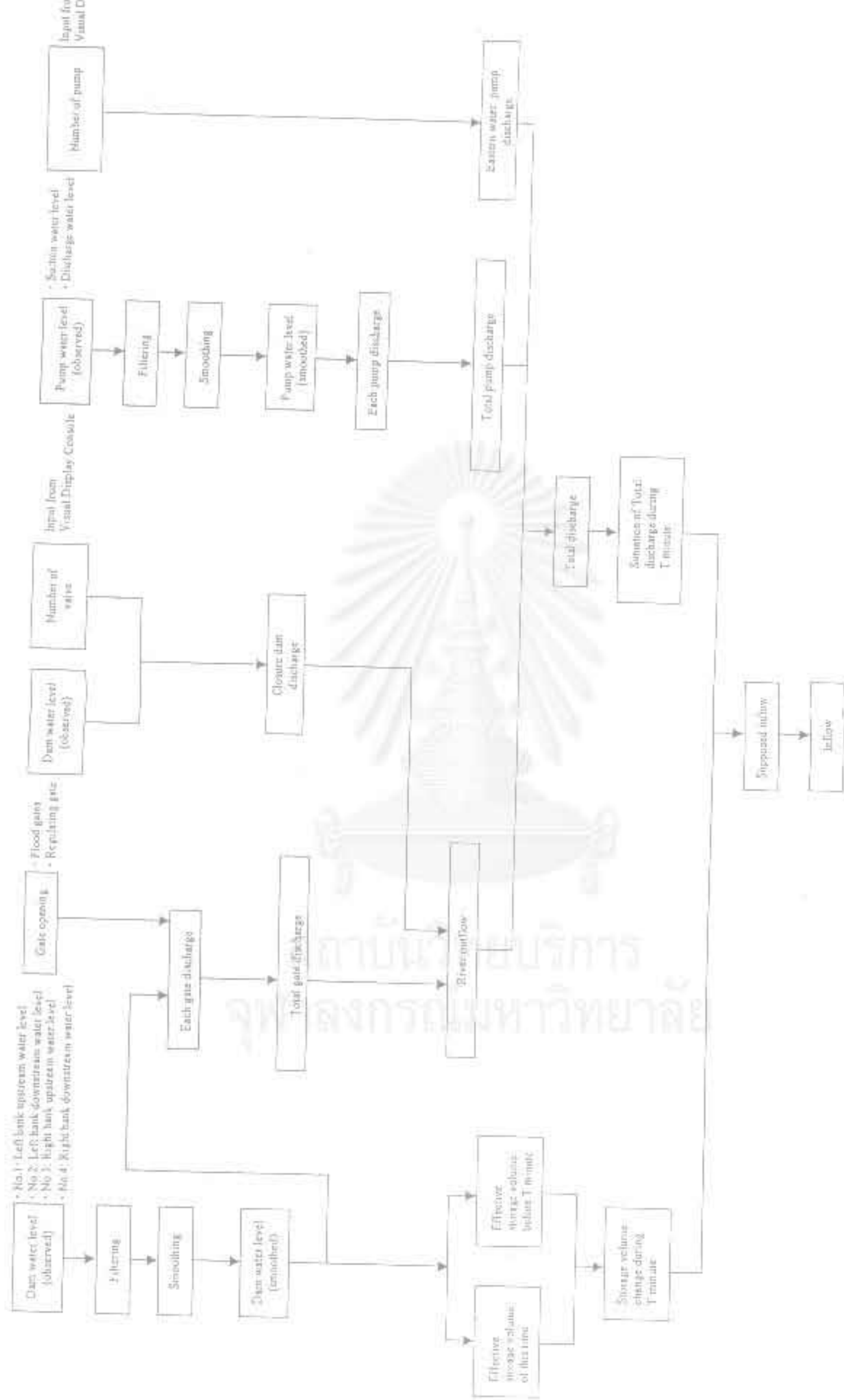


Fig.4.1 FLOW CHART OF DAM DATA CALCULATION

Table 4.3 (L4) of Calculation of Dam Data (Discontinuous values) (17)

No.	Item	Method of calculation	Condition for Measured data (con. measured-sample)	Minimum	Alarm	Gain operation reports		Interval interval for display on the computer and the graphic panel	Remarks
						On the hour	Periodic time		
1	Dam water level	(1) Error-free When the dam water level changes by more than 2cm for 2 seconds, the data are excluded from the subject of the calculation (2) Subsequent $H_t = \frac{H_{t-1} + H_{t+1}}{2}$ H _t : Averaged dam water level (m) H _{t-1} : Sampling dam water level of (t-1) time (m) H _{t+1} : Sampling dam water level before (t+1) time (m) N: Number of samplings (n=30) Sampling of the dam water level is performed every 2 seconds	When the measured output of the dam water level has not been obtained, the measured output of the measured dam water level is also not obtained.	0.01m	Upper limit Lower limit	Same as left Same as left	Every 2 sec	Dam water level No. 1 Left bank upstream No. 2 Left bank downstream No. 3 Right bank downstream No. 4 Right bank downstream	
2	Effective storage volume	Calculated by dam 2-point linear interpolation method, based on the table of the dam water level vs. Volume. See 4.3.11	When the measured output of the dam water level has not been obtained, the measured output of the effective storage volume is also not obtained.	0.01m ³	None	Same as left	Every 2 sec		
3	Flow gate discharge (m ³ /s)	See 4.3.2 (a) Discharge at culvert variable gate	When the measured output of gate, dam water level, gate opening, and discharge observed, the measured output of the flow gate discharge is also not obtained.	0.01m ³ /s	None	Same as left	Every 2 sec		
4	Total flood gate discharge	$Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$ Q _T : Total flood gate discharge (m ³ /s) Q ₁ : Flood gate discharge for each gate (m ³ /s)	When one of the measured outputs of gate, dam water level has not been obtained, the measured output of the total flood gate discharge is also not obtained.	0.01m ³ /s	None	Same as left	No indication		
5	Regulating gate discharge (m ³ /s)	See 4.3.2 (b) Discharge with 0.5mm through gate	When the measured output of either dam water level or gate opening has not been obtained, the measured output of the regulating gate discharge is also not obtained.	0.01m ³ /s	None	Same as left	Every 2 sec		
6	Total regulating gate discharge	$Q_R = Q_1 + Q_2$ Q _R : Total regulating gate discharge (m ³ /s) Q ₁ : Q ₂ : Regulating gate discharge for each gate (m ³ /s)	When one of the measured outputs of regulating gate discharge has not been obtained, the measured output of the total regulating gate discharge is also not obtained.	0.01m ³ /s	None	Same as left	No indication		

Table 4.1 List of Calculation of Dam Data (Inconsistent values) (2/3)

No.	Items	Method of calculation	Condition for defective data (Inconsistent values)	Minimum unit	Alarm	Get operation report			Remarks		
						(In the line)	Periodic time	After every operation			
1	Total gate discharge	$Q_1 = Q_2 + Q_3$ Q_1 Total gate discharge (m^3/s) Q_2 Total flood gate discharge (m^3/s) Q_3 Total regulating gate discharge (m^3/s)	When the measured output of the total flood gate discharge or total regulating gate discharge has not been obtained, the measured output of the total gate discharge is also not obtained	$0.01 m^3/s$	None	Discharge at that time	Same as left	Same as left	Every 3 sec		
2	Pump water level	(1) Filtering When the pump water level changes by more than 2cm for 2 seconds, the data are excluded from the subject of the calculation (2) Smoothing $H_{2n} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_{2n-1} + H_{2n+1}}{n}$ H_1 Smoothed pump water level (m) H_2 Sampling pump water level at 20 seconds (m) H_n Sampling pump water level (in 20 n times) (m) n Number of sampling (sec/20) Sampling of the pump water level is performed every 2 seconds	When the measured output of the pump water level has not been obtained, the measured output of the smoothed pump water level is also not obtained	0.01m	Upper limit Lower limit	Smoothed pump water level at that time	Same as left	Same as left	Same as left	Every 2 sec	Pump water level • Suction water level • Discharge water level
3	Pump discharge (every 2 min)	See 4.3.3.2 pump discharge calculation	When the measured output of either the total water level or discharge water level has not been obtained, the measured output of the pump discharge is also not obtained	$0.01 m^3/s$	None	Discharge at that time	Same as left	Same as left	Every 2 sec		
4	Total pump discharge	$Q_4 = Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8$ Q_4 Total discharge (m^3/s) Q_5 Pump discharge for each pump (m^3/s)	When any of the measured output of pump discharge has not been obtained, the measured output of the total discharge is also not obtained	$0.01 m^3/s$	Stop	Discharge at that time	Same as left	Same as left	Every 2 sec		
5	Total discharge	$Q_9 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$ Q_9 Total discharge (m^3/s) Q_1 Total gate discharge (m^3/s) Q_2 Total flood gate discharge (m^3/s) Q_3 Total pump discharge (m^3/s) Q_4 Total dam discharge (m^3/s)	When the measured output of either the total gate discharge or total pump discharge has not been obtained, the measured output of the total discharge is also not obtained	$0.01 m^3/s$	None	Discharge at that time	Same as left	Same as left	Every 2 sec		
6	Inflow	See 4.3.3.3 Inflow calculation	When the measured output of either the water level or total discharge has not been obtained, the measured output of inflow is also not obtained	$0.01 m^3/s$	Upper limit	Inflow at that time	Same as left	Same as left	Every 1 sec		

Table 4.2: List of Method Calculation of Dam Dam (Daily data) (17)

No.	Classification	Item	Daily average	Daily level	Daily max. (value, time)	Daily min. (value, time)	Conclusion for defective data (no measurement-output)
1	Dam water level	Dam water level	$H = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}$ <p>H: Daily average dam water level (m) N: Number of the effective measurements (Max. 24 times)</p>	No calculation	The max. value is selected among data min. from 1 o'clock to 24 o'clock in the day. When there are several same max. values, the one closest to 24 o'clock of the day is decided as the generating time of the max. value.	The min. value is selected among data min. obtained from 1 o'clock to 24 o'clock in the day. When there are several same min. values, the one closest to 24 o'clock of the day is decided as the generating time of the min. value.	The daily data is calculated excluding the defective data.
2	Effective storage volume	Effective storage volume	Calculated by the 2-point linear interpolation method, based on the table of the dam water level vs. Volume, using the daily average dam water level.	No measurement	Same as the above.	Same as the above.	When the measured output of the daily average dam water level has not been obtained, the measured daily or the daily average effective storage volume is also not obtained. In case of the daily max. and min. discharge, the data are calculated excluding the defective data.
3	Pump water level	Pump water level	$H = \frac{\sum_{i=1}^N H_i}{N}$ <p>H: Daily average pump water level (m) N: Number of the effective measurements (Max. 24 times)</p>	No calculation	Same as the above.	Same as the above.	The daily data is calculated excluding the defective data.
4	Discharge for each gate and each pump	Gate discharge (m ³ /s) (pump, every pump)	$Q = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}$ <p>Q: Daily average discharge (m³/s) N: Number of the effective observations (Max. 24 times)</p>	$Q = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}$ <p>Q: Daily average discharge (m³/s) N: Number of the effective observations (Max. 24 times)</p>	Same as the above.	Same as the above.	In case of the hourly average discharge, if the measured output of the discharge is not obtained for more than 10 min. or less than 10 min. (part of the 1) daily average discharge is not obtained. In case of the daily average discharge, the data is calculated excluding the defective hourly average discharge. In case of the daily max. and min. discharge, the data are calculated excluding the defective data.

Table 4.2. List of Method Calculation of Dam Data (Daily data) (2/2)

day	Category	Item	Daily average	Daily total	Daily max. (value, time)	Daily min. (value, time)	Unit and the defective data (non-measured output)		
1	Total discharge	Total flood gate discharge	$Q_{10} = Q_{101} + Q_{102} + Q_{103}$ Daily average flood gate discharge (m ³ /s)	$Q_{10} = Q_{101} + Q_{102} + Q_{103}$ Daily total discharge for each gate (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	In case of the daily average and daily total discharge, even if there is only one discharge whose measured output has not been obtained, those measured outputs are not obtained. The daily max. and min. Discharge is calculated, excluding the defective data.		
		Total regulating gate discharge	$Q_{20} = Q_{201} + Q_{202}$ Daily average regulating gate discharge (m ³ /s)	$Q_{20} = Q_{201} + Q_{202}$ Daily total regulating gate discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	In case of the daily average and daily total discharge, even if there is only one discharge whose measured output has not been obtained, those measured outputs are not obtained. The daily max. and min. discharge is calculated, excluding the defective data.		
		Total gate discharge	$Q_{30} = Q_{10} + Q_{20}$ Daily average gate discharge (m ³ /s)	$Q_{30} = Q_{10} + Q_{20}$ Daily total gate discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	Same as the above		
		Total pump discharge	$Q_{40} = Q_{401} + Q_{402} + Q_{403} + Q_{404}$ Daily average pump discharge (m ³ /s)	$Q_{40} = Q_{401} + Q_{402} + Q_{403} + Q_{404}$ Daily total pump discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	Same as the above		
		Total discharge	$Q_{50} = Q_{30} + Q_{40}$ Daily average total discharge (m ³ /s)	$Q_{50} = Q_{30} + Q_{40}$ Daily total discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	Same as the above		
		Inflow	$Q_{60} = \frac{V_{60} - V_{61}}{24 \times 3600} + Q_{601}$ Daily average inflow (m ³ /s)	$Q_{60} = V_{60} - V_{61} + Q_{601}$ Daily total inflow (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	Same as the above	In case of the daily average and daily total inflow, when the measured output of one of the following data, the effective storage volume at 24 o'clock of the day, effective average volume at 24 o'clock in the day (X10 ⁶ m ³), effective discharge, has not been obtained, the measured outputs of the daily average and daily total inflow are not calculated. In case of the daily max. and min. inflow, those are calculated according to defective data.	
		2	Total discharge	Total flood gate discharge	$Q_{10} = Q_{101} + Q_{102} + Q_{103}$ Daily average flood gate discharge (m ³ /s)	$Q_{10} = Q_{101} + Q_{102} + Q_{103}$ Daily total discharge for each gate (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	In case of the daily average and daily total discharge, even if there is only one discharge whose measured output has not been obtained, those measured outputs are not obtained. The daily max. and min. Discharge is calculated, excluding the defective data.
				Total regulating gate discharge	$Q_{20} = Q_{201} + Q_{202}$ Daily average regulating gate discharge (m ³ /s)	$Q_{20} = Q_{201} + Q_{202}$ Daily total regulating gate discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	In case of the daily average and daily total discharge, even if there is only one discharge whose measured output has not been obtained, those measured outputs are not obtained. The daily max. and min. discharge is calculated, excluding the defective data.
				Total gate discharge	$Q_{30} = Q_{10} + Q_{20}$ Daily average gate discharge (m ³ /s)	$Q_{30} = Q_{10} + Q_{20}$ Daily total gate discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	Same as the above
				Total pump discharge	$Q_{40} = Q_{401} + Q_{402} + Q_{403} + Q_{404}$ Daily average pump discharge (m ³ /s)	$Q_{40} = Q_{401} + Q_{402} + Q_{403} + Q_{404}$ Daily total pump discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	Same as the above
Total discharge	$Q_{50} = Q_{30} + Q_{40}$ Daily average total discharge (m ³ /s)			$Q_{50} = Q_{30} + Q_{40}$ Daily total discharge (X10 ⁶ m ³ /day)	Same as the above	Same as the above	Same as the above		

Table 4-3 List of Method Calculation of Telemeter Data (On the hour and any-time data)

Classification	Item's	Method of calculation	Condition of defective	Alarm	Minimum unit	Remarks
River water level calculation	River water level	$H_t = H_b$ H_t River Water level (m) H_b Observed River water level (m)	When H_t is defective data, the measured output of the river water level is not obtained.	Upper limit	0.01m	

ศูนย์วิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table 4.4 List of Method of Telemeter data (Daily data)

Classification	Item	Method of calculation	Condition of defective	Minimum unit	Remarks
River water level calculation	Daily average river water level	$H_{ave} = \frac{\sum H_{(t)}}{n}$ <p> H_{ave}: Daily average river water level (m) $H_{(t)}$: Water level observed every hour from 1 o'clock to 24 o'clock in the day. (m) n: Number of the effective observation. (Max 24 times) </p>	Calculated, excluding the defective data	0.01 m	
	Daily max. river water level & its generating time	<p>The maximum value is selected among data observed every hour from 1 o'clock to 24 o'clock in the day.</p> <p>When there are several same max. values, the time closest to 24 o'clock in the day is selected as the generating time.</p>	Calculated, excluding the defective data	0.01 m Hour min	
	Daily min. river water level & its generating time	<p>The min. value is selected among data observed every hour from 1 o'clock to 24 o'clock in the day.</p> <p>When there are several same min. values, the time closest to 24 o'clock in the day is selected as the generating time.</p>	Calculated, excluding the defective data	0.01 m Hour min	

4.3 Details of Various Data and Calculation Expressions

Calculation tables and expressions are shown below.

(1) Effective storage volume

Storage volume is calculated from Table 4.5 by 2-point liner interpolation method.

Table 4.5 The upstream water level vs. Storage volume

Upstream Water Level (m.MSL)	Effective Storage Volume(10^3m^3)
(+) 3.00	64,500
(+) 2.40	55,500
(+) 1.00	34,500
(+) 0.70	30,000
(+) 0.50	27,000
0.00	19,500
(-) 0.50	12,000
(-) 1.00	4,500
(-) 1.30	0
(-) 1.50	0
(-) 2.00	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(2) Discharge calculations through gates

The water discharges through gates are varied by gate type. Upstream and downstream water level, flow over the gate, flow under the gate and opening of gate. The water discharge in each case has calculated by the following equation.

(a) Underflow

$$Q = C_u \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2gh_1}$$

where, Q : Underflow discharge (m^3/s)

C_u : Discharge coefficient

(Calculated by 2-point linear interpolation method, based on the Table 4.6.)

a : Gate opening (m)

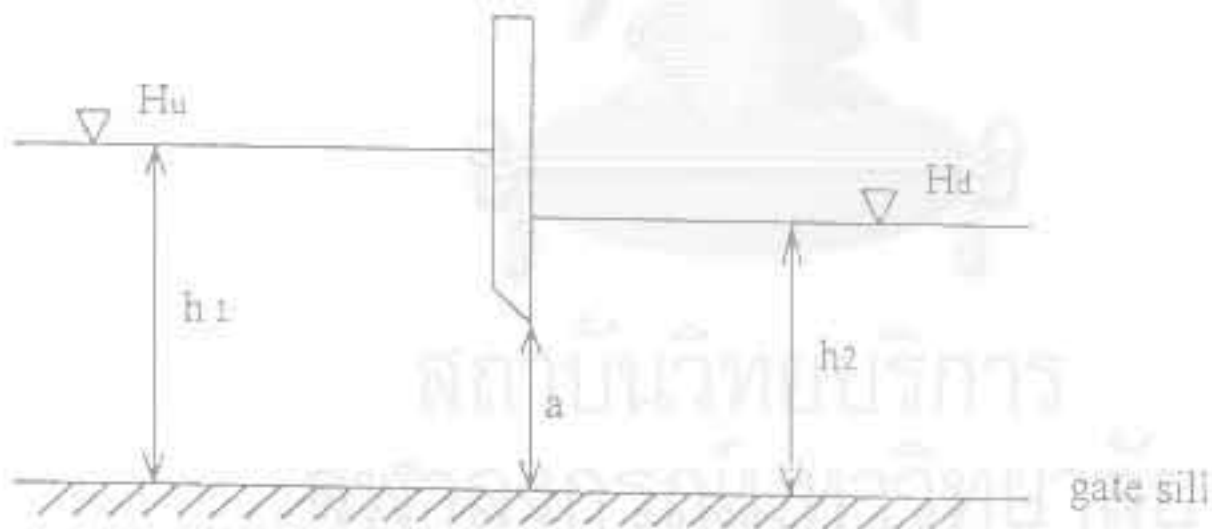
b : Width of gate (30 m)

h_1 : Upstream water depth (m)

h_2 : Downstream water depth (m)

g : Gravity accelerations (9.8 m/sec^2)

gs : Gate sill (EL. -8.2 m)



H_u : Upstream water level (m)

H_d : Downstream water level (m)

Downstream water depth $h_2=9.0\text{m}$

$h_1 \backslash a/h_1$	10m		9m		8m		7m	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.30	3.00	0.299						
0.20	2.00	0.252						
0.10	1.00	0.229						
0.05	0.50	0.221						

Downstream water depth $h_2=8.0\text{m}$

$h_1 \backslash a/h_1$	10m		9m		8m		7m	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.30	3.00	0.416	2.70	0.284				
0.20	2.00	0.364	1.80	0.264				
0.10	1.00	0.325	0.90	0.243				
0.05	0.50	0.300	0.45	0.226				

Downstream water depth $h_2=7.0\text{m}$

$h_1 \backslash a/h_1$	10m		9m		8m		7m	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.30	3.00	0.569	2.70	0.441	2.40	0.310		
0.20	2.00	0.475	1.80	0.393	1.60	0.285		
0.10	1.00	0.407	0.90	0.347	0.80	0.255		
0.05	0.50	0.364	0.45	0.326	0.40	0.250		

Downstream water depth $h_2=6.0\text{m}$

$h_1 \backslash a/h_1$	10m		9m		8m		7m	
	a	Cu	a	Cu	a	Cu	a	Cu
0.30	3.00	0.623	2.70	0.619	2.40	0.465	2.10	0.327
0.20	2.00	0.646	1.80	0.506	1.60	0.409	1.40	0.301
0.10	1.00	0.471	0.90	0.427	0.80	0.374	0.70	0.287
0.05	0.50	0.443	0.45	0.402	0.40	0.349	0.35	0.268

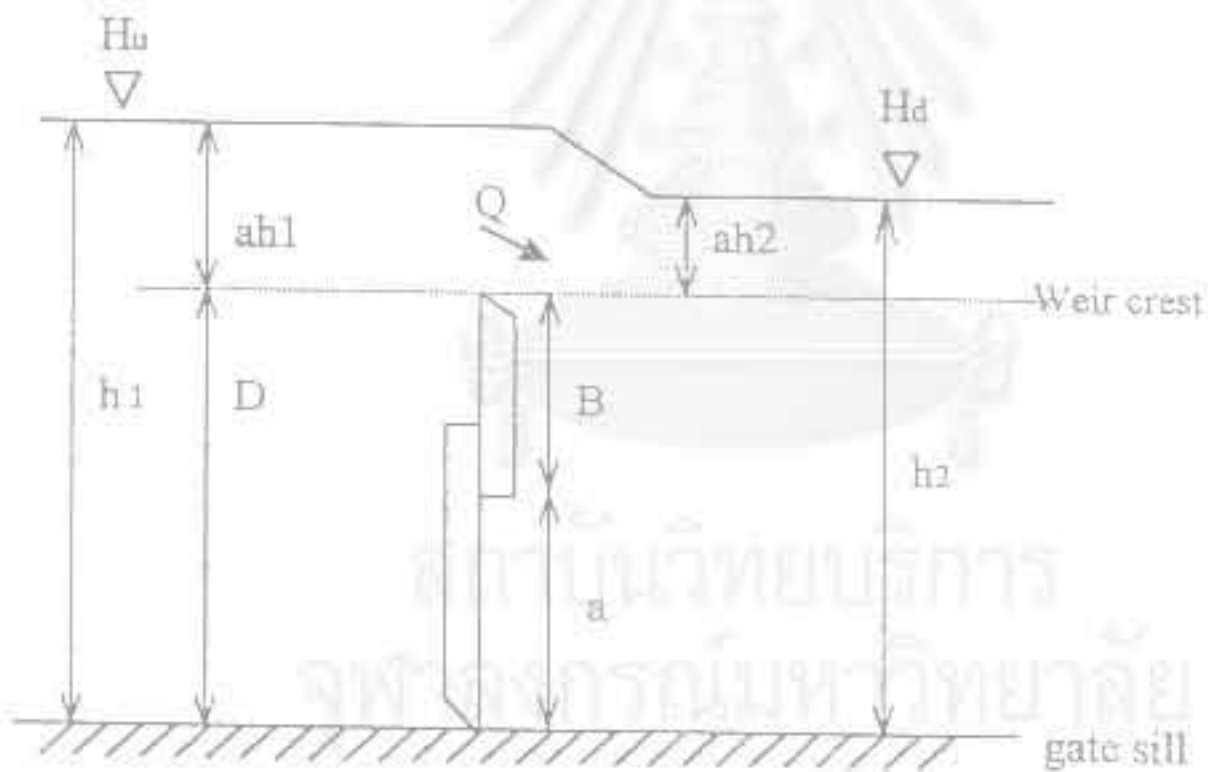
a: Gate opening (m)

h_1 : Upstream water depth (m)

(b) Overflow discharge

$$Q = C_o \cdot b \cdot a h_1^{\frac{3}{2}}$$

- where,
- Q : Overflow discharge(m^3/s)
 - C_o : Discharge coefficient
(Calculated by 2-point liner interpolation method , based on the table 4.7)
 - h₁ : Upstream water depth(m)
 - h₂ : Downstream water depth(m)
 - D : Gate height above the gate sill(m)
 - ah₁ : Water depth above the weir crest in the upstream(m)
 - ah₂ : Water depth above the weir crest in the downstream(m)
 - b : Width of gate(m)(28.06m)
 - B : High of upper gate
 - gs : Gate sill (EL. -8.2m)



H_u : Upstream water level (m)

H_d : Downstream water level (m)

Table 4.7 Discharge coefficient "Co"

ah2 \ ah1	< 0.6Hu (Perfect)	0.6Hu (Imperfect1)	0.7Hu (Imperfect2)	0.8Hu (Imperfect3)	0.9Hu (Submerged)
0.2m	0.853				
0.6m	1.564	1.537	1.476	1.453	1.397
1.0m	1.757	1.718	1.689	1.668	1.383
2.0m	2.000	2.000	1.750	1.625	1.375
3.0m	2.229	2.082	1.998	1.698	1.279
4.0m	2.325	2.280	2.210	1.670	1.282

ah1: Water depth above the weir crest in the upstream(m)

ah2: Water depth above the weir crest in the downstream(m)

Hu: Upstream

$$\frac{ah2}{ah1} < 0.6 : \text{Perfect overflow}$$

$$0.6 \leq \frac{ah2}{ah1} < 0.7 : \text{Imperfect overflow1 [0.6Hu]}$$

$$0.7 \leq \frac{ah2}{ah1} < 0.8 : \text{Imperfect overflow2 [0.7Hu]}$$

$$0.8 \leq \frac{ah2}{ah1} < 0.9 : \text{Imperfect overflow3 [0.8Hu]}$$

$$0.9 \leq \frac{ah2}{ah1} : \text{Submerged overflow [0.9Hu]}$$

(3) Pump Discharge Calculation :-

Each pump discharge is calculated by variation of suction nature level and discharge water level , as follows:

When the pump is not running, the pump discharge is not calculated.

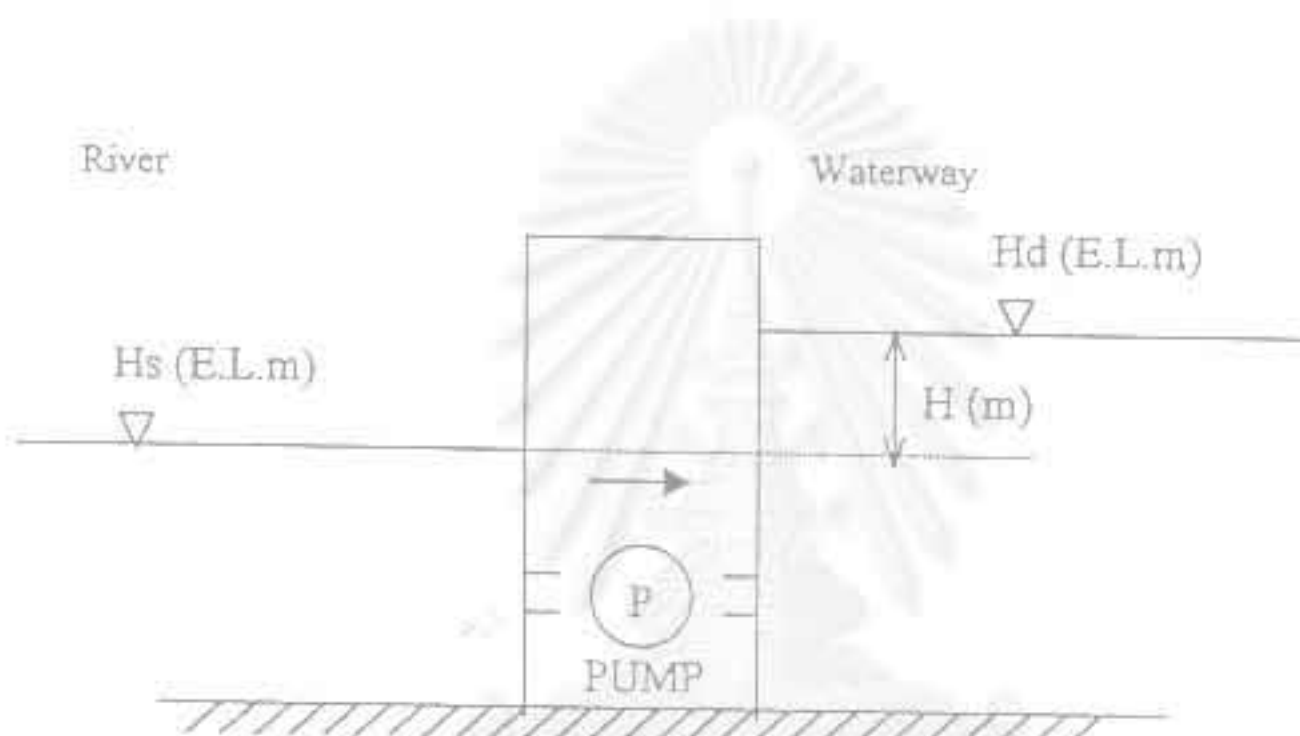
When the pump is running, the pump discharge is calculated by the proportional allotment from Table 4.8:

$$H = H_d - H_s$$

H : Pump Actual head(m)

H_s: Suction water level (E.L.m)

H_d: Discharge water level (E.L.m)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table 4.8 Pump discharge "Q"

No.1 PUMP

Pump Actual head H (m)	Pump discharge Q (m ³ /s)
0 (or less)	6.96
2.16	5.63
5.42	4.40
7.94	2.95
8.77	1.31
11.90 (or more)	0.00

No.2 PUMP

Pump Actual Head H (m)	Pump discharge Q (m ³ /s)
0 (or less)	6.90
2.10	5.63
5.43	4.40
7.89	2.98
8.58	1.41
11.90 (or more)	0.00

No.3 PUMP

Pump Actual head H (m)	Pump discharge Q (m ³ /s)
0 (or less)	6.75
2.11	5.63
5.41	4.43
7.82	3.13
8.37	1.50
12.10 (or more)	0.00

No.4 PUMP

Pump Actual head H (m)	Pump discharge Q (m ³ /s)
0 (or less)	6.54
2.09	5.68
5.39	4.52
7.98	3.03
8.46	1.52
11.80 (or more)	0.00

Closer dam discharge is converted with the following table.

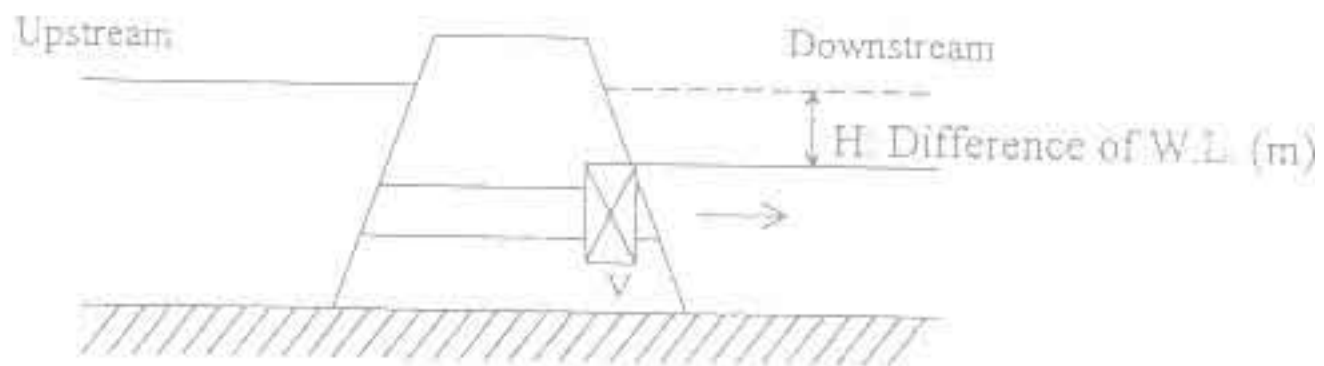
Difference of W.L. — Discharge Volume Table

Difference of Water Level (m)	Discharge Volume (m ³ /S)
3.7	4.34
3.5	4.22
3.3	4.10
3.1	3.97
2.9	3.84
2.7	3.70
2.5	3.56
2.3	3.42
2.1	3.27
1.9	3.11
1.7	2.94
1.5	2.76
1.3	2.57
1.1	2.36
0.9	2.14
0.7	1.89
0.5	1.59
0.3	1.24
0.1	0.71
0.0	0.00

(Discharge Volume of 1 valve)

$$Q_c = Q_{VR1} + Q_{VR2} + Q_{VL}$$

- Where, Q_c : Closer dam discharge (m³/s)
 Q_{VR1} : Valve discharge of Right bank 1 (m³/s)
 Q_{VR2} : Valve discharge of Right bank 2 (m³/s)
 Q_{VL} : Valve discharge of Left bank (m³/s)



V : Valve (Right bank x 2, Left bank x 1)

(5) Inflow calculation

The inflow into the reservoir is given by variations of reservoir water level and outflow discharge from the reservoir, as follows:

$$Q_i = \frac{\sum_{i=1}^{10} Q_i'}{10}$$

But the minus value is replaced by zero(0).

where, Q_i : Inflow (m^3/s)

Q_i' : Supposed inflow (m^3/s)

$$Q_i' = \frac{V_0 - V_T}{60 \times T} + \frac{SQ_0}{60 \times T}$$

Q_i' : Supposed inflow (m^3/s)

V_0 : Effective storage volume of this time (m^3)

V_T : Effective storage volume before T minute (m^3)

SQ_0 : Total discharge added for T minute (m^3)

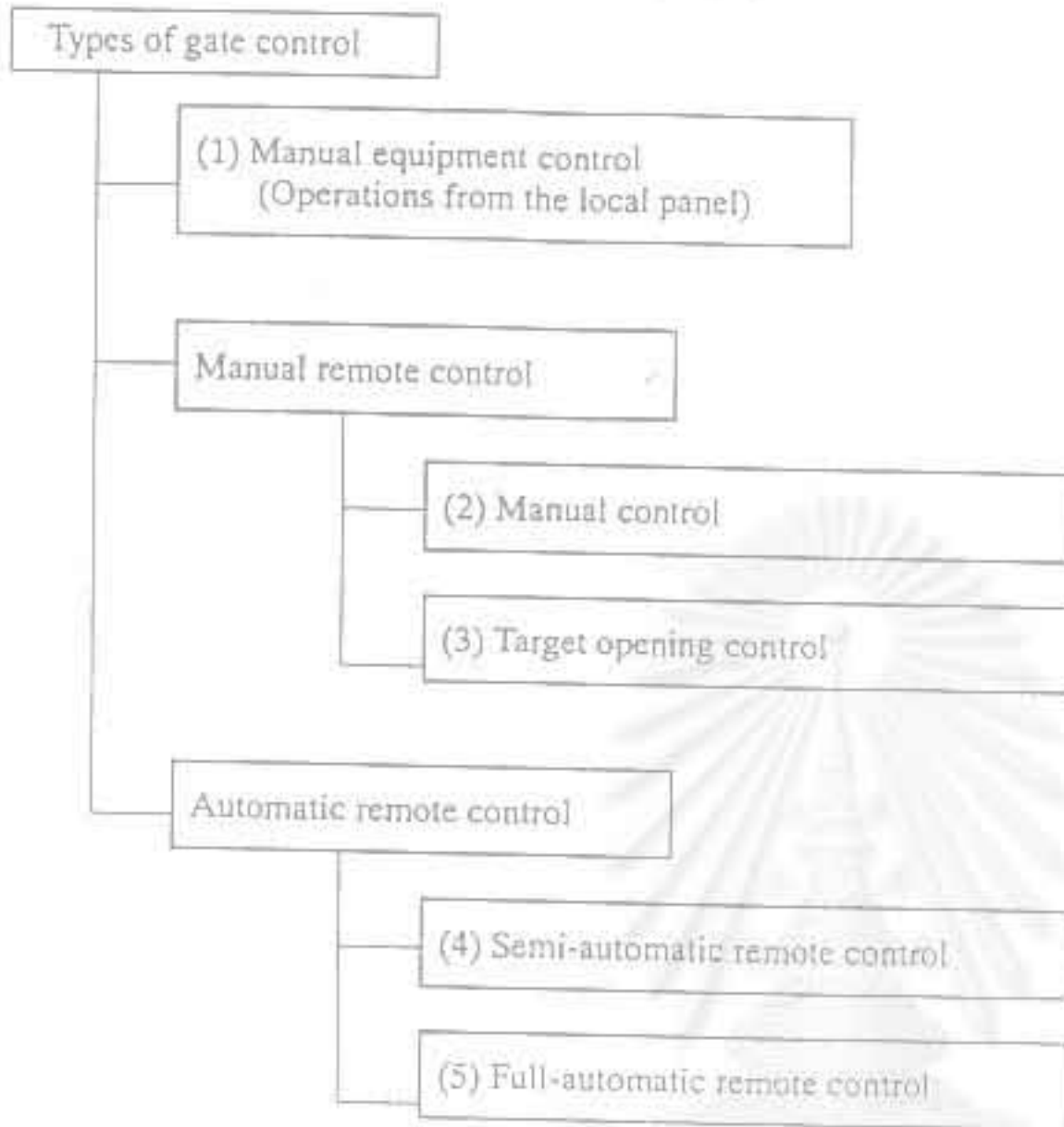
T : Interval of inflow calculation

(10min, 30min, 60min)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1 Types of Gate Control

Five methods of gate control, (1) to (5), are available as shown below.



(1) Manual equipment control

A method of controlling gates by operating the MITSUBISHI local panel in the hoist house.

(2) Manual remote control

A method of controlling gates by operating the gate operation console in the control house.

This method allows the operator to control gates directly in manual mode by operating the gate open/close switches on the console.

(3) Target opening control

A method of controlling gates by operating the gate operation console in the control house.

This method allows the operator to specify the target opening (the desired angle of opening). computer controls gates according to the specified target opening.

(4) Semi-automatic remote control

A gate control method in which the computer selects a control mode and calculates the gate control variables.

Before controlling gates, the computer inquires the operator about the gate control start timing.

(5) Full-automatic remote control

A gate control method in which the computer selects a control mode and calculates the gate control variables.

Gates are controlled without operator's manual intervention.

5.2 Summary of N

The method of determining target dam gate opening includes the next three (3) stage processes.

- (1) Determination of gate operation mode.
- (2) Determination of target total gate discharge.
- (3) Determination of target dam gate opening.

5.2.1 Method of gate operation.

(1) Operation mode

The operation mode, which categorizing the operation method of operating tide protection gates to comply with control requirements, consists of the following four (4) modes:

Control Mode	Ruling Values	Gate Operation	Priority
Small water discharge	$Q_1 < 30\text{m}^3/\text{s}$	Overflow × 1 set	3
Normal operation	$30 \leq Q_1 \leq 80\text{m}^3/\text{s}$ $80 < Q_1 \leq 300\text{m}^3/\text{s}$	Overflow × 1 set Overflow × 2 set	3
Inverse flow prevention	$H_1 \leq H_2 + \Delta H + \Delta h$	All gates closed	2
Flooding	$Q_1 > 300\text{m}^3/\text{s}$ AND ($H_B - H_1 > 0.25\text{m}$ OR $H_N - H_1 > 0.25\text{m}$)	All gates opened	1

Note: Q_1 = Inflow, H_1 = Upstream water level, H_2 = Downstream water level.

ΔH = Inverse water level balance, Δh = Threshold of inverse water level balance, H_B = Ban Sang Station water level and H_N = Nakhon Nayok water level.

The inverse flow prevention mode takes priority of the small water discharge and normal operation modes.

In the "Inverse flow prevention" mode, ΔH shall be set 0.1m to 0.2m in accordance with the tidal movement speed.

(1) Constant water level

(a) Normal constant water level process

$$\text{If } H_S - \Delta h_2 \leq H_1 \leq H_S + \Delta h_2,$$

then target discharge is not changed every 10 minutes.

If the following condition is satisfied, the target discharge is calculated every 10 minutes.

$$H_S - \Delta h_1 \leq H_1 < H_S - \Delta h_2 \text{ or } H_S + \Delta h_2 < H_1 \leq H_S + \Delta h_1$$

-1 Calculation of target discharge

$$Q_T = Q_i + g(H_1 - H_S)$$

Where, Q_T : Target discharge (m^3/s)

H_1 : Upstream water level (m)

H_S : Target water level (m)

Δh_1 : Threshold of water level 1 (m)(Constant No.76, No.91)

Δh_2 : Threshold of water level 2 (m)(Constant No.77, No.92)

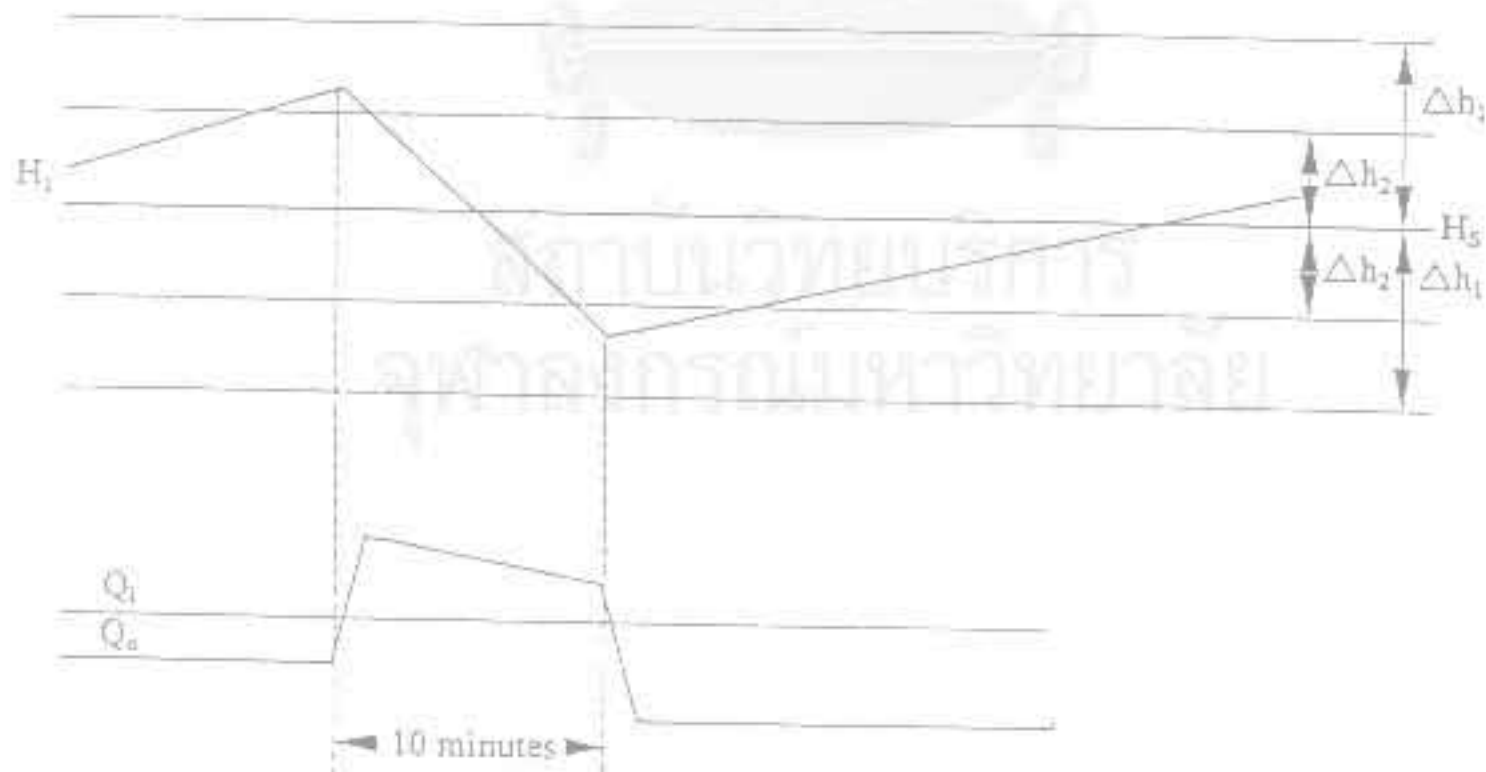
Q_i : Inflow (m^3/s)

Q_o : Outflow (m^3/s)

g_1 : Gain1($Q_i < 30\text{m}^3/\text{s}$) (Constant No.78)

g_2 : Gain2($30 \leq Q_i \leq 80\text{m}^3/\text{s}$) (Constant No.93)

g_3 : Gain3($80 \leq Q_i \leq 300\text{m}^3/\text{s}$) (Constant No.94)



NORMAL CONSTANT WATER LEVEL PROCESS

Rules governing operation of the flood and regulating gates in each control mode are tabulated below:

Control Mode	Control System	Note
Small water discharge	Constant water level control	To keep the upstream water level constantly, subject to the discharge of river maintenance flow.
Normal operation	Constant water level control	To keep the upstream water level constantly, lowering the upstream water level for a purpose of discharging small flood water and restoring upstream water level required for the project after the small water discharge stage.
Inverse flow prevention	All gates closed	To prevent the saltwater intrusion into the reservoir.
Flooding	All gates opened	To open all gates, in case of flood discharge exceeded $300\text{m}^3/\text{s}$ and (Ban Sang Station water level - Upstream water level $> 0.25\text{m}$ or Nakhon Nayok water level - Upstream water level $> 0.25\text{m}$), to keep adequate passage for floodwater.

The above gate control modes are automatically by computer.

(3) Time for all gates closing

In the transitional period (around November) from the rainy season to dry season, all gates have to be closed manually to prevent saltwater from intruding into the reservoir.

All gates must be closed whenever salinity (Cl) of river waters exceeds 100mg/l at downstream of the diversion dam by the Salinity meter No.2.

Closing of gate shall be started at the time of the next high tide after observation of salinity more than 100mg/l .

The waterway will be closed by the Regulating Gate No.1, Regulating Gate No.2, Flood Gate No.2, Flood Gate No.1 and Flood Gate No.3 in sequence.

(4) Time for all gates opening

As verified that the saltwater intrusion is blocked by the small-scale floods in the transitional period (May to July) from the dry to rainy seasons, all gates are automatically opened in this transitional period, where the inflow water discharge exceeds $300\text{m}^3/\text{s}$.

The gates are opened one by one following Flood Gage No 2, Flood Gage No 1, Flood Gate No.3, Regulating Gate No 1, and Regulating Gate No.3 in sequence.

After opening all gates, the salinity downstream from the diversion dam has to be monitored by the Salinity Meter No.2.

The gates must be closed when salinity (Cl) exceeds 100mg/l .

The gate releases the reservoir water for desalinization, where the salinity indicated by the Salinity Indicator No. 1-1 exceeds 250 mg/l, as specified in the Water Quality Standard for Water Supply of the MOI. When the Salinity Indicator No. 1-1 is not applicable due to lower water level, salinity is applied by the value of Salinity Indicator No. 1-2 and/or No. 1-3. The water is released by operation of the flood gate when the water level upstream and downstream of the dam are significantly different.

According to materials of Kasetsart University, Saltwater intrusion is not anticipated where water flow discharge exceeds 50 m³/s at the dam site. Estimating a release water discharge of 50m³/s, the height of gate opening can be determined from the following table.

Height of Flood Gate Opening for Water Released for Desalinization

Upstream water level (m, MSL)	Water level downstream of dam (m, MSL)										
	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-0.8	-1.0
1.4	0.55	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41	0.39	0.37
1.2	0.56	0.56	0.54	0.53	0.51	0.50	0.48	0.45	0.43	0.40	0.38
1.0	—	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.52	0.48	0.45	0.42	0.40
0.8	—	—	0.57	0.56	0.56	0.55	0.55	0.51	0.47	0.44	0.42
0.6	—	—	—	0.57	0.56	0.56	0.56	0.52	0.49	0.46	0.44
0.4	—	—	—	—	0.57	0.57	0.56	0.53	0.50	0.48	0.46
0.2	—	—	—	—	—	0.57	0.56	0.54	0.52	0.50	0.48
0.0	—	—	—	—	—	—	0.57	0.56	0.54	0.53	0.51

Note: This table shows the height of gate opening for the outflow discharge of 50m³/s under the gate of one (1) set.

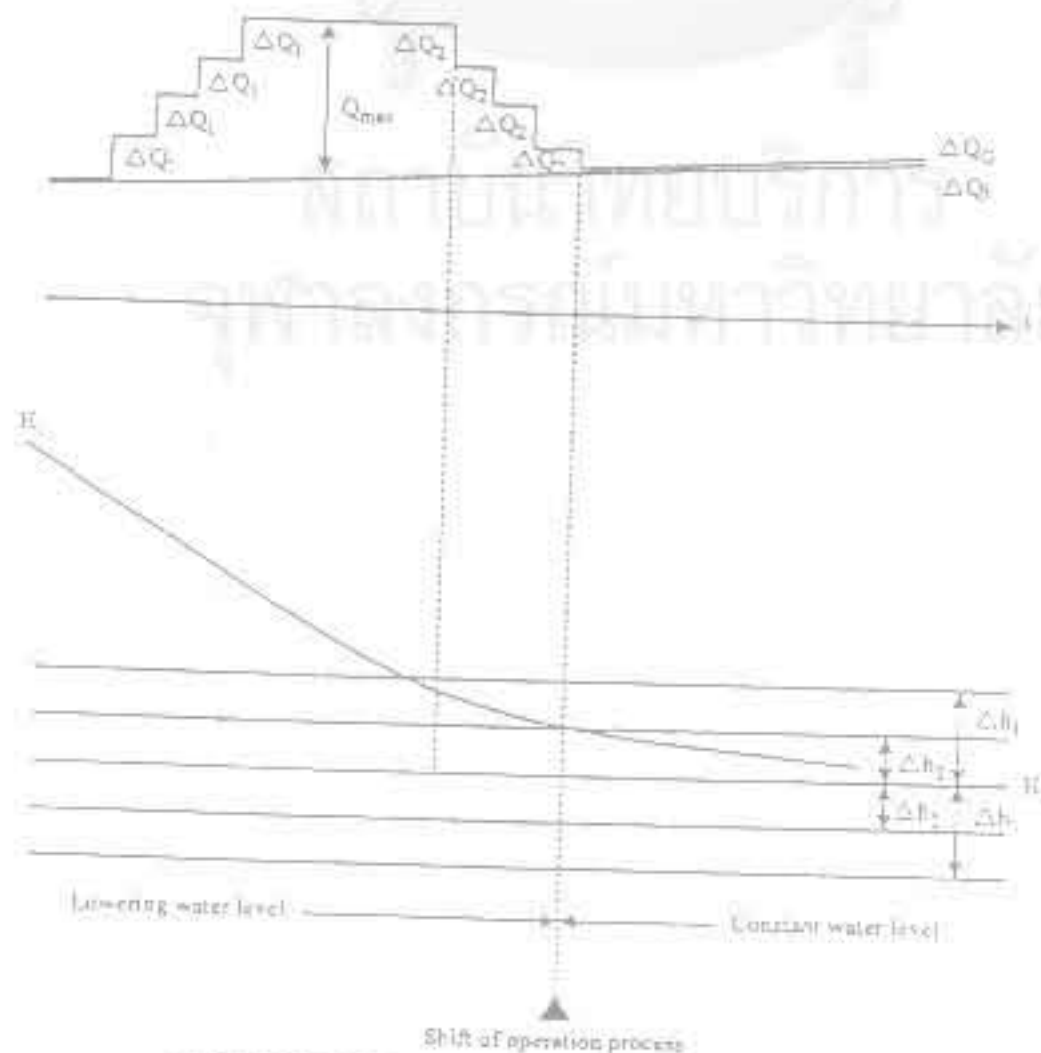
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(b) Lowering water level process

If the following conditions are satisfied, the target discharge is calculated every 10 minutes.

- 1 If $H_1 > H_S + \Delta h_1$, $Q'_T = Q_0 + \Delta Q_1$
 - (i) if $Q'_T < Q_i + Q_{max}$, $Q_T = Q'_T$
 - (ii) if $Q'_T \geq Q_i + Q_{max}$, $Q_T = Q_i + Q_{max}$
- 2 if $H_S + \Delta h_2 < H_1 \leq H_S + \Delta h_1$, $Q'_T = Q_0 - \Delta Q_2$
 - (i) if $Q_i < Q'_T$, $Q_T = Q'_T$
 - (ii) if $Q_i \geq Q'_T$, $Q_T = Q_i + a$
- 3 if $H_S - \Delta h_2 \leq H_1 \leq H_S + \Delta h_2$, then operation process is shifted to " (a) Normal constant water level process".

where, H_1 : Upstream water level (m)
 H_S : Target water level (m)
 Δh_1 : Threshold of water level 1(m)(Constant No.76, No.91)
 Δh_2 : Threshold of water level 2(m)(Constant No.77, No.92)
 Q_T : Target discharge (m^3/s)
 Q'_T : Temporary target discharge (m^3/s)
 Q_i : Inflow (m^3/s)
 Q_0 : Outflow (m^3/s)
 ΔQ_1 : Increasing discharge (m^3/s)(No.83, No.98, No.106)
 ΔQ_2 : Decreasing discharge (m^3/s)(No.84, No.99, No.107)
 Q_{max} : Max. Over-discharge (m^3/s)(Constant No.85, No.100, No.108)
 a : Constant of over-discharge (m^3/s)(Constant No.86, No.101, No.109)



LOWERING WATER LEVEL PROCESS

(c) Restoring water level process

If the following conditions are satisfied, the target discharge is calculated in every 10 minutes.

- 1 if $H_1 < H_S - \Delta h_1$, $Q_T = Q_0 - \Delta Q_2$
 - (i) if $Q'_T \geq Q_i - Q_{max}$, $Q_T = Q'_T$
 - (ii) if $Q'_T < Q_i - Q_{max}$, $Q_T = Q_i - Q_{max}$
- 2 if $H_S - \Delta h_1 \leq H_1 < H_S - \Delta h_2$, $Q'_T = Q_0 + \Delta Q_1$
 - (i) if $Q'_T \leq Q_i$, $Q_T = Q'_T$
 - (ii) if $Q'_T > Q_i$, $Q_T = Q_i - \alpha$
- 3 If $H_S - \Delta h_2 \leq H_1 \leq H_S + \Delta h_2$ then operation process is shifted to " (a) Normal constant water level process".

Where, H_1 : Upstream water level (m)

H_S : Target water level (m)

Δh_1 : Threshold of water level 1(m)(Constant No.76, No.91)

Δh_2 : Threshold of water level 2(m)(Constant No.77, No.92)

Q_T : Target discharge (m^3/s)

Q_i : Inflow (m^3/s)

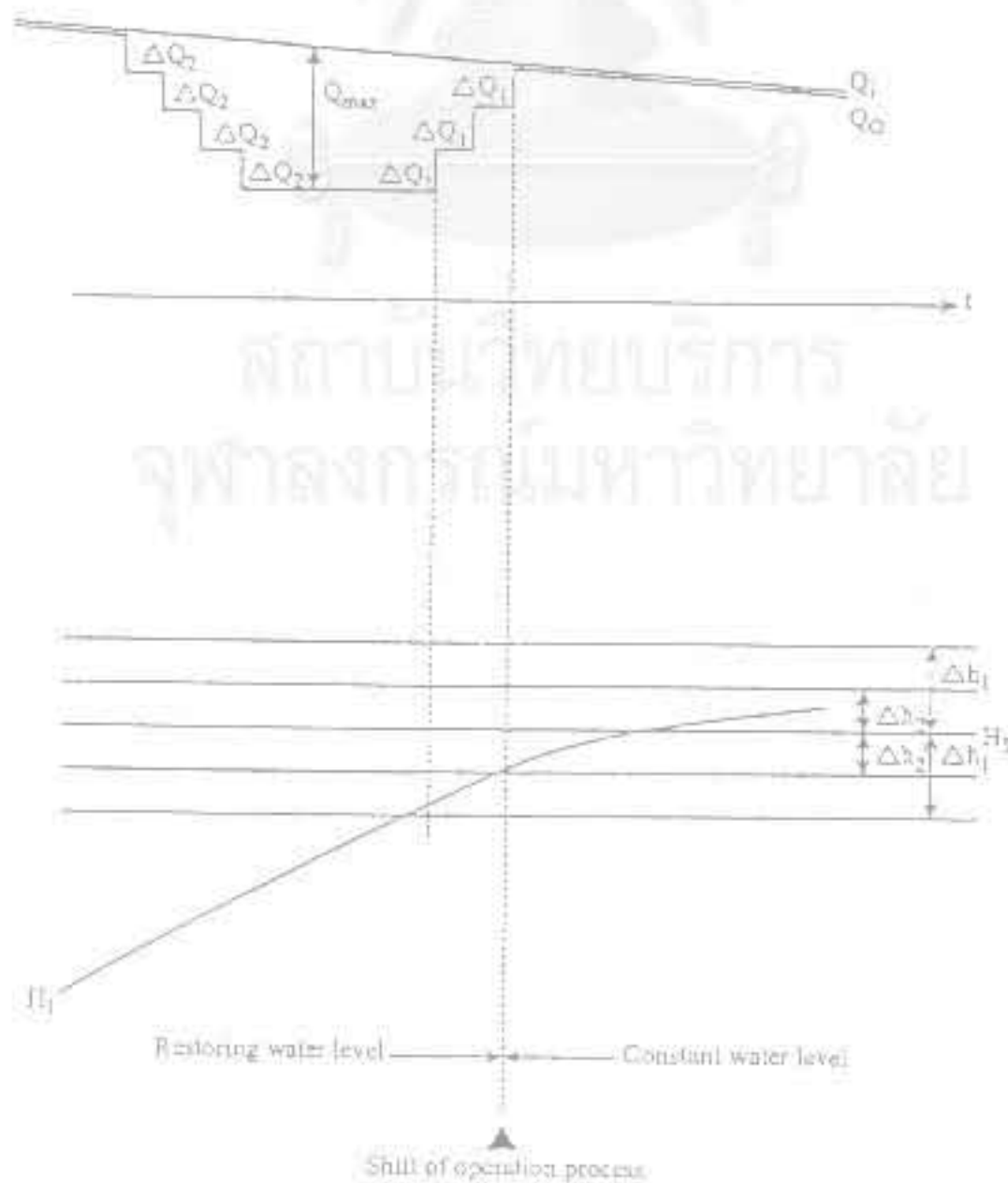
Q_0 : Outflow (m^3/s)

Q_{max} : Max. Under-discharge (m^3/s)

α : Constant of under-discharge (m^3/s)(Constant No.89, No.104, No.112)

ΔQ_1 : Increasing discharge (m^3/s)(No.87, No.103, No.110)

ΔQ_2 : Decreasing discharge (m^3/s)(No.88, No.104, No.111)



(2) All gates closed

(a) All gates closed process

If $H_1(t) - H_2(t) \leq \Delta H$, all gates are closed.

Where, $H_1(t)$: Upstream water level (m)

$H_2(t)$: Downstream water level (m)

ΔH : Inverse water level balance (Constant No.116)

(b) Open the gates process after all gates are closed

If $H_1(t) - H_2(t) > \Delta H + \Delta h$ after all gates are closed.

$H_2(t-1) > H_2(t)$

Then the mode is shifted to constant W. L. control.

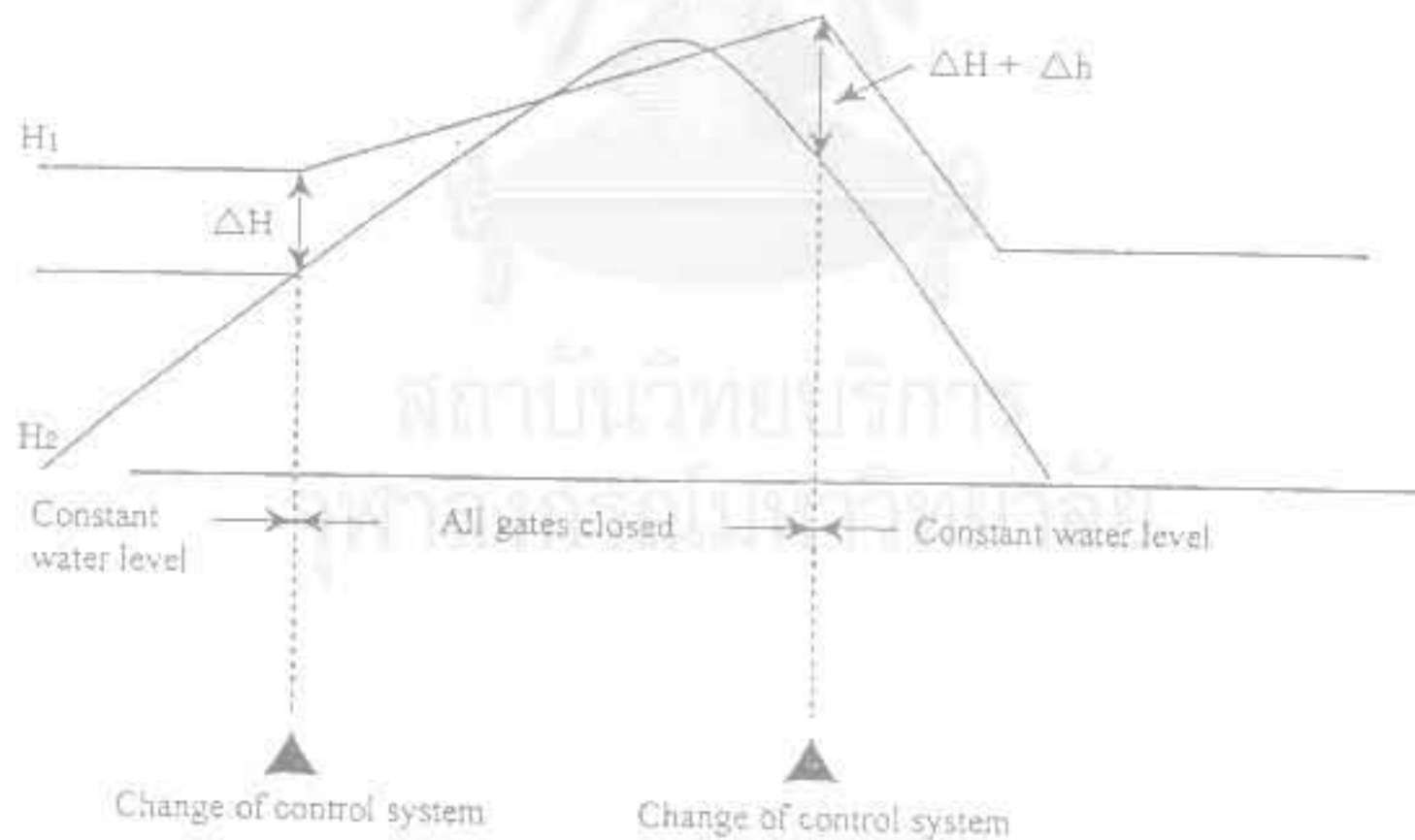
Where $H_1(t)$: Upstream water level (m)

$H_2(t)$: Downstream water level (m)

$H_2(t-1)$: Downstream water level before 10 minutes (m)

ΔH : Inverse water level balance (Constant No.116)

Δh : Threshold of inverse water level balance (m)(No.117)



ALL GATES CLOSED PROCESS

(a) All gates opened process

If the following condition is satisfied, all gates are immediately opened.

$$Q_i > 300 \text{ m}^3/\text{s} \text{ and } (H_B - H_i > \Delta h_B \text{ or } H_N - H_i > \Delta h_N)$$

Where, Q_i : Inflow (m^3/s)

H_i : Upstream Water Level (m)

H_B : Ban Sang Station Water Level (m)

H_N : Nakhon Nayok Station Water Level (m)

Δh_B : 0.25m (Constant No.74)

Δh_N : 0.25m (Constant No.73)

(4) Constant discharge

(a) Constant discharge process

If the following condition is not satisfied, target discharge is calculated in every 10 minutes.

$$Q_s - \Delta Q \leq Q_o \leq Q_s + \Delta Q$$

-1 Calculation of target discharge

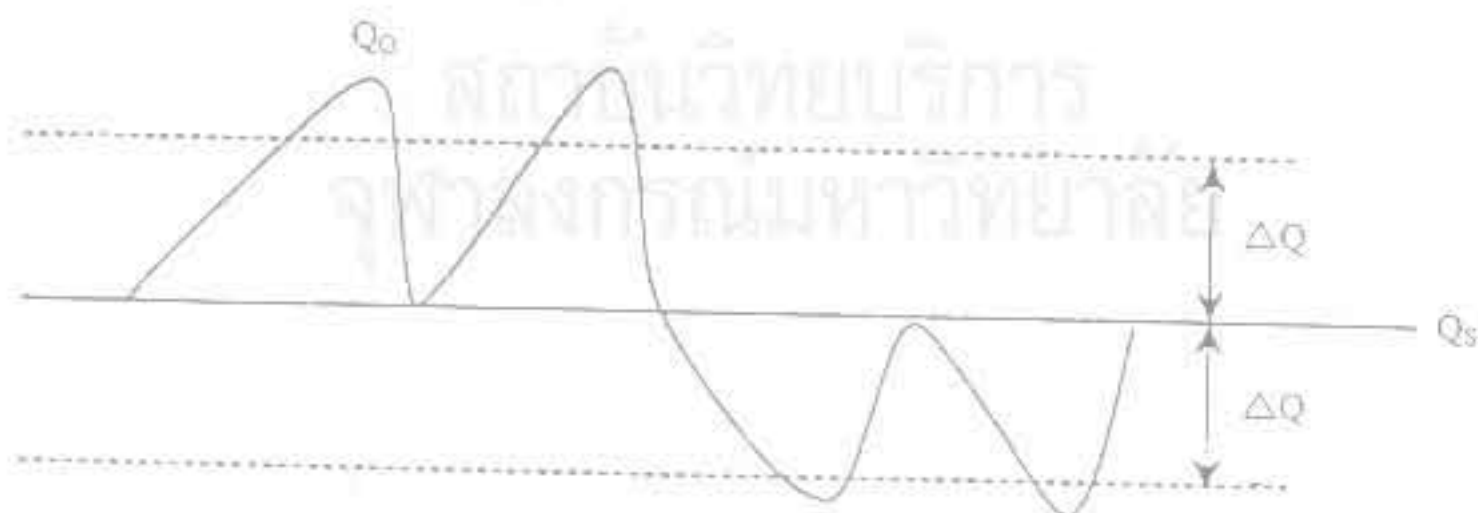
$$Q_T = Q_s$$

Where, Q_s : Setting discharge (m^3/s)

Q_o : Outflow (m^3/s)

ΔQ : Threshold of discharge (m^3/s)(Constant No.67)

Q_T : Target discharge of total gates (m^3/s)



CONSTANT DISCHARGE PROCESS

When constant discharge control mode is started or total gate setting discharge is changed, if the following condition is satisfied, the target discharge is calculated every 10 minutes until $Q_s - \Delta Q \leq Q_0 \leq Q_s + \Delta Q$

If $Q_0 \leq Q_s - \Delta Q_1$

-1 Calculation of target discharge

$$Q_T = Q_0 + \Delta Q_1$$

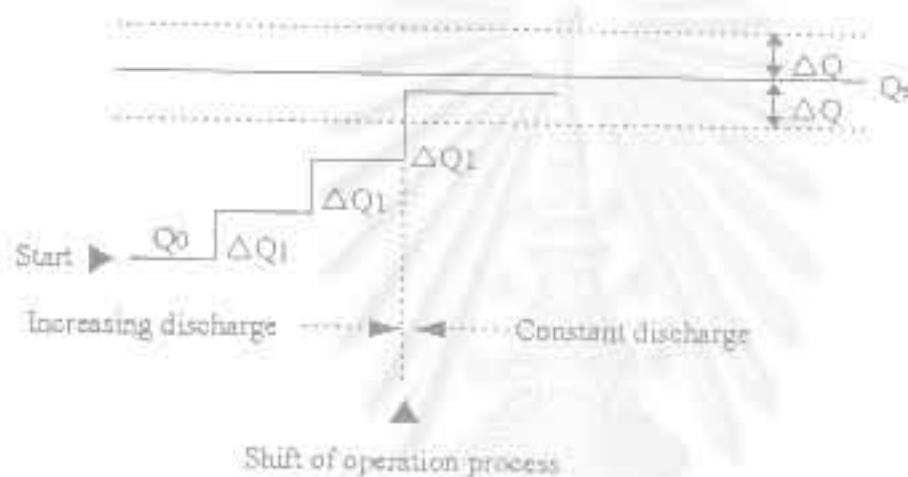
Where, Q_s : Setting discharge (m^3/s)

Q_0 : Outflow (m^3/s)

ΔQ : Threshold of discharge (m^3/s) (Constant No.67)

Q_T : Target discharge of total gates (m^3/s)

ΔQ_1 : Increasing discharge (m^3/s) (No.68)



INCREASING DISCHARGE PROCESS

(c) Decreasing discharge process

When constant discharge control mode is started or total gate setting discharge is changed, if the following condition is satisfied, the target discharge is calculated every 10 minutes, until $Q_s - \Delta Q \leq Q_0 \leq Q_s + \Delta Q$

If $Q_0 \geq Q_s + \Delta Q_2$

-1 Calculation of target discharge

$$Q_T = Q_0 - \Delta Q_2$$

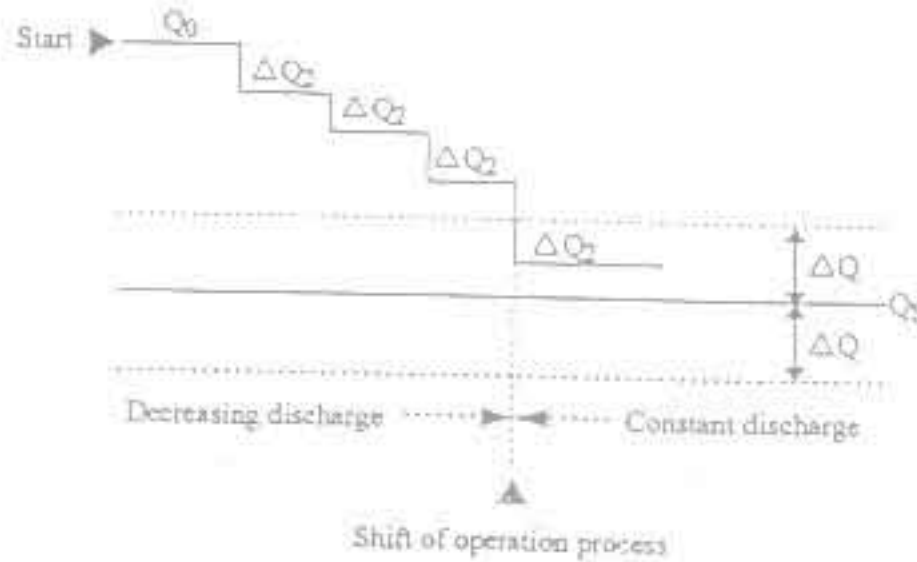
Where, Q_s : Setting discharge (m^3/s)

Q_0 : Outflow (m^3/s)

ΔQ : Threshold of discharge (m^3/s)

Q_T : Target discharge of total gates (m^3/s)

ΔQ_2 : Decreasing discharge (m^3/s) (No.69)



DECREASING DISCHARGE PROCESS

5.2.3 Calculation of Target total Discharge

The target total discharge calculated is distributed to the gates and the pumps. The target total gate discharge is computed from the following equation.

$$Q_{MG} = Q_M - Q_P - Q_C - Q_E$$

Where,

- Q_{MG} : Target discharge of total gates (m^3/s)
- Q_M : Target total discharge (m^3/s)
- Q_P : Total pump discharge (m^3/s)
- Q_C : Closure dam discharge (m^3/s)
- Q_E : Eastern water pump discharge (m^3/s)

In case of the constant discharge control mode.

$$Q_{MG} = Q_S$$

where,

- Q_{MG} : Target discharge of total gates (m^3/s)
- Q_S : Setting discharge (m^3/s)

Total target gate discharge is distributed to each gate. Each target gate opening equivalent to

each target gate discharge is computed by a binary search, taking account of followings;

- (a) Gate operation priority
- (b) Minimum gate opening (m)
- (c) Maximum gate opening (m)
- (d) Minimum operation height (m)
- (e) Non-sensitive area (m)

5.2.4 Table and Figures

Table 5.1 The Purpose and Control of Gate Operation Mode

Table 5.2 Judgment of Operation Mode

Figure 5.1 Dam Gate Control Sequence

Figure 5.2 Gate Opening Sequence Flowchart



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Operation mode	Control system	Controlled gates		Purpose	Content	Operation conditions
		Flood gate	Regulating gate			
Small water discharge	Constant water level control	○*2	○	Keeping the upstream water level	Keeping water level at the upstream water level from - 1.30m to 0.70m	<ul style="list-style-type: none"> • Inflow < 30m³/s • Water level of upstream > water level of downstream + ΔH
Normal operation	Constant water level control	○*2	○	Keeping the upstream water level	Keeping water level at the upstream water level from - 1.30m to 0.70m	<ul style="list-style-type: none"> • 30m³/s ≤ inflow ≤ 300m³/s • Water level of upstream > water level of downstream + ΔH
Inverse flow prevention	All gates closed control	○	○	Prevention of inverse flow	All gates are closed.	Water level of upstream ≤ water level of downstream + ΔH
Flooding	All gates opened	○	○	Adequate passage flow in flood	All gates are opened in matched condition of inflows.	*1
Constant discharge	Control constant discharge		○	<ul style="list-style-type: none"> • River maintenance flow • Desalination 	Keeping the total discharge at the set discharge	

Note:

(*1) Inflow > 300m³/s

and

[Water level of Ban Sang Station - Water level of upstream > 0.25m
 or
 Water level of Nakhon Nayok Station - Water level of upstream > 0.25m]

(*2) When the inflow is increasing to 300 m³/s and water level at the downstream is going up, the flow condition of the upper leaf gate of the Regulating gate is going to submerged flow. In this case, the discharge of water from the gate will decrease and the "Normal Operation Mode" will not be able to continue. Because gate discharge can not correspond with the inflow.

even if the upper leaves of the Regulating gate will be fully opened. The Flood gate shall be operated when two(2) units of upper leaf gate of the Regulating gate become incapable to be operated by automatic control. When it becomes incapable to continue the automatic operation, alarm bell will inform this condition to operator. The operator shall control one of the Flood gates to discharge water about 150 m³/s separately by manual operation.

After this operation of the Flood gate, automatic control for the “Normal Operation Mode” or “Small Operation Mode” can be resumed.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

No.	Operation mode	Mode start conditions	Mode end conditions
1	Small water discharge	"AND" condition <ul style="list-style-type: none"> • Inflow < 30m³/s • Water level of upstream > water level of downstream + ΔH 	"OR" condition <ul style="list-style-type: none"> • *1 • Changed the control mode • When the gate was operated by manual operation.
2	Normal operation	"AND" condition <ul style="list-style-type: none"> • 30m³/s ≤ Inflow ≤ 300m³/s • Water level of upstream > water level downstream + ΔH 	"OR" condition <ul style="list-style-type: none"> • *3 • Charged the control mode
3	Inverse flow prevention	Water level upstream ≤ water level downstream + ΔH	"AND" condition or Inflow > 300m ³ /s <ul style="list-style-type: none"> • *2 • Water level of upstream > water level of downstream + ΔH + Δh • Changed the control mode • When the gate was operated by manual operation.
4	Flooding	*4	<ul style="list-style-type: none"> • Manual shift
5	Constant discharge	<ul style="list-style-type: none"> • Manually start, by setting constant target total discharge 	<ul style="list-style-type: none"> • Manual shift

Note:

(*1) "OR" condition

- Inflow ≥ 30m³/s
- Water level upstream ≤ water level downstream + ΔH

(*2) Downstream water level is judged at every 10 minutes whether the water level is descending

(*3) "OR" condition

- Inflow < 30m³/s, to shift to "Small water discharge".
- Inflow ≥ 300m³/s, to shift to "Flooding".
- Water level upstream ≤ water level downstream + ΔH

(*4) "AND" condition

- Inflow > 300m³/s
- Water level of Ban Sang Station - Water level of upstream > 0.25m

or

Water level of Nakhon Nayok Station - Water level of upstream > 0.25m

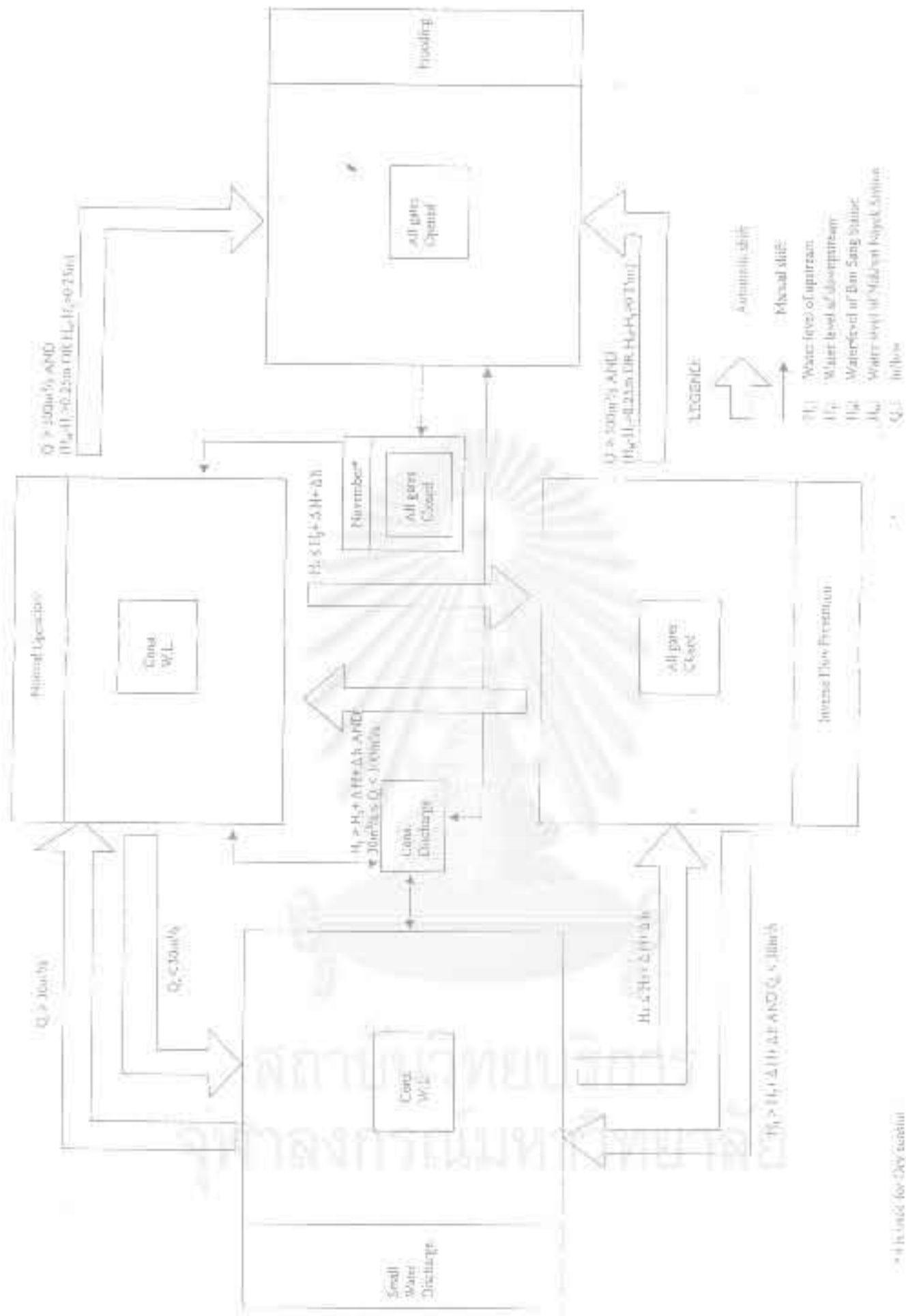


Fig. 5.1 DAM GATE CONTROL SEQUENCE

→ is used for day station

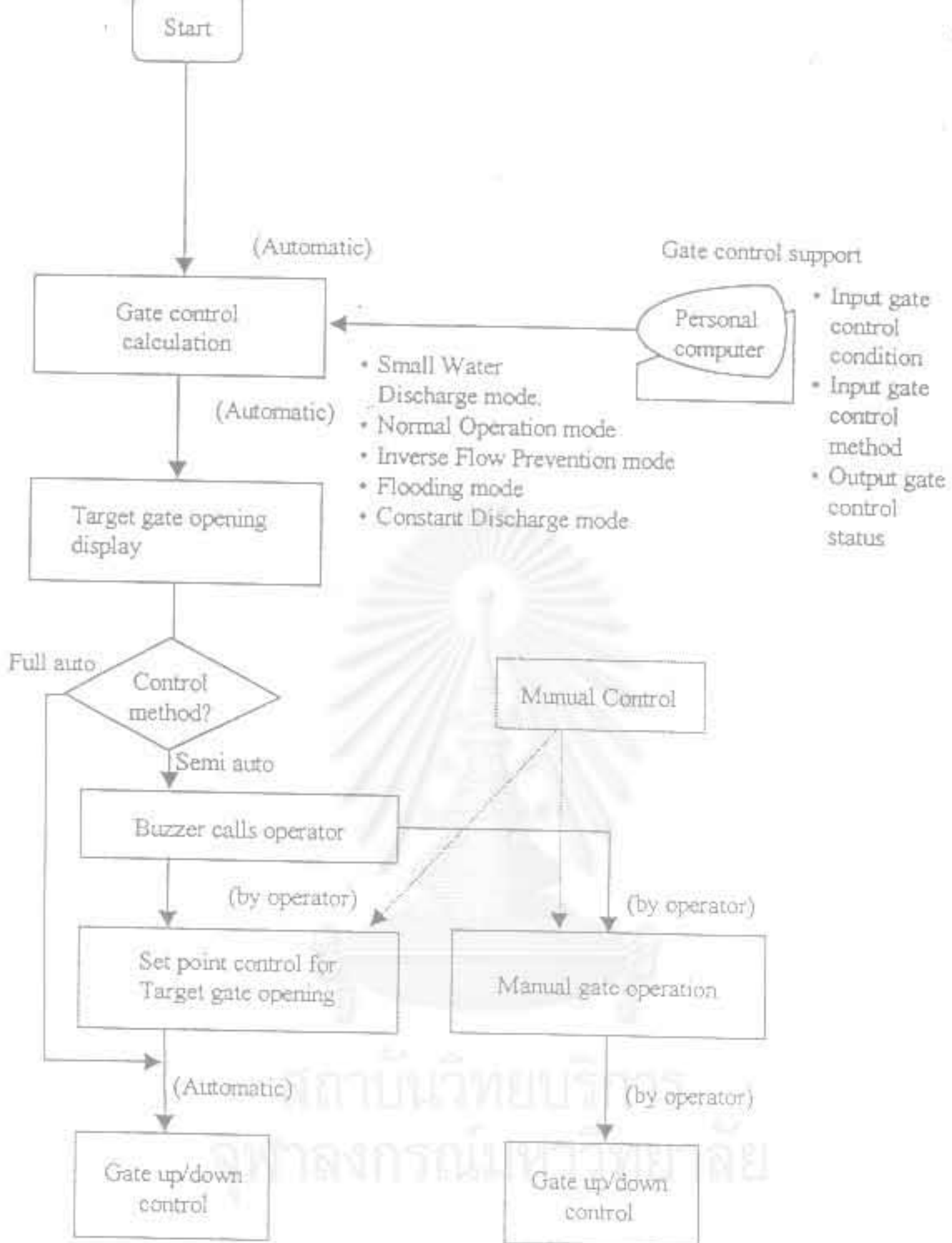


Fig. 5.2 GATE OPERATION SEQUENCE

Fig. 5.3 shows the relationship of gate position and gate opening. You can make the gate close simulation when you set the regulating gates as follows.

1. FLOOD GATES



Fig. 5.3. GATE POSITION AND GATE OPENING (FLOOD GATE)

2. REGULATING GATE



FIG.5.3. GATE POSITION AND GATE OPENING (REGULATING GATE)

สถาบันวิจัยการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Table 5.3 REGULATING GATE UPPER GATE OPENING (m) AND GATE TOP TABLE (MSL m)

A	B	A	B	A	B	D
MSL	6.50	MSL	6.20	MSL	6.20	MSL
1.80	6.49	1.50	6.19	1.20	6.19	5.90
1.79	6.48	1.49	6.18	1.19	6.18	5.89
1.78	6.47	1.48	6.17	1.18	6.17	5.88
1.77	6.46	1.47	6.16	1.17	6.16	5.87
1.76	6.45	1.46	6.15	1.16	6.15	5.86
1.75	6.44	1.45	6.14	1.15	6.14	5.85
1.74	6.43	1.44	6.13	1.14	6.13	5.84
1.73	6.42	1.43	6.12	1.13	6.12	5.83
1.72	6.41	1.42	6.11	1.12	6.11	5.82
1.71	6.40	1.41	6.10	1.11	6.10	5.81
1.70	6.39	1.40	6.09	1.10	6.09	5.80
1.69	6.38	1.39	6.08	1.09	6.08	5.79
1.68	6.37	1.38	6.07	1.08	6.07	5.78
1.67	6.36	1.37	6.06	1.07	6.06	5.77
1.66	6.35	1.36	6.05	1.06	6.05	5.76
1.65	6.34	1.35	6.04	1.05	6.04	5.75
1.64	6.33	1.34	6.03	1.04	6.03	5.74
1.63	6.32	1.33	6.02	1.03	6.02	5.73
1.62	6.31	1.32	6.01	1.02	6.01	5.72
1.61	6.30	1.31	6.00	1.01	6.00	5.71
1.60	6.29	1.30	5.99	1.00	5.99	5.70
1.59	6.28	1.29	5.98	0.99	5.98	5.69
1.58	6.27	1.28	5.97	0.98	5.97	5.68
1.57	6.26	1.27	5.96	0.97	5.96	5.67
1.56	6.25	1.26	5.95	0.96	5.95	5.66
1.55	6.24	1.25	5.94	0.95	5.94	5.65
1.54	6.23	1.24	5.93	0.94	5.93	5.64
1.53	6.22	1.23	5.92	0.93	5.92	5.63
1.52	6.21	1.22	5.91	0.92	5.91	5.62
1.51	6.20	1.21	5.90	0.91	5.90	5.61

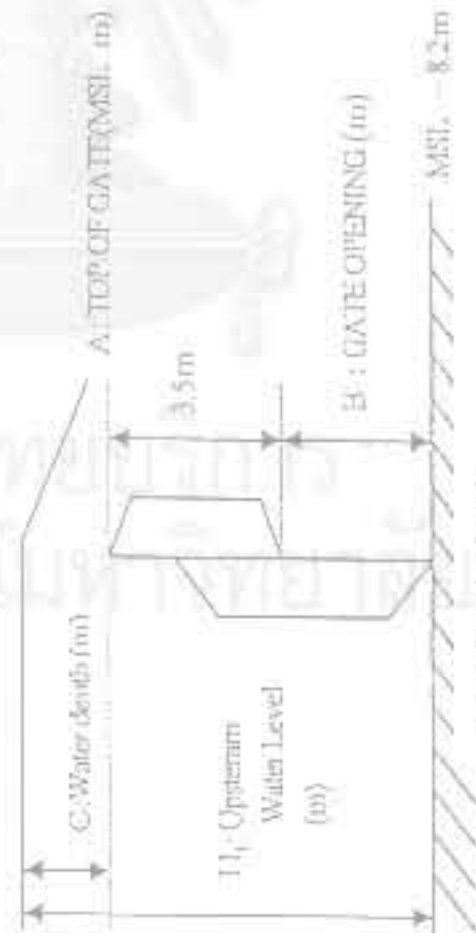
Regulating gates are usually used with the overflow mode.

In this mode, the discharge values over gates are calculated with the condition of the gate position.

Water depth in the overflow mode is calculated by the following formula;

$$C = H_1 - A$$

$$A = B - 8.2 \text{ m}$$



C : Water depth (m)

H_1 : Upstream Water Level (MSL - m)

A : Top of Gate (MSL - m)

B : Gate-Opening (m)

Table 5.7 REGULATING GATE UPPER GATE OPENING (m) AND GATE TOP TABLE (MSL,m)

A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
MSL 0.90	5.60	MSL 0.60	5.30	MSL 0.30	5.00	MSL 0.00	4.70	MSL -0.30	4.40	MSL -0.60	4.10	MSL -0.90	3.80
0.80	5.59	0.59	5.29	0.29	4.99	-0.01	4.69	-0.31	4.39	-0.61	4.09	-0.91	3.79
0.88	5.58	0.58	5.28	0.28	4.98	-0.02	4.68	-0.32	4.38	-0.62	4.08	-0.92	3.78
0.87	5.57	0.57	5.27	0.27	4.97	-0.03	4.67	-0.33	4.37	-0.63	4.07	-0.93	3.77
0.86	5.56	0.56	5.26	0.26	4.96	-0.04	4.66	-0.34	4.36	-0.64	4.06	-0.94	3.76
0.85	5.55	0.55	5.25	0.25	4.95	-0.05	4.65	-0.35	4.35	-0.65	4.05	-0.95	3.75
0.84	5.54	0.54	5.24	0.24	4.94	-0.06	4.64	-0.36	4.34	-0.66	4.04	-0.96	3.74
0.83	5.53	0.53	5.23	0.23	4.93	-0.07	4.63	-0.37	4.33	-0.67	4.03	-0.97	3.73
0.82	5.52	0.52	5.22	0.22	4.92	-0.08	4.62	-0.38	4.32	-0.68	4.02	-0.98	3.72
0.81	5.51	0.51	5.21	0.21	4.91	-0.09	4.61	-0.39	4.31	-0.69	4.01	-0.99	3.71
0.80	5.50	0.50	5.20	0.20	4.90	-0.10	4.60	-0.40	4.30	-0.70	4.00	-1.00	3.70
0.79	5.49	0.49	5.19	0.19	4.89	-0.11	4.59	-0.41	4.29	-0.71	3.99	-1.01	3.69
0.78	5.48	0.48	5.18	0.18	4.88	-0.12	4.58	-0.42	4.28	-0.72	3.98	-1.02	3.68
0.77	5.47	0.47	5.17	0.17	4.87	-0.13	4.57	-0.43	4.27	-0.73	3.97	-1.03	3.67
0.76	5.46	0.46	5.16	0.16	4.86	-0.14	4.56	-0.44	4.26	-0.74	3.96	-1.04	3.66
0.75	5.45	0.45	5.15	0.15	4.85	-0.15	4.55	-0.45	4.25	-0.75	3.95		
0.74	5.44	0.44	5.14	0.14	4.84	-0.16	4.54	-0.46	4.24	-0.76	3.94		
0.73	5.43	0.43	5.13	0.13	4.83	-0.17	4.53	-0.47	4.23	-0.77	3.93		
0.72	5.42	0.42	5.12	0.12	4.82	-0.18	4.52	-0.48	4.22	-0.78	3.92		
0.71	5.41	0.41	5.11	0.11	4.81	-0.19	4.51	-0.49	4.21	-0.79	3.91		
0.70	5.40	0.40	5.10	0.10	4.80	-0.20	4.50	-0.50	4.20	-0.80	3.90		
0.69	5.39	0.39	5.09	0.09	4.79	-0.21	4.49	-0.51	4.19	-0.81	3.89		
0.68	5.38	0.38	5.08	0.08	4.78	-0.22	4.48	-0.52	4.18	-0.82	3.88		
0.67	5.37	0.37	5.07	0.07	4.77	-0.23	4.47	-0.53	4.17	-0.83	3.87		
0.66	5.36	0.36	5.06	0.06	4.76	-0.24	4.46	-0.54	4.16	-0.84	3.86		
0.65	5.35	0.35	5.05	0.05	4.75	-0.25	4.45	-0.55	4.15	-0.85	3.85		
0.64	5.34	0.34	5.04	0.04	4.74	-0.26	4.44	-0.56	4.14	-0.86	3.84		
0.63	5.33	0.33	5.03	0.03	4.73	-0.27	4.43	-0.57	4.13	-0.87	3.83		
0.62	5.32	0.32	5.02	0.02	4.72	-0.28	4.42	-0.58	4.12	-0.88	3.82		
0.61	5.31	0.31	5.01	0.01	4.71	-0.29	4.41	-0.59	4.11	-0.89	3.81		

: m

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ	นายชลอ ชาติเวียง
เกิด	25 เมษายน 2515 จังหวัด นครนายก
การศึกษา	
พ.ศ. 2539	สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขา วิศวกรรมชลประทาน วิทยาลัยการชลประทาน สถาบันสมทบมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2543	เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ประสบการณ์ในการทำงาน	
พ.ศ. 2546 – ปัจจุบัน	วิศวกรชลประทาน กลุ่มงานออกแบบ ส่วนวิศวกรรมบริหาร สำนักงานชลประทานที่ 9 กรมชลประทาน
พ.ศ. 2539 – 2546	วิศวกรโยธา ฝ่ายออกแบบเขื่อน 3 สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน