



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

ปริญญา

วิศวกรรมชลประทาน

วิศวกรรมชลประทาน

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์: กรณีศึกษา
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

Canal Operation Improvement by Computer Simulation Model: Case Study of
Songphinong Operation and Maintenance Project

นามผู้วิจัย นายอรินทร์ ไสตรโยม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รongศาสตราจารย์วราวุธ วุฒิวณิชย์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รongศาสตราจารย์บัญชา ขวัญยืน, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รongศาสตราจารย์สันติ ทองพำนัก, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์: กรณีศึกษา
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

Canal Operation Improvement by Computer Simulation Model: Case Study of
Songphinong Operation and Maintenance Project

โดย

นายอุรินทร์ โสตรโยม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมชลประทาน)

พ.ศ. 2554

อุรินทร์ โสตรโยม 2554: การปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์: กรณีศึกษาโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์คุณัฒน์พิทยาด (วิศวกรรมชลประทาน) สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วราวุธ วุฒิวณิชย์, Ph.D. 271 หน้า

การปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Canal Operation Improvement by Computer Simulation Model) มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำให้สามารถส่งน้ำตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำในลักษณะของการจัดการแบบเน้นการบริการ (Service Oriented Management, SOM) โดยทำการศึกษาและวิจัยในคลองส่งน้ำ 5L – 2L ของระบบชลประทานแม่กลองใหญ่ ระหว่าง กม. 0+020 – 26+401 จากผลการประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว (RAP) ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 – 31 ตุลาคม 2551 พบว่า ประสิทธิภาพชลประทานประจำปีเท่ากับ 51% ระดับการให้บริการส่งน้ำจริงในทุกระดับต่ำกว่าเป้าหมายที่โครงการกำหนด เนื่องจากระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลองมีความผันแปรสูง และจากผลการเปรียบเทียบดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ (Canal System Control Performance) และผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output Performance) ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง (Existing Operation) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) และระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System, CAS) พบว่า ระบบคลองอัตโนมัติให้ค่าดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ และดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ ดีที่สุด (MAE = 0.10 เมตร/เมตร, IAE = 0.03 เมตร/เมตร, RWLC = 0.96, PA = 0.93, PE = 0.76 และ PEQ = 0.91) ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ สามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ และผลลัพธ์ในการส่งน้ำจากวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ โดยเฉพาะแบบที่ใช้การตรวจวัดระดับน้ำและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง 2 ครั้ง/วัน (COM_2/Day) สามารถลดความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำจากระดับน้ำเป้าหมายสูงสุดรายสัปดาห์ (MAE) ลงได้ 0.14 เมตร/ความลึกน้ำ ลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (IAE) ลงได้ 0.08 เมตร/ความลึกน้ำ และเพิ่มความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (RWLC) ขึ้น 100% เพิ่มประสิทธิภาพการชลประทาน (PE) จาก 0.38 ขึ้นเป็น 0.76 เพิ่มความเป็นธรรมชาติในการส่งน้ำ (PEQ) จาก 0.89 เป็น 0.92 และมีดัชนีความเพียงพอ (PA = 0.92) อยู่ในเกณฑ์ดี

Urin Soteyome 2011: Canal Operation Improvement by Computer Simulation Model: Case Study of Songphinong Operation and Maintenance Project. Doctor of Engineering (Irrigation Engineering) Major Field: Irrigation Engineering, Department of Irrigation Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Varawoot Vudhivanich, Ph.D. 271 pages.

Canal Operation Improvement by Computer Simulation Model aims to increase canal operation management effectiveness with Computer Simulation Model, in order to serve water requirement as Service Oriented Management (SOM). The study area is at KM.0+020 – KM.26+401 in the 5L-2L irrigation canal of the Great Maeklong irrigation system. Rapid Appraisal Process (RAP) was used to access the project during 1 November 2008 – 31 October 2009. It shows that annual irrigation efficiency is 51%. The actual water delivery service is lower than the target in every canal level, due to upstream water level of canal regulators is high variation. Comparing the result of canal system control performance and output performance with Existing Operation, Canal Operation Model (COM) and Canal Automation System (CAS) shows that CAS is better than others (MAE = 0.10 m/m, IAE = 0.03 m/m, RWLC = 0.96, PA = 0.93, PE = 0.76 and PEQ = 0.91). The canal operation with COM increases canal system control performance and output performance from Existing Operation, especially, rate of monitor water level and adjust gate of cross regulators twice a day. The Maximum Absolute Error (MAE) and The Integrated Absolute Error (IAE) are decreased 0.14 and 0.08 m. per water depth, respectively. The Water Level Control (RWLC) is increased up to 100%. The Efficiency Performance (PE) is increased from 0.38 to 0.76, The Equity Performance is increased 0.89 to 0.92 and the Adequacy Performance is good (PE = 0.92).

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณท่าน รศ.ดร.วราวุธ วุฒิมัชฌ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รศ.ดร.บัญญัติ ขวัญยืน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่ดี และเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ นายนเรศวร์ วัฒนวงศ์ นายฐิติพงษ์ โสภณางกูร นายสมใจ อินทร์พวง และเจ้าหน้าที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จ.สุพรรณบุรีทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่อำนวยความสะดวก และสนับสนุนงานวิจัยนี้มาโดยตลอด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ นายวรศักดิ์ สิริภาพ ผู้สนับสนุน และให้ทุนในการศึกษา ช่วยทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และ น้อง ๆ นิสิต และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่าน ที่ช่วยให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่าง ๆ ซึ่งช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ด้วยความดีอันเป็นประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้คุณพ่อวิโรจน์ และคุณแม่อำมร โสตรโยมซึ่งเป็นผู้ให้กำเนิดและสติปัญญา ให้ความสามารถทุก ๆ อย่าง ตลอดจนบุตรและภรรยาอันเป็นที่รักยิ่งและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

อุรินทร์ โสตรโยม

ตุลาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(8)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(13)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	63
สรุปและข้อเสนอแนะ	176
สรุป	176
ข้อเสนอแนะ	181
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	184
ภาคผนวก	191
ภาคผนวก ก ผลการสอบเทียบเครื่องมือ	192
ภาคผนวก ข ผลการประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว	202
ภาคผนวก ค สมการแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัว	218
ภาคผนวก ง ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM	226
ภาคผนวก จ แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ	232
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	271

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำตามลักษณะคลอง	8
2	งานวิจัยที่ใช้เทคนิคการประเมินผลอย่างรวดเร็วในประเทศไทย	19
3	ผลสัมฤทธิ์การควบคุมคลองส่งน้ำด้วยเทคนิคต่าง ๆ ใน ASCE Test Canal 1 ช่วงเวลาทดสอบที่ 0 – 12 ชั่วโมง	21
4	ตัวอย่างเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มค่าดัชนีผลลัพธ์ของการส่งน้ำ	22
5	ผลการประเมินผลลัพธ์ของการส่งน้ำของ The Menemen Left Bank Irrigation System. ของประเทศตุรกี ในปีค.ศ. 1999 และ 2000	22
6	รายละเอียดพื้นที่การบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษาของคลอง 5L – 2L	35
7	เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มของอาคารตามค่าความอ่อนไหว	48
8	ค่า Skewness แนะนำสำหรับทดสอบลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลแบบ Normality สำหรับขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 150 ตัวอย่างของ Snedecor & Cochran	52
9	การแปลความหมายค่าดัชนี NSE	57
10	ข้อมูลการเพาะปลูกและผลผลิตของคลอง 5L – 2L ฤดูกาลส่งน้ำปี 2551	65
11	ปฏิทินการดำเนินงานบริหารคลองส่งน้ำของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	66
12	ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำของพืชที่ใช้ในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	67
13	ปฏิทินกิจกรรมการจัดการน้ำรายสัปดาห์ของคลอง 2L	68
14	ข้อมูลเจ้าหน้าที่สำหรับควบคุมคลอง 5L – 2L ของระบบควบคุมด้วยแรงคน	69
15	ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. ปากคลอง 5L – 2L	72
16	ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650	73
17	ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.9+813	74
18	ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.14+750	75
19	ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.20+300	76
20	ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.24+500	77
21	ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.26+401	78

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 1R – 5L – 2L	79
23	ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 1L – 5L – 2L	80
24	ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 2L – 5L – 2L	81
25	ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 2R – 5L – 2L	82
26	ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3L – 5L – 2L	83
27	ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 4L – 5L – 2L	84
28	ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3R – 5L – 2L	85
29	อาคารควบคุมน้ำที่สำคัญในคลอง 5L -2L ระหว่าง กม. 0+020 – กม. 26+401	86
30	ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake) ของคลอง 5L - 2L	87
31	ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Regulator) ในคลอง 5L – 2L	88
32	ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน	89
33	ดัชนีภายนอกของการบริหารคลอง 5L – 2L ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 – 30 ตุลาคม 2551	92
34	ผลการประเมินระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมของคลอง 5L – 2L	93
35	ผลการประเมินสมรรถนะขององค์ประกอบในคลอง 5L – 2L	98
36	สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient, Kc)	108
37	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET _o) จำนวน โดยวิธี Penman Monteith ของโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง	109
38	ค่าสัมประสิทธิ์ฝนใช้การสำหรับข้าวและพืชไร่ สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	110
39	ผลการทดสอบลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ Perturbation ในระบบส่งน้ำ 5L – 2L	112

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
40	ผลการทดสอบ Goodness of Fit ของแบบจำลองของช่วงคลองต่าง ๆ	114
41	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM	121
42	Tolerance ของการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำคลอง 5L – 2L	122
43	ช่วงเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำ และปริมาณของอาคารควบคุม น้ำกลางคลอง	123
44	ช่วงเวลาในการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ	124
45	ระดับน้ำเป้าหมายและช่วงการควบคุมของคลอง 5L – 2L	129
46	ความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE)	139
47	ความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE)	140
48	ค่าดัชนี MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L	141
49	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี MAE ของคลอง 5L – 2L (α (0.05)	142
50	ผลการทดสอบดัชนี MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5	143
51	ผลการทดสอบดัชนี MAE ของช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5	144
52	ผลการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี MAE	145
53	ผลการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี MAE	146
54	ค่าดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L	147
55	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี IAE ของคลอง 5L – 2L (α (0.05)	148
56	ผลการทดสอบดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4	149
57	ผลการทดสอบดัชนี IAE ของช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
58	ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี IAE	150
59	ผลการการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี IAE	151
60	ค่าดัชนี RWLC ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	152
61	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี RWLC ของคลอง 5L – 2L ($\alpha=0.05$)	153
62	ผลการทดสอบดัชนี RWLC ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5	154
63	ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี RWLC	155
64	ผลการประเมินดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำของ คลอง 5L – 2L	156
65	เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มค่าดัชนีผลลัพธ์ของการส่งน้ำ	164
66	ค่าดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	165
67	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี PA ของคลอง 5L – 2L ($\alpha (0.05)$)	165
68	ผลการทดสอบดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4	166
69	ผลการทดสอบดัชนี PA ของช่วงคลอง แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5	168
70	ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PA	169
71	ผลการการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PA	170
72	ค่าดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	170
73	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี PE ของคลอง 5L – 2L ($\alpha (0.05)$)	171
74	ผลการทดสอบดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4	172

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
75	ผลการทดสอบดัชนี PE ของช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4	172
76	ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PE	173
77	ผลการการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PE	174
78	ค่าดัชนี PEQ ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	175
79	ผลการประเมินดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L	175
80	ผลการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ด้วยค่าดัชนีต่าง ๆ	178
ตารางผนวกที่		
ก1	ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ Electromagnetic current meter รุ่น VP1200	193
ก2	ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ Electric current meter รุ่น OSK14948	196
ก3	ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบใบพัด ชนิดเครื่อง A-OTT	199
ข1	ดัชนีภายนอกของคลอง 5L – 2L	203
ข2	ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านการบริการและความเกี่ยวพันทางสังคม (SERVICE and SOCIAL ORDER)	208
ข3	ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านสมรรถนะการให้บริการคลองสายใหญ่	210
ข4	ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านสมรรถนะการให้บริการคลองสายซอย	212
ข5	ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านสมรรถนะการให้บริการคลองแยกซอย	214

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข6	ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และ องค์กรผู้ใช้น้ำ	216
ข7	ดัชนีภายในพิเศษของคลอง 5L – 2L	217
ง1	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 1	227
ง2	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 2	228
ง3	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 3	229
ง4	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 4	230
ง5	ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 5	231

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	Feed Forward Control, FF	12
2	Feedback Control, FB	12
3	Combination Control, FF+FB	13
4	ตำแหน่งของการควบคุมระดับน้ำประเภทต่าง ๆ	16
5	แนวทางการกำหนดเป้าหมายการส่งน้ำ และความแม่นยำ ในการควบคุมน้ำในคลอง	27
6	สมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหล	28
7	โครงข่ายบนระนาบระยะทางและเวลาของระเบียบวิธี Finite Difference Method	32
8	การกระจายน้ำหนักของจุด 4 จุดใน Mesh ของ The Four – Point Implicit Scheme	32
9	ที่ตั้งและขอบเขตพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	35
10	แนวคิดระบบคลองอัตโนมัติ	37
11	เครื่อง Electromagnetic current meter รุ่น VP1200 (Version 5)	39
12	เครื่อง Electric current meter รุ่น OSK14948	40
13	เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด (Propeller Type) ชนิด A-OTT	40
14	อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบลูกลอย	41
15	Pressure Sensor ของ KELLER รุ่น CH – 804	41
16	Pressure Sensor เทียบได้กับ CAMPBELL รุ่น CS450/CS455	42
17	อุปกรณ์ตรวจวัดระยะเปิดบานของ ระบบคลองอัตโนมัติ	42
18	สถานีแม่ข่าย (Master Station)	43
19	เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) รุ่น ML 21	43
20	RTU ที่ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L	44
21	ประตูยนต์รุ่น 5	45
22	ประตูยนต์รุ่น 6	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
23	แผนผังขั้นตอนวิธีการดำเนินงานของงานวิจัย	46
24	แผนผังระบบส่งน้ำคลอง 5L – 2L โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	64
25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L	72
26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650	73
27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.9+813	74
28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.14+750	75
29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.20+300	76
30	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.24+500	77
31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.26+401	78
32	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุม น้ำปากคลองซอย 1R – 5L – 2L	79
33	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุม น้ำปากคลองซอย 1L – 5L – 2L	80
34	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุม น้ำปากคลองซอย 2L – 5L – 2L	81
35	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุม น้ำปากคลองซอย 2R – 5L – 2L	82
36	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุม น้ำปากคลองซอย 3L – 5L – 2L	83

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_0) ของอาคารควบคุม น้ำปากคลองซอย 4L – 5L – 2L	84
38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_0) ของอาคารควบคุม น้ำปากคลองซอย 3R – 5L – 2L	85
39	ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลา ที่ไม่มีการปรับบาน	89
40	ระดับการบริการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก	94
41	ระดับการบริการส่งน้ำ ณ จุดสุดท้ายที่บริหาร โดยโครงการ	94
42	ระดับการบริการส่งน้ำโดยคลองส่งน้ำสายใหญ่	95
43	ดัชนีแสดงผลการให้บริการจริงเปรียบเทียบกับเป้าหมาย	95
44	สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่	98
45	สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอย	99
46	สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกซอย	99
47	ขีดความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำ ในการให้บริการส่งน้ำ	100
48	ระดับน้ำด้านหน้า ประตู ปากคลอง 5L – 2L ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554	104
49	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำ ของคลองส่งน้ำ	111
50	กราฟเปรียบเทียบ Sample Correlogram (rk) กับ Anderson' limit ของช่วงคลองที่ 1 - 5	113
51	แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองสำหรับคาดการณ์ ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasting Perturbation Model)	115
52	แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model)	117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
53	แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model)	119
54	ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554	130
55	ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.9+813 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554	131
56	ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.14+750 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554	132
57	ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.20+300 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554	133
58	ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.26+401 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554	134
59	ดัชนี MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L	142
60	ดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L	147
61	ดัชนี RWLC ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	153
62	ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 1	158
63	ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 2	159
64	ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 3	160
65	ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 4	162
66	ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 5	163
67	ดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	166

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
68	ดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L	171
ภาพผนวกที่		
ก1	เปรียบเทียบความเร็วระหว่างเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ Electromagnetic Current Meter กับรถสอบเทียบ	195
ก2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(รอบ/วินาที) กับความเร็วของรถสอบเทียบ ของเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบ Electric Current Meter รุ่น OSK14948	198
ก3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(รอบ/วินาที) กับความเร็วของรถสอบเทียบ ของเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบใบพัด ชนิดเครื่อง A – OTT หมายเลขเครื่อง 14319 – 1	201

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ปตร.	=	ประตูละบายน้ำ
A	=	พื้นที่เพาะปลูกของพืชแต่ละชนิด, ไร่
A_x	=	พื้นที่หน้าตัดการไหล, m^2
AIC	=	The Akaike Information Criteria
ANOVA	=	Analysis of Variance Technique
AR	=	Autoregressive Model
b	=	ความกว้างของก้นคลอง, ม.
CAS	=	Canal Automation System
C_s	=	สัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ
COM	=	Canal Operation Model
CV()	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variance) คำนวณจากอัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่อค่าเฉลี่ยเลขคณิต
CWR	=	ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดต่อวัน, มม./วัน
dQ/Q	=	การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำ
dq/q	=	การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง
dH_E	=	การเปลี่ยนแปลงของผลต่างระดับน้ำด้านหน้ากับด้านท้ายอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, เมตร
E	=	ประสิทธิภาพการชลประทาน
ETc	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืช, มม./วัน
ETo	=	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Crop Evapotranspiration), มม./วัน
FAO	=	Food and Agriculture Organization of the United Nations
G_o	=	ระยะเปิดบาน, เมตร
g	=	ค่า Skewness ของชุดข้อมูล
H	=	พลังงานรวมในรูปของความลึกของน้ำ, ม.
h	=	ผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

H_E	=	ผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำปากคลอง, เมตร
H_{DS}	=	ระดับน้ำด้านท้ายอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, ม. รทก.
H_{US}	=	ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, ม. รทก.
H_{Ref}	=	ระดับก้นคลองท้ายอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, ม. รทก.
h_f	=	การสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัดการไหล, ม.
h_s	=	ผลต่างของระดับน้ำด้านท้ายน้ำกับระดับธรณีของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
IAE	=	Integrated Absolute Error
I_i	=	ค่าดัชนีภายในหลักมีค่า 0 - 4
I_{ij}	=	ค่าดัชนีภายในรองมีค่า 0 - 4
i	=	ดัชนีภายในหลัก
IWR	=	ความต้องการน้ำชลประทาน, $m^3/วัน$
j	=	ดัชนีภายในรอง
Kc	=	สัมประสิทธิ์การใช้ น้ำของพืช (Crop Coefficient)
L	=	ความกว้างของบานของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
m	=	ความลาดชันด้านข้างของคลอง, 1:m
MAE	=	Maximum Absolute Error
MASSCOTE	=	Mapping System and Services for Canal Operation Technique
N	=	ช่วงเวลาทั้งหมดที่ทำการตรวจวัด
n	=	สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
$N_{dropped}$	=	จำนวนครั้งที่ระดับน้ำที่ตรวจวัดได้อยู่ต่ำกว่าระดับเป้าหมาย
$N_{measured}$	=	จำนวนครั้งของระดับน้ำที่ตรวจวัดได้
NSE	=	Nash – Sutcliffe Efficiency
P	=	เส้นขอบเปียกของหน้าตัดการไหล, ม.
PA	=	Adequacy Performance Indicator
PE	=	Efficiency Performance Indicator
PEQ	=	Equity Performance Indicator

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Q	=	อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารควบคุมน้ำ, ลูกบาศก์เมตร/วินาที
Q_D	=	ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก, m^3 /วินาที
Q_R	=	ปริมาณความต้องการน้ำ ลบ.ม. / วินาที
R	=	ปริมาณฝนที่ตก (Rainfall), มม. / สัปดาห์
R^*	=	ปริมาณฝน ณ จุดที่ฝนใช้การเริ่มน้อยกว่าฝนที่ตก, มม. / สัปดาห์
R^2	=	Coefficient of Determination
Γ_1	=	The Sample Correlation Coefficients ที่ Lack time 1
Γ_2	=	The Sample Correlation Coefficients ที่ Lack time 2
RAP	=	Rapid Appraisal Process
RE	=	ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall), มม. / สัปดาห์
r_k	=	ค่า Sample Correlogram มีค่าอยู่ระหว่าง $-1 \leq r_k \leq 1$; $r_0 = 1$
RWLC	=	Reliability of Water Level Control
s^2	=	ค่า Variance ของชุดข้อมูล
SCADA	=	Supervisory Control and Data Acquisition
S_f	=	ความลาดชันของ Energy grade line
S_0	=	ความลาดชันของท้องคลอง
$S_{offtake}$	=	ค่าความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, เมตร ⁻¹
S_{reg}	=	ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
SOM	=	Service Oriented Management
T	=	ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ, นาที
t	=	จำนวนช่วงเวลาส่งน้ำที่พิจารณามีค่า 1, 2, ..., T
Δt	=	ช่วงเวลาที่ใช้ในการควบคุม, นาที
TWL	=	ระดับน้ำเป้าหมายของระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคารควบคุม, ม. รทก.
Tol	=	ช่วงการควบคุมที่ยอมให้, เมตร
v	=	ความเร็วของการไหล, ม./วินาที
W_{ij}	=	ค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีภายในรอง

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

WL	=	ระดับน้ำด้านเหนือน้ำของอาคารควบคุม, ม. รทก.
WLF	=	ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ
ΔWL	=	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำปากคลอง, เมตร
x	=	ตำแหน่งของหน้าตัดการไหล
x_t	=	ค่าของข้อมูลที่เวลา t
x_{t+k}	=	ค่าของข้อมูลที่เวลา t+k
\bar{x}_t	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของชุดข้อมูลแรกของ N - k ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N-k}$)
\bar{x}_{t+k}	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของชุดข้อมูลหลังของ N - k ($x_{k+1}, x_{k+2}, x_{k+3}, \dots, x_N$)
\bar{x}	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของชุดข้อมูล
y	=	ความลึกของน้ำ, เมตร
Y_i	=	ค่าสังเกต (Observation Value) ที่ i เมื่อ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง n
\hat{Y}_i	=	ค่าคาดคะเนจากแบบจำลองของ Y_i
\bar{Y}	=	ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ Y_i
Y_t	=	ระดับน้ำ ณ เวลา t, เมตร
Y_{stp}	=	ระดับน้ำเป้าหมาย, เมตร
z	=	ระดับพื้นอ้างอิง, ม.รทก. หรือ ม.รสม.
α	=	ค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังของสมการการไหลผ่านอาคารชลประทาน
β	=	ค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังของสมการการไหลแบบ Submerge flow ด้วยเงื่อนไขของการยกระดับของกันคลองด้านท้ายอาคารมีค่าเท่ากับ 1.66
ϕ	=	ค่าสัมประสิทธิ์การเปิดบานเท่ากับ 1
$\hat{\phi}_1$	=	Autoregression Coefficients ลำดับที่ 1
$\hat{\phi}_2$	=	Autoregression Coefficients ลำดับที่ 2
$\hat{\sigma}^2$	=	ค่าประมาณความแปรปรวนของชุดข้อมูล

การปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์

Canal Operation Improvement by Computer Simulation Model: Case Study of Songphinong Operation and Maintenance Project

คำนำ

ปัจจุบันองค์กรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานด้านการชลประทานของโลกได้ให้ความสำคัญกับการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของระบบบริหารคลองส่งน้ำ โดยได้นำเสนอแนวคิดเรื่อง “การปรับปรุงโครงการชลประทานให้ทันสมัย” (Irrigation Modernization) ซึ่งหมายถึง การปรับปรุงระบบการบริหารงานส่งน้ำของคลองชลประทาน (Canal Operation) เพื่อให้โครงการชลประทานสามารถส่งน้ำตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำในลักษณะของการจัดการแบบเน้นการบริการ (Service Oriented Management, SOM) มีหลักการสำคัญคือ โครงการชลประทานมีลักษณะเป็นผู้ให้บริการ (Service Provider) คอยศึกษาถึงความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำ และพยายามบริหารการส่งน้ำอย่างมืออาชีพเพื่อให้ผู้ใช้น้ำได้รับความพึงพอใจ โดยผู้ใช้น้ำเปรียบเสมือนลูกค้า (Client) มีหน้าที่ต้องคอยสื่อสารกับทางโครงการถึงความต้องการของตนเอง และช่วยสนับสนุนโครงการในรูปของการให้ความช่วยเหลือหรือจ่ายค่าบริการ เพื่อให้โครงการมีเงินทุนสำหรับใช้ปรับปรุงการบริการให้ดียิ่งขึ้น (Renault *et al.*, 2007) ซึ่งถือว่าเป็นแนวคิดใหม่สำหรับประเทศไทย ประมาณปี ค.ศ. 2000 FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) ได้เริ่มกระบวนการพัฒนาระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ของโครงการชลประทาน (Rapid Appraisal Procedure, RAP) ในเอเชีย เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ และค้นหาสาเหตุที่ทำให้ผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของโครงการชลประทานต่ำ หลังจากนั้นได้พัฒนาเทคนิคในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลอง ซึ่งเรียกว่า MASSCOTE (MApping System and Services for Canal Operation TEchnique) สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการ Modernization โครงการชลประทานขนาดใหญ่และขนาดกลาง การเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลองจะมีประโยชน์ที่สำคัญ คือ (1) ช่วยลดการสูญเสียน้ำชลประทานซึ่งรัฐบาลต้องเสียค่าลงทุนและค่าใช้จ่ายเป็นเงินหลายหมื่นล้านบาทในแต่ละปี เพื่อการพัฒนาและบริหารจัดการน้ำชลประทาน (2) ทำให้โครงการชลประทานสามารถส่งน้ำได้สอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรผู้ใช้น้ำมากขึ้น มีความความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีความเป็นธรรม (Equity) สูงขึ้น เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูกตาม

ความต้องการของตลาด ไม่ต้องห่วงว่าจะขาดน้ำตอนปลายฤดูกาล (วรารุช และคณะ, 2553) ซึ่งผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลองมืออยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ประเมิน เช่น เกษตรกร (ความเพียงพอ ความน่าเชื่อถือ ความเป็นธรรม ฯลฯ) พนักงานส่งน้ำ (ความพร้อมของอุปกรณ์ การบำรุงรักษาอาคารชลประทาน ความยุ่งยากในการควบคุมอาคาร ฯลฯ) และผู้อำนวยการโครงการ (บุคลากร นโยบาย งบประมาณ ฯลฯ) เป็นต้น สำหรับในประเทศไทย ผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำที่คุ้นเคยที่สุดคือ “ประสิทธิภาพการชลประทาน” (Plusquellec *et al.*, 1994)

สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่การเกษตรประมาณ 130,275,930 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 40.62 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเป็นพื้นที่ชลประทานที่ได้พัฒนาแล้วประมาณ 28,138,255 ไร่ และพื้นที่ได้รับประโยชน์จากระบบส่งน้ำชลประทานประมาณ 9,728,449 ไร่ (กรมชลประทาน, 2550) ระบบส่งน้ำส่วนใหญ่ถูกออกแบบให้ส่งน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกผ่านคลองเปิด โดยมีประตูระบายน้ำ (ปตร.) กลางคลองทำหน้าที่ควบคุมและรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายจากการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของโครงการชลประทานที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายหลักในการส่งน้ำ ประกอบด้วย ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency) ความเพียงพอ (Adequacy) และความเป็นธรรม (Equity) พบว่าค่าประสิทธิภาพการชลประทานของประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 43% ค่าฐานนิยามอยู่ระหว่าง 40-50% และบางโครงการมีค่าประสิทธิภาพการชลประทานต่ำกว่า 10% (วรารุช, 2548) สำหรับดัชนีความเพียงพอ (Adequacy) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity) ซึ่งประเมินด้วยเทคนิคการประเมินอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP) ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง (Facon, 2001; ธเนศ และก่อเกียรติ, 2547; Vudhicanich, 2007; อูรินทร์ และวรารุช, 2551; อูรินทร์ และวรารุช, 2554) ซึ่งสาเหตุสำคัญที่ผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของโครงการชลประทานในประเทศไทยยังไม่สูง และอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุงมีอยู่หลายประการ อาทิเช่น (1) ขาดการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ ทำให้ไม่ทราบว่าผลสัมฤทธิ์ของการส่งน้ำอยู่ในระดับไหน และควรพัฒนาหรือปรับปรุงอะไร (2) ขาดการประเมินสมรรถนะหรือขีดความสามารถในการส่งและควบคุมน้ำของระบบคลองและอาคาร (3) เจ้าหน้าที่สนามขาดความรู้ทางด้านชลศาสตร์ การไหลของน้ำในคลอง (Hydraulic of Open Channel Flow) และขาดเครื่องมือสำหรับจำลองการไหลของน้ำในคลอง จึงตั้งสมมติฐานว่าการไหลของน้ำในคลองเป็นแบบคงตัว (Steady State) ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพื่อความสะดวกในการควบคุมน้ำ (Operate) แต่ในความเป็นจริง น้ำในคลองส่วนใหญ่ไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady State) ระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำในคลองเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้การควบคุมน้ำไม่เป็นไปตามเป้าหมาย มีผลทำให้ผู้ใช้น้ำขาดความเชื่อถือจนเป็นเหตุให้มีการแย่งกันใช้น้ำ และถึงขั้นทำลายอาคาร เป็นต้น (วรารุช และคณะ, 2553)

นอกจากการประเมินด้วย RAP แล้วการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของโครงการชลประทานยังสามารถประเมินได้ด้วยดัชนีประเมินผลการควบคุมระบบส่งน้ำ เช่น (1) ดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ (Control Performance Indicators) นำเสนอโดย Clemmens *et al.* (1998) สำหรับใช้ประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการควบคุมที่ใช้ในระบบส่งน้ำ (Wahlin and Clemmens. 2002; Clemmens *et al.* 2005; อูรินทร์ และคณะ, 2552) (2) ดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of Water Level Control) นำเสนอโดย วราวุธ และคณะ (2552) สำหรับใช้ประเมินความสามารถในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในช่วงการควบคุมของระบบบริหารคลองส่งน้ำ (วราวุธ และคณะ, 2552; อูรินทร์ และคณะ 2552) และ (3) ดัชนีประเมินผลลัพธ์ของการส่งน้ำ (Output Performance Indicators) นำเสนอโดย Molden and Gates (1990) สำหรับใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำตามมุมมองของเกษตรกร (Unal *et al.*, 2004; อูรินทร์ และคณะ, 2553)

จากเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าวข้างต้น จึงควรได้มีการวิจัยเพื่อปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำให้สามารถควบคุมระดับน้ำในคลองส่งน้ำที่มีการไหลแบบไม่มั่นคง (Unsteady Flow) ให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการชลประทาน (Irrigation Efficiency) ความเพียงพอ (Adequacy) และความเป็นธรรม (Equity) ในการส่งน้ำ ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูกให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาดและศักยภาพของตนเอง โดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่องน้ำชลประทาน อันจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการเพิ่มผลผลิต และรายได้ของเกษตรกรอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย คือ การพัฒนาแนวทางในการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ และเครื่องมือสำหรับช่วยตัดสินใจในการควบคุมและบริหารคลองส่งน้ำ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการปฏิบัติงานของระบบบริหารคลองส่งน้ำ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับควบคุมระบบบริหารคลองส่งน้ำ ให้สามารถส่งน้ำได้สอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกร และใช้ค่าดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระดับน้ำ และค่าดัชนีผลลัพธ์ของการส่งน้ำเป็นเครื่องมือสำหรับเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ และผลลัพธ์ในการส่งน้ำของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่เสนอแนะ โดยสามารถแยกเป็นวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานได้ ดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของระบบบริหารคลองส่งน้ำ ประกอบด้วย ระบบบริหารคลองส่งน้ำ ระบบควบคุมคลองส่งน้ำ และคุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดเป้าหมายและแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ

2. ประเมินผลสัมฤทธิ์ของระบบบริหารคลองส่งน้ำ ด้วยเทคนิคการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (Burt, 2001) เพื่อตรวจสอบการใช้ปัจจัยการผลิตและผลผลิตของโครงการ ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำที่ระดับต่าง ๆ และประเมินสมรรถนะของอาคารชลประทานตลอดจนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดเป้าหมายและแนวทางในการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ ร่วมกับคุณสมบัติต่างๆ ของคลองส่งน้ำ

3. พัฒนาแบบจำลองการบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับจำลองการไหลของน้ำตามเงื่อนไขการปรับบานของ ประตูกลางคลอง (Cross Regulators) เพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้า ประตูกลางคลองให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด (Target Water Level, TWL) ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองสำหรับการคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model) แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model) และแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model)

4. ทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการในปัจจุบัน (Existing Operation) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองการบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model) และระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System) ในคลองส่งน้ำ 5L – 2L ของระบบส่งน้ำแม่กลองใหญ่ เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด ด้วยดัชนี Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE) และ Reliability of Water Level Control (RWLC) และผลลัพธ์ในการส่งน้ำ ด้วยดัชนี Adequacy Performance Indicator (PA), Efficiency Performance Indicator (PE) และ Equity Performance Indicator (PEQ) ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ สำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาเลือกแนวทางในการบริหารคลองส่งน้ำที่เหมาะสมกับระบบคลองส่งน้ำมากที่สุด

ขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ กำหนดพื้นที่ศึกษาในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L ของระบบส่งน้ำแม่กลองใหญ่ ระหว่าง กม.0+020 ถึง กม.26+401 อยู่ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งมีการติดตั้งระบบควบคุมคลองส่งน้ำ 2 ระบบ คือระบบควบคุมด้วยมือ (Manual Control) และระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System) โดยทางโครงการได้กำหนดกรอบการส่งน้ำเป็นแบบรายสัปดาห์ ทำการตรวจวัดพร้อมทั้งบันทึกข้อมูลระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ท้ายน้ำ และระยะเปิดบานของประตูระบายน้ำ (ปตร.) ปากคลอง และ ปตร. กลางคลองส่งน้ำ 5L – 2L ในลักษณะ ณ เวลาจริง ทุกครั้งชั่วโมงด้วยระบบโทรมาตร และระบบบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยกำหนดช่วงเวลาในการทดสอบระบบบริหารคลองส่งน้ำที่ใช้ระบบควบคุมแบบต่าง ๆ ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554

การตรวจเอกสาร

ระบบบริหารงานส่งน้ำ

ระบบบริหารงานส่งน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ การจัดสรรน้ำ (allocation) การวางแผนการส่งน้ำ (Scheduling) การปฏิบัติการส่งน้ำ (Execution) และ ติดตามประเมินผล การส่งน้ำ (Monitoring and Evaluation)

1. การจัดสรรน้ำ (Allocation)

การจัดสรรน้ำหมายถึง การพิจารณาจัดหาปริมาณน้ำต้นทุนสำหรับส่งน้ำให้พื้นที่ส่งน้ำ ตามความต้องการน้ำ หรือตามข้อตกลงระหว่างผู้รับน้ำกับผู้ส่งน้ำ ในช่วงเวลาที่กำหนด ภายใต้ เงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่าง ๆ ในการส่งน้ำ โดยทั่วไปแล้วการจัดสรรน้ำตามปริมาณน้ำที่นิยมใช้กัน ในระบบชลประทานของประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ การจัดสรรน้ำตามปริมาณ น้ำต้นทุนที่มีอยู่ และการจัดสรรน้ำตามความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำ

การจัดสรรน้ำตามปริมาณน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ประเด็น คือปริมาณน้ำต้นทุน กับ ความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำ โดยที่ปริมาณน้ำต้นทุนขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และการบริหารจัดการน้ำต้นทุน ส่วนความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้น้ำของพืช ปริมาณน้ำ สำหรับเตรียมแปลงเพาะปลูก การสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำ และปริมาณฝนในพื้นที่ส่งน้ำ

1.1 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (Consumptive Use)

ปริมาณการใช้น้ำของพืช หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชดูดไปใช้สร้างเซลล์และเนื้อเยื่อ และคายออกสู่บรรยากาศ รวมทั้งปริมาณน้ำที่ระเหยไปจากผิวดินหรือผิวน้ำรอบ ๆ ต้นพืช และจากน้ำที่ เกาะอยู่ตามลำต้นหรือใบ เนื่องจากฝนตกหรือการชลประทาน ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะแตกต่างกัน ไปตามชนิดของพืชที่ปลูก ระยะเวลาการเจริญเติบโต ฤดูกาล วิธีการเพาะปลูก สภาพดินฟ้า อากาศ และวิธีการให้น้ำ (เจษฎา, 2527) การหาปริมาณการใช้น้ำของพืชสามารถทำได้ทั้งจากการ ตรวจวัดจริงในสนาม หรือคำนวณจากข้อมูลสภาพภูมิอากาศในรูปของปริมาณการใช้น้ำของพืช อ้างอิง ซึ่งสามารถคำนวณการใช้น้ำของพืชชนิดต่าง ๆ ได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$ET_C = K_C \times ET_0 \quad (1)$$

โดยที่	ET_C	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช มีหน่วยเป็น มม./วัน
	K_C	คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient)
	ET_0	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Crop Evapotranspiration) มีหน่วยเป็น มม./วัน

1.2 ปริมาณน้ำเตรียมแปลง

ปริมาณน้ำเตรียมแปลง หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับปรับความชื้นในดินของแปลงเพาะปลูกก่อนการปลูกพืช ให้มีความชื้นเท่ากับความชื้นชลประทาน ด้วยการปล่อยน้ำเข้าสู่แปลงเพาะปลูกเพื่อเตรียมแปลงประมาณ 1 – 2 สัปดาห์

ณัฐวุฒิ (2550) ทำการรวบรวมผลการศึกษ ปริมาณน้ำเตรียมแปลงและสรุปว่า นาข้าวมีความต้องการปริมาณน้ำสำหรับเตรียมแปลงประมาณ 200 – 250 มม. และใช้ระยะเวลาเตรียมแปลง 1 – 2 สัปดาห์ สำหรับพืชไร่มีความต้องการปริมาณน้ำสำหรับเตรียมแปลงประมาณ 50 – 64 มม. และใช้ระยะเวลาเตรียมแปลง 1 สัปดาห์

1.3 การสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำ

การสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแปลง และการสูญเสียน้ำในขณะส่งน้ำ

1.3.1 การรั่วซึมของน้ำในแปลงเพาะปลูก (Percolation)

การรั่วซึมของน้ำในแปลงเพาะปลูก หมายถึง การสูญเสียน้ำเนื่องจากการซึมลึกลงในดินเลยเขตที่รากและพืชไม่สามารถนำมาใช้ได้ โดยเฉพาะข้าวซึ่งเป็นพืชที่มีการขังน้ำไว้ในพื้นที่เพาะปลูกตลอดเวลา ค่าการรั่วซึมขึ้นอยู่กับชนิดดิน โครงสร้างดิน ความลึกดินในการไถพรวนหรือเตรียมแปลง ระดับน้ำในแปลงนา และระดับน้ำใต้ดิน

ประพันธ์ (2539) ได้ทำการศึกษาปริมาณการรั่วซึมของน้ำเฉลี่ยในแปลงนา (Percolation) ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องมีค่าเท่ากับ 0.84 มม./วัน

1.3.2 การสูญเสียน้ำในขณะส่งน้ำ

การสูญเสียน้ำในขณะส่งน้ำ หมายถึง ปริมาณน้ำที่สูญเสียเนื่องจากการรั่วซึมของน้ำในคลองส่งน้ำระหว่างการส่งน้ำ สามารถประเมินได้จากการตรวจวัดปริมาณน้ำที่จุดต้นทางและปลายทาง

ประพันธ์ (2539) ได้ทำการหาอัตราการสูญเสียน้ำในขณะส่งน้ำของคลอง 3R – 5L – 2L ในเขตพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง โดยแบ่งคลองออกเป็น 3 ลักษณะตามตารางที่ 1 ซึ่งนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับคำนวณหาอัตราการสูญเสียน้ำในขณะส่งน้ำของคลอง 5L – 2L

ตารางที่ 1 อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำตามลักษณะคลอง

ลักษณะคลอง	ความจุสูงสุด (cms)	อัตราการสูญเสียน้ำขณะส่งน้ำ (%ของความจุสูงสุดต่อกิโลเมตร)
คลองสายใหญ่ดาดคอนกรีต	20.249	0.44
คลองซอยดาดคอนกรีต	5.287	0.91
คลองซอยไม่ดาดคอนกรีต	2.954	2.35

ที่มา: ประพันธ์ (2539)

1.4 ปริมาณฝนใช้การ

ปริมาณฝนใช้การ หมายถึง ปริมาณฝนที่ตกลงบนพื้นที่เพาะปลูกและพืชสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ฝนใช้การขึ้นอยู่กับปริมาณฝน ช่วงเวลาที่ตก และชนิดของพืช ซึ่งสามารถหาได้จากสัมพัทธ์ระหว่างฝนใช้การ (Effective Rainfall) กับฝนรายสัปดาห์ (Rainfall) ดังสมการต่อไปนี้

$$RE = R \quad \text{เมื่อ } R \leq R^* \quad (2)$$

$$RE = A \cdot R + B \quad \text{เมื่อ } R > R^* \quad (3)$$

โดยที่	RE	คือ ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall), มม. / สัปดาห์
	R	คือ ปริมาณฝนที่ตก (Rainfall), มม. / สัปดาห์
	R*	คือ ปริมาณฝน ณ จุดที่ฝนใช้การเริ่มน้อยกว่าฝนที่ตก, มม. / สัปดาห์
	A และ B	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฝนใช้การ

2. การวางแผนการส่งน้ำ (Scheduling)

การวางแผนการส่งน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถส่งน้ำได้ตาม ผลการจัดสรรน้ำที่กำหนดไว้ และสอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืช สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 แบบที่สำคัญ คือ (1) ส่งแบบตลอดเวลา (Continuous Delivery) (2) ส่งแบบหมุนเวียน (Rotation Delivery) (3) ส่งตามความต้องการ (On Demand Delivery หรือ Free Access) และ (4) ส่งตามคำขอแบบผู้ใช้น้ำต้องขอรับล่วงหน้า (Arranged Delivery) โดยที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องได้กำหนดการวางแผนการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L เป็นแบบรายสัปดาห์ และวางแผนการส่งน้ำล่วงหน้า 2 สัปดาห์ เพื่อให้สอดคล้องกับระบบบริหารคลองส่งน้ำของคลอง 2L ซึ่งเป็นแหล่งน้ำต้นทุนของคลอง 5L – 2L

2.1 ส่งแบบตลอดเวลา (Continuous Delivery)

การส่งน้ำแบบตลอดเวลา เป็นวิธีการส่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูกทุก ๆ แปลงอย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา (ตลอด 24 ชั่วโมง) ติดต่อกันตลอดฤดูกาลเพาะปลูก ซึ่งการส่งน้ำด้วยวิธีนี้ค่าลงทุนก่อสร้างระบบส่งน้ำและระบบแจกจ่ายน้ำจะมีราคาถูกกว่าการส่งน้ำโดยวิธีอื่น ๆ เพราะขนาดของระบบจะเล็กลงไปเรื่อย ๆ การส่งน้ำด้วยระบบนี้จะได้ผลดีและมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อเกษตรกรมีพื้นที่เพาะปลูกเป็นแปลงใหญ่ (วรารุช, 2545)

2.2 ส่งแบบหมุนเวียน (Rotation Delivery)

การส่งน้ำแบบหมุนเวียน เป็นวิธีการส่งน้ำให้ผู้ใช้น้ำตามจำนวนและเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเป็นช่วง ๆ โดยมีการแบ่งพื้นที่รับน้ำออกเป็นส่วนย่อย ๆ แล้วกำหนดรอบเวลาการส่งน้ำตามความเหมาะสมซึ่งจำนวนน้ำที่ส่งให้แต่ละครั้งจะต้องมากพอให้พืชใช้ไปจนกว่าจะถึงกำหนดส่งน้ำครั้งต่อไป (วารวฐ, 2545)

2.3 ส่งตามความต้องการ (On Demand Delivery หรือ Free Access)

การส่งน้ำแบบตามความต้องการ เป็นวิธีการส่งน้ำที่นิยมใช้ในหน่วยงานที่มีการเก็บค่าน้ำจากผู้ใช้น้ำ โดยผู้ใช้น้ำจะเป็นผู้กำหนดความต้องการนั้นในเรื่องของปริมาณน้ำและช่วงเวลาที่ต้องการน้ำ ซึ่งข้อดีของระบบนี้คือสามารถส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูกได้ในเวลาที่เหมาะสม ทำให้เกษตรกรสามารถวางแผนการปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง ลดการใช้แรงงานที่ไม่จำเป็น ลดการสูญเสียน้ำ เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้น้ำ รวมถึงสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตต่อไร่ด้วย แต่ข้อเสียของระบบนี้คือคลองส่งน้ำต้องมีความจุเพียงพอสามารถรองรับปริมาณน้ำที่ส่งเข้าพื้นที่ได้ (Laycock, 2007)

2.4 ส่งตามคำขอแบบผู้ใช้น้ำต้องขออน้ำล่วงหน้า (Arranged Delivery)

การส่งน้ำแบบตามคำขอแบบผู้ใช้น้ำต้องขออน้ำล่วงหน้า เป็นวิธีการส่งน้ำที่ผสมผสานระหว่างวิธีการส่งน้ำแบบหมุนเวียน กับวิธีการส่งน้ำตามความต้องการ โดยผู้ใช้น้ำจะรวมกลุ่มกันเพื่อส่งคำขอความต้องการน้ำ (ปริมาณน้ำ และช่วงเวลาที่ต้องการน้ำ) ผ่านกลุ่มผู้ใช้น้ำให้เจ้าหน้าที่พิจารณาส่งน้ำให้ โดยเจ้าหน้าที่จะพยายามจัดกลุ่มความต้องการน้ำที่เหมาะสมตามปริมาณน้ำต้นทุน และขนาดของคลองส่งน้ำ และแจ้งผลการส่งน้ำให้กลุ่มผู้ใช้น้ำทราบ (Laycock, 2007)

3. การปฏิบัติการส่งน้ำ (Execution)

การปฏิบัติการส่งน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการไหลของน้ำในคลองชลประทานให้สามารถส่งน้ำ ให้กับคนหรือพื้นที่ที่เหมาะสม ในปริมาณและเวลาที่เหมาะสม สามารถส่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ(Efficiency) มีความน่าเชื่อถือ (Reliability) สูง ใช้งานง่าย (Simplicity) ราคาถูก (Low Cost Operation) และสามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้ (Flexibility) (Plusquellec, 1988)

หลักการพื้นฐานในการควบคุมน้ำในคลองชลประทาน แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การควบคุมปริมาณการไหล (Flow control) และการควบคุมระดับน้ำ (Water level control) โดยใช้การควบคุมปริมาณการไหลของน้ำผ่านประตูระบายน้ำ (ปตร.) ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับน้ำในคลอง ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องควบคุมทั้งระดับน้ำและปริมาณการไหลควบคู่กันไป จึงจะสามารถส่งน้ำได้ตามต้องการ โดยทำการควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายก่อน แล้วจึงปรับอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยให้น้ำไหลเข้าสู่คลองซอยตามที่ต้องการ

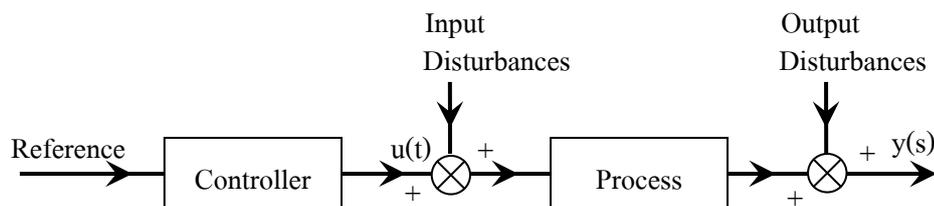
การควบคุมระดับน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับน้ำ ณ จุดที่ต้องการควบคุม (Control Point) ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย (Target Water Level) ตลอดช่วงเวลาในการส่งน้ำ สามารถแบ่งวิธีการควบคุมระดับน้ำได้หลายลักษณะขึ้นอยู่กับการใช้อะไรในการพิจารณา เช่น แนวคิดในการควบคุมจุดหรือตำแหน่งที่ต้องการควบคุม ลักษณะของการควบคุม และเทคนิคของการควบคุม เป็นต้น

3.1 แนวคิดในการควบคุมระดับน้ำ

ในระบบคลองส่งน้ำสามารถแบ่งแนวคิดในการควบคุมออกเป็น 3 ประเภท ตามรูปแบบและทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุม (Controlled Variable) กับตัวแปรปฏิบัติการ (Control Action Variable) คือ (1) Feed Forward Control, FF (2) Feedback Control, FB และ (3) Combination Control, FF + FB (Malaterre *et al.*, 1998)

3.1.1 Feed Forward Control

Feed Forward Control เป็นระบบควบคุมที่ประเมินตัวแปรนำเข้า หรือตัวแปรควบคุมของระบบ จากเป้าหมายของผลลัพธ์ที่กำหนด โดยไม่มีการนำผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานมาปรับเปลี่ยนตัวแปรตัวแปรควบคุม (Malaterre *et al.*, 1998) ดังแสดงในภาพที่ 1 ใช้กับระบบที่ทราบแหล่งและขนาดของการรบกวน โดยส่วนใหญ่ และทำการประเมินการควบคุมจากเป้าหมายและการรบกวนระบบในอดีต (Ruiz *et al.*, 1998)

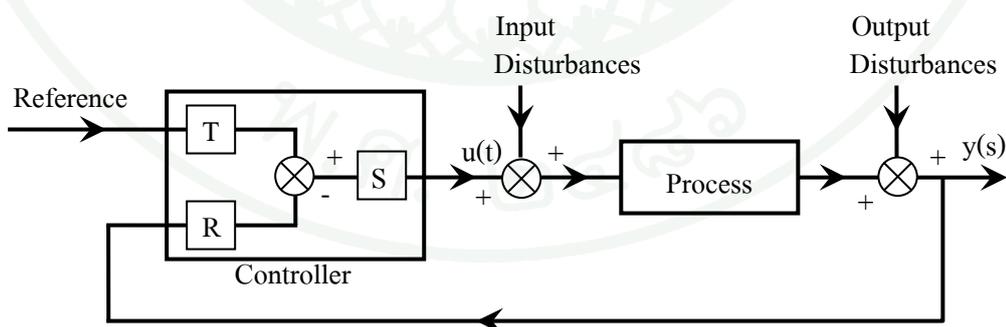


ภาพที่ 1 Feed Forward Control, FF

ที่มา: Ruiz *et al.* (1998)

3.1.2 Feedback Control

Feedback Control เป็นระบบควบคุมที่ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นกับเป้าหมาย และทำการปรับเปลี่ยนตัวแปรนำเข้า หรือตัวแปรควบคุมของระบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของระบบตามเป้าหมายที่กำหนด หรือมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในขอบเขตที่กำหนด (Malaterre *et al.*, 1998) ดังแสดงในภาพที่ 2 นิยมใช้กับระบบส่งน้ำที่มีการรบกวนระบบเกิดขึ้นไม่แน่นอน และไม่สามารถคาดการณ์ล่วงหน้าได้ แต่ระบบที่ใช้ต้องเป็นระบบที่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว (Ruiz *et al.*, 1998) จึงไม่นิยมนำไปใช้กับกรณีที่ใช้อาคารควบคุมด้านเหนือน้ำควบคุมตัวแปรด้านท้ายน้ำของช่วงคลอง แต่จะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้กับการควบคุมตัวแปรด้านท้ายน้ำของช่วงคลองแบบด้านเหนือน้ำของอาคารควบคุม (Ooi and Weyer, 2001)

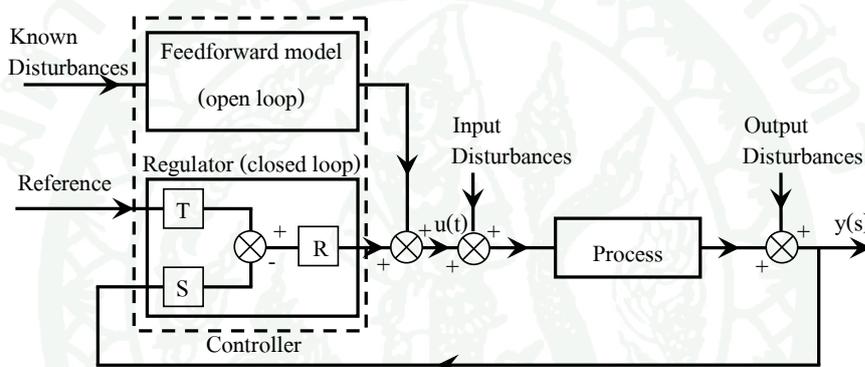


ภาพที่ 2 Feedback Control, FB

ที่มา: Ruiz *et al.* (1998)

3.1.3 Combination Control

Combination Control เป็นระบบควบคุมที่ใช้ทั้งการควบคุมแบบ Feed Forward Control และ Feedback Control ผสมในระบบควบคุมเดียวกันเพื่อให้ระบบควบคุมสามารถนำข้อดีของการควบคุมแบบ Feed Forward Control และ Feedback Control มาใช้ และยังช่วยลดข้อจำกัดของระบบควบคุมทั้งสอง (Malaterre *et al.*, 1998) ดังแสดงในภาพที่ 3 มักนิยมใช้กับระบบชลประทานที่มีขนาดใหญ่ เช่น การใช้ Feed Forward Control สำหรับควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่ระบบส่งน้ำ และใช้ Feedback Control สำหรับควบคุมระดับน้ำด้านท้ายน้ำของแต่ละช่วงคลอง



ภาพที่ 3 Combination Control, FF+FB

ที่มา: Ruiz *et al.* (1998)

3.2 เทคนิคของการควบคุม

เทคนิคการควบคุมระบบคลองส่งน้ำมีหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีข้อดี ข้อเสีย และข้อจำกัดในการควบคุมที่แตกต่างกันไป การเลือกใช้หรือพัฒนาเทคนิคการควบคุมระบบคลองส่งน้ำขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลักคือ (1) ระบบของแบบจำลองที่ต้องการควบคุม (System Modeling) (2) ระบบหรือรูปแบบที่ใช้นำการศึกษาและวิเคราะห์ (System Analysis) และ (3) การออกแบบอุปกรณ์ควบคุม (Controller Design) (Malaterre *et al.*, 1998)

จากการรวบรวมบทความวิจัยของ Malaterre *et al.* (1998); Malaterre and Baume (1998); Ruiz *et al.* (1998) ซึ่งเป็นบทความที่รวบรวมเทคนิคการควบคุมระบบคลองส่งน้ำที่มีการพัฒนาขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปี พ.ศ. 2541 (ค.ศ. 1998) และใช้กันอย่างแพร่หลาย ประกอบด้วย Monovariabele Heuristical Methods, Proportional Integral Derivative (PID) Control, Smith Predictor Scheme, Pole Placement Control, Predictive Control, Fuzzy Logic Control, Model Inversion Methods, Optimization Methods, Robust Control, Adaptive Control and Nonlinear Control. สำหรับระบบคลองอัตโนมัติใช้ในการควบคุมระบบคลองส่งน้ำในภาคสนาม จะใช้เทคนิค Proportional Integral Derivative (PID) Control เป็นพื้นฐานของการควบคุม ซึ่ง PID Control เป็นเทคนิคการควบคุมที่รวมเอาข้อดีของเทคนิคการควบคุมแบบ Proportional Control, Reset or Integral Control และ Rate or Derivative Control เข้าไว้ด้วยกันเป็นระบบควบคุมที่ตอบสนองต่อการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์จากค่าที่กำหนดโดยเปรียบเทียบกับผลการดำเนินงานในอดีต และลดการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมที่ไม่จำเป็น ได้มีการนำเทคนิค PID Control ไปใช้ในทวีปอเมริกาเหนือ เอเชีย และยุโรป อย่างแพร่หลาย รวมทั้งเกือบทั้งหมดในประเทศสหรัฐอเมริกา Toepfer (2007)

3.2.1 Proportional Control เป็นวิธีการควบคุมที่ตอบสนองต่อการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์จากค่าที่กำหนด โดยทั่วไปกำหนดให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าของตัวแปรควบคุม กับตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม วิธีการควบคุมแบบนี้มีข้อเสียคือ อุปกรณ์ควบคุมอาจทำงานไม่ตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ที่แท้จริง เนื่องจากมีการกำหนดวิธีการควบคุมไว้ล่วงหน้า ตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำของระบบส่งน้ำซึ่งจะมีผลให้ระดับน้ำในคลองเปลี่ยนไป แต่ค่าที่กำหนดไว้ไม่ได้เปลี่ยนตามความต้องการน้ำ

3.2.2 Reset or Integral Control เป็นวิธีการควบคุมที่ตอบสนองต่อการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์จากค่าที่กำหนด และมีการเปรียบเทียบกับการเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในอดีต หรือการเบี่ยงเบนสะสม ดังนั้นการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมจะขึ้นอยู่กับข้อมูลในอดีตด้วยเช่น ค่าการเบี่ยงเบนในอดีต หรือช่วงเวลาที่เกิดการเบี่ยงเบนขึ้น โดยทั่วไปวิธีการควบคุมแบบนี้จะถูกนำไปรวมกับวิธีการควบคุมแบบ Proportional Control เรียกว่า Proportional Plus Reset Control หรือ Proportional Integral (PI) Control เป็นวิธีที่มีการเก็บรวบรวมการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์ที่เกิดจากการควบคุม ทำให้มีการปรับปรุงการควบคุมเพื่อลดการเบี่ยงเบนที่จะเกิดขึ้น โดยใช้ข้อมูลในอดีต

3.2.3 Rate or Derivative Control เป็นวิธีการควบคุมที่ตอบสนองต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของขนาด หรือทิศทางของการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์ต่อค่าที่กำหนด ดังนั้นวิธีการควบคุมชนิดนี้จะไม่ทำงานถ้าการเบี่ยงเบนของผลลัพธ์ต่อค่าที่กำหนดมีค่าคงที่ แต่ข้อดีของวิธีการควบคุมแบบนี้คือลดอัตราการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมได้

3.3 ตำแหน่งของการควบคุมระดับน้ำ

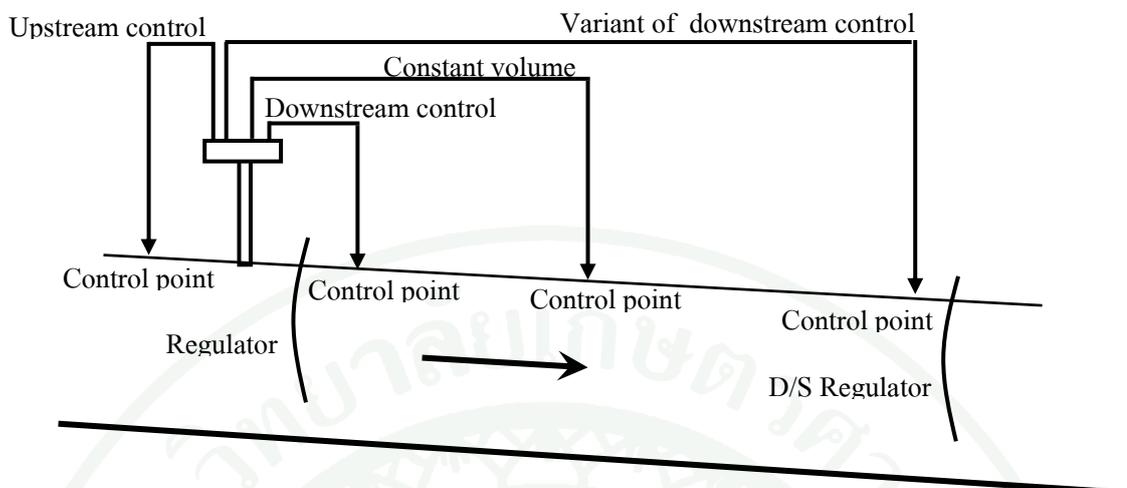
การกำหนดตำแหน่งของการควบคุมระดับน้ำ (Control Point) ในคลองชลประทาน มีวัตถุประสงค์เพื่อ เพิ่มประสิทธิภาพ – ประสิทธิผล และความยืดหยุ่น (Flexibility) ในการส่งน้ำ ซึ่งต้องกำหนดให้สอดคล้องกับการออกแบบคลองส่งน้ำ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทคือ การควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำ (Upstream Control) การควบคุมระดับน้ำด้านท้ายน้ำ (Downstream Control) การควบคุมปริมาณน้ำในช่วงคลองคงที่ (Constant Volume) และการควบคุมแบบยอมให้ระดับน้ำท้ายน้ำเปลี่ยนแปลงได้ (Variant of Downstream Control) ตามภาพที่ 4

3.3.1 การควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำ (Upstream Control) กำหนดจุดควบคุมระดับน้ำด้านหน้า ปตร. โดยออกแบบคันคลองขนานกับกันคลองที่อัตราการไหลสูงสุด ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบที่ปฏิบัติกันโดยทั่วไป

3.3.2 การควบคุมระดับน้ำด้านท้ายน้ำ (Downstream Control) กำหนดจุดควบคุมระดับน้ำด้านท้าย ปตร. คลองส่งน้ำที่ในการควบคุมแบบนี้ต้องออกแบบคันคลองให้อยู่ในแนวราบ เพราะที่อัตราการไหลเป็นศูนย์ ระดับน้ำจะอยู่ในแนวราบ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างคลองมากขึ้น วิธีนี้จึงยังไม่มีนำมาใช้ในประเทศไทย

3.3.4 การควบคุมปริมาณน้ำในช่วงคลองคงที่ (Constant Volume) กำหนดจุดควบคุมระดับน้ำอยู่ด้านท้าย ปตร. บริเวณกึ่งกลางช่วงคลอง ซึ่งจะช่วยประหยัดค่าก่อสร้างลงเมื่อเทียบกับแบบควบคุมท้ายน้ำ

3.3.5 การควบคุมแบบยอมให้ระดับน้ำท้ายน้ำเปลี่ยนแปลงได้ (Variant of Downstream Control) กำหนดจุดควบคุมท้ายน้ำอยู่ปลายสุดของช่วงคลอง หรือใกล้ ปตร. ด้านท้ายน้ำถัดไป วิธีนี้มีข้อดีคือ ทำให้ไม่ต้องเสียค่าก่อสร้างคลองเพิ่มเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีควบคุมท้ายน้ำ



ภาพที่ 4 ตำแหน่งของการควบคุมระดับน้ำประเภทต่าง ๆ

3.4 ลักษณะของการควบคุม

วิธีการควบคุมระดับน้ำ นอกจากจะแบ่งตามตำแหน่งของการควบคุม (Control Points) แล้วยังสามารถแบ่งตามลักษณะของการควบคุมออกได้เป็น 3 วิธีคือ การควบคุมเฉพาะจุด (Localized Control) การควบคุมเฉพาะจุดระยะไกล (Remote Localized Control) และการควบคุมจากศูนย์กลางระยะไกล (Remote Centralized Control)

วิธีการควบคุมเฉพาะจุด เป้าหมายของการควบคุมจะอยู่ใกล้ ปตร. วิธีการควบคุมเฉพาะจุดระยะไกลเป้าหมายของการควบคุมจะอยู่ห่างไกลจาก ปตร. แต่ทั้งสองวิธีจะควบคุมระดับน้ำเฉพาะจุดโดยอาจควบคุมโดยคนหรือใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติก็ได้ และวิธีสุดท้ายคือวิธีการควบคุมจากศูนย์กลางระยะไกลซึ่งจะต้องมีการส่งข้อมูลความต้องการน้ำ ระดับน้ำ ขนาดการเปิดบานของ ปตร. ต่าง ๆ และปริมาณน้ำในอ่างเก็บน้ำเข้าสู่ศูนย์ควบคุม เพื่อประมวลผลข้อมูล แล้วส่งคำสั่งการควบคุม ปตร. ต่าง ๆ ทั้งคลองพร้อมกัน (วิษญู, 2551)

4. การติดตามและประเมินผล (Monitoring and Evaluation)

การติดตามประเมินผล (Monitoring and Evaluation) เป็นขั้นตอนที่ทำให้ทราบถึงผลการดำเนินงานส่งน้ำว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการส่งน้ำและการจัดการน้ำของโครงการหรือไม่ มีปัญหาหรือข้อผิดพลาดตรงไหน เพื่อที่จะได้ดำเนินการปรับแก้ให้ทันการณ์

ตลอดจนการติดตามตรวจสอบผลลัพธ์ของการส่งน้ำต่อผลผลิต และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหาที่สำคัญคือ โครงการชลประทานส่วนใหญ่ ไม่มีเครื่องมือตรวจวัดน้ำ จึงยากที่จะติดตามผลการส่งน้ำได้

การประเมินสมรรถนะระบบบริหารคลองส่งน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ประเมินขั้นตอนการปฏิบัติงานของระบบเพื่อนำไปสู่เป้าหมายที่กำหนดไว้ (2) ปรับปรุงระบบบริหารจัดการ (3) ประเมินอิทธิพลของการส่งน้ำต่อผลผลิตทางการเกษตรในพื้นที่ส่งน้ำ (4) ประเมินความคุ้มค่า และแหล่งเงินทุนของระบบ และ (5) เป็นเครื่องมือสำหรับเปรียบเทียบกับระบบบริหารคลองส่งน้ำอื่น ซึ่งจะทำให้การประเมินใน 4 มิติ คือ (1) ทรัพยากรที่ใช้ในระบบ (Input) (2) ผลลัพธ์ของระบบ (Output) (3) อุปกรณ์และเครื่องมือ (Hardware) และ (4) วิธีการปฏิบัติ (Software) โดยผู้เชี่ยวชาญหลายท่านได้นำเสนอเทคนิคสำหรับประเมินสมรรถนะระบบบริหารคลองส่งน้ำที่หลากหลาย บางท่านจะเน้นสำหรับการประเมินเพียงมิติเดียว บางท่านจะนำเสนอเทคนิคที่ใช้การประเมินในหลายมิติ ซึ่งทุกท่านจะนำเสนอให้ประเมินสมรรถนะระบบบริหารคลองส่งน้ำในรูปแบบของดัชนีต่าง ๆ

4.1 การประเมินผลอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP)

การประเมินผลอย่างรวดเร็ว (RAP) เป็นเทคนิคการประเมินโครงการที่ใช้บุคคลที่มีความรู้ความสามารถในการประเมินผลงานของระบบชลประทานทั้งในส่วนของ การดำเนินงาน การใช้ทรัพยากรด้านต่าง ๆ การให้บริการ ผลผลิตและผลลัพธ์ของโครงการ โดยเข้าไปประเมินหรือประมวลผลโครงการทั้งในภาคสนาม และสำนักงาน เพื่อหาค่าดัชนีที่สำคัญของโครงการอย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าข้อมูลที่ได้รับจากโครงการเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขจากเจ้าหน้าที่หรือผู้บริหารโครงการ แสดงผลในรูปแบบของดัชนีภายนอก (External indicators) และดัชนีภายใน (Internal indicators) (Burt, 2001) ในปี ค.ศ. 1998 ธนาคารโลก (World bank) ได้เริ่มมีการนำ RAP เข้ามาใช้ในการประเมินระบบชลประทานเพื่อวิเคราะห์หาประเด็นปัญหาและปัจจัยที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำทั้งในระดับคลองสายใหญ่ คลองซอย คลองแยกซอย และระบบแพร่กระจายน้ำในแปลงนา ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดกลยุทธ์ และวางแผนการปรับปรุง ตลอดจนการสนับสนุนงานประมาณให้กับโครงการต่าง ๆ ของ FAO โดยเริ่มทำการประเมินระบบชลประทานในประเทศกำลังพัฒนาจำนวน 16 โครงการ สำหรับในประเทศไทยได้เข้ามาประเมินในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาว (Burt and Styles, 1998)

การประเมินผลอย่างรวดเร็ว จะแสดงผลการประเมินในรูปของดัชนีภายนอก (External Indicator) และดัชนีภายใน (Internal Indicator)

4.1.1 ดัชนีภายนอก เป็นการเปรียบเทียบปัจจัยนำเข้าและผลผลิตของโครงการ เพื่อใช้อธิบายผลสัมฤทธิ์ในการดำเนินงานของโครงการ แสดงผลในรูปของประสิทธิภาพ เช่น ประสิทธิภาพที่เกี่ยวกับการใช้งบประมาณ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และประสิทธิภาพในการผลิต (Renault *et al.*, 2007) การปรับปรุงค่าของดัชนีชี้วัดภายนอกให้ดีขึ้น ใช้ค่าดัชนีประเมินผลภายในเป็นกระบวนการตรวจสอบจุดอ่อนของการจัดการน้ำ สาเหตุ และตำแหน่งของปัญหาในการดำเนินงานของโครงการ มาประกอบเพื่อพิจารณาปรับปรุงและเพิ่มค่าดัชนีประเมินผลภายนอก

4.1.2 ดัชนีภายใน เป็นดัชนีแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการส่งน้ำ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการส่งน้ำ ตลอดจนการบริหารจัดการคลองส่งน้ำ (Renault *et al.*, 2007) ทำให้ทราบถึง (1) ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำที่ระดับต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำ 3 ระดับ คือ ระดับคลองส่งน้ำสายใหญ่ ระดับคลองส่งน้ำสายซอย – แยกซอย และระดับคูน้ำ ทำให้ทราบว่าส่วนไหนของระบบชลประทานมีผลสัมฤทธิ์ต่ำ และจำเป็นต้องปรับปรุง และ (2) สมรรถนะของฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ในการบริหารงานส่งน้ำ ได้แก่ ประสิทธิภาพน้ำกลางคลอง (Cross Regulator) ท่อระบายน้ำออกจากคลอง (Turnout หรือ Offtake) อ่างพักน้ำ (Regulating Reservoir) การสื่อสาร และการคมนาคม (Communication) สภาพทั่วไปของระบบส่งน้ำ (General Condition) การบริหารงานส่งน้ำ (Operation) งบประมาณ (Budget) อัตรากำลังและความสามารถของเจ้าหน้าที่ (Employee) และองค์กรผู้ใช้น้ำ (Water User Association) ซึ่งจะช่วยบอกว่าปัญหาอยู่ที่ฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ เพื่อช่วยกำหนดวิธีการปรับปรุงได้อย่างถูกต้อง

จากการริเริ่มของ FAO ที่นำ RAP เข้ามาประเมินโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาวในประเทศไทย ส่งผลให้กรมชลประทานและนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความสนใจและนำ RAP เข้ามาประเมินระบบชลประทานของกรมชลประทานอีกมากมาย นอกจากนั้นยังได้พัฒนานำ RAP ไปประยุกต์ใช้ในวัตถุประสงค์ต่าง ๆ กัน เช่น ใช้ในการประเมินผลสัมฤทธิ์ของระบบชลประทานเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุง หรือ นำไปใช้ในการกำหนดเป้าหมายและกลยุทธ์ในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบชลประทาน นอกจากนั้นยังได้มีการวิจัยความเหมาะสมของค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight of Factor) ของดัชนีภายในของ RAP ให้มีความเหมาะสมกับประเทศ

ไทยยิ่งขึ้น ด้วยเทคนิค Interaction Matrix (วีระโชติ, 2547) และ Multi Criteria Decision Making (Thanet, 2007) โดยมีตัวอย่างการใช้ RAP ในประเทศไทยแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 งานวิจัยที่ใช้เทคนิคการประเมินผลอย่างรวดเร็วในประเทศไทย

อ้างอิง	แนวทางการศึกษา	พื้นที่ศึกษา
ชเนศ และก่อเกียรติ (2547)	ประเมินผลสัมฤทธิ์ของระบบชลประทานเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุง	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่าบัว
วีระโชติ (2547)	ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีภายในตามลักษณะทางกายภาพและแนวทางการบริหารคลองส่งน้ำ ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาของประเทศไทย ด้วยเทคนิค Interaction matrix	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำอุโมงค์
Thanet (2007)	ปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีภายในให้เหมาะสมกับระดับของโครงการ (ใหญ่ กลาง และเล็ก) ด้วยเทคนิค Multi Criteria Decision Making	โครงการชลประทานพิษณุโลก โครงการชลประทานในเขตพื้นที่เจ้าพระยาฝั่งตะวันออก และโครงการชลประทานในเขตพื้นที่เจ้าพระยาฝั่งตะวันตก รวมทั้งสิ้น 12 โครงการ
Vudhivanich (2007)	ประเมินผลสัมฤทธิ์ของระบบชลประทานเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุง	โครงการชลประทานเพชรบุรี โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบรมธาตุ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาห้วยโง โครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำห้วย – สามพาด โครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำห้วยไฟ

ตารางที่ 2 (ต่อ)

อ้างอิง	แนวทางการศึกษา	พื้นที่ศึกษา
อุรินทร์ และวราวุธ (2551)	ประเมินผลสัมฤทธิ์ของระบบชลประทานเพื่อกำหนดแนวทางในการปรับปรุง	โครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำ – พระปรอง
อุรินทร์ และวราวุธ (2554)	ประยุกต์ใช้ RAP สำหรับกำหนดเป้าหมายและกลยุทธ์ในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ	ระบบส่งน้ำ 2L ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ ประกอบด้วย โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน

4.2 การประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ (Canal System Control Performance)

Clemmens *et al.* (1998) ได้นำเสนอดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำเพื่อใช้เปรียบเทียบผลการควบคุมระบบคลองส่งน้ำของวิธีการควบคุมต่าง ๆ จำนวน 4 ดัชนี ประกอบด้วย Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE), Steady – State Error (StE) และ Integrated Absolute Discharge Change (IAQ)

Wahlin and Clemmens (2002) ใช้ดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ ของเทคนิคการควบคุมระดับน้ำประเภทต่าง ๆ ที่ใช้กำหนดตำแหน่งของการควบคุมระดับน้ำแบบ Downstream Control ในการรักษาระดับน้ำในคลอง ASCE Test Canal 1 แบบอัตโนมัติ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 3

Clemmens *et al.* (2005) ใช้ดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ ทำการทดสอบผลการควบคุมระดับน้ำของคลอง ASCE Test Canal 1 ที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จำนวน 3 แบบจำลองได้แก่ CANALCAD, Sobek และ MIKE11 ซึ่งทั้ง 3 แบบจำลองใช้สมการ

Saint – Venant Equations สำหรับจำลองการไหลของน้ำแบบไม่คงตัว ในการบริหารคลองส่งน้ำ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสามารถนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในคลองส่งน้ำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ค่าดัชนีต่ำสุดจะสามารถควบคุมระบบคลองส่งน้ำได้ดีที่สุด)

ตารางที่ 3 ผลสัมฤทธิ์การควบคุมคลองส่งน้ำด้วยเทคนิคต่าง ๆ ใน ASCE Test Canal 1 ช่วงเวลาทดสอบที่ 0 – 12 ชั่วโมง

Controller	MAE (%)		IAE (%)		StE (%)		IAQ (%)	
	Max.	Average	Max.	Average	Max.	Average	Max.	Average
PI	10.9	7.1	1.0	0.8	1.0	0.6	1.27	0.78
PI w/ Dec I	10.8	6.6	0.8	0.6	0.6	0.3	1.53	0.87
PI w/ Dec II	11.7	7.1	0.8	0.6	1.2	0.6	1.34	0.81
PI w/ Dec I&II	11.0	6.7	0.6	0.5	0.4	0.2	1.50	0.90
CARDD	30.0	19.5	12.9	7.7	10.6	5.3	0.87	0.53

ที่มา: ปรับปรุงจาก Wahlin and Clemmens (2002)

4.3 การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output Performance)

การประเมินผลลัพธ์ของระบบบริหารคลองส่งน้ำจะประเมินตามสมรรถนะในการปฏิบัติงานให้ตอบสนองต่อภารกิจหลักของการบริหารคลองส่งน้ำ ซึ่ง Molden and Gate (1990) ได้นำเสนอดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ จำนวน 4 ดัชนีด้วยกัน คือ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy) ดัชนีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ (Efficiency) ดัชนีความน่าเชื่อถือ (Dependability) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity) พร้อมตัวอย่างเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มของค่าดัชนีต่าง ๆ ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มค่าดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

Measure	Performance Class		
	Good	Fair	Poor
Adequacy, PA	0.90 – 1.00	0.80 – 0.89	< 0.80
Efficiency, PE	0.85 – 1.00	0.70 – 0.84	< 0.70
Equity, PEQ	0.00 – 0.10	0.11 – 0.25	>0.25
Dependability, PD	0.00 – 0.10	0.11 – 0.20	>0.20

ที่มา: Molden and Gate (1990)

Svendsen *et al.* (2001) ใช้ดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำของ Molden and Gate (1990) สำหรับประเมินผลลัพธ์ของการส่งน้ำในระบบชลประทานในลุ่มน้ำเกดิส (Gediz Basin) ของประเทศตุรกี เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ในการส่งน้ำระหว่างระบบบริหารงานส่งน้ำในอดีต กับระบบบริหารงานส่งน้ำที่ปรับปรุง ซึ่งพบว่าปัจจัยที่สำคัญในการเพิ่มผลลัพธ์ในการส่งน้ำคือความร่วมมือในการบริหารงานส่งน้ำของเกษตรกร

Unal *et al.* (2004) ใช้ดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำของ Molden and Gate (1990) สำหรับประเมินผลลัพธ์ของการส่งน้ำในระบบส่งน้ำ The Menemen Left Bank Irrigation System. ของประเทศตุรกี เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับประเมินผลการปรับปรุงระบบบริหารงานส่งน้ำในปี ค.ศ. 2000 ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินผลลัพธ์ของการส่งน้ำของ The Menemen Left Bank Irrigation System. ของประเทศตุรกี ในปีค.ศ. 1999 และ 2000

Irrigation Season	Adequacy	Efficiency	Dependability	Equity
1999	0.53	0.83	0.81	0.67
2000	0.57	0.84	0.73	0.74

ที่มา: Unal *et al.* (2004)

5. คุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ

ในการบริหารงานส่งน้ำ วิศวกรชลประทานของโครงการ จำเป็นต้องทราบถึงความผิดพลาด หรือความคลาดเคลื่อน (Error) ในการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ ซึ่งมีสาเหตุหลักหลาย ประการและคุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ โดยเฉพาะค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) ของ อาคารชลประทาน เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักดังกล่าว (Renault and Makin, 1999) ค่า Sensitivity เป็น ค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของ Output (อัตราการไหลหรือระดับน้ำ) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ Input (ระดับน้ำหรืออัตราการไหล) ซึ่งการวางแผนการบริหารการส่งน้ำในคลองในปัจจุบัน ไม่มีการนำค่า Sensitivity ของอาคารชลประทานแต่ละแห่งในระบบส่งน้ำเข้ามาร่วมในการวางแผน ส่งผลให้การกำหนดอัตรากำลังสำหรับบริหารงานส่งน้ำไม่สอดคล้องกับความต้องการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศไทยที่นิยมใช้แผนการส่งแบบตลอดเวลา หรือส่งแบบหมุนเวียน มีการส่งแบบตาม คำขอเฉพาะบางพื้นที่และบางช่วงเวลาเท่านั้น ดังนั้นแผนการส่งน้ำจึงมีความจำเป็นต้องยืดหยุ่นและ เปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการน้ำของพืช ถึงจะสามารถช่วยสนับสนุนการผลิตได้ดี ซึ่งการเพิ่มความยืดหยุ่นของแผนการส่งน้ำต้องมีการการบริหารอัตรากำลังในสนาม และการใช้ทรัพยากรของ โครงการให้สอดคล้องกับแผนการส่งน้ำ

ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในด้านปริมาณน้ำที่เกษตรกรหรือกลุ่มผู้ใช้น้ำได้รับ ของการบริหารงานส่งน้ำ ควรมีการประเมินคุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ ประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Water Control Structure Sensitivity) ปัจจัยที่รบกวนความคงตัวในการส่งน้ำ (Perturbation) และช่วง การควบคุมที่ยอมให้ (Tolerance) เพื่อนำมาใช้ในการวางแผนการส่งน้ำด้วย

5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร สามารถแยกออกได้เป็น 2 ลักษณะ ตามลักษณะ การไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานที่สัมพันธ์กับการเปิดบานประตูของอาคาร (ฉลอง, 2538) คือ การไหลท้ายประตูเป็นแบบ Free Flow และ การไหลท้ายประตูเป็นแบบ Submerged Flow โดยทั่วไปแล้วในระบบส่งน้ำชลประทาน ลักษณะการควบคุมอาคารควบคุมน้ำในระบบ ชลประทานอาคารใดอาคารหนึ่งจะมีผลกระทบต่ออัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารทั้งทางด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำ เพราะคลองส่งน้ำมีความลาดเทน้อย นอกจากนี้พื้นที่รูปตัดการไหลของอาคาร ชลประทานจะน้อยกว่าพื้นที่รูปตัดการไหลของคลอง และในคลองส่งน้ำสายหนึ่งประตูกลางคลอง จะอยู่ห่างกันไม่มาก จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้การไหลในระบบชลประทานเป็น Gradually

Varied Flow และโดยทั่วไปการควบคุมอาคารควบคุมน้ำด้านท้ายน้ำจะเกิด Backwater Effect ขึ้นไปถึงท้ายอาคารด้านเหนือน้ำ จึงทำให้การไหลท้ายอาคารด้านเหนือน้ำเป็นแบบ Submerged Flow

U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station ได้พัฒนาสูตรสำหรับใช้คำนวณปริมาณน้ำผ่านประตูระบายกรณีที่การไหลท้ายประตูเป็นแบบ Submerge Flow (ฉลอง, 2538) ดังนี้

$$Q = C_s L h_s \sqrt{2gh} \quad (4)$$

$$C_s = a \left(\frac{h_s}{G_0} \right)^b \quad (5)$$

โดยที่	Q	คือ อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารควบคุมน้ำ, ลูกบาศก์เมตร/วินาที
	C_s	คือ สัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ
	L	คือ ความกว้างของบานของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
	h_s	คือ ผลต่างของระดับน้ำด้านท้ายน้ำกับระดับธรณีของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
	g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, 9.81 เมตร/วินาที ²
	h	คือ ผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
	G_0	คือ ระยะเปิดบานของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
	a, b	คือ ค่าสัมประสิทธิ์

5.2 ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Water Control Structure Sensitivity) คือ คุณสมบัติของอาคารควบคุมน้ำ ซึ่งจะบอกถึงความไวหรือความอ่อนไหวของ Output (อัตราการไหลหรือระดับน้ำ) ต่อการเปลี่ยนแปลงของ Input (ระดับน้ำหรืออัตราการไหล) ในการวิเคราะห์ Sensitivity ของอาคารควบคุมน้ำ จะแบ่งอาคารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ อาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake) และอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Regulator) สามารถประเมินได้จากการตรวจวัดการไหลของน้ำผ่านอาคาร หรือ กำหนดจากสูตรทางชลศาสตร์ (Renault, 1999) ดังนี้

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{Variation in Output}}{\text{Variation in Input}} \quad (6)$$

5.2.1 ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake Sensitivity) สามารถเขียนสมการดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Renault *et al.*, 2007) ตามสมการที่ (7) และ (8) เนื่องจากอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารเพื่อส่งน้ำเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำในระดับถัดไป (Output) หรือส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูก ให้อยู่ในอัตราการไหลที่กำหนด ในกรณีที่ระยะเปิดบานคงที่ อัตราการไหลผ่านอาคารจะแปรผันตามกับระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Input)

$$S_{\text{offtake}} = \frac{dq/q}{dH_E} = \frac{\alpha}{H_E} \quad (7)$$

$$H_E = (H_{US} - H_{DS}) \left[1 + \frac{\alpha(H_{DS} - H_{Ref})}{\beta(H_{US} - H_{DS})} \right] \quad (8)$$

โดยที่	S_{offtake}	คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, เมตร ⁻¹
	dq/q	คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง
	dH_E	คือ การเปลี่ยนแปลงของผลต่างระดับน้ำด้านหน้ากับด้านท้ายอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, เมตร
	H_{US}	คือ ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, ม. รทก.
	H_{DS}	คือ ระดับน้ำด้านท้ายอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, ม. รทก.
	H_{Ref}	คือ ระดับก้นคลองท้ายอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, ม. รทก.
	α	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังของสมการการไหลผ่านอาคารชลประทานมีค่าเท่ากับ 0.50
	β	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังของสมการการไหลแบบ Submerge flow ด้วยเงื่อนไขของการยกระดับของก้นคลองด้านท้ายอาคารมีค่าเท่ากับ 1.66

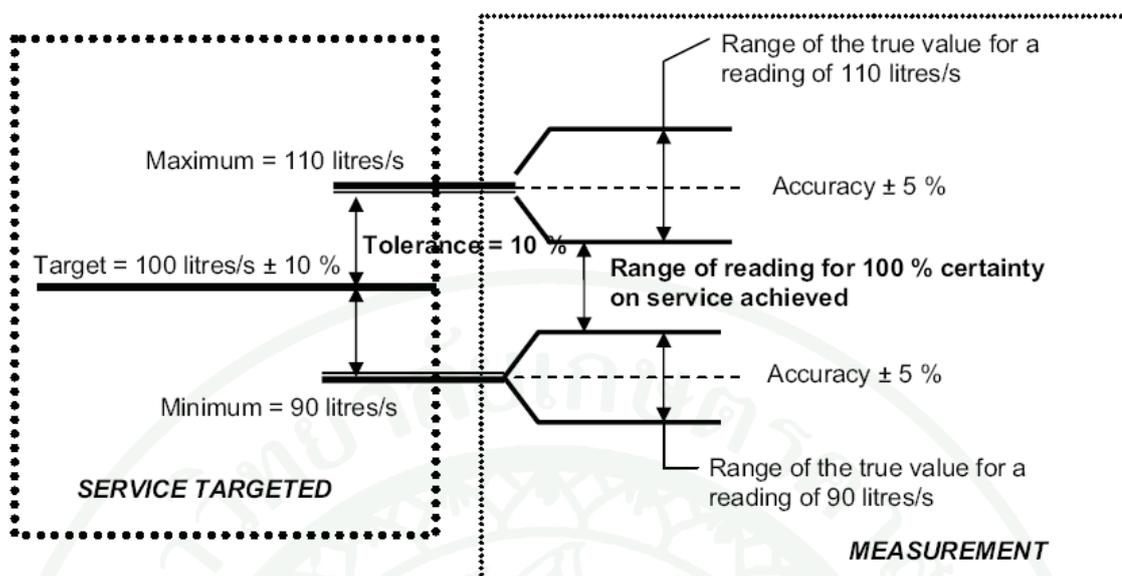
5.2.2 ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Regulator Sensitivity) สามารถเขียนสมการดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Renault et al, 2007) ตามสมการที่ (9) เนื่องจากอาคารควบคุมน้ำ (Regulator Sensitivity) ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคาร (Output) ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด ในกรณีที่ระยะเปิดบานคงที่ ระดับน้ำด้านหน้าอาคารจะแปรผันตามกับอัตราการไหลด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำ (Input)

$$S_{reg} = \frac{dH_E}{dQ/Q} = \frac{\alpha}{H_E} \quad (9)$$

โดยที่ S_{reg} คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร
 dQ/Q คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำ

5.3 ปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) คือ สิ่งที่รบกวนระบบการไหลของน้ำในคลอง ทำให้น้ำในคลองอยู่ในสภาวะไม่คงตัว (Unsteady) เกิดได้ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงภายนอกและภายในระบบส่งน้ำ เช่น การตกของฝน การปรับบานประตูในคลอง การใช้น้ำของเกษตรกร การสูบน้ำ เป็นต้น Perturbation จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำหรือระดับน้ำในระบบส่งน้ำ Perturbation มีทั้งด้านบวกและลบซึ่งเป็นตัวแทนของการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณน้ำและระดับน้ำในคลองส่งน้ำ ตามลำดับ (Renault et al., 2007)

5.4 ช่วงการควบคุมที่ยอมรับได้ (Tolerance) คือ ขอบเขตของความคาดเคลื่อนในการควบคุมน้ำที่ยอมรับได้ ซึ่งกำหนดจากระดับเป้าหมายในการให้บริการส่งน้ำ ขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการควบคุมน้ำของโครงการ และความเปราะบาง (Vulnerability) ของพื้นที่รับน้ำ ค่า Tolerance และ Sensitivity ของอาคาร สามารถนำมาใช้ในการกำหนดความแม่นยำ (Accuracy) ในการควบคุมน้ำ ดังภาพที่ 5 (Molden and Gates, 1990) จากเกณฑ์ของการประเมิน โครงการอย่างรวดเร็ว (RAP) กำหนดให้การควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานในระดับ $\pm 10\%$ อยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้ (2) ถึงดี (3) สอดคล้องกับโครงการชลประทาน Karnataka ของประเทศอินเดีย ที่กำหนดการควบคุมของอัตราการไหลผ่านอาคารชลประทานในระดับต่าง ๆ ไว้ที่ $\pm 10\%$ (FAO, 2008)



ภาพที่ 5 แนวทางการกำหนดเป้าหมายการส่งน้ำ และความแม่นยำในการควบคุมน้ำในคลอง

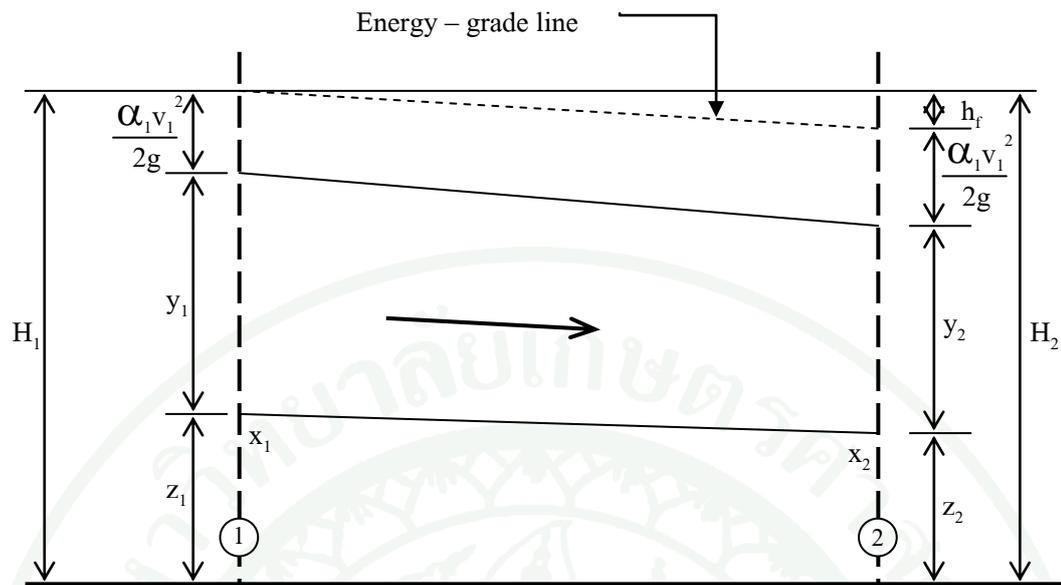
แบบจำลองการไหล

การไหลของน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ การไหลแบบคงตัว (Steady State) หมายถึงรูปแบบการไหลของน้ำที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา และการไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady State) หมายถึงรูปแบบการไหลของน้ำที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

1. การไหลแบบคงตัว (Steady State Model)

การไหลของน้ำแบบคงตัวสามารถอธิบายได้โดยใช้สมการ Continuity Equation, Momentum Equation และ Energy Equation สำหรับการศึกษการไหลแบบคงตัวโดยทั่วไปมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระดับน้ำ ณ จุดใด ๆ ที่สนใจ ในแนวลำน้ำ ซึ่งระเบียบวิธีคำนวณหาระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละช่วงคลอง จากการกำหนดหน้าตัดการไหลเริ่มต้นเรียกว่า Standard Step Method (Chaudhry, 1993)

Standard Step Method เป็นระเบียบวิธีในการหาระดับน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับน้ำ ณ จุดควบคุมซึ่งอยู่ด้านท้ายน้ำของระดับน้ำที่ต้องการหา โดยอาศัยหลักการสมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหล ตามภาพที่ 6 และสามารถเขียนในรูปของสมการได้ตามสมการที่ (10) – (18)



ภาพที่ 6 สมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหล

$$H_2 = H_1 - h_f \quad (10)$$

$$H = z + y + (\alpha v^2 / 2g) \quad (11)$$

$$h_f = (S_{f1} + S_{f2})(x_2 - x_1) / 2 \quad (12)$$

$$S_f = n^2 v^2 / R^{4/3} \quad (13)$$

$$v = Q / A_x \quad (14)$$

$$R = A_x / P \quad (15)$$

$$A_x = by + my^2 \quad (16)$$

$$P = b + 2(\sqrt{1+m^2})y \quad (17)$$

$$z_1 = z_2 + S_0(x_2 - x_1) \quad (18)$$

โดยที่	H	คือ พลังงานรวมในรูปของความลึกของน้ำ, ม.
	h_f	คือ การสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัดการไหล, ม.
	S_f	คือ ความลาดชันของ Energy grade line
	S_0	คือ ความลาดชันของท้องคลอง
	x	คือ ตำแหน่งของหน้าตัดการไหล
	z	คือ ระดับพื้นอ้างอิง, ม.รทก. หรือ ม.รสม.
	y	คือ ความลึกของน้ำ, ม.
	n	คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning
	v	คือ ความเร็วของการไหล, ม./วินาที
	R	คือ รัศมีชลศาสตร์, ม.
	A_x	คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล, ม. ²
	P	คือ เส้นขอบเปียกของหน้าตัดการไหล, ม.
	m	คือ ความลาดชันด้านข้างของคลอง, 1:m
	b	คือ ความกว้างของก้นคลอง, ม.
	α	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ มีค่า = 1.0
	g	คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่า = 9.81 ม./วินาที ²

2. การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady State Flow)

การไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady State Flow) เป็นการไหลของน้ำที่รูปแบบการไหลเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งวิธีการหาความสัมพันธ์ของเวลาและขนาดของการไหล (อัตราการไหลหรือระดับน้ำ เป็นต้น) ณ จุดใด ๆ ที่สนใจในแนวลำน้ำ จากการทราบหรือสมมติขนาดของกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrographs) ของลำน้ำ ณ จุดต้นเหนือน้ำอย่างน้อย 1 จุด ซึ่งสามารถแบ่งตามข้อมูลที่นำเข้าออกเป็น 2 ชนิด คือ Lumped Flow Routing และ Distributed Flow Routing

2.1 Distributed Flow Routing เป็นวิธีการประมาณค่าอัตราการไหล หรือระดับน้ำ ณ ตำแหน่งที่สนใจในระบบคลองส่งน้ำ แบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณตั้งอยู่บนพื้นฐานของ Partial Differential Equations (The Saint-Venant Equations for 1-Dimensional Flow) ซึ่งใช้ในการ

คำนวณหาอัตราการไหล และระดับน้ำจากฟังก์ชันของระยะทางและเวลา ทำให้การประมาณค่าอัตราการไหล หรือระดับน้ำด้วยวิธี Distributed Flow Routing มีข้อดี คือสามารถประมาณค่าอัตราการไหล หรือระดับน้ำได้ตลอดทั้งช่วงคลองในหลายช่วงเวลา และการคำนวณเพื่อประมาณค่าอัตราการไหล หรือระดับน้ำจะเป็นแบบต่อเนื่องกันไปทำให้ผลที่ได้จากการประมาณมีลักษณะใกล้เคียงกับการไหลในคลองธรรมชาติที่เป็นแบบ Unsteady Nonuniform Flow (Chow, 1988)

2.2 Saint-Venant Equations เป็นสมการพื้นฐานสำหรับจำลองการไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ.1871 โดย Barre de Saint-Venant จากทฤษฎีของ Reynolds Transport เพื่อใช้อธิบายการไหลแบบ 1 – Dimension Unsteady Flow ในคลองเปิด ประกอบด้วย 2 สมการหลักคือ Continuity Equation กับ Momentum Equation ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐาน 6 ข้อ คือ (1) การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ (1 – Dimension Flow) ความเร็วและความลึกเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการไหลของน้ำ (2) การเปลี่ยนแปลงการไหลมีลักษณะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงและจะเกิดตามทิศทางการไหลของน้ำ (Gradually Varied Flow) (3) ทิศทางการไหลของน้ำค่อนข้างเป็นแนวตรง (4) ความลาดชันท้องน้ำค่อนข้างน้อย (5) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสามารถใช้ได้หลายรูปแบบ และ (6) ของไหลมีคุณสมบัติไม่บีบอัดตัว (Incompressible) (Chow, 1988)

Continuity Equation:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (19)$$

Momentum Equation:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0 \quad (20)$$

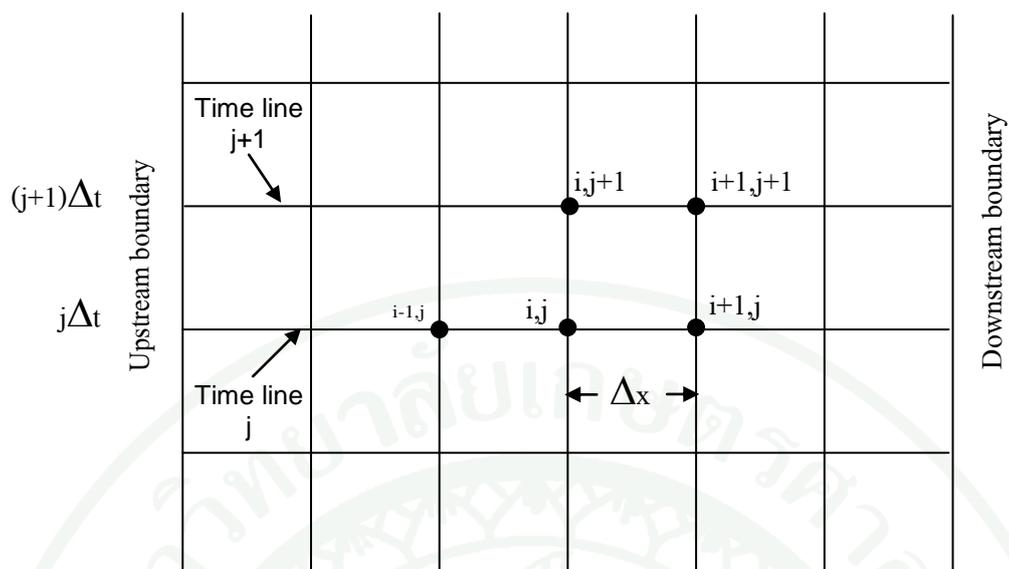
Local	Convective	Pressure	Gravity	Friction	
Acceleration	Acceleration	Force	Force	Force	
Term	Term	Term	Term	Term	
			————— Kinematic wave		
		————— Diffusion wave			
—————					Dynamic wave

สมการ โมเมนตัมข้างต้น ประกอบด้วย 5 เทอมหลัก ได้แก่ (1) Local Acceleration Term เป็นเทอมที่อธิบายการโมเมนตัมอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วตามเวลา (2) Convective Acceleration Term เป็นเทอมอธิบายการเปลี่ยนแปลงความเร็วตามแนวการไหล (3) Pressure Force Term เป็นการเปลี่ยนแปลงความลึกน้ำตามแนวการไหล (4) Gravity Force Term เป็นความลาดชันท้องน้ำ (5) Friction Force Term เป็นความลาดชันของความเสียดทาน โดยที่เทอม (1) และ (2) เป็นตัวแทนของแรงเฉื่อยในการไหล (Inertia Forces) (Chow *et al.*, 1988; ยุทธนา, 2551)

สำหรับการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของน้ำโดยใช้ทั้ง 5 สมการนั้นทำได้ไม่ถนัด จึงได้มีการแนะนำให้ลดรูปสมการที่ไม่จำเป็นออกไป โดยถ้าพิจารณาเฉพาะเทอม (4) และ (5) จะเป็นการวิเคราะห์แบบ Kinematic Wave ใช้คำนวณสำหรับการไหลในพื้นที่ที่มีความลาดชันและไม่มีอิทธิพลของ Back – Water Effect (Singh, 1996; Tsai and Yang, 2005) ถ้าพิจารณาเฉพาะเทอม (3) (4) และ (5) จะเป็นการวิเคราะห์แบบ Diffusion Wave ซึ่งจะพิจารณาเทอมของอิทธิพลจากแรงดันน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถใช้ได้สำหรับการไหลในพื้นที่ราบหรือพื้นที่ที่มีอิทธิพลของ Back – Water Effect (Jain *et al.*, 2004; ยุทธนา, 2551) ส่วนการไหลแบบ Dynamic Wave พิจารณาทุกเทอมการไหล ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถอธิบายการไหลของน้ำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด (Durdu, 2004; Malaterre and Rodella, 2006)

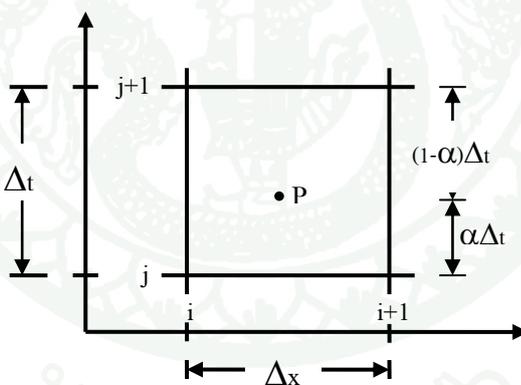
2.3 The Finite Difference Method เป็นระเบียบวิธีหาคำตอบของสมการ Partial Difference Equations โดยการเปลี่ยนรูปของสมการ Partial Difference Equations ให้อยู่ในรูปของสมการแบบ Algebraic Finite – Difference Method ซึ่งอาจอยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นตรงหรือไม่ก็ได้ และประมาณค่าของสมการด้วยการกระจายอนุกรมของเทเลอร์ และพิจารณาการประมาณค่าของอนุกรมในอันดับสอง (Chow *et al.*, 1988) ซึ่งระเบียบวิธีนี้เหมาะกับการหาคำตอบของแบบจำลองที่สามารถจำลองพฤติกรรมในรูปปริศรูปสี่เหลี่ยมสม่ำเสมอ โดยกำหนดให้แกน x เป็นระยะทาง และแกน y เป็นเวลา ดังแสดงในภาพที่ 7

2.4 Four – Points Implicit Scheme เป็นการประมาณค่าของแบบจำลอง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดทั้งระบบ ที่ไม่ทราบค่าของตัวแปรในระนาบเวลา โดยใช้วิธีการกระจายน้ำหนักของจุด 4 จุด เพื่อใช้ในการประมาณค่าที่จุด P ตามภาพที่ 8 และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับ Saint – Venant Equations จะเป็นการประมาณค่าการไหล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ที่เวลาต่าง ๆ ตลอดทั้งระบบ สามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ ตามสมการที่ (21) และ (22)



ภาพที่ 7 โครงข่ายบนระนาบระยะทางและเวลาของระเบียบวิธี Finite Difference Method

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chow *et al.* (1988)



ภาพที่ 8 การกระจายน้ำหนักของจุด 4 จุดในกริดรูปสี่เหลี่ยม ของ The Four – Point Implicit Scheme

ที่มา: ดัดแปลงจาก Chow (1988) และ Szymkiewics (1996)

$$\frac{\partial u}{\partial x} \approx \theta \frac{u_{i+1}^{j+1} - u_i^{j+1}}{\Delta x} + (1 - \theta) \frac{u_{i+1}^j - u_i^j}{\Delta x} \quad (21)$$

$$u = \theta \frac{u_i^{j+1} + u_{i+1}^{j+1}}{2} + (1 - \theta) \frac{u_i^j + u_{i+1}^j}{2} \quad (22)$$

Islam *et al.*, 2008 ได้สร้างแบบจำลองทางชลศาสตร์สำหรับจำลองการไหลของน้ำในระบบชลประทานของโครงการชลประทาน Kangsabati ตามเงื่อนไขการปรับบานของอาคารบังคับน้ำกลางคลอง และอาคารปากคลองซอยต่าง ๆ เพื่อหาระยะเปิดบานของอาคารบังคับน้ำต่าง ๆ ที่เหมาะสมในการส่งน้ำ เนื่องจากมีความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มขึ้นจำนวนมากในขณะที่ปริมาณน้ำต้นทุนมีอยู่อย่างจำกัด

Lozano *et al.*, 2009 ได้สร้างแบบจำลองการไหลในคลองส่งน้ำจาก Saint – Venant equations เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทานโดยลดปริมาณน้ำที่เหลือทิ้งด้านท้ายของระบบส่งน้ำ และได้นำไปทดสอบกับระบบคลองส่งน้ำ “Sector B-XII del Bajo Guadalquivir” ซึ่งตั้งอยู่ทางตอนใต้ของประเทศสเปน และมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการไหลแบบอัตโนมัติที่ใช้เทคนิคการควบคุมแบบ PI (Proportional integral) control

3. การสอบเทียบแบบจำลอง (Validation model)

การสอบเทียบแบบจำลอง (Validation Model) คือ การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองในการจำลองผลลัพธ์ของระบบล่วงหน้า โดยทำการเปรียบเทียบค่าจากผลการจำลอง (Simulate Result) กับค่าที่เกิดขึ้นจริงซึ่งได้จากการตรวจวัด (Observation) ด้วยค่าดัชนี NSE (Nash – Sutcliffe Efficiency) (วราวุธ, 2553) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (23) โดยค่าดัชนี NSE มีค่าอยู่ระหว่าง -∞ ถึง 1

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (23)$$

โดยที่ \hat{Y}_i คือ ค่าสังเกต (Observation Value) ที่ i เมื่อ i มีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง n

Y_i คือ ค่าคาดคะเนจากแบบจำลองของ Y_i

\bar{Y} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของ Y_i

แบบจำลองสโตคาสติก

แบบจำลองสโตคาสติก (Stochastic Model) เป็นแบบจำลองที่ไม่สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ของแบบจำลองว่าจะเป็นอย่างไร (วรารุช, 2553) ใช้สมการทางคณิตศาสตร์อธิบายลักษณะการแจกแจงข้อมูลของอนุกรมเวลา (Time Series) ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย การทดสอบการแจกแจงข้อมูล การกำหนดค่าลำดับ (Order of Model) การประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation of Parameters) และ การทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Test of Goodness of Fit of Selected Model) (Salas *et al.*, 1988)

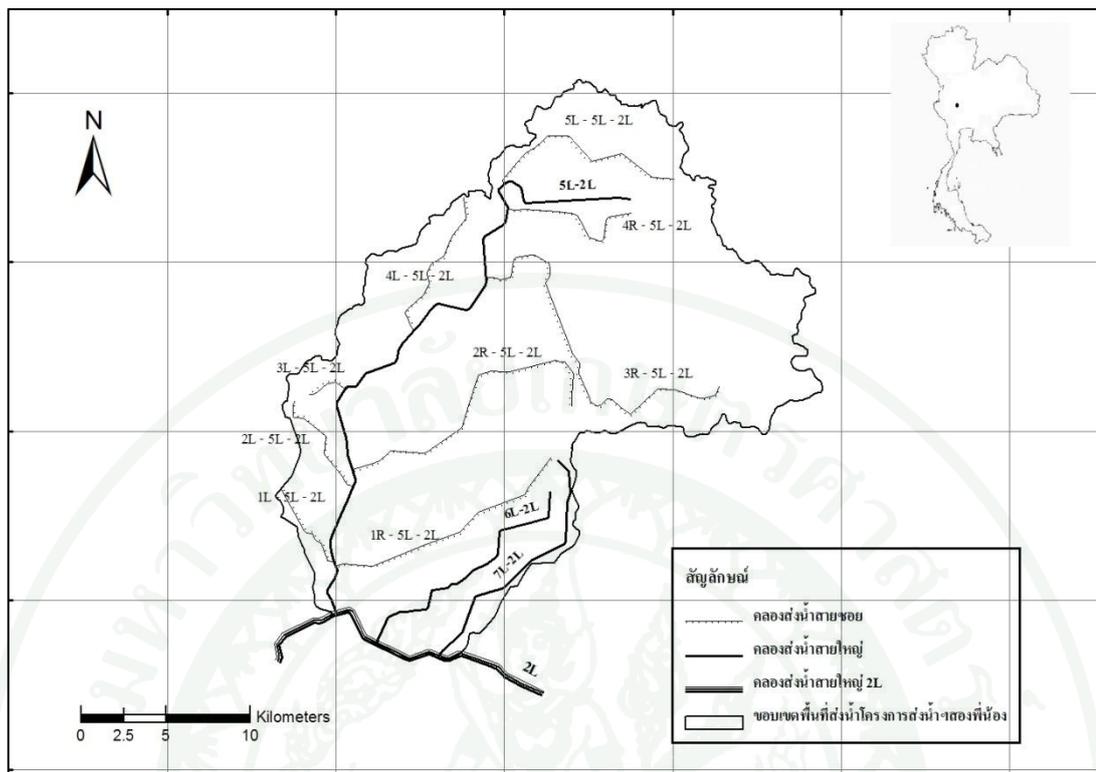
อารียา (2549) ได้พัฒนาแบบจำลองที่ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน (Stochastic model) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความเสี่ยงในการปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำ สำหรับประเมินความน่าเชื่อถือได้ของการปฏิบัติงานทั้งในสภาวะปัจจุบัน และอนาคต พร้อมทั้งคาดการณ์ผลผลิตสูงสุดที่เป็นไปได้ของอ่างเก็บน้ำในกลุ่มน้ำแม่กลองที่ระดับความน่าเชื่อถือต่าง ๆ

Wagener *et al.*, 2004 ได้นำเสนอรูปแบบการสร้างแบบจำลองที่ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน (Stochastic model) เพื่อใช้ในการจำลองพฤติกรรมทางอุทกวิทยา ซึ่งมีความไม่แน่นอนหรือไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอนในการเกิด โดยแบ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะทางอุทกวิทยาออกเป็น 2 ปัจจัยหลัก คือปัจจัยที่สามารถทราบค่าที่แน่นอน กับปัจจัยที่ไม่สามารถทราบค่าได้ โดยใช้ปัจจัยที่ทราบค่าเป็นข้อมูลสำหรับวิเคราะห์หาปัจจัยที่ไม่ทราบค่า และจำลองพฤติกรรมทางอุทกวิทยา

Sang and Wang (2008) ได้พัฒนาแบบจำลองที่ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน (Stochastic model) สำหรับคาดการณ์การเกิด runoff ล่วงหน้า โดยผสมผสานเทคนิคการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่าง WA (Wavelet Analyze) และ ANNs (Artificial Neural Network ที่สถานีอุทกวิทยา Lijin

คลองส่งน้ำ 5L – 2L

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14° 04' ถึง 14° 24' เหนือ และเส้นแวงที่ 99° 46' ถึง 100° 03' ตะวันออก ในเขต อ. พนมทวน จ.กาญจนบุรี อ.สองพี่น้อง อ.อู่ทอง จ.สุพรรณบุรี มีคลองส่งน้ำสายใหญ่ 3 สาย ประกอบด้วย 5L – 2L, 6L – 2L และ 7L – 2L สายซอย 9 สาย และแยกซอยอีก 18 สาย มีความยาวคลองส่งน้ำรวมทั้งสิ้น 309 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ที่ตั้งและขอบเขตพื้นที่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

คลองส่งน้ำ 5L – 2L มีความยาวคลองทั้งสิ้น 41.188 กิโลเมตร มีอาคารควบคุมน้ำ จำนวน 9 แห่ง ประกอบด้วย ประตู ปากคลอง 1 แห่ง ประตู กลางคลอง 7 แห่ง และ ประตู ปลายคลอง 1 แห่ง เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกจำนวน 272,535 ไร่ ผ่านคลองส่งน้ำสายซอย 9 สาย แบ่งพื้นที่การบริหารงานส่งน้ำและการบำรุงรักษาออกเป็น 4 ฝ่ายส่งน้ำ ได้แก่ ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1, 2, 3 และ 4 โดยมีหัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาทำหน้าที่ควบคุมการบริหารงานส่งน้ำและการบำรุงรักษา และสามารถแสดงรายละเอียดของพื้นที่ในความรับผิดชอบได้ตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 รายละเอียดพื้นที่การบริหารงานส่งน้ำและบำรุงรักษาของคลอง 5L – 2L

ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา	พื้นที่ชลประทาน	ขอบเขตพื้นที่ส่งน้ำ
ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 1	43,485 ไร่	- อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี - อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี

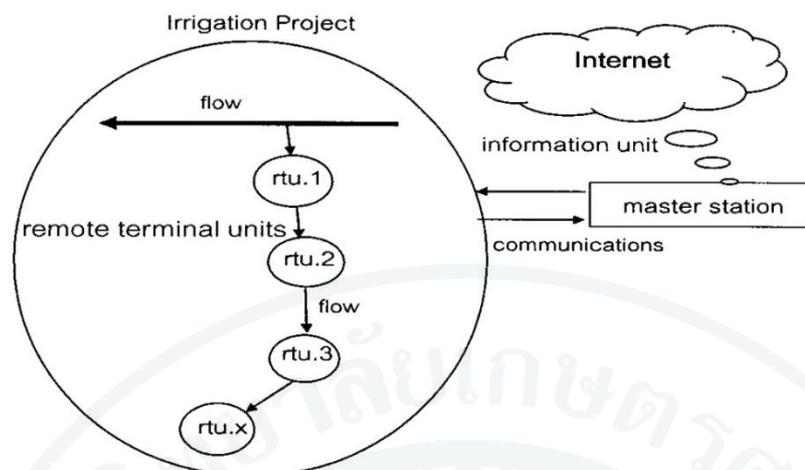
ตารางที่ 6 (ต่อ)

ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา	พื้นที่ชลประทาน	ขอบเขตพื้นที่ส่งน้ำ
ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 2	92,000 ไร่	- อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี - อำเภอสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี
ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 3	71,500 ไร่	- อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี - อำเภอสองพี่น้อง และอำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี
ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 4	65,550 ไร่	- อำเภอพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี - อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

ระบบคลองอัตโนมัติ

ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System) ใช้แนวคิดในการควบคุมระดับน้ำแบบ Feedback Control โดยตรวจวัดและเปรียบเทียบระดับน้ำด้านหน้า ประตู กับระดับเป้าหมายที่กำหนดแบบตลอดเวลาและทำการปรับบานเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้า ประตู. ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด ใช้เทคนิคการควบคุมแบบ Proportional Control ที่กำหนดความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นระหว่างระดับน้ำด้านหน้าอาคาร กับระยะเปิดบานของอาคารควบคุม และกำหนดตำแหน่งการควบคุมระดับน้ำที่ด้านหน้า ประตู. (Upstream Control) เป็นแบบเฉพาะจุด (Localized Control)

ระบบคลองอัตโนมัติถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกันระหว่าง ระบบควบคุมแบบเฉพาะจุด และระบบควบคุมจากศูนย์กลาง โดยมีแนวคิดการทำงานแสดงในภาพที่ 10 คือ ประดุษยนต์ (Robogate) ทำหน้าที่ตรวจวัดระดับน้ำหน้า – ท้าย ประตู.กลางคลอง และควบคุมการเปิดปิดบานของประตู. กลางคลองเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้า ประตู. กลางคลองให้อยู่ที่ระดับน้ำเป้าหมายแบบอัตโนมัติ พร้อมรายงานข้อมูลเข้าสู่สถานีแม่ข่าย (Master Station) ด้วยระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF เพื่อประเมินอัตราการไหลที่ต้องส่งเข้าสู่ระบบเพื่อรักษาปริมาณน้ำในคลองให้คงที่ (Constant Volume) และส่งคำสั่งไปที่อุปกรณ์ควบคุมการเปิดปิดบานของ ประตู. ปากคลอง (SCADA) เพื่อปรับท่าหน้าที่ควบคุม ประตู. ปากคลองให้ส่งน้ำตามความต้องการหรือตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ (วิชัย และวราวุธ, 2550)



ภาพที่ 10 แนวคิดของระบบคลองอัตโนมัติ

ที่มา: วิษณุ และวราวุธ (2550)

4.1 ระบบคลองอัตโนมัติกำแพงแสนถูกพัฒนาขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบการใช้ประตูยนต์ (Robogate) ควบคุมระดับน้ำเฉพาะจุดด้านเหนือน้ำในระบบคลองส่งน้ำ ของมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ กำแพงแสน และใช้โปรแกรม CAS (Canal Automation System) ควบคุมระบบ บริหารคลองส่งน้ำจากสถานีแม่ข่าย โดยทำการควบคุมการปรับบานประตูปากคลองส่งน้ำเพื่อเพิ่ม หรือลดปริมาณการระบายน้ำเข้าคลอง ทำให้ระดับน้ำในคลองอยู่ที่ระดับเป้าหมายตลอดช่วงการส่ง น้ำ จากผลการทดสอบระบบระหว่างวันที่ 10 ตุลาคม 2549 – 30 พฤศจิกายน 2550 สามารถควบคุม ระดับน้ำ โดยให้ค่า RMSE จากระดับเป้าหมายเท่ากับ 0.009 – 0.029 เมตร ซึ่งต่ำกว่าการควบคุมด้วย มือที่ให้ค่า RMSE จากระดับน้ำเป้าหมายเท่ากับ 0.118 – 0.295 เมตร (วิษณุ, 2551) โดยการควบคุม ระดับน้ำ ประกอบด้วย Algorithm หลัก 3 ส่วนคือ

4.1.1 ระบบจะตอบสนองต่อการเบี่ยงเบนของระดับน้ำจากระดับน้ำเป้าหมาย ในรูป ของสมการเชิงเส้น ระหว่างตัวแปรควบคุม (ระดับน้ำ) กับตัวแปรปฏิบัติการ (ระยะเปิดบาน) ตามสมการที่ 1 แต่จะไม่ตอบสนองต่อการเบี่ยงเบนของระดับน้ำจากระดับน้ำเป้าหมายในทิศทางเดิม

$$G = \emptyset(WL - TWL) \quad (24)$$

โดยที่	G	คือ ระยะเปิดบาน
	ϕ	คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเปิดบานเท่ากับ 1
	WL	คือ ระดับน้ำด้านเหนือของอาคารควบคุม
	TWL	คือ ระดับน้ำเป้าหมายของระดับน้ำด้านเหนือของอาคารควบคุม

4.1.2 ระบบจะทำการตั้งค่าระยะเปิดบานใหม่ทุก ๆ 250 รอบของการตรวจวัด

4.1.3 ระบบจะคาดการณ์ระดับน้ำด้านท้ายคลองส่งน้ำล่วงหน้า 2 ชั่วโมงด้วยแบบจำลองถดถอยเชิงเส้น (Linear regression model) เพื่อใช้ในการประมาณอัตราการไหลที่จะส่งเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำจากอาคารปากคลองส่งน้ำ

4.2 ระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้องเป็นการนำระบบคลองอัตโนมัติกำแพงแสนที่ได้พัฒนาแล้ว ไปติดตั้งในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L ของระบบส่งน้ำแม่กลองใหญ่ ในพื้นที่โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ตามโครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์และกรมชลประทาน (KU – RID) โดยใช้ประตุนต์รุ่น 5.0 (Robogate Version 5.0) ควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L (ปตร.ปากคลอง 5L – 2L) และควบคุมระดับน้ำด้านเหนือของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม. 3+650, 9+813 และ 20+300 โดยใช้ Algorithm แบบเดียวกับระบบคลองอัตโนมัติกำแพงแสน (วิชญ์, 2551) เริ่มเดินระบบเมื่อวันที่ 4 มกราคม 2551 สามารถควบคุมระดับน้ำโดยให้ค่า RMSE จากระดับเป้าหมายเท่ากับ 0.178 – 0.319 เมตร ซึ่งต่ำกว่าการควบคุมด้วยมือที่ให้ค่า RMSE จากระดับเป้าหมายเท่ากับ 0.427 – 0.551 เมตร (วิชญ์, 2551) และใช้ประตุนต์รุ่น 6.0 (Robogate Version 6.0) ซึ่งพัฒนาต่อจากประตุนต์รุ่น 6.0 เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรองรับคำสั่งในการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น โดยใช้ควบคุมระดับน้ำด้านเหนือของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม. 14+750, 26+401 และ 33+644 เริ่มเดินระบบเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2554

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

อุปกรณ์สำหรับใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกข้อมูล และอุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ

1. เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าจำนวน 3 เครื่อง เพื่อใช้ในการสอบเทียบอาคาร โดยเลือกใช้ตามคุณสมบัติ และขีดความสามารถในการวัดความเร็ว ดังนี้

1.1 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ Electromagnetic current meter รุ่น VP1200 (Version 5) (ภาพที่ 11) เป็นเครื่องวัดความเร็วแบบ 2 แกน 4 ทิศทาง สามารถวัดความเร็วระหว่าง 0 – 2 เมตร /วินาที โดยมีความคลาดเคลื่อนในการวัดที่ $\pm 2\%$ แสดงผลทางหน้าจอด้วยระบบดิจิทัล ผลการสอบเทียบเครื่องมือแสดงในตารางผนวกที่ ก1



ภาพที่ 11 เครื่อง Electromagnetic current meter รุ่น VP1200 (Version 5)

1.2 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ Electric current meter รุ่น OSK14948 (ภาพที่ 12) เป็นเครื่องวัดความเร็วแบบ 1 แกน 1 ทิศทาง คาบเวลาในการวัดไม่น้อยกว่า 40 วินาที แสดงผลด้วยระบบเสียงสัญญาณต่อการหมุน 10 รอบ และคำนวณความเร็วกระแสไฟฟ้าจากสมการ ซึ่งได้จากการสอบเทียบเครื่องมือ โดยผลการสอบเทียบเครื่องมือแสดงในตารางผนวกที่ ก2



ภาพที่ 12 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบใบพัด (Propeller Type) รุ่น OSK14948

1.3 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด (Propeller Type) ชนิดเครื่อง A-OTT หมายเลขเครื่อง 14319 – 1 (ภาพที่ 13) เป็นเครื่องมือวัดความเร็วแบบ 1 แกน 1 ทิศทาง คำนวณในการวัดไม่น้อยกว่า 30 วินาที แสดงผลด้วยระบบเสียงสัญญาณต่อการหมุน 10 รอบ และคำนวณความเร็วกระแสน้ำจากสมการ ซึ่งได้จากการสอบเทียบเครื่องมือ โดยผลการสอบเทียบเครื่องมือแสดงในตารางผนวกที่ ก3



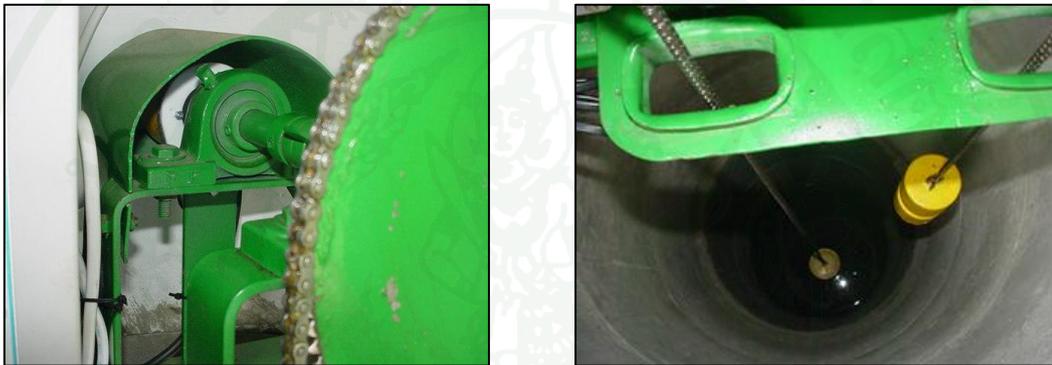
ภาพที่ 13 เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำแบบใบพัด (Propeller Type) ชนิด A-OTT

2. อุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องทำการตรวจวัดและบันทึกเพื่อใช้ในการงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ระดับน้ำ และระยะเปิดบาน โดยในคลอง 5L – 2L มีการติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System, CAS) ซึ่งมีระบบโทรมาตรเป็นส่วนหนึ่งของระบบทำหน้าที่ตรวจวัด และบันทึกข้อมูล โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจวัด และบันทึกข้อมูล ดังนี้

2.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำของคลอง 5L – 2L ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบลูกลอย และอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบใช้แรงดัน

2.1.1 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบลูกลอย (ภาพที่ 14) ใช้ Potentiometer Sensor แบบกลม ต่อพ่วงกับแกนหมุนที่ติดตั้งงานเฟืองโซ่และที่ปลายโซ่ติดตั้งลูกลอยสำหรับวัดระดับน้ำ โดยติดตั้ง Sensor วัดระดับน้ำแบบใช้ลูกลอยในตู้เหล็กที่ด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำของ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650, 9+813 และ 20+300 (วิษณุ, 2551) ซึ่งเป็นอาคารควบคุมน้ำที่ติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติระยะที่ 1



ภาพที่ 14 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบลูกลอย

2.1.2 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบแรงดัน (Pressure Sensor) ของ KELLER รุ่น CH – 804 (ภาพที่ 15) เหมาะสำหรับความลึกระหว่าง 0 – 2.50 เมตร ติดตั้งในบ่อน้ำนิ่งด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650, 9+813 และ 20+300 เพื่อตรวจวัดระดับน้ำในช่วงที่ทำการซ่อมแซมและปรับปรุงระบบคลองอัตโนมัติ



ภาพที่ 15 Pressure Sensor ของ KELLER รุ่น CH – 804

2.1.3 อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำแบบแรงดัน (Pressure Sensor) เทียบได้กับ CAMPBELL รุ่น CS450/CS455 (ภาพที่ 16) เหมาะสำหรับความลึกระหว่าง 0–5 เมตร ติดตั้งด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.14+650, 26+401 และ 33+644 ซึ่งเป็นอาคารควบคุมน้ำที่ติดตั้งระบบ คลองอัตโนมัติระยะที่ 2



ภาพที่ 16 Pressure Sensor เทียบได้กับ CAMPBELL รุ่น CS450/CS455

2.2 อุปกรณ์ตรวจวัดระยะเปิดบานใช้ Potentiometer sensor แบบกลม ต่อพ่วงกับแกนหมุนของเครื่องกั้นยกบานประตู (ภาพที่ 17) ของ ปตร. ในคลอง 5L – 2L วัดระยะเป็นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแปรผันแบบเชิงเส้นกับระยะเปิดบานประตูและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวแรกแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัล (วิษณุ, 2551) เป็นอุปกรณ์ของระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ที่ติดตั้งในคลอง 5L – 2L



ภาพที่ 17 อุปกรณ์ตรวจวัดระยะเปิดบานของ ระบบคลองอัตโนมัติ

2.3 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลของคลอง 5L – 2L มีอยู่ 2 ชนิด คือ เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Master Station) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ของระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) และเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในระหว่างทำการซ่อมแซมและปรับปรุงระบบคลองอัตโนมัติ

2.3.1 สถานีแม่ข่าย (Master Station) (ภาพที่ 18) ใช้สำหรับเรียกและบันทึกข้อมูลระดับน้ำ และระยะเปิดบานของระบบโทรมาตรที่ติดตั้งในคลอง 5L – 2L เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ 1 ชุดต่อเชื่อมกับ Canal Automation Interface (วิษญู, 2551)



ภาพที่ 18 สถานีแม่ข่าย (Master Station)

2.3.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) รุ่น ML 21 (ภาพที่ 19) เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลขนาดเล็ก (50 x 76 x 20 มม.) แบบ 1 ช่องสัญญาณ รับสัญญาณ Input ได้ทั้งกระแสไฟฟ้าหรือ แรงดันไฟฟ้า และทำการบันทึกค่า Input อย่างต่อเนื่องลงในหน่วยความจำภายในเครื่อง อ่านข้อมูลที่บันทึกด้วย Computer ผ่านสายเชื่อมต่อสัญญาณ RS-232



ภาพที่ 19 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) รุ่น ML 21

3. อุปกรณ์ควบคุมระดับน้ำ

คลอง 5L – 2L มีการติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ตามโครงการความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์กับกรมชลประทาน (KU – RID) โดยเริ่มเดินระบบระยะที่ 1 เมื่อวันที่ 4 มกราคม 2551 และระยะที่ 2 เมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2554 ซึ่งใช้ Remote Terminal Unit (RTU) สำหรับควบคุมการปรับบานของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L 3 ชนิด คือ

3.1 RTU ที่ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L (ภาพที่ 20) ติดตั้งระบบ SCADA ทำหน้าที่ควบคุมระบายน้ำจากคลองส่งน้ำ 2L เข้าคลองส่งน้ำ 5L-2L สามารถปรับบานประตูได้ทั้งแบบการควบคุมด้วยมือและการสั่งปรับบานประตูผ่านระบบ SCADA ของโครงการสองพี่น้อง



ภาพที่ 20 RTU ที่ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L

3.2 RTU ที่ ปตร. กลางคลองกม.3+650, 9+813 และ 20+300 ติดตั้งประตูยนต์รุ่น 5 (Robogate Ver.5) (ภาพที่ 21) ทำหน้าที่รักษาระดับน้ำด้านเหนือน้ำเฉพาะจุดที่หน้า ปตร.ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายและใช้ DC gear motor ติดตั้งร่วมกับเครื่องกว้านของประตูระบายน้ำเพื่อใช้ปรับบานประตู อุปกรณ์ทั้งหมดใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ (วิชญ์, 2551)



ภาพที่ 21 ประตูนครัน 5

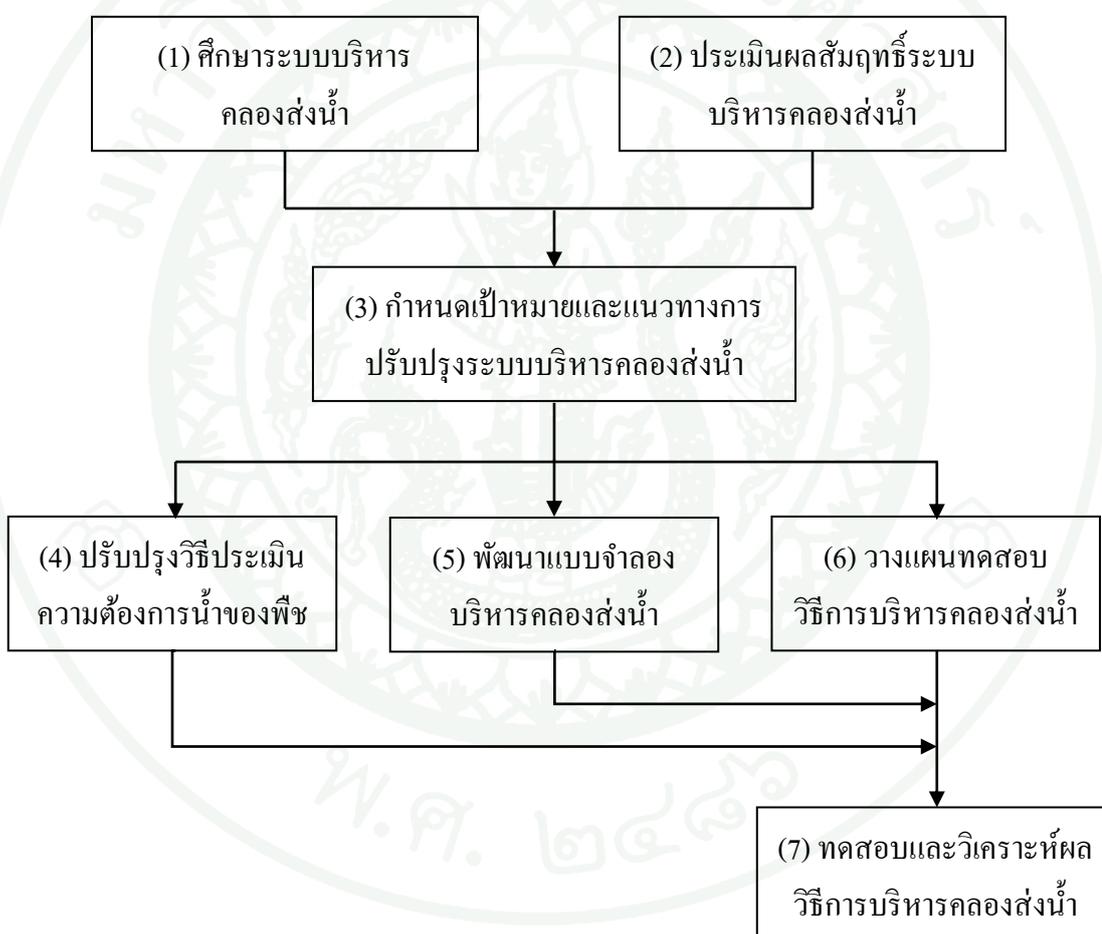
3.3 RTU ที่ ปตร. กลางคลองกม.14+750, 26+401 และ 33+664 ติดตั้งประตูนครัน 6 (Robogate Ver.6) (ภาพที่ 22) ซึ่งพัฒนาต่อจากประตูนครัน 5 ทำหน้าที่รักษาระดับน้ำด้านเหนือน้ำเฉพาะจุดที่หน้า ปตร. ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายและใช้ DC Gear Motor ติดตั้งร่วมกับเครื่องกว้านของประตูนครันน้ำ เพื่อใช้ปรับบานประตู อุปกรณ์ทั้งหมดใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์



ภาพที่ 22 ประตูนครัน 6

วิธีการ

งานวิจัยนี้มีวิธีในการดำเนินงาน 7 ขั้นตอนประกอบด้วย (1) ศึกษาระบบบริหารคลองส่งน้ำ (2) ประเมินผลสัมฤทธิ์ระบบบริหารคลองส่งน้ำ (3) กำหนดเป้าหมายและแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ (4) ปรับปรุงวิธีการประเมินความต้องการน้ำของพืช (5) พัฒนาแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (6) วางแผนทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และ (7) ทดสอบและวิเคราะห์ผลการบริหารคลองส่งน้ำ โดยมีลำดับขั้นตอนของวิธีการดำเนินงานแสดงในภาพที่ 23



ภาพที่ 23 แผนผังขั้นตอนวิธีการดำเนินงานของงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการบริหารคลองส่งน้ำ

ขั้นตอนในการศึกษาระบบบริหารคลองส่งน้ำ เป็นการศึกษาข้อมูลพื้นฐานของระบบบริหารคลองส่งน้ำ และคุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดเป้าหมายและแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ ประกอบด้วย

1.1 ศึกษาข้อมูลพื้นฐานของระบบบริหารคลองส่งน้ำจากข้อมูลของโครงการ และการเข้าไปสำรวจในสนาม ประกอบด้วย สภาพทั่วไปของคลองส่งน้ำ ระบบบริหารคลองส่งน้ำ และระบบควบคุมการส่งน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการกำหนดเป้าหมายและแนวทางในการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ

1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ ใช้สมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ กับอัตราส่วนระหว่างความลึกของน้ำด้านท้ายอาคารต่อระยะเปิดบาน ตามสมการที่ (4) และ (5) ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1.2.1 คำนวณหาอัตราการไหลของน้ำผ่านหน้าตัดการไหลด้วยวิธี Mean Section (ฉลอง, 2538) จากพื้นที่หน้าตัดการไหล และความเร็วเฉลี่ยของกระแสน้ำผ่านหน้าตัดการไหล

1.2.2 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ จากอัตราการไหลตามสมการที่ 18

1.2.3 สร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารกับอัตราส่วนระหว่างความลึกของน้ำด้านท้ายอาคารต่อระยะเปิดบาน ตามสมการที่ 5

1.3 ค่าความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Water Control Structure Sensitivity) ใช้สำหรับกำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมให้ร่วมกับเป้าหมายในการควบคุมอัตราการไหลของโครงการ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1.3.1 แบ่งอาคารควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำออกเป็น 2 ประเภท คือ อาคารควบคุมน้ำปากทางออก และอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง

1.3.2 ศึกษาคุณสมบัติของอาคารประกอบด้วย ระดับน้ำเก็บกักด้านเหนือน้ำ – ท้ายน้ำของอาคาร ระดับธรณีของอาคาร และรูปแบบการไหลผ่านอาคาร

1.3.3 กำหนดค่าความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำตามประเภทของอาคารควบคุมน้ำ โดยอาคารควบคุมน้ำปากทางออก กำหนดตามสมการที่ 7 และ อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กำหนดตามสมการที่ 9

1.3.4 แบ่งกลุ่มอาคารควบคุมน้ำจากค่าความอ่อนไหวของอาคาร ตามตารางที่ 7
ตารางที่ 7 เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มของอาคารตามค่าความอ่อนไหว

ค่าความอ่อนไหว	กลุ่มของอาคาร	
	อาคารควบคุมน้ำปากทางออก	อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง
> 2	อ่อนไหวสูง	อ่อนไหวสูง
1 – 2	อ่อนไหวปานกลาง	อ่อนไหวปานกลาง
< 1	อ่อนไหวต่ำ	อ่อนไหวต่ำ

1.4 ปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มี การปรับบาน โดยการใช้ข้อมูลของระบบโทรมาตรที่มีการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลทุก 30 นาที ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2550 – 31 พฤษภาคม 2551 มาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ (เมตร) กับช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน (ชั่วโมง) ซึ่งความสัมพันธ์ที่ได้จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความถี่ที่เหมาะสมในการปรับบานเพื่อให้สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในช่วงของการควบคุมที่ยอมรับได้

2. ประเมินผลสัมฤทธิ์ระบบบริหารคลองส่งน้ำ

การประเมินผลสัมฤทธิ์ระบบบริหารคลองส่งน้ำ ใช้เทคนิคการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (RAP) ซึ่งเป็นการประเมินโครงการจากข้อมูลพื้นฐานของโครงการ การเข้าไปสัมภาษณ์ และเก็บรวบรวมข้อมูลในสนามเพื่อใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการประเมิน มีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

2.1 รวบรวมข้อมูลพื้นฐานจากเจ้าหน้าที่ของโครงการชลประทาน ประกอบด้วย ข้อมูลพื้นที่ชลประทาน พื้นที่เพาะปลูก อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่โครงการ สภาพภูมิประเทศ งบประมาณ จำนวนบุคลากร และลักษณะการจัดการองค์กรเบื้องต้น

2.2 เมื่อออกสนาม ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้รับจะถูกจัดการอย่างเป็นระบบ และผู้ประเมินจะเริ่มสอบถามข้อมูลที่ยังขาดอยู่จากเจ้าหน้าที่โครงการ รวมถึงบทบาทหน้าที่ความรับผิดชอบของโครงการ เพื่อเป็นแนวทางในการสอบถามข้อมูลในส่วนอื่น

2.3 ออกตรวจสอบระบบคลองส่งน้ำโดยการพูดคุยกับเกษตรกรผู้ใช้น้ำ และเจ้าหน้าที่สนาม พร้อมทั้งใช้การสังเกตและจดบันทึกชนิดและวิธีการควบคุมอาคาร

2.4 สรุปข้อได้เปรียบเพื่อเป็นเกณฑ์ในการประเมินและกรอกคะแนน ซึ่งคะแนนมีค่าระหว่าง 0 - 4 สามารถแบ่งความหมายออกเป็น 5 ระดับ คือ ดีมาก (4) ดี (3) พอใช้ (2) แย่และต้องปรับปรุง (1) และ แย่มากและต้องปรับปรุง (0)

2.5 สรุปผลการประเมิน และตรวจสอบค่าที่ได้ประเมินให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ตลอดจนข้อมูลที่ขาดเพื่อให้ผลของการประเมินสามารถใช้เป็นเป็นตัวกำหนดการปรับปรุงการจัดการน้ำของโครงการต่อไป

RAP ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมิน ซึ่งผู้ประเมินจะต้องกรอกข้อมูลและคะแนนต่าง ๆ ของโครงการลงใน Worksheets ให้ถูกต้องตามที่กำหนด ประกอบด้วย 14 Worksheets ดังนี้

(1) Worksheets 1 – 3 เป็นการทำงานเกี่ยวกับการประเมินค่าตัวชี้วัดภายนอกของระบบชลประทาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับน้ำภายนอกระบบ

(2) Worksheet 4 เป็นสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ปรับแก้ค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูล ยิ่งถ้าค่าสัมประสิทธิ์ (Confidence Intervals, CI) มาก ความน่าเชื่อถือของข้อมูลก็จะลดน้อยลงไป

(3) Worksheets 5 – 11 เป็นการทำงานเกี่ยวกับการประเมินค่าตัวชี้วัดภายในของระบบชลประทาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับลักษณะการดำเนินงานของโครงการในปัจจุบัน และองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำ แบ่งออกเป็นดัชนีภายในหลัก 39 ตัว และดัชนีภายในรอง 122 ตัว โดยค่าดัชนีภายในหลักคำนวณจากค่าดัชนีภายในรอง ตามสมการที่ 25

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^N (I_{i,j} \times W_{i,j})}{\sum_{j=1}^N W_{i,j}} \quad (25)$$

โดยที่

I_i	คือ ค่าดัชนีภายในหลักมีค่า 0 - 4
$I_{i,j}$	คือ ค่าดัชนีภายในรองมีค่า 0 - 4
$W_{i,j}$	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีภายในรอง
i	คือ ดัชนีภายในหลัก
j	คือ ดัชนีภายในรอง

(4) Worksheets 12 – 14 เป็น Worksheets ที่ใช้แสดงผลการสรุปข้อมูล และผลการคำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ ของระบบ

3. กำหนดเป้าหมายและแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ

กำหนดเป้าหมายและแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ โดยใช้ผลการศึกษาระบบบริหารคลองส่งน้ำ ร่วมกับผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำ ด้วย RAP เพื่อพัฒนาระบบบริหารคลองส่งน้ำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำในลักษณะของการจัดการแบบเน้นการบริการ (Service Oriented Management, SOM) โดยกำหนดเป้าหมายให้ระบบบริหารคลองส่งน้ำมีความสามารถในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานในระดับ $\pm 10\%$ (FAO, 2008)

3.1 กำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

3.1.1 ศึกษาเกณฑ์การให้คะแนนของ เทคนิคการประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว (RAP) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์พื้นฐานในการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ

3.1.2 ศึกษาเป้าหมายในการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการจากผลการประเมินด้วย RAP เพื่อยกระดับการให้บริการส่งน้ำจริงให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด

3.2 กำหนดแนวทางในการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ พิจารณาจากสภาพทั่วไป และคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ ร่วมกับเป้าหมายในการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ

4. ปรับปรุงวิธีการประเมินความต้องการน้ำของพืช

การปรับปรุงวิธีการประเมินความต้องการน้ำของพืช เป็นขั้นตอนปรับปรุงการประเมินความต้องการน้ำของพืชให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริงแบบรายสัปดาห์ (แผนการส่งน้ำเป็นแบบรายสัปดาห์) ตามอายุของพืช ช่วงเวลาในการเพาะปลูก และปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่ โดยประเมินความต้องการน้ำของพืชจากค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient, K_c) ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, E_{To}) และปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall, RE) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำของเกษตรกร

5. พัฒนาแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model)

การพัฒนาแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการควบคุมและบริหารคลองส่งน้ำสำหรับรักษาระดับน้ำในคลองส่งน้ำให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด (Target Water Level) ใช้โปรแกรม MATLAB (Student Version) เป็นเครื่องมือในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย โดยมีขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ ดังนี้

5.1 แบบจำลองสำหรับคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model) พัฒนาโดยใช้แบบจำลองสโตคาสติก (Stochastic Model) สำหรับคาดการณ์ผลลัพธ์ที่เกิดจากปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณน้ำสำหรับชดเชยผลการรบกวนดังกล่าว มีขั้นตอนในการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

5.1.1 ทดสอบการแจกแจงของชุดข้อมูล โดยใช้ค่า Skewness เพื่อตรวจสอบว่าชุดข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติหรือไม่ (Normal Distribution) ตามสมการที่ (26) และ และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าแนะนำในตารางของ Snedecor & Cochran (ตารางที่ 8)

$$g = \frac{N \sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^3}{(N-1)(N-2)s^3} \quad (26)$$

$$s^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum_{t=1}^N (x_t - \bar{x})^2 \quad (27)$$

โดยที่	g	คือ ค่า Skewness ของชุดข้อมูล
	s^2	คือ ค่า Variance ของชุดข้อมูล
	x_t	คือ ค่าของข้อมูลที่เวลา t
	\bar{x}	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล ทุกช่วงเวลา N
	t	คือ เวลาที่ทำการตรวจวัดมีค่า $1, 2, \dots, N$
	N	คือ ช่วงเวลาทั้งหมดที่ทำการตรวจวัด

ตารางที่ 8 ค่า Skewness แนะนำสำหรับทดสอบลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลแบบ Normality สำหรับขนาดตัวอย่างน้อยกว่า 150 ตัวอย่างของ Snedecor & Cochran

จำนวนตัวอย่าง	ระดับความน่าจะเป็น, α		จำนวนตัวอย่าง	ระดับความน่าจะเป็น, α	
	0.02	0.01		0.02	0.01
40	0.870	0.587	90	0.596	0.409
50	0.787	0.534	100	0.657	0.389
60	0.723	0.492	125	0.508	0.350
70	0.673	0.459	150	0.464	0.321
80	0.631	0.432	175	0.430	0.298

ที่มา: Salas *et al.* (1988)

5.1.2 กำหนดค่าลำดับ (Order of Model) เป็นการหาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรในปัจจุบันกับลำดับของตัวแปรในอดีตของอนุกรมเวลา เพื่อช่วยให้แบบจำลองมีจำนวนพารามิเตอร์ที่เหมาะสม สามารถทำได้โดยการคำนวณหา Sample Correlogram (r_k) ของข้อมูลอนุกรมเวลา เพื่อเปรียบเทียบกับ Anderson' limit ซึ่งค่า r_k ที่อยู่เหนือขอบเขตของ Anderson คือลำดับของตัวแปรในอดีตที่มีผลต่อค่าของตัวแปรในปัจจุบัน โดยค่า r_k หาได้จากสมการ ที่ (28) และขอบเขตของ Anderson คำนวณได้ตามสมการที่ (29) และ (30) ขึ้นอยู่กับระดับความเชื่อมั่นที่ใช้

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x}_t)(x_{t+k} - \bar{x}_{t+k})}{[\sum_{t=1}^{N-k} (x_t - \bar{x}_t)^2 * \sum_{t=1}^{N-k} (x_{t+k} - \bar{x}_{t+k})^2]^{1/2}} \quad (28)$$

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1.645\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (29)$$

$$r_k(99\%) = \frac{-1 \pm 2.326\sqrt{N-k-1}}{N-k} \quad (30)$$

โดยที่	r_k	คือ ค่า Sample Correlogram มีค่าอยู่ระหว่าง $-1 \leq r_k \leq 1$; $r_0 = 1$
	x_t	คือ ค่าของข้อมูลที่เวลา t
	x_{t+k}	คือ ค่าของข้อมูลที่เวลา $t+k$
	\bar{x}_t	คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของชุดข้อมูลแรกของ $N-k$ ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_{N-k}$)
	\bar{x}_{t+k}	คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของชุดข้อมูลหลังของ $N-k$ ($x_{k+1}, x_{k+2}, x_{k+3}, \dots, x_N$)

5.1.3 ประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimate Parameters) ของ Stochastic Model สามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมกันแพร่หลายมีอยู่ 3 วิธีคือ Moment Parameter Estimates, Least Squares Parameter Estimates และ Maximum Likelihood Parameter Estimates ซึ่งวิธี Moment Parameter Estimates เป็นวิธีการประมาณค่า Parameters ที่ไม่ยุ่งยากและซับซ้อน โดยมีสมการ ดังนี้

$$\bar{x} = \hat{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x_t \quad (31)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{(N-1)} \sum_{t=1}^N (x_t - \hat{x})^2 \quad (32)$$

โดยที่ \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของชุดข้อมูล
 $\hat{\sigma}^2$ คือ ค่าประมาณความแปรปรวนของชุดข้อมูล

5.1.4 ทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Test of Goodness of Fit of Selected Model) ด้วย The Porte Manteau Lack of Fit Test เป็นการทดสอบสมมติฐานด้านการแจกแจงข้อมูลของ ε , ว่าเป็นแบบปกติหรือไม่ โดยทำการทดสอบด้วยการเปรียบเทียบค่าการประมาณ The Chi - Square (Q) ของตัวอย่างกับ ค่า The Chi - Square วิกฤติของประชากรที่ Degree of Freedom เท่ากับ $L - p - q$ และระดับนัยสำคัญเท่ากับ α ($\chi^2_{(\alpha, L-p-q)}$) โดยสามารถคำนวณหาค่า Q ของแบบจำลอง AR model และ ARMA model ได้ตามสมการที่ (33)

$$Q = N \sum_{k=1}^L r_k^2(\varepsilon) \quad (33)$$

โดยที่ Q คือ ค่าการประมาณ The Chi - Square (Q) ของตัวอย่าง

5.1.5 ทดสอบความเหมาะสมของลำดับของแบบจำลองด้วย The Akaike Information Criteria เป็นการทดสอบความเหมาะสมของลำดับของแบบจำลอง (Order of Model) ด้วยการเปรียบเทียบค่าดัชนี AIC ของแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามลำดับต่าง ๆ ซึ่งแบบจำลองใดให้ค่าดัชนี AIC น้อยที่สุด แสดงว่าแบบจำลองนั้นมีความเหมาะสมที่สุด ค่าดัชนี AIC สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (34)

$$AIC(p) = N \ln(\hat{\sigma}_\varepsilon^2) + 2p \quad (34)$$

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \sigma^2 \left(1 - \sum_{j=1}^p \phi_j(r_k)_j \right) \quad (35)$$

5.2 แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model) เป็นแบบจำลองการไหลแบบคงตัว (Steady Flow) โดยใช้ระเบียบวิธี Standard Step Method สำหรับคำนวณระดับน้ำที่หน้าตัดการไหลต่าง ๆ ในคลองส่งน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้น (Initial Data) ของแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธี Standard Step Method (Chaudhry, 1993) ในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาระดับ

น้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับน้ำ ณ จุดควบคุม (อาคารควบคุมน้ำ) ซึ่งอยู่ด้านท้ายน้ำของตำแหน่งที่ต้องการหาระดับน้ำ โดยอาศัยหลักการสมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหล ตามสมการที่ (10) – (18) โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง ดังนี้

5.2.1 คำนวณค่าระดับน้ำที่หน้าตัดควบคุมด้านท้ายน้ำ (หน้าตัด (2)) (H_2) จากค่าความลึกของน้ำ (y_2) และค่าระดับท้องคลอง (Z_2) ซึ่งเป็นค่าที่ทราบ

5.2.2 ประมาณค่าความลึกของน้ำที่หน้าตัดด้านเหนือหน้า (หน้าตัด (1)) (y_1) โดยกำหนดให้เท่ากับค่าความลึกของน้ำที่หน้าตัด (2) (y_2)

5.2.3 คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อคำนวณค่าพลังงานรวม (H) ที่หน้าตัดต่าง (1) และ (2) ตามสมการที่ (10) – (18)

5.2.4 เปรียบเทียบค่าพลังงานรวมที่หน้าตัด (1) และ (2) ว่ามีค่าเท่ากันหรือ มีผลต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ $|H_2 - H_1| < \varepsilon$ จะได้ค่าความลึกของน้ำที่หน้าตัด (2) เท่ากับ y_2

5.2.5 สำหรับกรณีที่ $|H_2 - H_1| > \varepsilon$ ให้ทำการปรับค่า y_2 แล้วทำการคำนวณในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนกว่าผลต่างของพลังงานที่หน้าตัด (1) และ (2) จะมีค่าเท่ากันหรือ มีผลต่างอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5.3 แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model) เป็นแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัว (Unsteady Flow) ในคลองส่งน้ำ โดยใช้สมการ Saint – Venant Equations เพื่อจำลองระดับน้ำที่หน้าตัดการไหลต่าง ๆ ในคลองส่งน้ำตามเงื่อนไขการปรับบานของประตู, กลางคลอง และนำผลของแบบจำลองไปเปรียบเทียบกับระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด โดยมีขั้นตอนการคำนวณ ดังนี้

5.3.1 สร้างสมการพื้นฐานสำหรับจำลองการไหลในทางน้ำเปิด ด้วย Saint – Venant Equation ตามสมการที่ (19) และ (20) โดยกำหนดให้

- การไหลของน้ำเข้าสู่ทางน้ำเปิดด้านข้าง (q) เป็นแบบตั้งฉากกับทิศทางการไหลหลัก ($v_x = 0$)
- แรงลมไม่มีอิทธิพลต่อโมเมนต์การไหลของน้ำในทางน้ำเปิด ($W_f = 0$)
- การเปลี่ยนแปลงความเร็วการไหลเนื่องจากหน้าตัดการไหลมีค่าน้อยมาก ($S_c = 0$)

5.3.2 ใช้ระเบียบวิธี Finite Difference Method แบบ Four – Points Implicit Scheme ในการหาคำตอบของสมการ Saint – Venant Equation

5.3.3 เปรียบเทียบผลการจำลองระดับน้ำกับระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด เพื่อปรับระยะเปิดบานให้ได้ผลการจำลองระดับน้ำอยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด

5.4 ตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองด้วยดัชนี Nash – Sutcliffe Efficiency ในการตรวจสอบโดยมีขั้นตอน ดังนี้

5.4.1 นำข้อมูลการบริหารคลองส่งน้ำประกอบด้วย ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ และระยะเปิดบาน ของอาคารควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำ ป้อนในแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM)

5.4.2 นำข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำที่ตรวจวัดได้หลังจากการปรับบาน 60 นาที กับผลการจำลองระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำด้วยแบบจำลอง COM มาคำนวณด้วยค่าดัชนี NSE ตามสมการที่ (37) โดยใช้ข้อมูลระหว่างวันที่ 1 – 30 มิถุนายน 2553 (ยกเว้นวันหยุดราชการ)

5.4.3 แปลความหมายค่าดัชนี NSE ที่คำนวณ เป็นความแม่นยำในการคาดคะเนของแบบจำลอง COM ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การแปลความหมายค่าดัชนี NSE

ค่า NSE	การแปลความหมายของความแม่นยำในการคาดคะเน (Model Accuracy)
1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยไม่มีผิดพลาด
> 0 ถึง < 1	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำมากกว่าการคาดคะเน โดยใช้ค่าเฉลี่ย > 0.75 Good Prediction 0.36 – 0.75 Satisfactory Prediction
0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำไม่ต่างจากการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย
< 0	แบบจำลองสามารถคาดคะเนค่าโดยมีความแม่นยำน้อยกว่าการคาดคะเนโดยใช้ค่าเฉลี่ย

ที่มา: วราวุธ (2553)

6. วางแผนทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

การวางแผนทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานและให้ผลสัมฤทธิ์ที่ดีที่สุด โดยวางแผนการทดสอบตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ (วิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ วิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ) ความถี่ในการปรับบานที่คำนวณจากช่วงการควบคุมที่ยอมรับ (Tolerance) และความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการปรับบานกับผลลัพธ์ที่เกิดจากปัจจัยที่รับกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation)

6.1 กำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมรับ (Tolerance) กำหนดจากเป้าหมายในการให้บริการส่งน้ำ ร่วมกับคุณสมบัติความอ่อนไหวของอาคาร โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

6.1.1 แบ่งคลองส่งน้ำออกเป็นช่วงคลองตามอาคารควบคุมน้ำกลางคลองในคลองส่งน้ำ

6.1.2 กำหนดเป้าหมายในการส่งน้ำของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยแต่ละแห่ง ในช่วงคลองต่าง ๆ ของคลองส่งน้ำ

6.1.3 กำหนดหาช่วงการควบคุมที่ยอมรับ (Tolerance) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองชอยแต่ละแห่งจากสมการ

$$\text{Tol} = \frac{dq/q}{S_{\text{offtake}}} \quad (36)$$

โดยที่

Tol	คือ ช่วงการควบคุมที่ยอมรับ (เมตร)
dq/q	คือ เป้าหมายการควบคุมการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองชอย (%)
S_{offtake}	คือ ค่าความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (เมตร ⁻¹)

6.1.4 เปรียบเทียบค่า Tolerance ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองชอยแต่ละแห่งในแต่ละช่วงคลอง โดยเลือกใช้ค่าน้อยเป็นช่วงการควบคุมที่ยอมรับในช่วงคลอง

6.2 กำหนดช่วงเวลาและความถี่ในการปรับบาน

การกำหนดช่วงเวลาและความถี่ในการปรับบานที่เหมาะสม พิจารณาจากปัจจัยการรบกวนความคงตัวในการส่งน้ำ กับช่วงการควบคุมที่ยอมรับ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

6.2.1 กำหนดอาคารควบคุมน้ำกลางคลองที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำในแต่ละช่วงคลอง

6.2.2 กำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมรับ (Tolerance) ของแต่ละช่วงคลองตามขั้นตอนการดำเนินงานในหัวข้อ 6.1

6.2.3 อ่านค่าความถี่ในการปรับบานที่เหมาะสม จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน โดยกำหนดให้การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำต้องน้อยกว่าช่วงการควบคุมที่ยอมรับ จากนั้นนำช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบานที่อ่านได้จากกราฟเป็นระยะเวลาานานที่สุดที่ไม่มีการปรับบาน

6.2.4 พิจารณาความเหมาะสมร่วมกับเจ้าหน้าที่ และผู้บริหารของคลองส่งน้ำเพื่อกำหนดความถี่และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการปรับบาน

6.3 วางแผนทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

การวางแผนทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดช่วงเวลาและวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ต้องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

6.3.1 กำหนดวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ต้องการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำ

6.3.2 กำหนดช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำทั้งหมด

6.3.3 กำหนดจำนวนซ้ำในแต่ละวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

6.3.4 กำหนดรายละเอียดของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ประกอบด้วย ความถี่ในการตรวจวัดและปรับบาน การกำหนดวิธีการควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย และเงื่อนไขเฉพาะอื่น ๆ ที่จำเป็น

7. ทดสอบและวิเคราะห์ผลวิธีบริหารคลองส่งน้ำ

การทดสอบและวิเคราะห์ผลวิธีบริหารคลองส่งน้ำ ใช้ดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ จำนวน 3 ดัชนี ประกอบด้วย ดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum Absolute Error, MAE) ดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Integrated Absolute Error, IAE) และ ดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of Water Level Control, RWLC) และกลุ่มที่ 2 ดัชนีประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำ จำนวน 3 ดัชนี ประกอบด้วย ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA) ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทาน (Efficiency Indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ) เพื่อวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำด้านต่าง ๆ และเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

7.1 วิเคราะห์ผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลองที่ตรวจวัดและบันทึกทุก 30 นาที มาใช้ในการวิเคราะห์ มีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้

7.1.1 รวบรวมผลการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลองที่เป็นตัวแทนของช่วงคลองต่าง ๆ ในคลองส่งน้ำ

7.1.2 กำหนดเกณฑ์การประเมินผลค่าดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ

7.1.3 กำหนดค่าดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ ประกอบด้วย ดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum Absolute Error, MAE) ตามสมการที่ ดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Integrated Absolute Error, IAE) ตามสมการที่ และ ดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of Water Level Control, RWLC) ตามสมการที่

$$MAE = \frac{\max(|Y_t - Y_{stp}|)}{Y_{stp}} \quad (37)$$

$$IAE = \frac{\Delta t \sum_{t=0}^T |Y_t - Y_{stp}|}{Y_{stp}} \quad (38)$$

$$RWCL = 1 - \frac{N_{dropped}}{N_{measured}} \quad (39)$$

โดยที่	MAE	คือ ค่าดัชนี Maximum absolute error (เมตร/เมตร)
	IAE	คือ ค่าดัชนี Integrated absolute error (เมตร/เมตร)
	RWLC	คือ ค่าดัชนี Reliability of Water Level Control
	Y_t	คือ ระดับน้ำ ณ เวลา t (เมตร)
	Y_{stp}	คือ ระดับน้ำเป้าหมาย (เมตร)
	$N_{measured}$	คือ จำนวนครั้งของระดับน้ำที่ตรวจวัดได้
	$N_{dropped}$	คือ จำนวนครั้งที่ระดับน้ำที่ตรวจวัดได้อยู่ต่ำกว่าระดับเป้าหมาย
	Δt	คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการควบคุม (นาที)
	T	คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ (นาที)

7.1.4 วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำ ด้วย Analysis of Variance Technique (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์

7.1.5 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ด้วยเทคนิค Multiple Comparison Procedure ตามวิธีของ Duncan โดยใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการคำนวณและจัดกลุ่ม

7.2 วิเคราะห์ผลลัพธ์ในการส่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลาง คลองที่ตรวจวัดและบันทึกทุก 30 นาที ระยะเปิดบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองขอย ความต้องการน้ำชลประทาน และความต้องการน้ำของพืชในแปลงเพาะปลูก มาใช้ในการวิเคราะห์ มีขั้นตอนดำเนินงาน ดังนี้

7.2.1 รวบรวมผลลัพธ์ในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกของช่วงคลองต่างๆ ประกอบด้วย ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำชลประทาน และความต้องการน้ำของพืชในแปลงเพาะปลูก ของแต่ละช่วงคลอง

7.2.2 กำหนดเกณฑ์การประเมินผลค่าดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ

7.2.3 กำหนดค่าดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ ประกอบด้วย ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA) ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทาน (Efficiency Indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ) ตามสมการที่

$$PA = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_A \right) \quad (40)$$

$$p_A = \frac{Q_D}{Q_R} \quad (41)$$

$$p_A = 1.0 \quad ; \quad Q_D > Q_R \quad (42)$$

$$PE = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_E \right) \quad (43)$$

$$p_E = \frac{Q_R}{Q_D} \quad (44)$$

$$p_E = 1.0 ; Q_R > Q_D \quad (45)$$

$$PD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CV_T \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right) \quad (46)$$

$$PEQ = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T CV_N \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right) \quad (47)$$

$$CV_T \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right) = \frac{SD_T \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right)}{Mean_T \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right)} \quad (48)$$

$$CV_N \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right) = \frac{SD_N \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right)}{Mean_N \left(\frac{Q_D}{Q_R} \right)} \quad (49)$$

โดยที่	PA	คือ ค่าดัชนีความเพียงพอ
	PE	คือ ค่าดัชนีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ
	PD	คือ ค่าดัชนีความน่าเชื่อถือ
	PEQ	คือ ค่าดัชนีความเป็นธรรม
	Q_D	คือ ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)
	Q_R	คือ ปริมาณความต้องการน้ำ (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)
	t	คือ จำนวนช่วงเวลาส่งน้ำที่พิจารณา มีค่า 1, 2, ..., T
	n	คือ จำนวนช่วงคลองในระบบส่งน้ำ มีค่า 1, 2, ..., N
	CV()	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Coefficient of Variance) คำนวณจากอัตราส่วนของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานต่อค่าเฉลี่ยเลขคณิต

7.2.4 วิเคราะห์หาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำ ด้วย Analysis of Variance Technique (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการวิเคราะห์

7.2.5 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ด้วยเทคนิค Multiple Comparison Procedure ตามวิธีของ Duncan โดยใช้โปรแกรม SPSS ช่วยในการจัดกลุ่ม

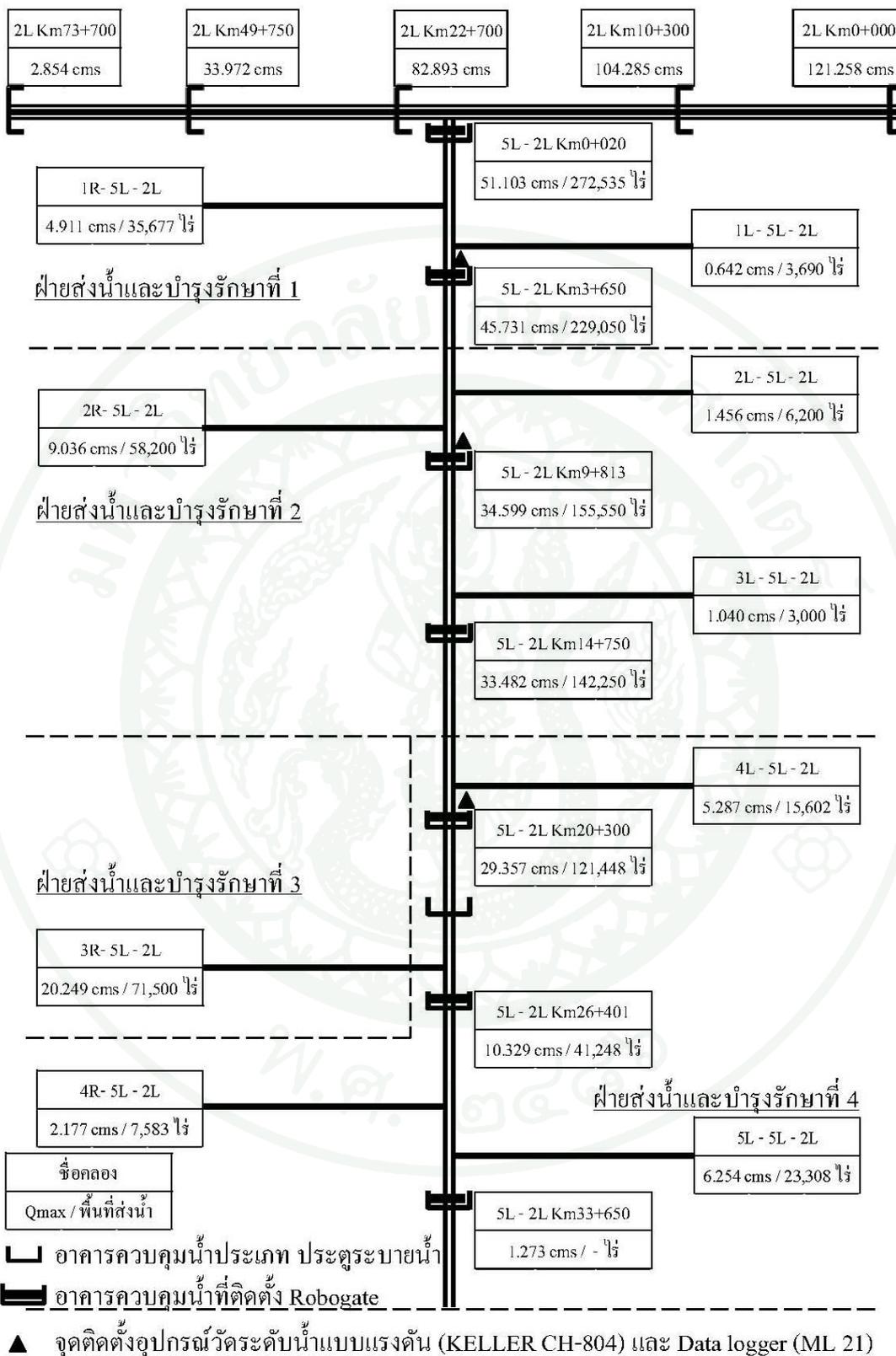
ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาระบบบริหารคลอง 5L – 2L

1. สภาพทั่วไปของระบบคลอง 5L – 2L

คลอง 5L – 2L มีความยาวคลองทั้งสิ้น 41.188 กิโลเมตร มีอาคารควบคุมน้ำ จำนวน 9 แห่ง ประกอบด้วย ปตร. ปากคลอง 1 แห่ง ปตร. กลางคลอง 7 แห่ง และ ปตร. ปลายคลอง 1 แห่ง (กม. 41+100) เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกจำนวน 272,535 ไร่ ผ่านคลองส่งน้ำสายชอย 9 สาย แบ่งพื้นที่การบริหารงานส่งน้ำและการบำรุงรักษาออกเป็น 4 ฝ่ายส่งน้ำ เพื่อควบคุมการบริหารงานส่งน้ำและการบำรุงรักษา ตามภาพที่ 24

ในฤดูกาลส่งน้ำปี 2551 ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 ถึงวันที่ 31 ตุลาคม 2551 โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องมีอัตรากำลังเจ้าหน้าที่สำหรับบริหารคลอง 5L – 2L จำนวน 220 อัตรา ประกอบด้วยเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ด้านการส่งน้ำจำนวน 63 อัตรา และเจ้าหน้าที่ที่ไม่มีความรู้ด้านการส่งน้ำ 157 อัตรา ซึ่งงบประมาณในการดำเนินงานประมาณ 63.05 ล้านบาท เพื่อบริหารจัดการน้ำจำนวน 810.7 ล้านลูกบาศก์เมตร ส่งให้พื้นที่ชลประทาน 272,535 ไร่ สำหรับใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกจำนวน 369,934 ไร่ แบ่งเป็นพื้นที่นาข้าว (รวมพื้นที่เพาะปลูกทั้ง 3 ฤดู) 60% พื้นที่ปลูกอ้อย 34.5% และการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรอื่น ๆ เช่น หน่อไม้ฝรั่ง ส้ม ข้าวโพด ไม้สัก และบ่อกึ่ง – บ่อปลา อีก 5.5% ให้มูลค่าผลผลิตทางการเกษตรคิดเป็นเงินประมาณ 4,900 ล้านบาท โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 10



ภาพที่ 24 แผนผังระบบส่งน้ำคลอง 5L - 2L โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ตารางที่ 10 ข้อมูลการเพาะปลูกและผลผลิตของคลอง 5L – 2L ฤดูกาลส่งน้ำปี 2551

ชนิดพืช	พื้นที่ (ไร่)	ช่วงเวลา เพาะปลูก	ผลผลิต (กก./ไร่)	ราคา (บาท/กก.)	มูลค่าผลผลิต (ล้านบาท)
นาปรัง#1	111,007	พ.ย. – ก.พ.	800	9.85	874.74
นาปรัง#2	39,164	มี.ค. – มิ.ย.	800	9.85	308.61
นาปี	71,844	ก.ค. – ต.ค.	700	10.00	502.91
อ้อย	127,363	มี.ค. – ม.ค.	17,500	0.90	2,005.97
พืชไร่ (3 ครั้ง)	2,398	พ.ย. – ต.ค.	497	6.94	8.27
พืชผัก	2,591	พ.ย. – ต.ค.	2,181	10	56.51
ไม้ผล	2,559	พ.ย. – ต.ค.	2,673	10	68.40
ไม้ยืนต้น	912	พ.ย. – ต.ค.	4,758	7.05	30.59
บ่อกึ่งและปลา	7,300	พ.ย. – ต.ค.	960	150	1,051.20

ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง (2552)

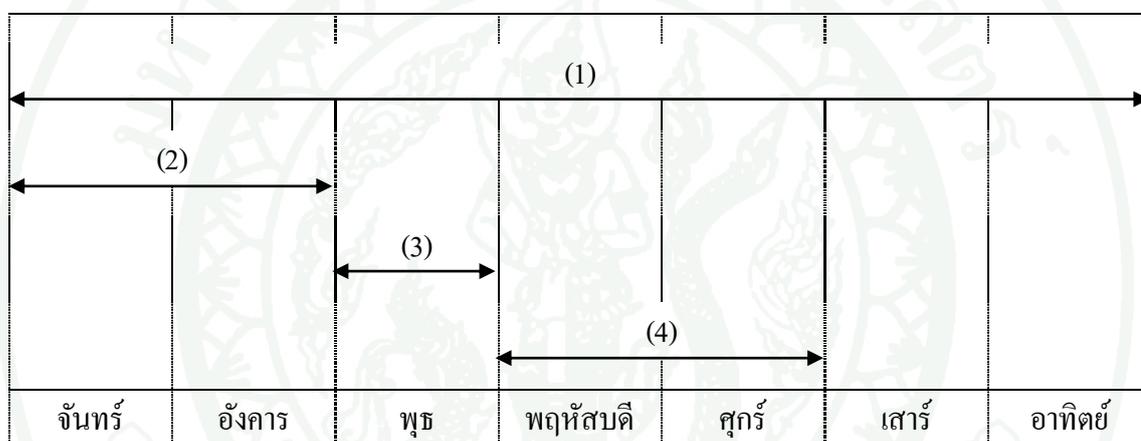
2. ระบบบริหารคลองส่งน้ำ

คลอง 5L – 2L ใช้วิธีการส่งน้ำแบบตลอดเวลา โดยมีฝ่ายจัดสรรน้ำฯ ของโครงการทำหน้าที่ควบคุมประตูระบายน้ำ (ปตร.) ปากคลอง 5L – 2L เพื่อส่งน้ำเข้าสู่คลอง 5L – 2L ตามความต้องการน้ำของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานอยู่ 3 ขั้นตอน คือ ประเมินความต้องการน้ำในคลอง 5L – 2L รายงานความต้องการน้ำในคลอง 5L – 2L ให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L และควบคุมบริหารคลองส่งน้ำตามเป้าหมายที่กำหนด

สำนักชลประทานที่ 13 ได้แต่งตั้งให้หัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเป็นผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L ทำหน้าที่รวบรวมความต้องการน้ำในคลอง 2L และแจ้งความต้องการน้ำให้สำนักชลประทานที่ 13 ทราบ นอกจากนั้นยังทำหน้าที่ติดตามผลการส่งน้ำในคลอง 2L และรายงานให้สำนักชลประทานที่ 13 ทราบในกรณีที่เกิดปัญหาน้ำท่วมขัง หรือมีพื้นที่ไม่ได้รับน้ำตามความต้องการ

2.1 วิธีการวิเคราะห์ความต้องการน้ำในคลอง 5L – 2L เนื่องจากคลอง 5L – 2L แบ่งพื้นที่การบริหารงานส่งน้ำออกเป็น 4 ฝ่ายส่งน้ำ โดยแต่ละฝ่ายส่งน้ำมอบหมายให้พนักงานส่งน้ำทำหน้าที่สำรวจพื้นที่เพาะปลูก ตรวจสอบและรายงานผลการส่งน้ำให้หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำฯ ทราบ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินความต้องการน้ำในอีก 2 สัปดาห์ข้างหน้า และรวบรวมความต้องการน้ำทั้งหมดในเขตพื้นที่รับผิดชอบ แจ้งให้ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานของโครงการทราบ ตามปฏิทินการดำเนินงานในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ปฏิทินการดำเนินงานบริหารคลองส่งน้ำของฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง



หมายเหตุ (1) คลอง 5L – 2L ส่งน้ำแบบตลอดเวลา (วันจันทร์เป็นวันเริ่มต้นสัปดาห์ส่งน้ำ)
 (2) พนักงานส่งน้ำสำรวจพื้นที่เพาะปลูก ตรวจสอบและรายงานผลการส่งน้ำ
 (3) พนักงานส่งน้ำรายงานผลการสำรวจพื้นที่เพาะปลูกให้หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำฯ ทราบ
 (4) หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำฯ ประเมินความต้องการน้ำ และแจ้งความต้องการน้ำในพื้นที่รับผิดชอบ ให้ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานของโครงการทราบ

2.2 การประเมินความต้องการน้ำในคลอง 5L – 2L โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ประเมิน จากค่าเฉลี่ยการใช้ น้ำของพืชต่อวัน ตามสมการที่ (50) ซึ่งการประเมินความต้องการน้ำแบบนี้มีข้อดีคือ ง่ายและสะดวกในการประเมิน ส่วนข้อเสียคือ ความต้องการน้ำที่ได้เป็นความต้องการน้ำเฉลี่ยรายสัปดาห์ตลอดอายุการของพืช ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริงของพืชในแต่ละสัปดาห์ และไม่นำปริมาณฝนใช้การซึ่งพืชสามารถนำน้ำไปใช้ได้มาประเมินด้วย ดังนั้น ผลการประเมินความต้องการน้ำด้วยวิธีนี้โดยส่วนใหญ่จะสูงกว่าความต้องการน้ำจริงของพืช

$$IWR = \frac{A * CWR * 1.6}{E} \quad (50)$$

โดยที่	IWR	คือ ความต้องการน้ำชลประทาน, ม. ³ /วัน
	A	คือ พื้นที่เพาะปลูกของพืชแต่ละชนิด, ไร่
	CWR	คือ ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดต่อวัน, มม./วัน ตามตารางที่ 12
	E	คือ ประสิทธิภาพการชลประทานเท่ากับ 80% (ณัฐวุฒิ, 2550)

ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยการใช้น้ำของพืชที่ใช้ในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

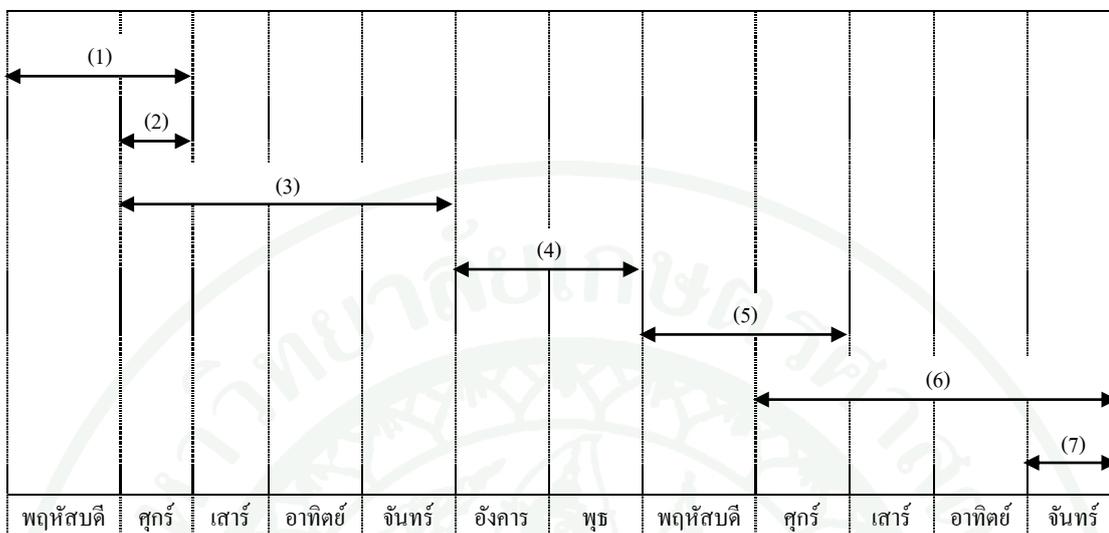
ชนิดพืช	CWR (มม. / วัน)
ข้าว	6
อ้อย พืชไร่ และพืชผัก	4
ผลไม้ และ ไม้ยืนต้น	6
บ่อกึ่ง และบ่อปลา	30

ที่มา: โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง (2552)

2.3 การรายงานความต้องการน้ำในคลอง 5L – 2L เป็นหน้าที่ของฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทาน ซึ่งจะทำการรวบรวมความต้องการน้ำทั้งหมดของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจากฝ่ายส่งน้ำต่าง ๆ ภายในวันพฤหัสบดีของทุกสัปดาห์ และแจ้งความต้องการน้ำทั้งหมดของโครงการให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L ทราบทุกวันศุกร์

ระบบส่งน้ำของคลอง 2L เป็นแบบตลอดเวลา โดยมีโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กลองทำหน้าที่ควบคุมเปิด – ปิด ประตู ปากคลอง 2L เข้าสู่พื้นที่ชลประทาน ซึ่งการควบคุมประตู ปากคลอง 2L ปฏิบัติตามแผนการส่งน้ำของผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L โดยโครงการส่งน้ำฯพนมทวน และโครงการส่งน้ำฯบางเลน จะต้องส่งความต้องการน้ำให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L ล่วงหน้า 10 วันก่อนการส่งน้ำ ตามปฏิทินกิจกรรมการจัดการน้ำรายสัปดาห์ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 13 ปฏิทินกิจกรรมการจัดการน้ำรายสัปดาห์ของคลอง 2L



- หมายเหตุ (1) ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาแจ้งความต้องการน้ำในเขตพื้นที่ชลประทานที่รับผิดชอบให้ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานทราบ
- (2) ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานรวบรวมความต้องการน้ำของโครงการ และแจ้งให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L (โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง) ทราบ
- (3) ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L รวบรวมความต้องการน้ำของโครงการต่าง ๆ ในเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลอง 2L และแจ้งความต้องการน้ำให้ส่วนจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา สำนักชลประทานที่ 13 ทราบ
- (4) สำนักชลประทานที่ 13 (ส่วนจัดสรรน้ำฯ) พิจารณาความต้องการน้ำของคลอง 2L ร่วมกับคลองสายอื่น ๆ (คลอง 1L, LMC, LMC (ท่าสาร – บางปลา), 1R, 2R และคลองประปา) และแจ้งความต้องการน้ำให้สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ ทราบ
- (5) กรมชลประทาน โดยสำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำพิจารณาและประสานงานกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพื่อระบายน้ำจากเขื่อนศรีนครินทร์ และเขื่อนวชิราลงกรณ์
- (6) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตพิจารณาจัดสรรน้ำให้กรมชลประทานและสำนักชลประทานที่ 13 โดยแจ้งผลการพิจารณาผ่าน website <http://ichpp.egat.co.th>
- (7) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กลองปรับประตูระบายปากคลอง 2L พร้อมแจ้งให้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลนทราบ

สำหรับกรณีฉุกเฉิน แผนการส่งน้ำสามารถปรับแก้ได้ตามสถานการณ์เช่น กรณีมีฝนตกหนัก เจ้าหน้าที่สนามสามารถประสานกับฝ่ายจัดสรรน้ำฯ เพื่อปรับ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L ได้โดยตรง หรือขอปรับแผนการส่งน้ำในระหว่างสัปดาห์ ซึ่งทางฝ่ายจัดสรรน้ำฯ จะทำการแจ้งความต้องการน้ำที่เปลี่ยนแปลงให้ผู้ประสานงานกลุ่มน้ำคลอง 2L ทราบเพื่อประสานกับโครงการส่งน้ำฯ เขื่อนแม่กลองในการปรับบานของ ปตร. ปากคลอง 2L

ตารางที่ 14 ข้อมูลเจ้าหน้าที่สำหรับควบคุมคลอง 5L – 2L ของระบบควบคุมด้วยแรงคน

ตำแหน่ง	จำนวน	หน้าที่
หัวหน้าฝ่ายจัดสรรน้ำฯ	1	กำกับดูแลระดับน้ำ และอัตราการไหลในระบบคลอง 5L – 2L ทั้งระบบ
หัวหน้าฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษา	4	กำกับดูแลระดับน้ำ และการควบคุม ปตร. ในเขตพื้นที่รับผิดชอบ
พนักงานรักษาคลอง	1	ปรับบานของ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L เพื่อควบคุมอัตราการไหลเข้าคลอง 5L – 2L
พนักงานรักษาคลอง	3	ปรับบานของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L เพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคาร และอัตราการไหลผ่านอาคาร
ผู้รักษาอาคารชลประทาน	9	ปรับบานอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย เพื่อควบคุมอัตราการไหลเข้าคลองซอย

3.2 ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System) ใช้แนวคิดในการควบคุมระดับน้ำแบบ Feedback Control โดยตรวจวัดและเปรียบเทียบระดับน้ำด้านหน้า ประตู กับระดับเป้าหมายที่กำหนดแบบตลอดเวลา และทำการปรับบานเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้า ประตู. ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด ใช้เทคนิคการควบคุมแบบ Proportional Control กำหนดความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นระหว่างระดับน้ำด้านหน้าอาคาร กับระยะเปิดบานของอาคารควบคุม และกำหนดตำแหน่งการควบคุมระดับน้ำที่ด้านหน้า ประตู. (Upstream Control) เป็นแบบเฉพาะจุด (Localized Control)

ระบบคลองอัตโนมัติถูกออกแบบให้ทำงานร่วมกันระหว่าง ระบบควบคุมแบบเฉพาะจุด และระบบควบคุมจากศูนย์กลาง โดยมีประตูดัต (Robogate) ทำหน้าที่ตรวจวัดระดับน้ำด้านหน้า – ท้าย ประตู. กลางคลอง และควบคุมการเปิด – ปิดบานของ ประตู. กลางคลองเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้า ประตู. กลางคลองให้อยู่ที่ระดับน้ำเป้าหมายแบบอัตโนมัติ พร้อมรายงานข้อมูลเข้าสู่สถานีแม่ข่าย (Master Station) ด้วยระบบวิทยุสื่อสารย่าน VHF เพื่อประเมินอัตราการไหลที่ต้องส่งเข้าสู่ระบบเพื่อรักษาปริมาณน้ำในคลองให้คงที่ (Constant Volume) และส่งคำสั่งไปที่อุปกรณ์ควบคุมการเปิด – ปิดบานของ ประตู. ปากคลอง 5L – 2L (SCADA) เพื่อปรับควบคุม ประตู. ปากคลอง 5L – 2L ให้ส่งน้ำตามความต้องการหรือตามปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่ (วิษณุ และ วราวุธ, 2550)

ระบบคลองอัตโนมัติของคลอง 5L – 2L มีการติดตั้ง 2 ระยะด้วยกันคือ ระยะที่ 1 ติดตั้งที่ ประตู. กลางคลอง กม.3+650, 9+813 และ 20+300 โดยเริ่มเดินระบบเมื่อวันที่ 4 มกราคม 2551 และทำการปรับปรุงระบบระหว่างวันที่ 1 พฤษภาคม 2553 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2554 สำหรับระยะที่ 2 ติดตั้งที่ ประตู. กลางคลอง กม.14+750, 26+401 และที่ ประตู. ปลายคลองกม.33+664 โดยเริ่มเดินระบบเมื่อวันที่ 29 มีนาคม 2554

4. อาคารควบคุมน้ำชลประทาน

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในระบบส่งน้ำคลอง 5L – 2L ระหว่าง กม.0+020 – กม.26+401 มีอาคารควบคุมบังคับน้ำจำนวน 14 แห่ง ประกอบด้วย ประตู. ปากคลอง 5L – 2L จำนวน 1 แห่ง ประตู. กลางคลอง 5L – 2L จำนวน 6 แห่ง และ อาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย จำนวน 7 แห่ง มีคุณสมบัติทั่วไป ตามตารางที่ 15 และคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารควบคุมน้ำตามสมการที่ (18)

4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร

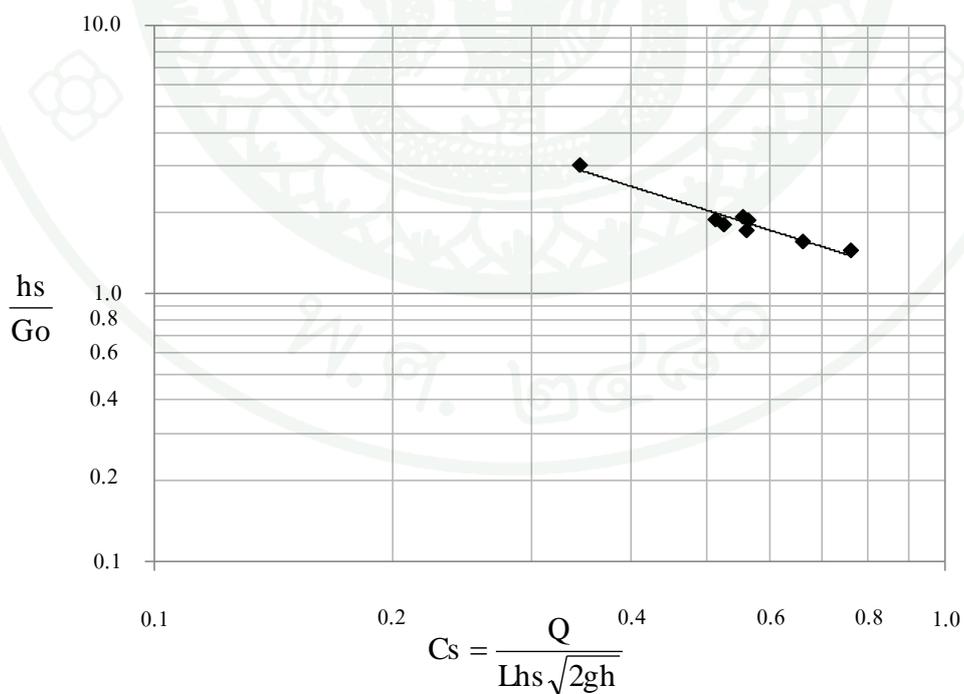
ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลผ่านอาคารชลประทานต่าง ๆ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารจะเป็นค่าเฉพาะของอาคารแต่ละแห่ง หาได้จากสมการการไหลของน้ำผ่านอาคาร ตามสมการที่ (4) และ (5)

อาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L – 2L ระหว่าง กม.0+020 – กม.26+401 มีการสอบเทียบอาคารเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ จำนวน 14 แห่ง ประกอบด้วย ปตร. ปากคลอง 1 แห่ง ปตร. กลางคลอง 6 แห่ง และอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 7 แห่ง รายละเอียดการสอบเทียบอาคาร แสดงในตารางที่ 15 – 28 และสามารถสรุปผลการสอบเทียบอาคารแสดงไว้ในตารางที่ 29 ให้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) ระหว่าง 0.79 – 0.97 หมายความว่า การคำนวณอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L – 2L ตามสมการที่ (4) และ (5) มีความแม่นยำ และอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารเป็นผลหรืออิทธิพลจากระดับน้ำด้านท้ายอาคาร และระยะเปิดบานประมาณ 79 – 97% ตามค่า R^2 ของอาคารแต่ละแห่ง ซึ่งค่า R^2 ที่แนะนำคือไม่น้อยกว่า 0.75 (Hu, 1999)

ตารางที่ 15 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. ปากคลอง 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	ปตร. ปากคลอง 5L – 2L
จำนวนบาน	2 บาน	ความกว้างบาน	4 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+13.693 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+16.44	+15.45	0.99	4.407	1.757	0.91	1.929	34.453	0.556
+16.55	+15.50	1.05	4.539	1.807	1.00	1.804	34.518	0.526
+16.30	+15.68	0.62	3.488	1.987	1.38	1.444	42.213	0.761
+16.67	+15.93	0.74	3.810	2.237	1.19	1.884	35.012	0.513
+16.53	+15.57	0.96	4.340	1.877	1.09	1.716	36.625	0.562
+16.02	+15.23	0.79	3.937	1.537	0.82	1.873	27.349	0.565
+16.50	+15.69	0.81	3.987	1.997	1.28	1.559	42.173	0.662
+17.15	+15.90	1.25	4.952	2.207	0.73	3.016	30.244	0.346

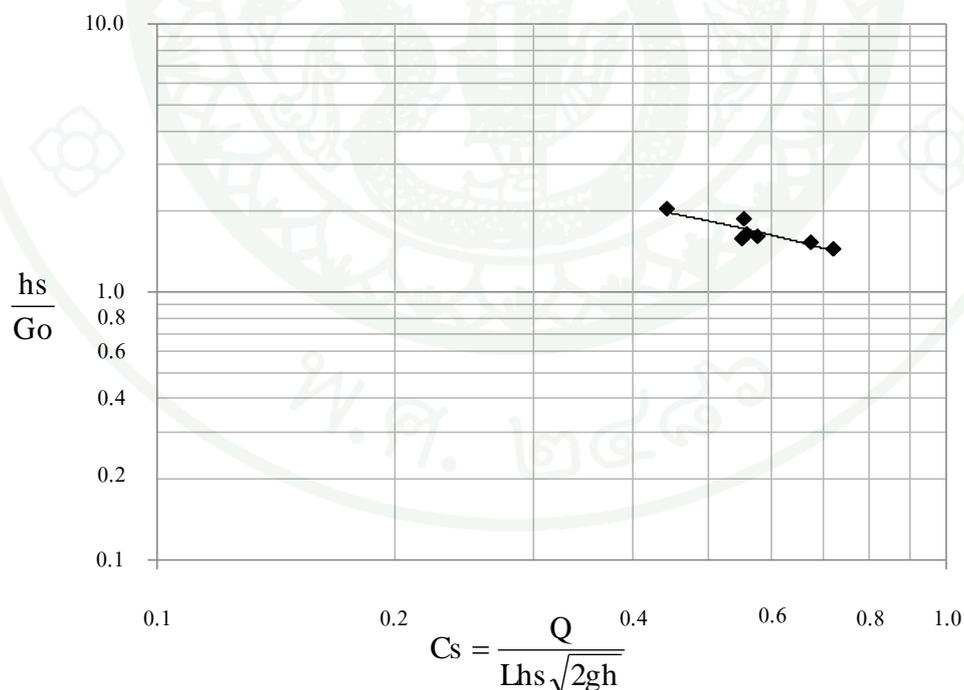


ภาพที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. ปากคลอง 5L – 2L

ตารางที่ 16 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	ปตร. กลางคลอง กม.3+650
จำนวนบาน	2 บาน	ความกว้างบาน	4 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+12.535 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+15.00	+14.29	0.71	3.732	1.755	1.09	1.604	30.268	0.578
+15.17	+14.65	0.52	3.194	2.115	1.47	1.437	38.957	0.721
+15.45	+14.93	0.52	3.194	2.395	1.28	1.869	33.973	0.555
+15.14	+14.48	0.66	3.598	1.945	1.19	1.638	31.337	0.560
+14.75	+14.11	0.64	3.544	1.575	1.00	1.572	24.642	0.552
+15.19	+14.63	0.56	3.315	2.095	1.38	1.522	37.497	0.675
+15.17	+14.21	0.96	4.340	1.675	0.82	2.041	25.770	0.443

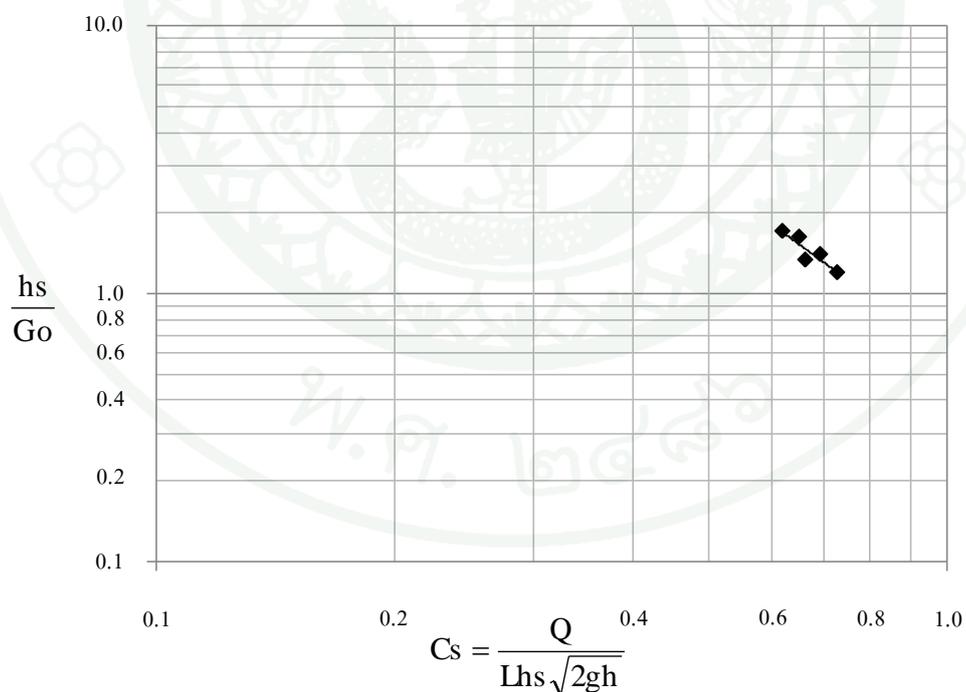


ภาพที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650

ตารางที่ 17 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.9+813

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	ปตร. กลางคลอง กม.9+813
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	5 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+11.119 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+13.94	+12.78	1.16	4.771	1.661	1.19	1.399	27.352	0.690
+14.21	+13.00	1.21	4.872	1.881	1.57	1.199	33.250	0.726
+14.46	+13.35	1.11	4.667	2.231	1.38	1.621	33.785	0.649
+14.11	+12.83	1.28	5.011	1.711	1.28	1.335	28.331	0.661
+13.86	+12.67	1.19	4.832	1.551	0.91	1.703	23.156	0.618

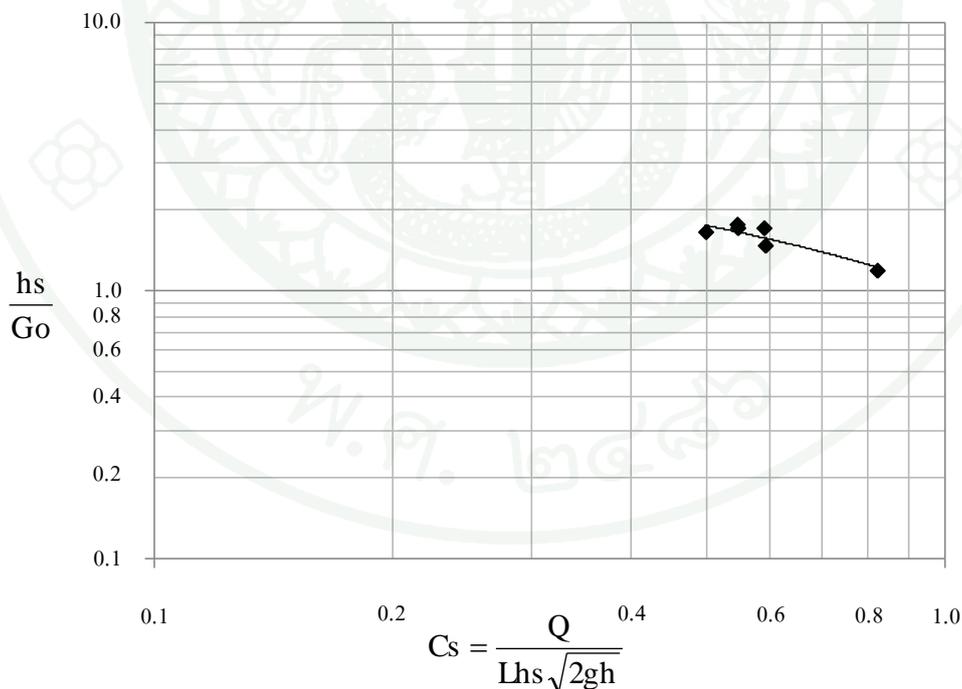


ภาพที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.9+813

ตารางที่ 18 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.14+750

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	ปตร. กลางคลอง กม.14+750
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	5 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+9.425 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)		(เมตร)	(เมตร)		(cms)	
+11.74	+10.83	0.91	4.225	1.405	1.19	1.183	24.398	0.822
+12.50	+11.60	0.90	4.202	2.175	1.28	1.697	25.002	0.547
+12.63	+11.86	0.77	3.887	2.435	1.67	1.462	28.058	0.593
+12.97	+11.84	1.13	4.709	2.415	1.47	1.641	28.326	0.498
+12.32	+11.50	0.82	4.011	2.075	1.19	1.748	22.726	0.546
+12.90	+12.25	0.65	3.571	2.825	1.67	1.696	29.788	0.591

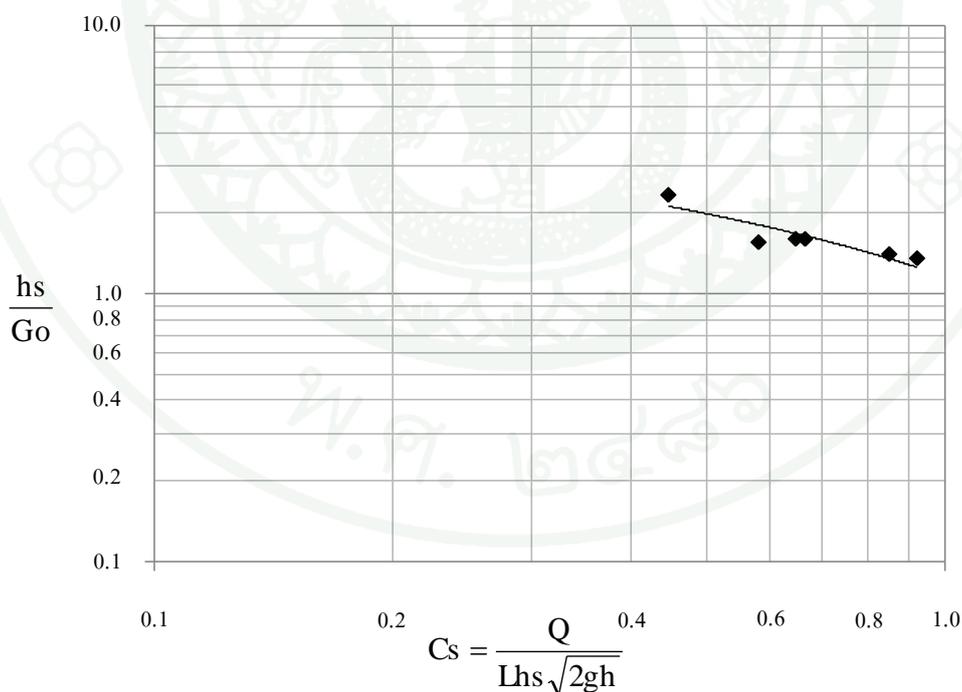


ภาพที่ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.14+750

ตารางที่ 19 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.20+300

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	ปตร. กลางคลอง กม.20+300
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	5 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+7.860 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+10.59	+10.06	0.53	3.225	2.200	1.38	1.599	22.930	0.646
+10.73	+10.33	0.40	2.801	2.470	1.76	1.401	29.360	0.849
+10.34	+9.98	0.36	2.658	2.120	1.57	1.352	25.926	0.920
+10.75	+10.21	0.54	3.255	2.350	1.47	1.597	25.410	0.664
+10.44	+9.85	0.59	3.402	1.990	1.28	1.553	19.643	0.580
+10.98	+10.20	0.78	3.912	2.340	1.00	2.336	20.427	0.446

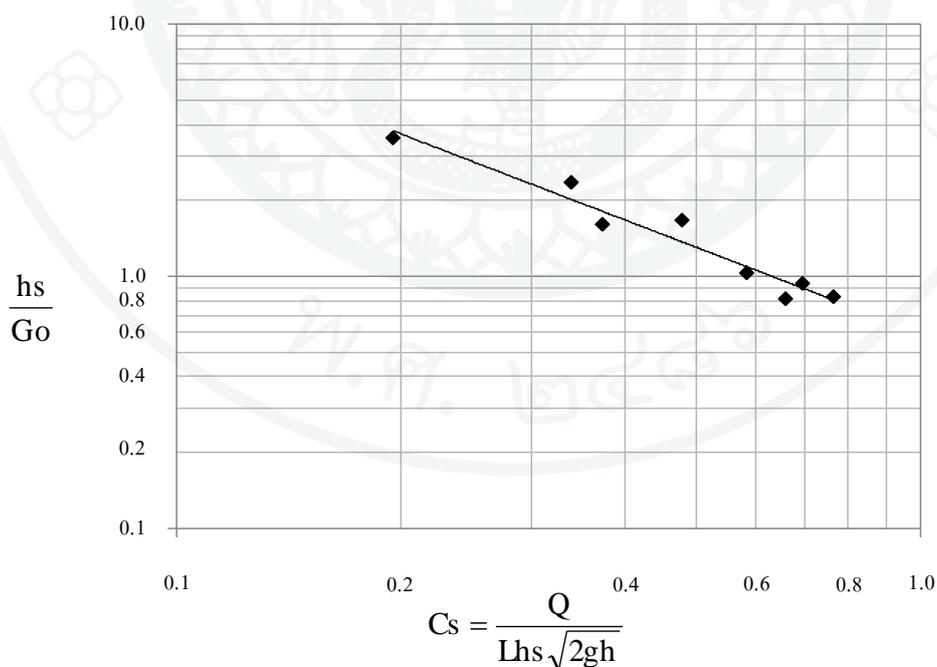


ภาพที่ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.20+300

ตารางที่ 20 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.24+500

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	ปตร. กลางคลอง กม.24+500
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	5 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+7.090 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+9.85	+8.40	1.45	5.334	1.310	0.82	1,596	13.052	0.374
+9.74	+8.60	1.14	4.729	1.510	0.64	2,345	12.112	0.339
+9.81	+8.40	1.41	5.260	1.310	1.28	1,022	20.114	0.584
+9.92	+8.20	1.72	5.809	1.110	1.38	0,807	21.235	0.659
+9.65	+8.30	1.35	5.147	1.210	1.47	0,822	23.785	0.764
+9.60	+8.28	1.32	5.089	1.190	1.28	0,929	21.020	0.694
+9.89	+8.46	1.43	5.297	1.370	0.39	3,525	7.085	0.195
+9.80	+8.60	1.20	4.852	1.510	0.91	1,658	17.511	0.478

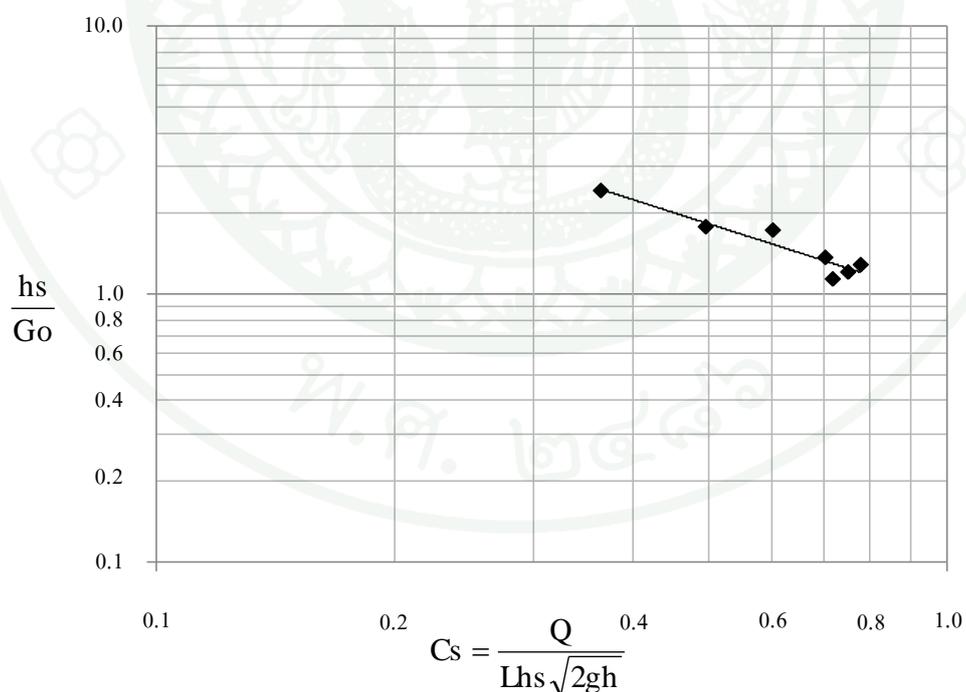


ภาพที่ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.24+500

ตารางที่ 21 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.26+401

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	ปตร. กลางคลอง กม.26+401
จำนวนบาน	2 บาน	ความกว้างบาน	2.2 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+5.600 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)	
+8.07	+8.00	0.07	1.172	2.400	2.00	1,200	0.749
+8.00	+7.93	0.07	1.172	2.330	1.35	1,726	0.602
+8.15	+8.00	0.15	1.716	2.400	1.35	1,778	0.495
+8.05	+7.79	0.26	2.259	2.190	0.90	2,433	0.365
+8.11	+8.03	0.08	1.253	2.430	1.90	1,279	0.777
+7.83	+7.78	0.05	0.990	2.180	1.60	1,363	0.701
+7.93	+7.86	0.07	1.172	2.260	2.00	1,130	0.717

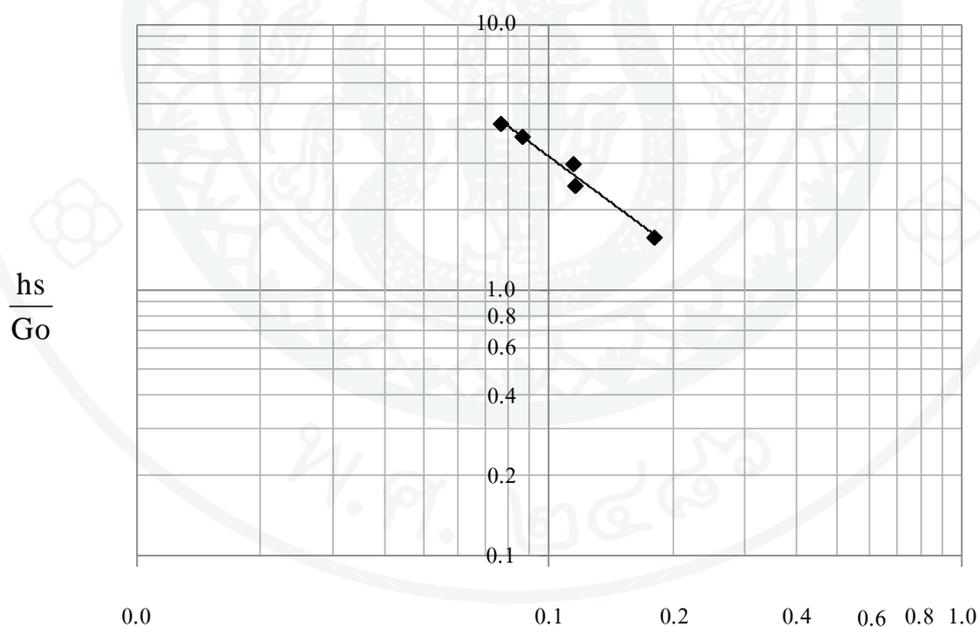


ภาพที่ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.26+401

ตารางที่ 22 ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 1R – 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	1R – 5L – 2L
จำนวนบาน	3 บาน	ความกว้างบาน	1.2 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+13.644 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)		(เมตร)	(เมตร)		(cms)	
+15.49	+15.14	0.35	2.638	1.496	0.50	2.991	1.630	0.115
+15.55	+15.16	0.39	2.759	1.518	0.40	3.794	1.300	0.086
+15.63	+15.13	0.50	3.146	1.484	0.60	2.474	1.950	0.116
+15.42	+14.91	0.51	3.163	1.263	0.80	1.578	2.600	0.181
+15.32	+14.92	0.40	2.798	1.274	0.30	4.246	0.980	0.076

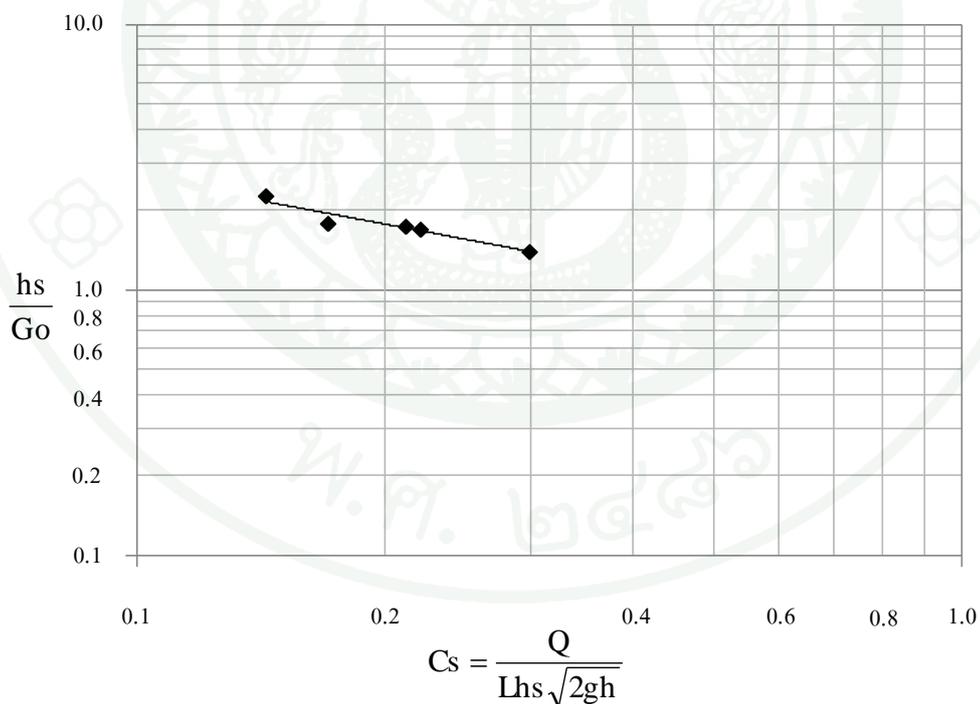


ภาพที่ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 1R – 5L – 2L

ตารางที่ 23 ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 1L – 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	1L – 5L – 2L
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	0.9 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+14.296 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)		(เมตร)	(เมตร)		(cms)	
+15.48	+15.14	0.34	2.585	0.844	0.50	1.687	0.434	0.221
+15.54	+15.16	0.38	2.724	0.866	0.50	1.731	0.450	0.212
+15.60	+15.13	0.47	3.042	0.832	0.60	1.387	0.683	0.300
+15.45	+14.91	0.54	3.265	0.611	0.27	2.261	0.258	0.144
+15.37	+14.92	0.45	2.979	0.622	0.35	1.776	0.285	0.171

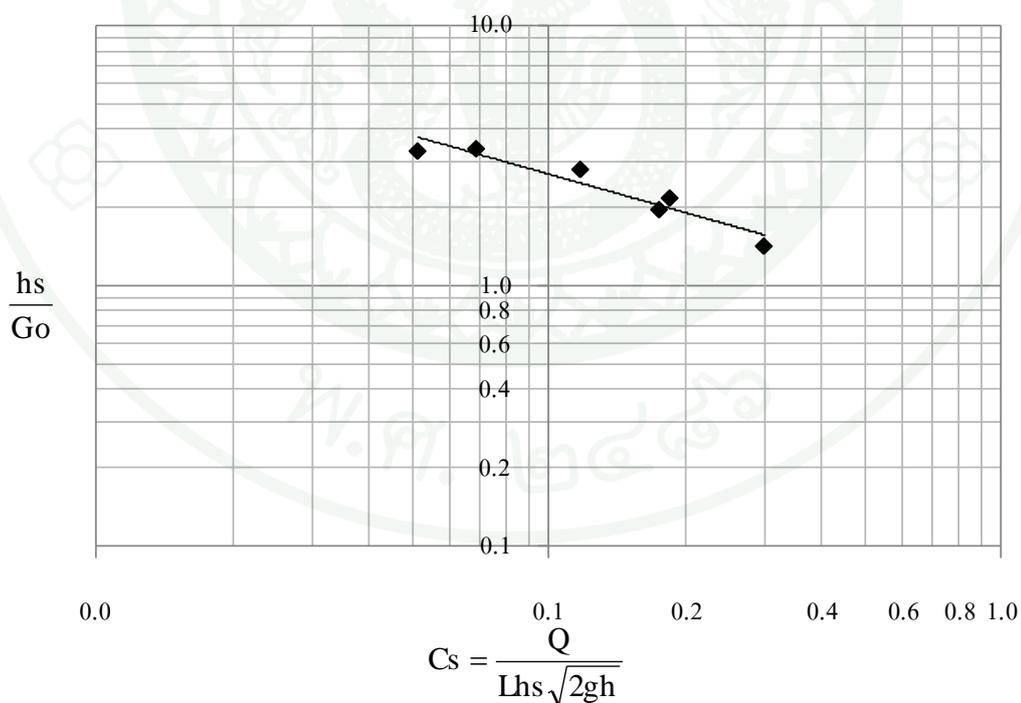


ภาพที่ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 1L – 5L – 2L

ตารางที่ 24 ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 2L – 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	2L – 5L – 2L
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	1.5 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+12.527 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)		(เมตร)	(เมตร)		(cms)	
+13.65	+13.37	0.29	2.378	0.840	0.30	2.798	0.352	0.117
+13.41	+13.20	0.21	2.033	0.673	0.20	3.366	0.142	0.069
+13.93	+13.61	0.32	2.490	1.084	0.50	2.167	0.750	0.185
+14.23	+13.52	0.71	3.732	0.989	0.30	3.298	0.284	0.051
+14.17	+13.70	0.47	3.041	1.172	0.60	1.954	0.939	0.176
+13.92	+13.65	0.27	2.285	1.128	0.80	1.410	1.158	0.299

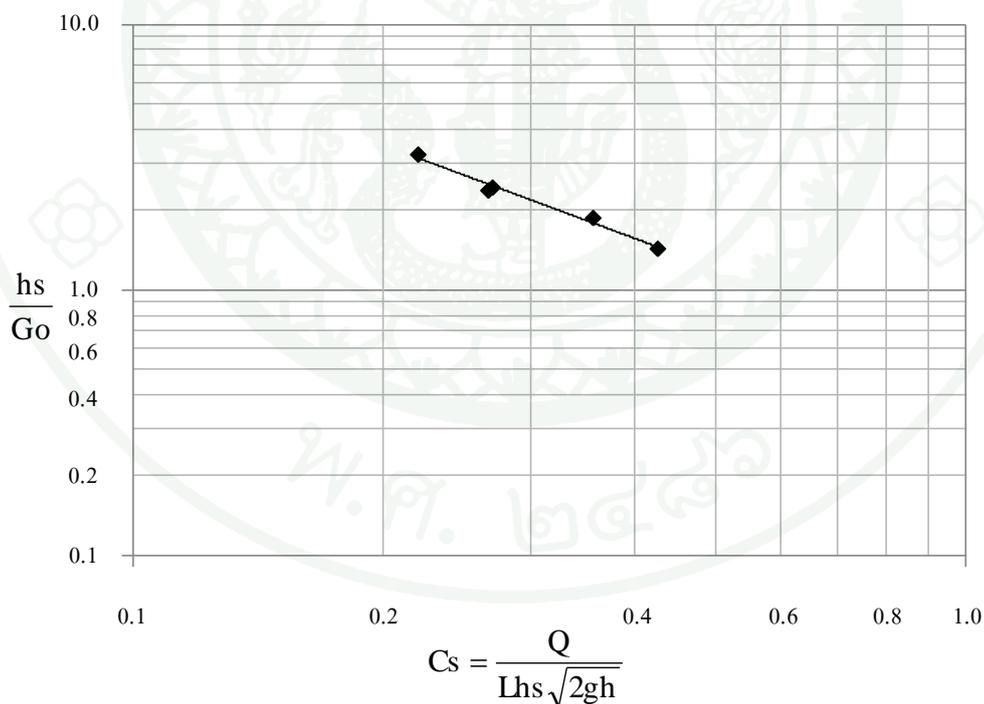


ภาพที่ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 2L – 5L – 2L

ตารางที่ 25 ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 2R – 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	2R – 5L – 2L
จำนวนบาน	2 บาน	ความกว้างบาน	2.0 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+11.950 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)		(เมตร)	(เมตร)		(cms)	
+14.02	+13.61	0.41	2.853	1.656	0.70	2.366	5.050	0.267
+13.93	+13.56	0.37	2.676	1.612	0.50	3.224	3.800	0.220
+14.12	+13.82	0.30	2.442	1.867	1.00	1.867	6.500	0.356
+14.06	+13.81	0.25	2.208	1.861	1.30	1.432	7.000	0.426
+14.28	+13.89	0.39	2.766	1.940	0.80	2.425	5.800	0.270

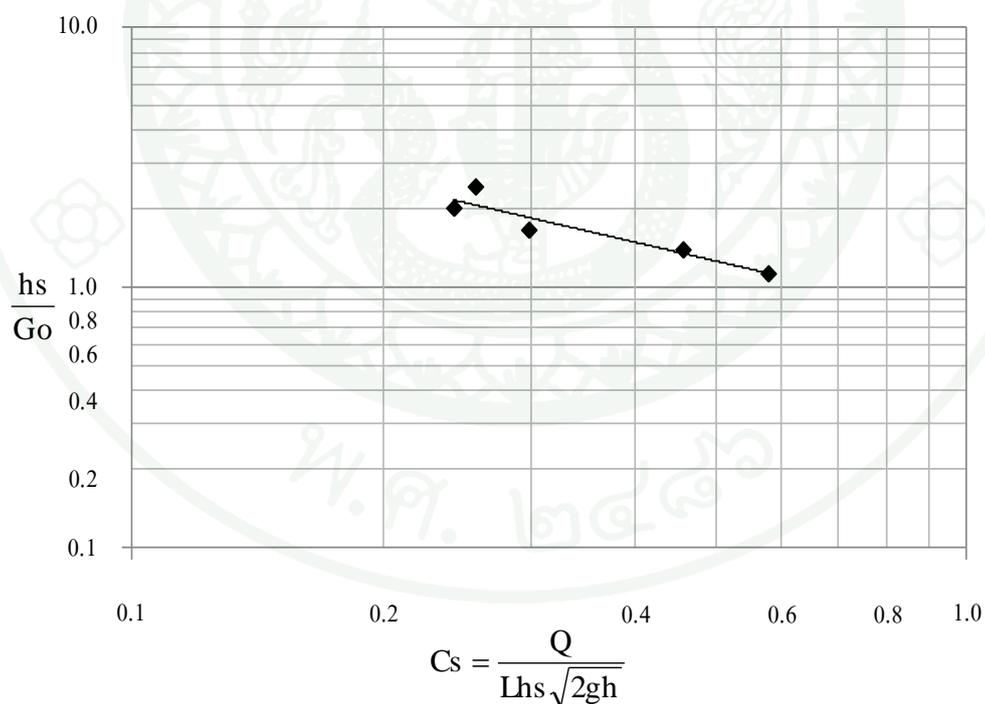


ภาพที่ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 2R – 5L – 2L

ตารางที่ 26 ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3L – 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	3L – 5L – 2L
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	1.2 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+10.960 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+12.63	+12.18	0.45	2.983	1.220	0.50	2.440	1.126	0.258
+11.75	+11.63	0.12	1.525	0.673	0.60	1.121	0.711	0.578
+12.56	+12.17	0.39	2.771	1.210	0.60	2.017	0.977	0.243
+12.36	+12.12	0.24	2.152	1.160	0.70	1.657	0.895	0.299
+12.71	+12.21	0.50	3.118	1.250	0.90	1.389	2.136	0.457

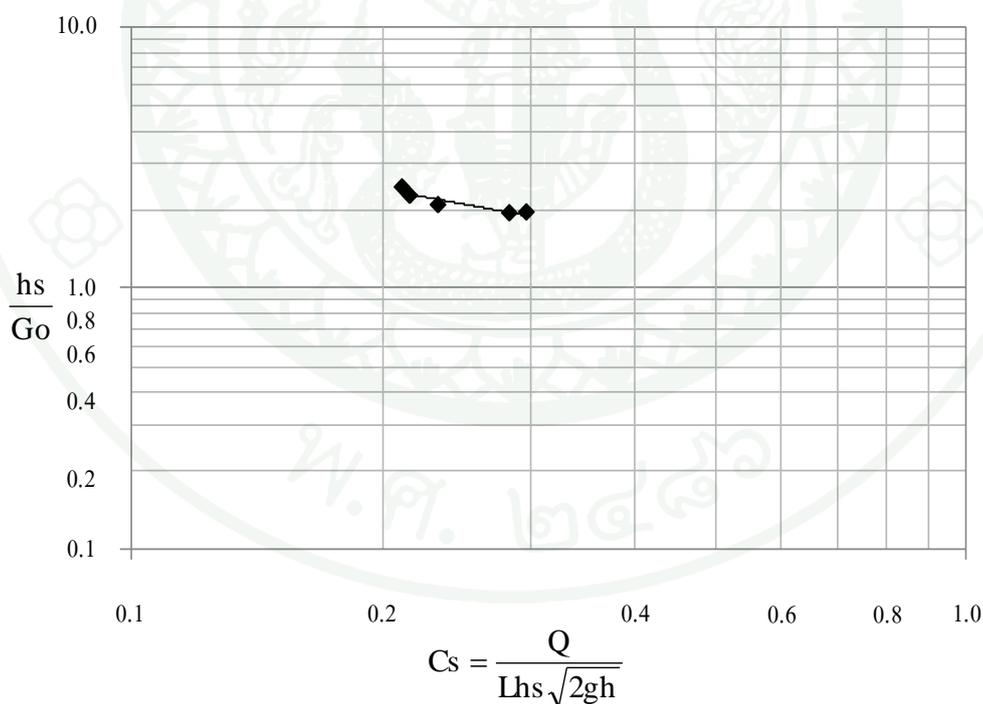


ภาพที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3L – 5L – 2L

ตารางที่ 27 ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 4L – 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	4L – 5L – 2L
จำนวนบาน	1 บาน	ความกว้างบาน	1.75 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+8.675 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+10.99	+10.05	0.94	4.292	1.373	0.66	2.080	2.401	0.233
+11.14	+10.25	0.89	4.176	1.578	0.81	1.948	3.421	0.297
+10.77	+10.01	0.76	3.865	1.334	0.69	1.934	2.555	0.283
+11.00	+10.03	0.97	4.367	1.356	0.60	2.261	2.234	0.216
+11.26	+10.06	1.20	4.851	1.390	0.57	2.438	2.490	0.211

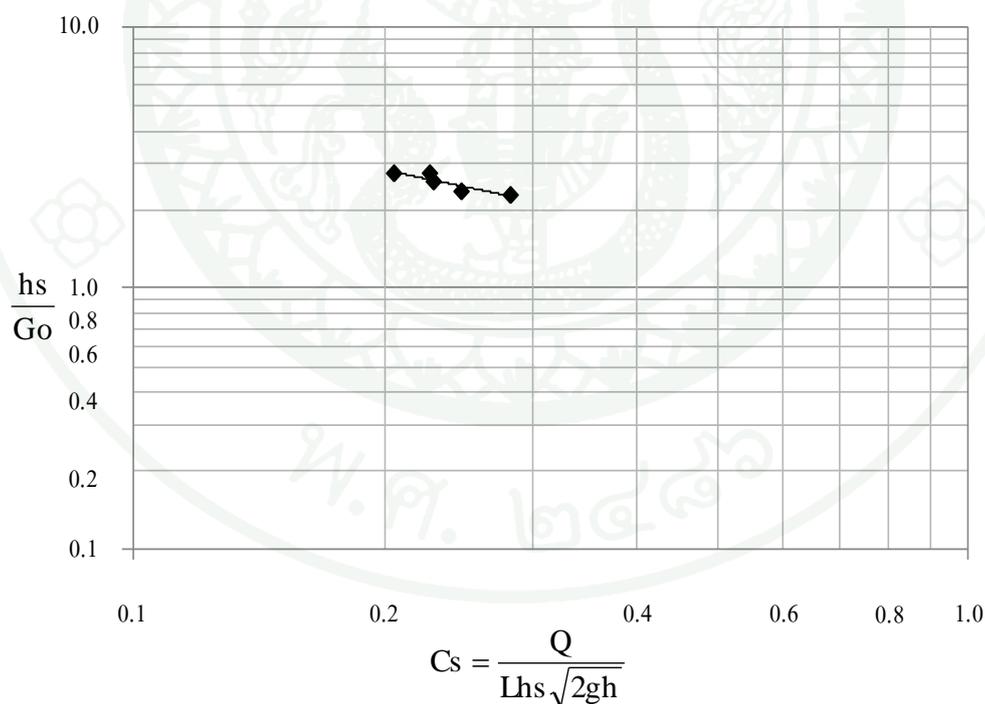


ภาพที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 4L – 5L – 2L

ตารางที่ 28 ผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3R – 5L – 2L

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง	ชื่ออาคาร	3R – 5L – 2L
จำนวนบาน	3 บาน	ความกว้างบาน	2.0 เมตร / บาน
ระดับธรณีประตู่	+5.609 เมตร(รทก.)		

ระดับน้ำ (ม.รทก.)	h	$\sqrt{2gh}$	h_s	G_o	h_s / G_o	Q	C_s	
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	(เมตร)	(เมตร)	(เมตร)		(cms)		
+7.99	+7.53	0.46	3.002	1.918	0.70	2.740	7.823	0.226
+7.59	+7.31	0.28	2.328	1.702	0.75	2.269	6.736	0.283
+8.06	+7.65	0.41	2.834	2.040	0.80	2.550	7.938	0.229
+7.89	+7.60	0.29	2.397	1.990	0.85	2.342	7.077	0.247
+7.55	+7.39	0.16	1.766	1.780	0.65	2.738	3.867	0.205



ภาพที่ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_s กับ (h_s/G_o) ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3R – 5L – 2L

ตารางที่ 29 อาคารควบคุมน้ำที่สำคัญในคลอง 5L -2L ระหว่าง กม.0+020 – กม.26+401

อาคารควบคุมน้ำ	ขนาดอาคาร			$C_s = a \left(\frac{h_s}{G_o}\right)^b$	
	ช่อง	ความกว้าง	ระดับธรณี	a	b
	(จำนวน)	(เมตร)	(เมตร รทก.)		
ปตร. ปากคลอง กม.0+020	2	4.00	+13.693	1.0255	-1.0057
ปตร. กลางคลอง กม.3+650	2	4.00	+12.535	1.0280	-1.1412
ปตร. กลางคลอง กม.9+813	1	5.00	+11.119	0.7687	-0.3864
ปตร. กลางคลอง กม.14+750	1	5.00	+9.425	0.9416	-1.0489
ปตร. กลางคลอง กม.20+300	1	5.00	+7.860	1.1989	-1.2332
ปตร. กลางคลอง กม.24+500	1	5.00	+7.090	0.6183	-0.8319
ปตร. กลางคลอง กม.26+401	2	2.20	+5.600	0.9062	-0.9601
ทรบ. ปากคลอง 1R – 5L -2L	3	1.20	+13.644	0.2463	-0.8397
ทรบ. ปากคลอง 1L – 5L -2L	1	0.80	+14.296	0.4766	-1.5294
ทรบ. ปากคลอง 2L – 5L -2L	2	2.00	+12.527	0.6369	-1.8594
ทรบ. ปากคลอง 2R – 5L -2L	1	0.80	+11.950	0.8255	-1.2471
ทรบ. ปากคลอง 3L – 5L -2L	1	0.80	+10.960	0.6243	-1.1632
ทรบ. ปากคลอง 4L – 5L -2L	1	1.75	+8.675	0.7337	-1.4543
ทรบ. ปากคลอง 3R – 5L -2L	3	2.00	+5.609	0.7531	-1.2518

4.2 ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Water Control Structure Sensitivity) ในคลอง 5L – 2L แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake) และ อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Regulator)

4.2.1 ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake) ในระบบคลอง 5L – 2L แสดงในตารางที่ 30 พบว่า อาคารปากคลอง 5L – 2L ให้ค่า Sensitivity ต่ำ (0.16 เมตร⁻¹) ส่วนอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake) ในคลอง 5L – 2L มีลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบ Submerge Flow การสูญเสียพลังงานน้ำ (Head – Loss Equivalent, H_E) อยู่ระหว่าง 0.81 – 1.55 เมตร ให้ค่า Sensitivity ระหว่าง 0.32 – 0.78 เมตร⁻¹ หมายความว่า การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าอาคารมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล

ของน้ำผ่านอาคารอยู่ในระดับต่ำ ดังนั้นการที่โครงการกำหนดให้เจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัดและปรับ บานที่อาคารในอัตรา 1 ครั้ง/วัน เป็นอัตราที่เพียงพอกับการควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุม การระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake)

ตารางที่ 30 ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง (Offtake) ของ คลอง 5L - 2L

อาคาร	ที่ตั้ง	ระดับน้ำสูงสุด		ระดับกั้น คลอง	H_E (เมตร)	S_{offtake} (เมตร ⁻¹)	ระดับ
		เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ				
5L - 2L	0+020	+17.993	+16.000	+12.450	3.06	0.16	ต่ำ
1R - 5L - 2L	3+056	+15.694	+15.314	+13.664	0.88	0.57	ต่ำ
1L - 2L - 2L	3+545	+15.646	+15.246	+14.446	0.64	0.78	ต่ำ
2L - 5L - 2L	8+254	+14.375	+13.877	+12.827	0.81	0.61	ต่ำ
2R - 5L - 2L	9+186	+14.281	+13.850	+12.100	0.96	0.52	ต่ำ
3L - 5L - 2L	14+477	+12.555	+11.755	+10.805	1.09	0.46	ต่ำ
4L - 5L - 2L	20+152	+10.975	+10.627	+9.027	0.83	0.60	ต่ำ
3R - 5L - 2L	26+162	+8.874	+8.059	+5.609	1.55	0.32	ต่ำ
4R - 5L - 2L	30+900	+6.376	+5.822	+4.522	0.95	0.53	ต่ำ
5L - 5L - 2L	32+900	+6.172	+5.900	+3.950	0.86	0.58	ต่ำ

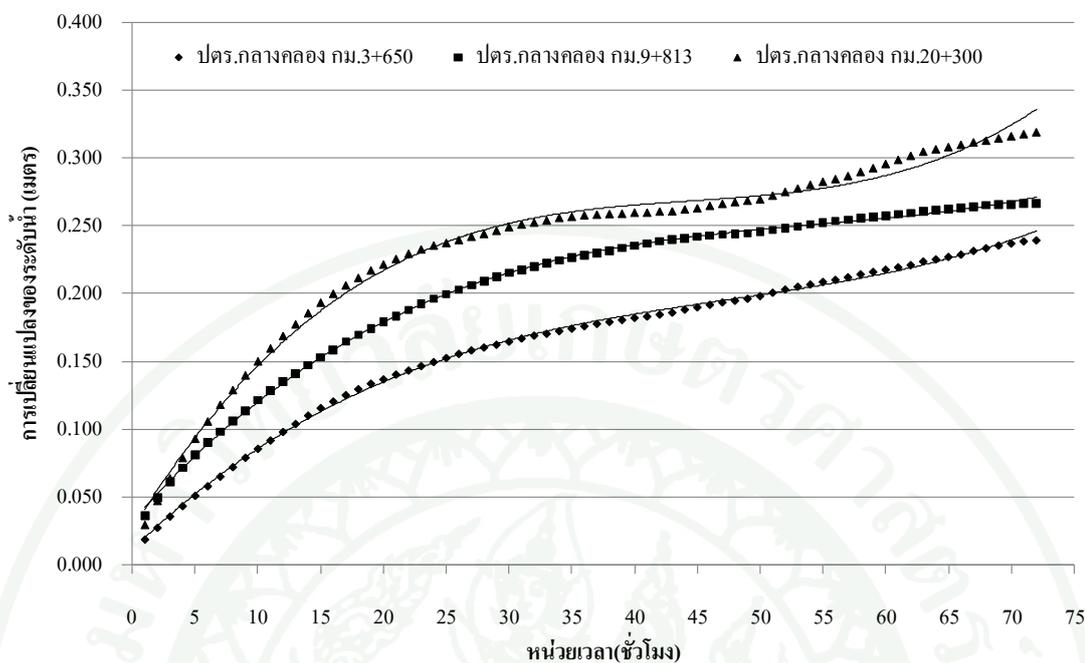
4.2.2 ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Regulator) ของคลอง 5L - 2L แสดงในตารางที่ 31 พบว่า อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Regulator) ในคลอง 5L - 2L มี ลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบ Submerge Flow การสูญเสียพลังงานน้ำ (Head - Loss Equivalent, H_E) ของอาคารในคลอง 5L - 2L มีช่วงพิสัยกว้างอยู่ระหว่าง 0.76 - 3.06 เมตร เนื่องจากความ แตกต่างของลักษณะภูมิประเทศ ส่งผลให้อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Regulator) มีค่า Sensitivity อยู่ระหว่าง 1.51 - 4.39 เมตร โดยอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม.24+500 มีค่า Sensitivity สูงที่สุด และอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม.26+401 ให้ค่า Sensitivity ต่ำที่สุด หมายความว่าระดับน้ำ ด้านหน้า กม.24+500 มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในคลอง 5L - 2L สูง จึงมี ความต้องการให้เจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัดและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม.24+500 ในความถี่สูง (หลายครั้ง/วัน) ในขณะที่อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม.26+401 ระดับน้ำด้านหน้า

อาคารมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในคลอง 5L – 2L ปานกลาง ซึ่งการที่โครงการฯ กำหนดให้เจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัดและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม. 26+401 ในอัตรา 1 ครั้ง/วัน เป็นการกำหนดที่เหมาะสม

ตารางที่ 31 คำนวณความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Regulator) ในคลอง 5L – 2L

ที่ตั้ง	ระดับน้ำสูงสุด		ระดับกั้นคลอง 5L – 2L	H_E (เมตร)	S_{reg} (เมตร)	ระดับ
	เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ				
3+650	+15.635	+14.835	+11.485	1.81	3.62	สูง
9+813	+14.219	+13.019	+9.969	2.12	4.24	สูง
14+750	+12.525	+11.525	+8.525	1.90	3.81	สูง
20+300	+10.960	+10.310	+7.510	1.49	2.99	สูง
24+500	+9.890	+8.540	+5.740	2.19	4.39	สูง
26+401	+8.350	+8.150	+6.300	0.76	1.51	ปานกลาง
27+936	+7.996	+6.673	+4.823	1.88	3.76	สูง
33+664	+6.100	+5.605	+4.555	0.81	1.62	ปานกลาง

4.3 ปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) ของช่วงคลองต่าง ๆ พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มี การปรับบาน และเนื่องจากการตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำของคลอง 5L – 2L ทุกครั้งชั่วโมงเพียง 3 อาคาร คือ ปตร. กลางคลอง กม.3+650 กม.9+813 และ กม.20+300 ดังนั้นจึงใช้ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มี การปรับบานของ ปตร. กลางคลอง กม.9+813 เป็นตัวแทนของ ปตร. กลางคลอง กม.14+750 และ ปตร. กลางคลองกม.20+300 เป็นตัวแทนของ ปตร. กลางคลอง กม.26+401 ผลของความสัมพันธ์แสดงในภาพที่ 39 ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์แบบพหุนามอันดับ 3 (Polynomial Function Order 3) ตามสมการที่ (51) และค่าสัมประสิทธิ์ของอาคารควบคุมน้ำแสดงในตารางที่ 32 ซึ่งข้อมูลนี้ใช้ในการกำหนดความถี่ของการปรับบานที่เหมาะสม ร่วมกับช่วงการควบคุมที่ยอมให้ เพื่อหาช่วงเวลาที่ไม่มี การปรับบานนานที่สุดที่ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำยังอยู่ในช่วงของการควบคุมที่ยอมให้



ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน

$$y = a_3x^3 + a_2x^2 + a_1x + a_0 \quad (51)$$

โดยที่ y คือ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำ, เมตร
 x คือ ช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำ, ชั่วโมง
 $a_0 - a_3$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมการ

ตารางที่ 32 ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน

อาคารควบคุมน้ำ	a_3	a_2	a_1	a_0	R^2
ปตร. กลางคลอง กม.3+650	0.000001	-0.0002	0.0089	0.0108	0.9987
ปตร. กลางคลอง กม.9+813	0.000001	-0.0002	0.0105	0.0319	0.9994
ปตร. กลางคลอง กม.20+300	0.000002	-0.0003	0.0151	0.0256	0.9935

ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลอง 5L – 2L

งานวิจัยนี้ ทำการประเมินผลสัมฤทธิ์การบริหารคลอง 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 ถึง 30 ตุลาคม 2551 ด้วย RAP (Burt, 2001) เพื่อหาประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรของการบริหารคลอง 5L – 2L จากดัชนีภายนอก และจุดอ่อนของการบริหารคลอง 5L – 2L ตลอดจนปัญหาที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากอะไรและอยู่บริเวณส่วนใดของระบบ จากดัชนีภายใน เพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับกำหนดเป้าหมายและแนวทางในการปรับปรุงระบบบริหารคลอง 5L – 2L ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยมีผลการประเมิน ดังนี้

1. ดัชนีภายนอก (External Indicators)

ดัชนีภายนอกของ RAP บอกถึงประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรน้ำของการบริหารคลอง 5L – 2L ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 ถึง 30 ตุลาคม 2551 ซึ่งมีการส่งน้ำเข้าคลอง 5L – 2L จำนวน 811 ล้านลูกบาศก์เมตร เพื่อตอบสนองความต้องการน้ำของพื้นที่เพาะปลูกจำนวน 272,355 ไร่ ผลการประเมินดัชนีภายนอกแสดงในตารางผนวกที่ ข1 และสามารถสรุปค่าดัชนีภายนอกได้ตามตารางที่ 33 โดยมีรายละเอียดของดัชนีภายนอกที่สำคัญ ดังนี้

1.1 คลอง 5L – 2L มีทรัพยากรน้ำจำนวนมากเพียงพอกับความต้องการน้ำของพืชในช่วงเวลาที่ทำการประเมิน และยังเพียงพอสำหรับการปรับเปลี่ยนพืชที่เพาะปลูกให้เป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้น้ำมากขึ้นได้ เนื่องจากปริมาณน้ำในคลอง 5L – 2L มีมากกว่าความต้องการน้ำของพืชถึง 2.86 เท่า (อัตราส่วนการส่งน้ำสัมพัทธ์ = 2.86) และมีความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดที่ 0.14 ลิตร/วินาที/ไร่ ซึ่งยังต่ำกว่าค่าชลประทานที่ใช้ในการออกแบบ (ค่าชลประทานสำหรับออกแบบ = 0.23 ลิตร/วินาที/ไร่)

1.2 คลอง 5L – 2L มีขีดความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทานประจำปีให้ดีขึ้นได้อีก เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการประเมินประสิทธิภาพชลประทานประจำปีเท่ากับ 51% และมีประสิทธิภาพชลประทานระดับแปลงเท่ากับ 57%

1.3 คลอง 5L – 2L มีความจุคลอง 58.9 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ในขณะที่มีความต้องการน้ำสูงสุดต่อเดือน 30.1 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ให้ค่าดัชนีความจุคลองรวมสัมพัทธ์ (อัตราส่วนระหว่างความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดรายเดือนต่อความจุคลอง) เท่ากับ 0.59 แสดงให้เห็นว่าคลอง 5L – 2L มีศักยภาพในการเพิ่มอัตราการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกได้สูงขึ้นอีกเท่าตัว ในกรณีที่มีการปรับเปลี่ยนพืชที่เพาะปลูกให้เป็นพืชเศรษฐกิจที่ใช้น้ำมากขึ้น

1.4 คลอง 5L – 2L ให้ค่าดัชนีอัตราการไหลของน้ำในคลองจริงสัมพัทธ์ (อัตราส่วนระหว่างความต้องการน้ำชลประทานสูงสุดรายเดือนต่ออัตราการไหลสูงสุดที่เกิดขึ้นในคลองสายใหญ่) เท่ากับ 0.78 โดยความต้องการน้ำสูงสุดเกิดขึ้นในเดือนมีนาคมเท่ากับ 30.1 ลูกบาศก์เมตร/วินาที และอัตราการไหลสูงสุดของคลองเท่ากับ 38.5 ลูกบาศก์เมตร/วินาทีที่เกิดขึ้นในเดือนมีนาคมเช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า คลอง 5L – 2L มีความสามารถในการควบคุมอัตราการส่งน้ำสูงสุดได้ใกล้เคียงกับความต้องการน้ำสูงสุด

1.5 มูลค่าผลผลิตทางการเกษตรรายปีทั้งหมดอยู่ที่ 4,486.59 ล้านบาท หรือประมาณ 16,500 บาท /ไร่ /ปี โดยมีพืชไร่ให้ผลตอบแทนต่อไร่ /ปี ต่ำสุดที่ 10,350 บาท / ไร่ / ปี ในขณะที่ บ่อกึ่ง – บ่อปลาให้ผลตอบแทนสูงสุดที่ 85,440 บาท / ไร่ / ปี

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า คลอง 5L – 2L มีปริมาณน้ำต้นทุนเพียงพอสำหรับให้เกษตรกรวางแผนการเพาะปลูกให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาดและศักยภาพของตนเอง โดยสามารถวางแผนการเพาะปลูกที่ความต้องการน้ำรวมสูงสุดประมาณ 46 ลูกบาศก์เมตร /วินาที (0.78 ของความจุคลองสูงสุด) แต่มีการสูญเสียน้ำค่อนข้างมากส่งผลให้ประสิทธิภาพการชลประทานทั้งในระดับแปลง และประจำปีอยู่ที่ 57% และ 51% ตามลำดับ และในปีการเพาะปลูก 2551 เกษตรกรมีผลตอบแทนเนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรอยู่ระหว่าง 10,350 – 85,440 บาท / ไร่ / ปี

ตารางที่ 33 ดัชนีภายนอกของการบริหารคลอง 5L – 2L ระหว่างวันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 – 30 ตุลาคม 2551

ที่	รายการ		หน่วย
1	ความต้องการน้ำชลประทานสูงสุด Peak of Surface Irrigation Inflows to Canal(s) This Year	0.14	ลิตร/วินาที/ไร่
2	อัตราส่วนการส่งน้ำสัมพัทธ์ Relative Water Supply for The Irrigated Part of The Command Area	2.86	
3	ประสิทธิภาพการชลประทานประจำปี Annual Command Area Irrigation Efficiency	51	%
4	ประสิทธิภาพการชลประทานระดับแปลง Field Irrigation Efficiency	57	%
5	ความจุคลองรวมสัมพัทธ์ Relative Gross Canal Capacity	0.59	
6	อัตราการไหลของน้ำในคลองจริงสัมพัทธ์ Relative Actual Canal Flow	0.78	
7	มูลค่าผลผลิตทางการเกษตรรายปีทั้งหมด Total Annual Value of Agricultural Production	4,486.59	ล้านบาท

2. ดัชนีภายใน (Internal Indicators)

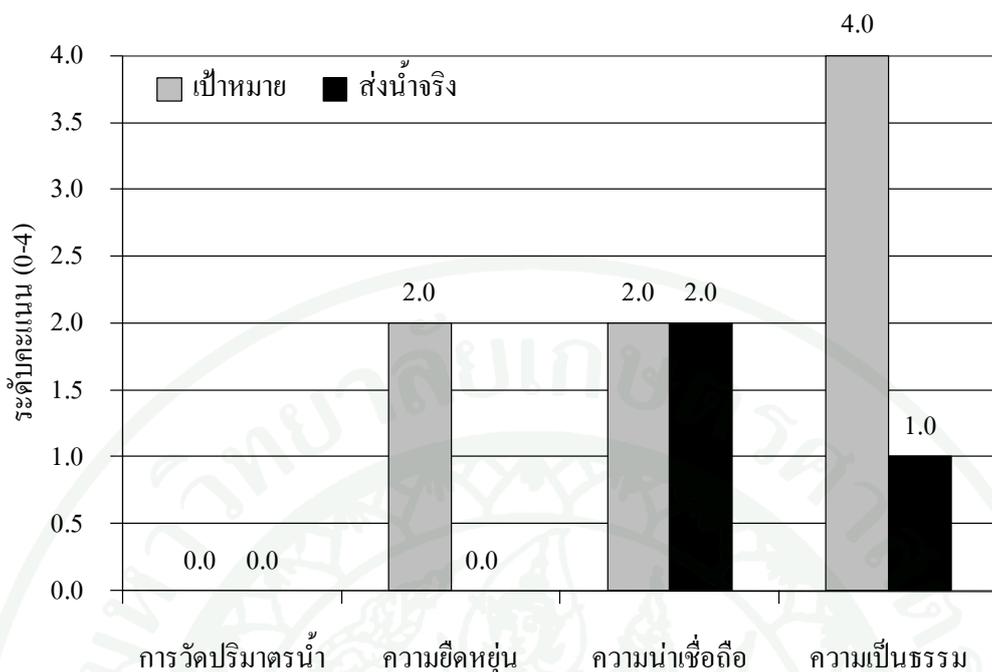
ดัชนีภายในของ RAP ประกอบด้วย 39 ดัชนีภายในหลัก และ 122 ดัชนีภายในรอง โดยดัชนีภายในหลักสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมซึ่งมีผลต่อการส่งน้ำ (Service and Social Order) ประกอบด้วยดัชนีภายในหลัก 7 ดัชนี และ

ดัชนีภายในร่อง 29 ดัชนี และกลุ่มสมรรถนะขององค์ประกอบในระบบชลประทาน (Irrigation System Capability) ประกอบด้วยดัชนีภายในหลัก 32 ดัชนี และดัชนีภายในร่อง 93 ดัชนี

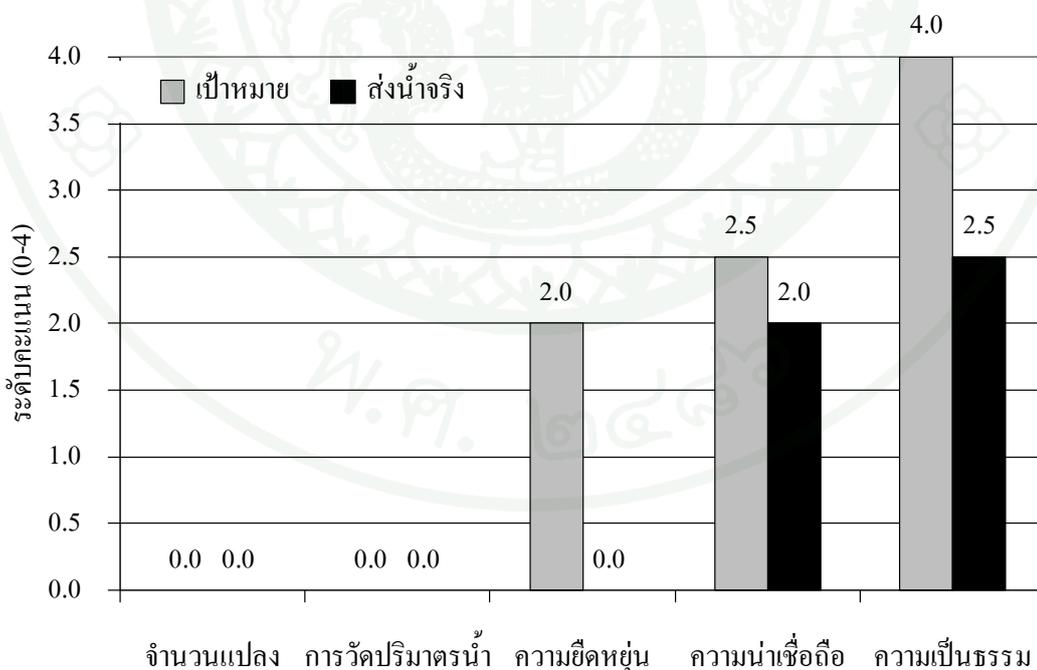
2.1 ระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคม (Service and Social Order) ผลการประเมินแสดงในตามตารางที่ 34 (รายละเอียดผลการประเมินแสดงในตารางผนวกที่ ข2) พบว่า ระดับการบริการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง (ระดับคะแนนรวมเท่ากับ 1.90) โดยมีระดับการบริการส่งน้ำที่กำหนดไว้ของคลอง 5L – 2L อยู่ในเกณฑ์พอใช้ (ระดับคะแนนรวมเท่ากับ 2.66) และมีระดับการบริการส่งน้ำจริงของคลอง 5L – 2L อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง (ระดับคะแนนรวมเท่ากับ 1.42) โดยส่วนที่ต้องพิจารณาในการปรับปรุงเพื่อยกระดับการบริการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L ให้ดีขึ้นประกอบด้วย การบริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลง การบริการส่งน้ำจริง ณ จุดสุดท้ายที่บริหาร โดยโครงการ และการบริการส่งน้ำจริงของคลองสายใหญ่ ตลอดจนการเพิ่มระดับการให้บริการส่งน้ำจริงของคลอง 5L – 2L ให้เป็นไปตามเป้าหมายที่โครงการกำหนดไว้ โดยมีระดับคะแนนของดัชนีภายในร่องต่าง ๆ ของดัชนีภายในหลักที่สำคัญแสดงในภาพที่ 40 – 43

ตารางที่ 34 ผลการประเมินระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมของคลอง 5L – 2L

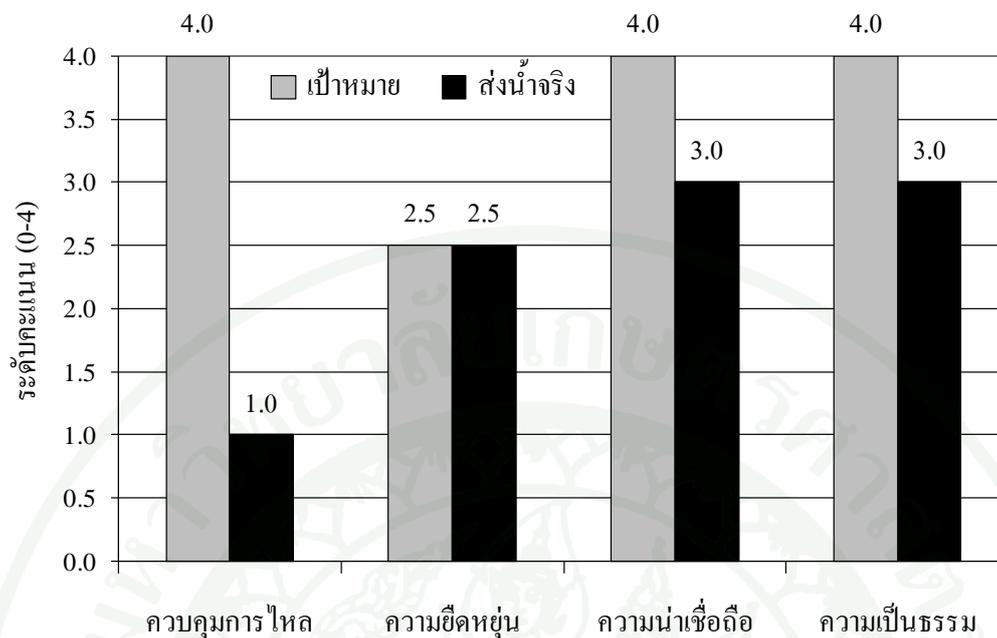
ดัชนี	ความหมาย	คะแนน
I-1	การบริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลง	1.1
I-2	การส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ให้แต่ละแปลงได้รับ	2.5
I-3	การบริการส่งน้ำจริง ณ จุดสุดท้ายที่บริหาร โดยโครงการ	1.1
I-4	การบริการส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ ณ จุดสุดท้ายที่บริหาร โดยโครงการ	2.0
I-5	การบริการส่งน้ำจริงของคลองสายใหญ่	2.2
I-6	การบริการส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ของคลองสายใหญ่	3.7
I-7	การปฏิบัติตามกติกา ตลอดระบบคลองส่งน้ำที่บริหาร โดยโครงการ	1.8



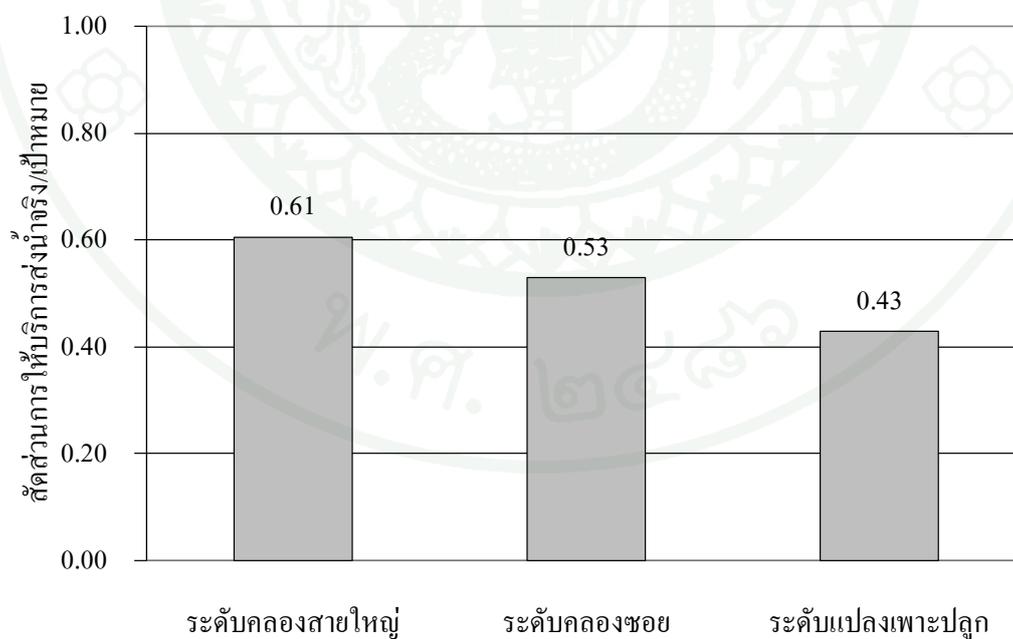
ภาพที่ 40 ระดับการบริการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก



ภาพที่ 41 ระดับการบริการส่งน้ำ ณ จุดสุดท้ายที่บริหาร โดยโครงการ



ภาพที่ 42 ระดับการบริการส่งน้ำโดยคลองส่งน้ำสายใหญ่



ภาพที่ 43 ดัชนีแสดงผลการให้บริการจริงเปรียบเทียบกับเป้าหมาย

2.1.1 ผลการประเมินการบริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลงเพาะปลูกของคลอง 5L – 2L ตามภาพที่ 40 มีระดับคะแนนเท่ากับ 1.1 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด (ระดับคะแนนเท่ากับ 2.5) เป็นผลมาจากการบริการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูกขาดความยืดหยุ่นตามเป้าหมายที่โครงการกำหนด เนื่องจากโครงการกำหนดวิธีการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูกเป็นแบบรอบเวร โดยพิจารณารอบเวรให้สอดคล้องกับความต้องการของพืช (ระดับคะแนนเท่ากับ 2.0) แต่ในทางปฏิบัติเกษตรกรไม่ปฏิบัติตามรอบเวรที่กำหนดโดยทำการส่งน้ำเข้าแปลงเพาะปลูกตามความต้องการของตนเอง (ระดับคะแนนเท่ากับ 0.0) สำหรับการวัดปริมาณน้ำที่ส่งให้แปลงเพาะปลูกซึ่งมีระดับคะแนนเท่ากับ 0.0 นั้นโครงการไม่มีนโยบายวัดปริมาณน้ำในระดับแปลงเพาะปลูกเนื่องจากขาดอุปกรณ์และอัตราการล้าง

2.1.2 ผลการประเมินการบริการส่งน้ำจริง ณ จุดสุดท้ายที่บริหาร โดยโครงการ ตามภาพที่ 41 มีระดับคะแนนเท่ากับ 1.1 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด (ระดับคะแนนเท่ากับ 2.0) เป็นผลมาจากการบริการส่งน้ำ ณ จุดสุดท้ายที่บริหาร โดยโครงการขาดความยืดหยุ่นตามเป้าหมายที่โครงการกำหนด ขาดการวัดปริมาณน้ำ และจำนวนแปลงด้านท้ายน้ำจำนวนมาก เนื่องจากการส่งน้ำให้คูน้ำแต่ละสายทางโครงการได้กำหนดไว้ว่ากลุ่มผู้ใช้น้ำต้องแจ้งความต้องการน้ำให้โครงการทราบล่วงหน้า 2 – 3 วัน (ระดับคะแนนเท่ากับ 4.0) แต่เนื่องจากกลุ่มผู้ใช้น้ำไม่มีความเข้มแข็ง และขาดการมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้นในทางปฏิบัติผู้ใช้น้ำจะเข้ามาเปิด – ปิดคูน้ำเพื่อปรับเปลี่ยนอัตราการไหลเข้าสู่คูน้ำโดยไม่มีการแจ้งให้โครงการทราบล่วงหน้า ทำให้โครงการไม่สามารถคำนวณอัตราการไหลที่จะส่งเข้าสู่คลองแต่ละสายที่มีคูน้ำตั้งอยู่ได้อย่างถูกต้อง ทำให้คูน้ำบริเวณปลายคลองได้รับน้ำในอัตราที่น้อยกว่าความต้องการหรือบางกรณีอาจไม่ได้รับเลย (ระดับคะแนนเท่ากับ 0.0) สำหรับจำนวนแปลงเพาะปลูกในคูน้ำทางโครงการไม่มีนโยบายในการจำกัดจำนวนแปลงเพาะปลูกในคูส่งน้ำแต่ละสาย ส่วนการวัดปริมาณน้ำโครงการขาดอุปกรณ์และอัตราการล้าง จึงใช้อาคารควบคุมน้ำเป็นอุปกรณ์ในการวัดปริมาณน้ำด้วย ซึ่งจะสามารถวัดได้เฉพาะในคลองส่งน้ำสายใหญ่ (คลอง 5L – 2L) เนื่องจากมีการสอบเทียบสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ

2.1.3 ผลการประเมินการบริการส่งน้ำจริงของคลอง 5L -2L ตามภาพที่ 42 มีระดับคะแนนเท่ากับ 2.2 ซึ่งต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนด (ระดับคะแนนเท่ากับ 3.7) เป็นผลมาจากการควบคุมการไหลของน้ำเข้าสู่คลองซอยไม่เป็นไปตามที่โครงการกำหนด โดยโครงการกำหนดเป้าหมายในการควบคุมการไหลไว้ที่ความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ (ระดับคะแนนเท่ากับ 4.0) แต่ในทาง

ปฏิบัติการควบคุมการไหลเข้าสู่คลองซอยมีความคลาดเคลื่อน $\pm 20\%$ (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.0) เนื่องจากระดับน้ำด้านหน้าอาคารปากคลองซอยซึ่งเป็นผลมาจากการควบคุมระดับน้ำของ ประตูกลางคลอง มีความผันแปรสูง สำหรับในส่วนของความน่าเชื่อถือ และความเป็นธรรมของการบริการส่งน้ำจริงของคลอง 5L – 2L ต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้เพียงเล็กน้อย

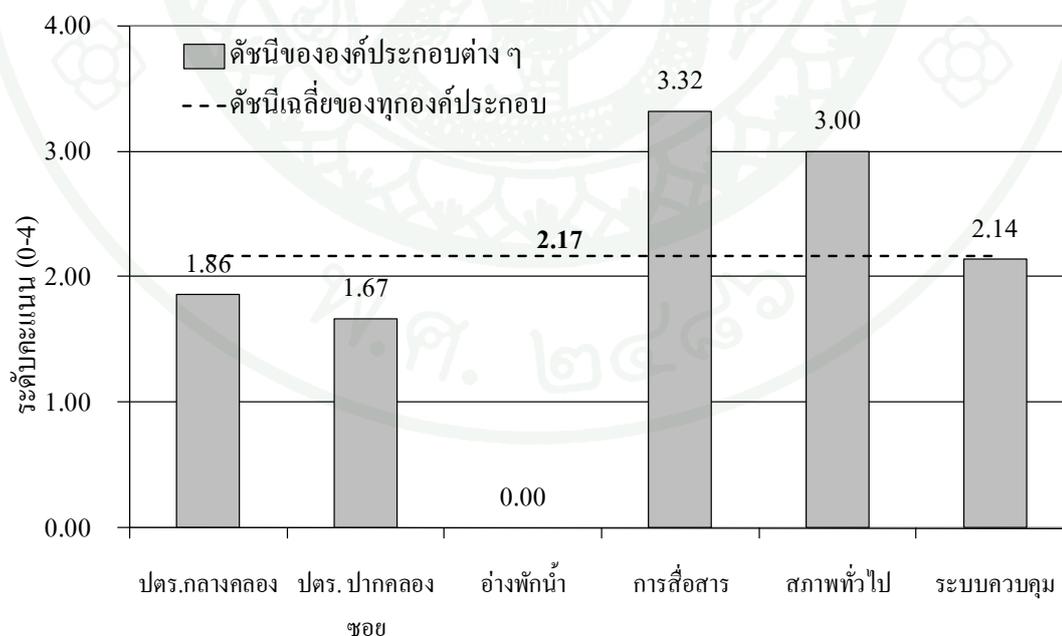
2.1.4 ผลการประเมินการให้บริการส่งน้ำจริงเปรียบเทียบกับเป้าหมายที่กำหนดตามภาพที่ 43 พบว่าคลอง 5L – 2L การบริการส่งน้ำจริงต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดในทุกระดับ โดยสามารถเรียงลำดับผลการเปรียบเทียบจากมากไปหาน้อยได้ คือ ระดับการให้บริการส่งน้ำในคลองสายใหญ่ คลองซอย และระดับแปลงเพาะปลูก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบริการส่งน้ำในระดับแปลงเพาะปลูก เนื่องจากเป็นระดับการให้บริการในระดับสุดท้ายของระบบส่งน้ำ ได้รับอิทธิพลของระดับการให้บริการของคลองสายใหญ่ และคลองซอย ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับค่าดัชนีภายในรองของระดับการให้บริการส่งน้ำ ที่ลดลงตามระดับคลองส่งน้ำ ตามภาพที่ 40 - 43

2.2 สมรรถนะขององค์ประกอบในระบบชลประทาน (Irrigation System Capability)

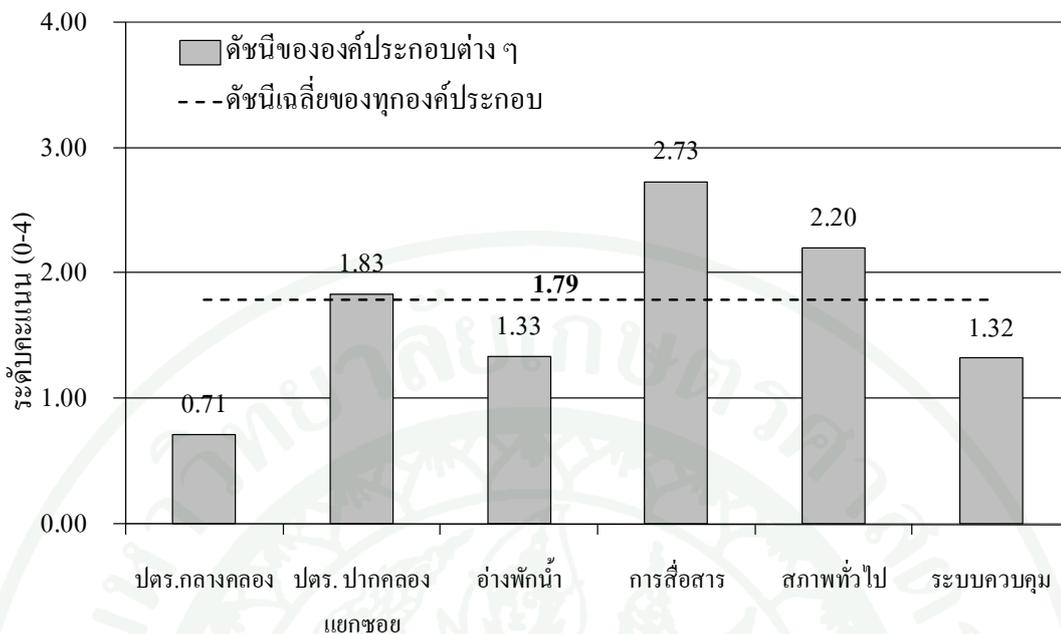
จากผลการประเมินสมรรถนะขององค์ประกอบในคลอง 5L – 2L ตามตารางที่ 35 (รายละเอียดผลการประเมินแสดงในตารางผนวกที่ ข3 – ข7) พบว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง (ระดับคะแนนรวมเท่ากับ 1.72) โดยมีระดับคะแนนการให้บริการของคลองส่งน้ำสายใหญ่อยู่ในเกณฑ์พอใช้ (ระดับคะแนนเท่ากับ 2.17) ระดับคะแนนการให้บริการของคลองซอย คลองแยกซอย และขีดความสามารถในการให้บริการส่งน้ำด้านต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง โดยมีระดับคะแนนเท่ากับ 1.79, 1.39 และ 1.40 ตามลำดับ สำหรับระดับคะแนนของดัชนีภายในรองต่าง ๆ ของดัชนีภายในหลักที่สำคัญแสดงในภาพที่ 44 - 47

ตารางที่ 35 ผลการประเมินสมรรถนะขององค์ประกอบในคลอง 5L – 2L

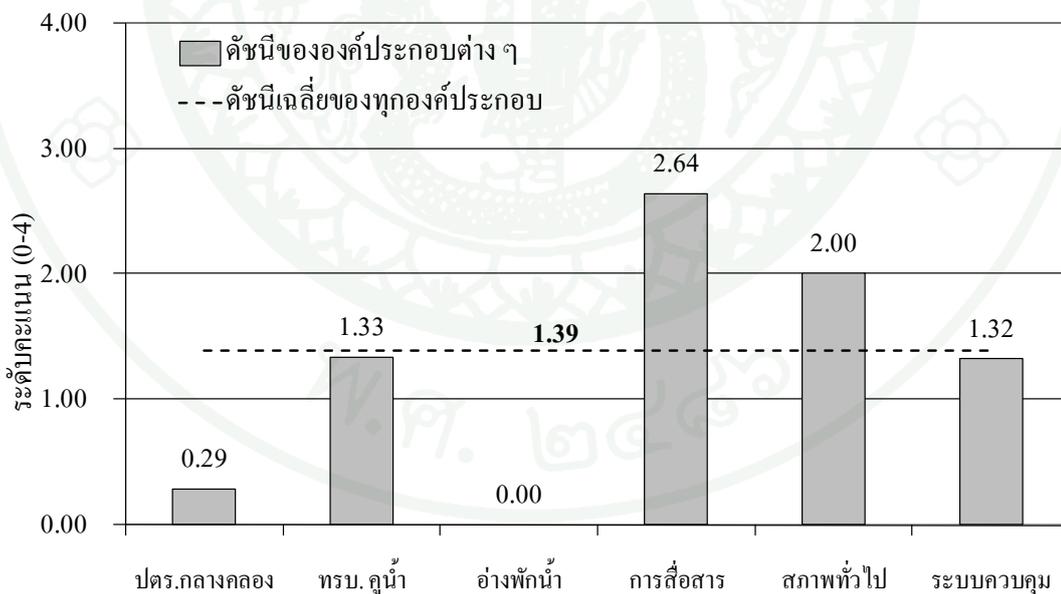
ที่	สมรรถนะขององค์ประกอบในระบบชลประทาน	ระดับคะแนน
	สมรรถนะรวมขององค์ประกอบในคลอง 5L - 2L	1.72
1	การให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่	2.17
2	การให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอย	1.79
3	การให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกซอย	1.39
4	ขีดความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และกลุ่มผู้ใช้น้ำในการให้บริการส่งน้ำ	1.40



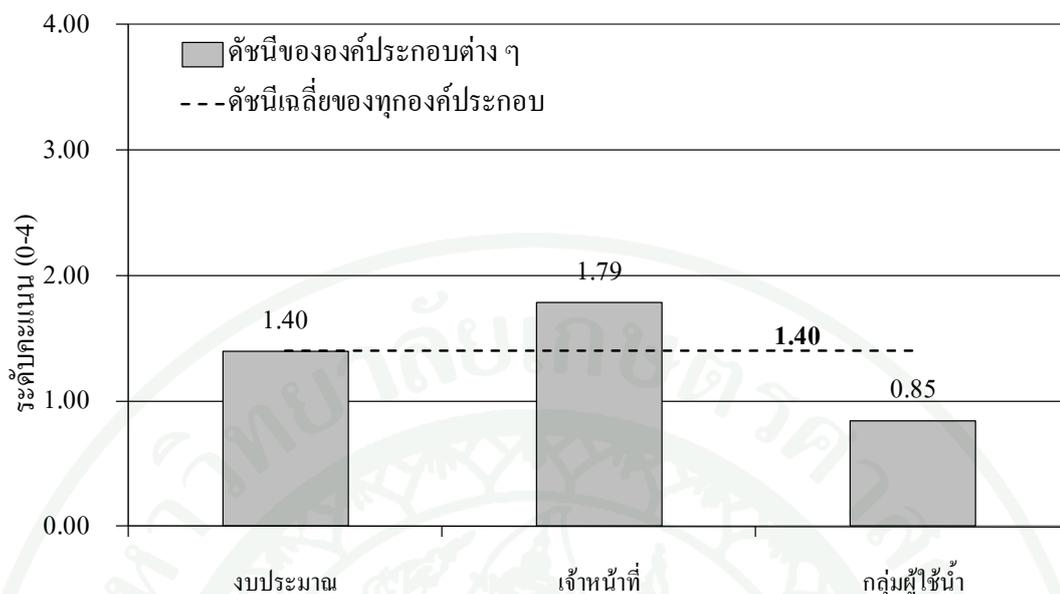
ภาพที่ 44 สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่



ภาพที่ 45 สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอย



ภาพที่ 46 สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกซอย



ภาพที่ 47 จิตความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำในการให้บริการส่งน้ำ

2.2.1 ผลการประเมินสมรรถนะการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่ ตามภาพที่ 44 มีระดับคะแนนเท่ากับ 2.17 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่เมื่อพิจารณาลงในดัชนีภายในรองของการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่ พบว่าดัชนีของ ปตร. กลางคลอง (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.86) ปตร. ปากคลองซอย (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.67) และอ่างพักน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง (ระดับคะแนนเท่ากับ 0.0) มีสาเหตุหลักมาจากระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L มีความผันแปรสูง (เฉลี่ยรายสัปดาห์เท่ากับ 0.35 เมตร) ใกล้เคียงกับผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า – ด้านหลังของอาคารปากคลองซอย (เฉลี่ยทั้งระบบเท่ากับ 0.40 เมตร) เป็นผลมาจากวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ และทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ และระบบคลองอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบหาวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่เหมาะสม นอกจากนี้ยังพบว่าอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยส่งน้ำเข้าคลองซอยได้ไม่เต็มสมรรถนะเนื่องจากบานบังคับน้ำบางส่วนชำรุด หรือสูญหาย สำหรับองค์ประกอบเรื่องอ่างพักน้ำนั้นไม่มีการออกแบบอ่างพักน้ำในระบบคลองส่งน้ำสายใหญ่ ของคลอง 5L – 2L ซึ่งปัญหาเหล่านี้เกี่ยวข้องกับงบประมาณ และการออกแบบ ไม่อยู่ในขอบเขตของการวิจัยนี้

2.2.2 ผลการประเมินสมรรถนะการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายชอย ตามภาพที่ 45 มีระดับคะแนนเท่ากับ 1.79 อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง แต่เมื่อพิจารณาลงในดัชนีภายในรองของการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายชอย พบว่าดัชนีของ ปตร. กลางคลอง (ระดับคะแนนเท่ากับ 0.71) ปตร. ปากคลองแยกชอย (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.83) อ่างพักน้ำ (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.33) และระบบควบคุม (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.32) อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง โดยสาเหตุหลักเป็นในลักษณะเดียวกับการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่คือ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลองที่ไม่เป็นผลจากการควบคุม (เฉลี่ยรายสัปดาห์เท่ากับ 0.25 เมตร) ใกล้เคียงกับผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า – ด้านหลังของอาคารปากคลองแยกชอย และคูน้ำ (เฉลี่ยทั้งระบบเท่ากับ 0.30 เมตร) การควบคุมการปรับบานที่อาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลองชอยทำได้ลำบากเนื่องจากขาดการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเพราะงบประมาณที่ได้รับการจัดสรรคิดเป็นเพียงร้อยละ 60 ของงบประมาณที่ต้องการ และอัตรากำลังบริหารคลองส่งน้ำโดยเมื่อเปรียบเทียบกับอัตรากำลังของโครงการอยู่ในสัดส่วนประมาณ 1:3.5 สำหรับองค์ประกอบเรื่องอ่างพักน้ำนั้น ได้มีการออกแบบขนาดและตำแหน่งของอ่างพักน้ำที่เหมาะสมในทุกคลองชอยของคลอง 5L – 2L แต่ก่อสร้างจริงเฉพาะในคลอง 1R – 5L – 2L จำนวน 3 แห่ง ขนาด 50,000 ลูกบาศก์เมตร/แห่ง เนื่องจากปัญหาเรื่องการจัดซื้อที่ดิน ซึ่งปัญหาในเรื่องของงบประมาณ อัตรากำลัง และการจัดซื้อที่ดินเป็นเรื่องละเอียดอ่อนเกี่ยวข้องกับการจัดสรรงบประมาณ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวอยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้ สำหรับในส่วนของระบบควบคุมมีสาเหตุหลักมาจากการขาดอัตรากำลังส่งผลให้การตอบสนองต่อความต้องการน้ำ และการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งน้ำล่าช้า ควรพิจารณาหาแนวทางการบริหารคลองส่งน้ำที่สามารถลดอัตรากำลังในการบริหารคลองส่งน้ำ เช่น การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ หรือใช้ระบบคลองอัตโนมัติในการบริหารคลองส่งน้ำ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ และทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ และระบบคลองอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบหาวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่เหมาะสม

2.2.3 ผลการประเมินสมรรถนะการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกชอย ตามภาพที่ 46 มีระดับคะแนนเท่ากับ 1.39 อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง แต่เมื่อพิจารณาลงในองค์ประกอบของการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกชอย พบว่าดัชนีของ ปตร. กลางคลอง (ระดับคะแนนเท่ากับ 0.29) ทรบ. คูน้ำ (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.33) อ่างพักน้ำ (ระดับคะแนนเท่ากับ 0.0) และระบบควบคุม (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.32) อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง โดยสาเหตุหลักเป็นใน

ลักษณะเดียวกับการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอยคือ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลองที่ไม่เป็นผลจากการควบคุม (เฉลี่ยรายสัปดาห์เท่ากับ 0.25 เมตร) ใกล้เคียงกับผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า – ด้านหลังของคูน้ำ (เฉลี่ยทั้งระบบเท่ากับ 0.30 เมตร) การควบคุมการปรับบานที่อาคารควบคุมน้ำออกจากคลองซอยทำได้ลำบากเนื่องจากขาดการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเพราะงบประมาณและอัตราค่าจ้างที่จำกัด ระบบควบคุมมีการตอบสนองต่อความต้องการน้ำ และการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งน้ำล่าช้าเนื่องจากขาดอัตราค่าจ้างในการกำกับดูแลอย่างทั่วถึง สำหรับองค์ประกอบเรื่องอ่างพักน้ำนั้นในระดับคลองแยกซอยของคลอง 5L – 2L ไม่มีการออกแบบให้มีอ่างพักน้ำ ซึ่งปัญหาในเรื่องของงบประมาณ อัตราค่าจ้าง และการจัดซื้อที่ดินเป็นเรื่องละเอียดอ่อน เกี่ยวข้องกับการจัดสรรงบประมาณ ซึ่งการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้

2.2.4 จิตความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำในการให้บริการส่งน้ำ ตามภาพที่ 47 มีระดับคะแนนเท่ากับ 1.40 อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง และเมื่อพิจารณาลงในแต่องค์ประกอบ พบว่าต้องปรับปรุงทั้งในด้านของงบประมาณ (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.40) ด้านเจ้าหน้าที่ (ระดับคะแนนเท่ากับ 1.79) และด้านกลุ่มผู้ใช้น้ำ (ระดับคะแนนเท่ากับ 0.85) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความจำเป็นแล้วควรปรับปรุงด้านกลุ่มผู้ใช้น้ำ โดยเฉพาะด้านความเข้มแข็งของกลุ่มผู้ใช้น้ำทั้งในเรื่องบทบาทของการมีส่วนร่วมในการบริหารงานคลองส่งน้ำ และความเข้มแข็งทางการเงิน ซึ่งสอดคล้องกับการปรับปรุงในด้านงบประมาณที่ต้องปรับปรุงให้กลุ่มผู้ใช้น้ำเข้ามามีส่วนร่วมในค่าใช้จ่ายสำหรับการบริหารคลองส่งน้ำทั้งในรูปของแรงงานและเงินสนับสนุน สำหรับการปรับปรุงในด้านเจ้าหน้าที่ควรพิจารณาปรับปรุงเกี่ยวกับการเพิ่มเจ้าหน้าที่ที่มีความรู้ด้านการบริหารคลองส่งน้ำและการบังคับใช้ระเบียบปฏิบัติในการไล่เจ้าหน้าที่ออกเมื่อเจ้าหน้าที่ไม่ปฏิบัติตามระเบียบที่กำหนด หรือกระทำความผิดร้ายแรงอื่น ๆ ซึ่งปัญหาเหล่านี้เป็นเรื่องละเอียดอ่อน เกี่ยวข้องกับการจัดสรรงบประมาณ และกลุ่มผู้ใช้น้ำ ซึ่งการแก้ไขปัญหาดังกล่าวอยู่นอกเหนือขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้

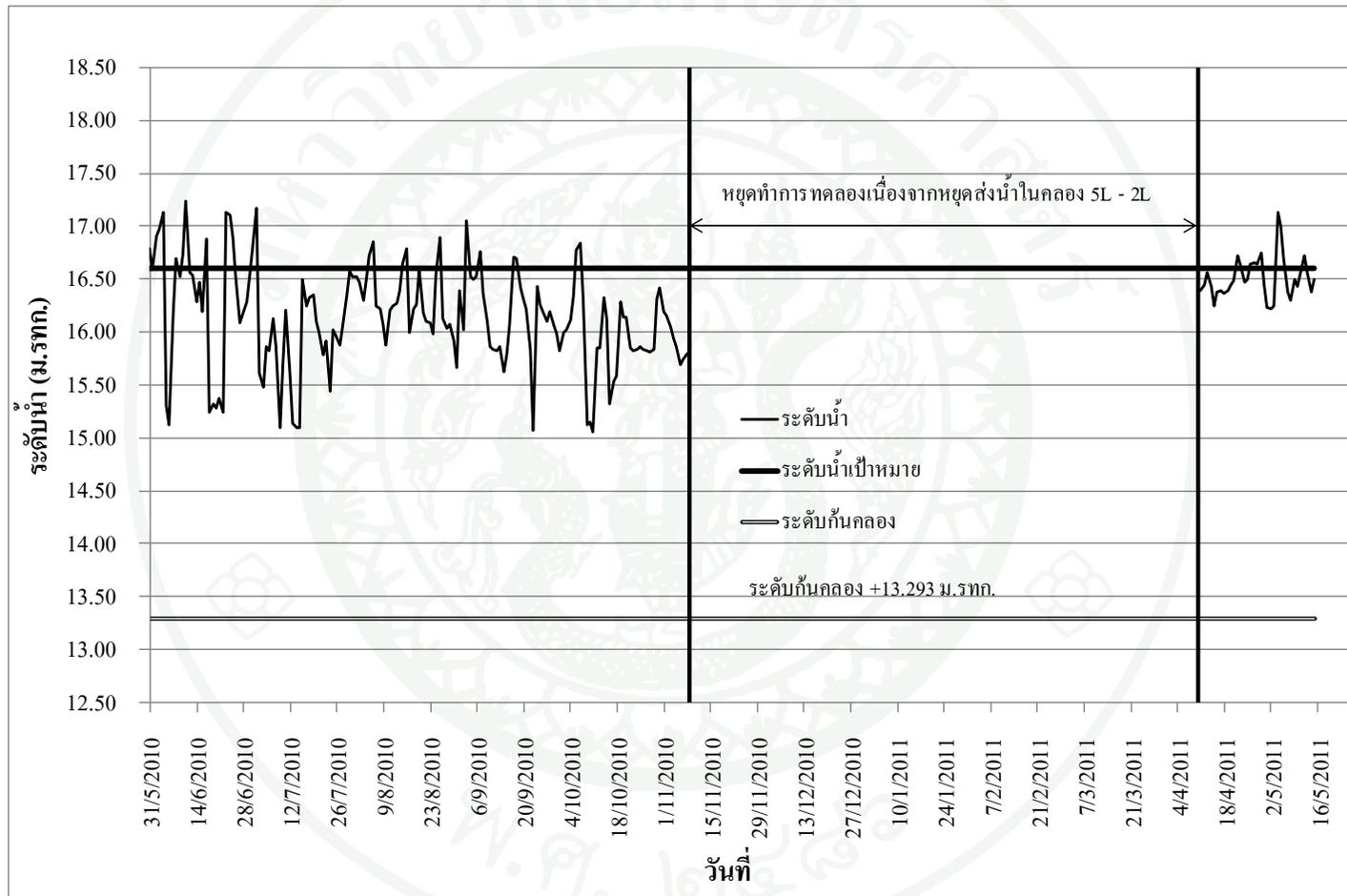
3. ปัญหาที่มีผลกระทบต่ออาคารควบคุมการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L

จากการศึกษาระบบบริหารคลอง 5L – 2L ตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2550 ถึง 15 พฤษภาคม 2554 พบว่ายังมีปัญหาในการบริหารคลอง 5L – 2L ด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการประเมินใน RAP ที่มีผลต่อระดับการให้บริการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L และประสิทธิภาพการชลประทาน ดังนี้

3.1 ระดับน้ำด้านหน้า ประตู. ปากคลอง 5L – 2L ไม่อยู่ที่ระดับเก็บกัก (+16.60 ม.รทก.) จากข้อมูลระดับน้ำด้านหน้า ประตู. ปากคลองระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 ถึง 15 พฤษภาคม 2554 ตามภาพที่ 48 พบว่าระดับน้ำด้านหน้าอาคาร โดยส่วนใหญ่ต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมาย และมีความผันแปรของระดับน้ำค่อนข้างสูง (ค่า RMSE = 0.44 เมตร MAE = 1.54 เมตร และ IAE = 0.49 เมตร) เนื่องจาก ประตู. กลางคลอง 2L กม.22+700 ไม่ได้ทำหน้าที่ควบคุมทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารเพียงอย่างเดียว แต่ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารให้เป็นไปตามความต้องการน้ำของพื้นที่ด้านท้ายน้ำควบคู่ไปด้วย ดังนั้นในกรณีที่อัตราการไหลผ่าน ประตู. กลางคลอง 2L กม.22+700 ต่ำกว่าอัตราการไหลที่กำหนด และระดับน้ำด้านหน้า ประตู. ปากคลอง 5L – 2L ต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมาย เจ้าหน้าที่ไม่สามารถปรับลดบาน ประตู. กลางคลอง 2L กม.22+700 ได้ เนื่องจากต้องรักษาอัตราการไหลผ่านอาคารดังกล่าวด้วย ส่งผลให้การควบคุมอัตราการไหลเข้าคลอง 5L – 2L ไม่เป็นไปตามเป้าหมาย

3.2 ระบบบริหารคลอง 5L – 2L ใช้ ประตู. กลางคลองที่ควบคุมทั้งระดับน้ำด้านหน้าอาคารและอัตราการไหลผ่านอาคาร เช่น ประตู. กลางคลอง กม.3+650 ต้องทำหน้าที่ควบคุมรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารให้อยู่ที่ระดับน้ำเก็บกัก (+15.501 ม.รทก.) พร้อมกับต้องควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารให้เป็นไปตามที่พื้นที่รับน้ำด้านท้ายร้องขอ ทำให้ไม่สามารถควบคุมระบบบริหารคลองส่งน้ำให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด เนื่องจาก ประตู. กลางคลองถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคาร ดังนั้นควรพิจารณาใช้อาคารควบคุมน้ำตามหน้าที่ของอาคาร โดย ประตู. ปากคลองสายใหญ่สำหรับควบคุมอัตราการไหลเข้าสู่ระบบ และให้ ประตู. กลางคลองควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารให้อยู่ที่ระดับเก็บกัก

3.3 ระบบบริหารคลอง 5L – 2L ใช้การปรับระดับน้ำในคลอง 5L – 2L เพื่อแก้ไขผลลัพธ์ที่เกิดจากการรบกวนระบบในคลองซอย เช่น กรณีที่เกิดน้ำท่วมในคลองซอย 2R – 5L – 2L จะทำการลดระดับน้ำในช่วงคลองที่ 2 ของคลอง 5L – 2L ด้วยการยกบานที่ ประตู. กลางคลอง 5L – 2L กม.9+813 และ กม.14+750 ขึ้น แทนการปรับลดบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 2R – 5L – 2L หรือหาทางระบายน้ำส่วนเกินออกจากพื้นที่น้ำท่วม ซึ่งส่งผลต่อการควบคุมระดับน้ำในช่วงคลองอื่น ๆ ของคลอง 5L – 2L โดยเฉพาะช่วงคลองด้านท้ายน้ำ ที่ต้องรับปริมาณน้ำที่ระบายออกจากช่วงคลองที่ 2 ดังนั้นหากช่วงคลองต่าง ๆ ไม่มีการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำในแต่ละช่วงคลองให้เหมาะสม และทันท่วงที เกษตรกรในช่วงคลองดังกล่าวจะไม่ได้รับน้ำตามความต้องการของตน



ภาพที่ 48 ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. ปากคลอง 5L - 2L ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 - 15 พฤษภาคม 2554

จากผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลอง 5L – 2L และปัญหาที่มีผลกระทบต่อ การควบคุมการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L พบว่าคลอง 5L – 2L ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำต้นทุนในการส่งน้ำ แต่ระดับการให้บริการส่งน้ำในภาพรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง โดยสาเหตุหลักมาจากความผันแปร ของระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง 5L – 2L ทำให้ไม่สามารถควบคุมอัตราการไหล ผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อทั้งในระดับ คลองแยกซอย และในระดับคูน้ำ ดังนั้นจึงควรปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำให้สามารถควบคุม ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง 5L – 2L ให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด

เป้าหมายและแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ

การกำหนดเป้าหมายและแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาระบบบริหารคลองส่งน้ำให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำตามแนวคิด เรื่อง “การปรับปรุงโครงการชลประทานให้ทันสมัย” (Irrigation Modernization) โดยใช้ข้อมูลจาก ผลการประเมินระบบบริหารคลองส่งน้ำด้วย RAP ร่วมกับผลการศึกษาระบบบริหารคลอง 5L – 2L

1. เป้าหมายในการปรับปรุงระบบบริหารคลอง 5L – 2L

การกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงระบบบริหารคลอง 5L – 2L กำหนดไว้ 2 เป้าหมาย คือ เพิ่มค่าดัชนีภายในของการปฏิบัติงานจริงในสนามให้เท่ากับเป้าหมายที่กำหนดไว้ และเพิ่ม ระดับคะแนนของค่าดัชนีภายในให้มากกว่า 2 ตามเกณฑ์การให้คะแนนของ RAP ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงใช้เกณฑ์การให้คะแนนของ RAP เป็นแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ โดยมี เป้าหมายในการปรับปรุงระบบบริหารคลอง 5L – 2L ดังนี้

1.1 เกษตรกรได้รับน้ำในปริมาณที่ถูกต้องและตามเวลาที่ต้องการ โดยพิจารณาจากดัชนี ความเพียงพอ (Adequacy Indicator) ของการประเมินผลสัมฤทธิ์การส่งน้ำ

1.2 ลดจำนวนพื้นที่เพาะปลูกที่ไม่ได้รับการให้บริการต่ำกว่าค่าเฉลี่ยให้เหลือเพียง 15% ของ พื้นที่ทั้งหมด โดยพิจารณาจากดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator) ของการประเมินผลสัมฤทธิ์การ ส่งน้ำ

1.3 ความคุมอัตราการไหลที่ส่งเข้าคลองซอยให้มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% ของอัตราการไหล (FAO, 2008) โดยพิจารณาจากดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระดับน้ำ 3 ดัชนี ประกอบด้วย ดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum Absolute Error, MAE) ดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Integrated Absolute Error, IAE) และดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of Water Level Control, RWLC)

2. แนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลอง 5L – 2L

จากเป้าหมายในการปรับปรุงระบบบริหารคลอง 5L – 2L พบว่าแนวทางที่เหมาะสมในการปรับปรุงระบบบริหารคลอง 5L – 2L คือ การพัฒนาอุปกรณ์หรือเครื่องมือสำหรับช่วยในการควบคุมระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลองให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด โดยกำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมให้ (Tolerance) ให้สอดคล้องกับเป้าหมายในการควบคุมอัตราการไหลที่ส่งเข้าคลองซอย โดยแนวทางในการปรับปรุง ประกอบด้วย

2.1 ปรับปรุงวิธีการคำนวณและประเมินความต้องการน้ำของพืชเพื่อให้การจัดสรรน้ำในคลอง 5L – 2L สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืชเป็นรายสัปดาห์

2.2 พัฒนาแบบจำลองสำหรับช่วยตัดสินใจในการควบคุมและบริหารคลองส่งน้ำ

2.3 วางแผนการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ จากวิธีการควบคุมการส่งน้ำแบบต่างๆ ความถี่ในการปรับบานที่คำนวณจากช่วงการควบคุมที่ยอมให้ (Tolerance) และความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาในการปรับบานกับผลลัพธ์ที่เกิดจากปัจจัยที่รับกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation)

2.4 ทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ที่ได้วางแผนไว้ในข้อ (3) ด้วยดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ และดัชนีประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

ปรับปรุงวิธีคำนวณความต้องการน้ำของพืชรายสัปดาห์

ระบบบริหารคลอง 5L – 2L คำนวณความต้องการน้ำของพืชรายสัปดาห์ จากค่าเฉลี่ย การใช้น้ำของพืชต่อวัน ตามสมการที่ (50) ส่งผลให้ความต้องการน้ำรายสัปดาห์ของแต่ละพื้นที่ เพาะปลูกคงที่ตลอดฤดูกาลส่งน้ำ ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริง ที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา ในการส่งน้ำตามอายุของพืชแต่ละชนิด สภาพภูมิอากาศ และปัจจัยแวดล้อมด้านต่าง ๆ ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงทำการปรับปรุงการวิเคราะห์ความต้องการน้ำของพืช โดยคำนวณจากค่า สัมประสิทธิ์พืช (Crop Coefficient, K_c) ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential Evapotranspiration, ET_o) และปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall, RE) ตามสมการที่ (52) – (55)

$$Q_R = ET_C - RE \quad (52)$$

$$ET_C = K_C \times ET_O \quad (53)$$

$$RE = R \quad \text{เมื่อ } R \leq R^* \quad (54)$$

$$RE = A \cdot R + B \quad \text{เมื่อ } R > R^* \quad (55)$$

โดยที่	Q _R	คือ ความต้องการน้ำของพืช, มิลลิเมตร/สัปดาห์
	ET _C	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/สัปดาห์
	RE	คือ ปริมาณฝนใช้การ (Effective Rainfall), มิลลิเมตร / สัปดาห์
	K _c	คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient) แสดงในตารางที่ 36
	ET _o	คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Crop Evapotranspiration) มีหน่วยเป็น มิลลิเมตร/สัปดาห์ แสดงในตารางที่ 37
	R	คือ ปริมาณฝนที่ตก (Rainfall), มิลลิเมตร / สัปดาห์
	R*	คือ ปริมาณฝน ณ จุดที่ฝนใช้การเริ่มน้อยกว่าฝนที่ตก, มิลลิเมตร / สัปดาห์
	A, B	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ฝนใช้การในสมการที่ (55) แสดงอยู่ในตารางที่ 38

ตารางที่ 36 สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (Crop Coefficient, Kc)

สัปดาห์ ที่	ชนิดพืช		เดือนที่	อ้อย	ชนิดพืช	
	ข้าว กข. นาหว่านน้ำตาม	ข้าวโพด เลี้ยงสัตว์			หน่อไม้ฝรั่ง	ส้มโอ
1	-	0.63	1	0.65	0.68	1.90
2	-	0.72	2	0.86	1.10	1.74
3	0.80	0.86	3	1.13	1.42	1.62
4	1.05	1.13	4	1.35	1.48	1.45
5	1.25	1.35	5	1.56	1.29	1.12
6	1.40	1.52	6	1.29	1.08	1.02
7	1.50	1.61	7	1.20	0.83	1.13
8	1.55	1.63	8	0.93	0.66	1.97
9	1.60	1.58	9	0.63	0.55	2.44
10	1.63	1.50	10	0.52	0.61	2.36
11	1.68	0.61	11		0.76	1.97
12	1.60		12		0.74	1.96
13	1.50					
14	1.35					
15	1.08					
16	0.65					

ที่มา: กรมชลประทาน (2551)

ตารางที่ 37 ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET_o) คำนวณ โดยวิธี Penman Monteith ของ
โครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง

เดือน	ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (ET _o)			
	สุพรรณบุรี (มม. / วัน)	กาญจนบุรี (มม. / วัน)	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง (มม. / วัน) (มม. / สัปดาห์)	
พฤศจิกายน	4.10	3.80	4.06	28.44
ธันวาคม	3.90	3.60	3.86	27.04
มกราคม	3.80	3.70	3.79	26.51
กุมภาพันธ์	4.60	4.40	4.57	32.02
มีนาคม	5.50	5.30	5.47	38.32
เมษายน	5.90	5.70	5.87	41.12
พฤษภาคม	5.30	5.10	5.27	36.92
มิถุนายน	4.90	4.50	4.85	33.95
กรกฎาคม	4.70	4.40	4.66	32.64
สิงหาคม	4.40	4.20	4.37	30.62
กันยายน	4.10	4.00	4.09	28.61
ตุลาคม	4.10	3.90	4.07	28.52

ตารางที่ 38 ค่าสัมประสิทธิ์ฝนใช้การสำหรับข้าวและพืชไร่ สำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

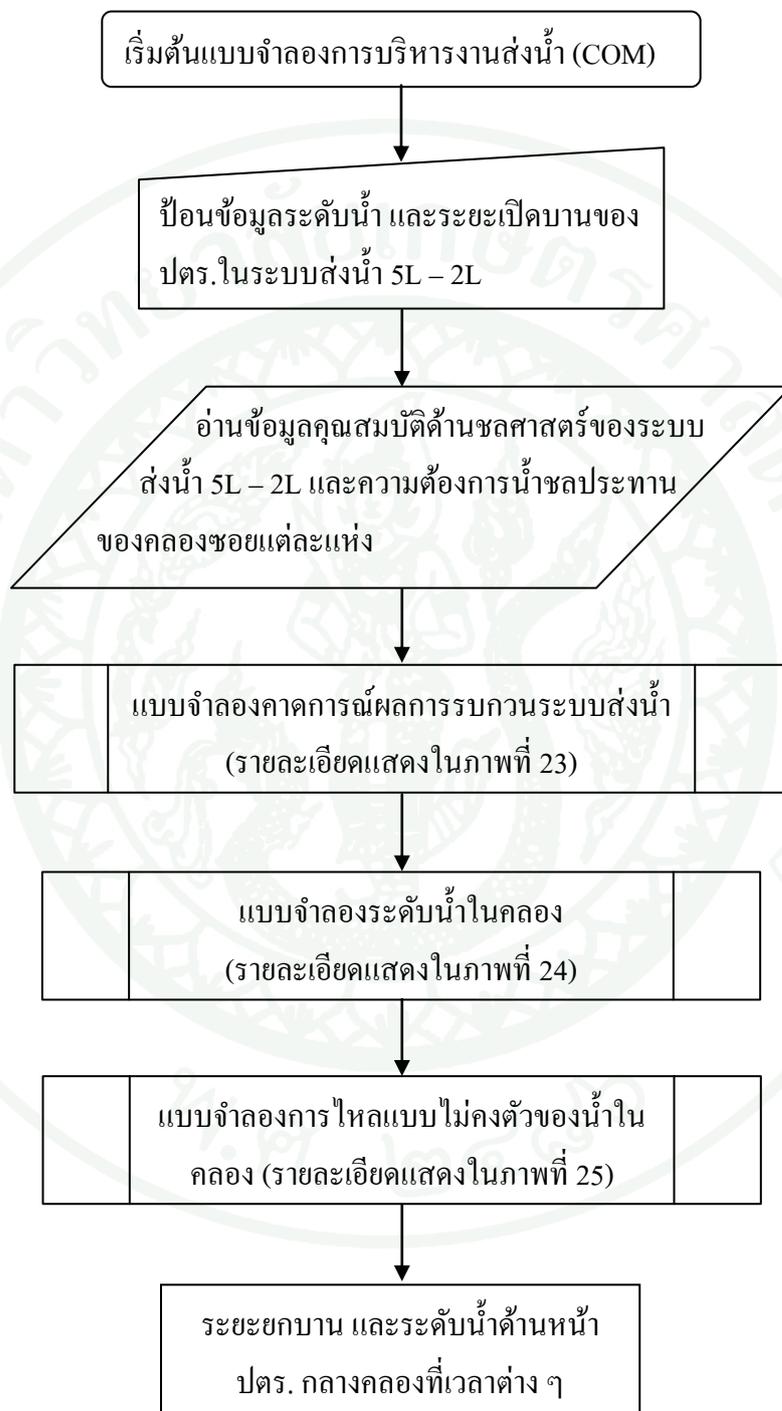
เดือน	ฝนใช้การของนาข้าว			ฝนใช้การของพืชไร่		
	R*	A	B	R*	A	B
พฤศจิกายน	59	0.55	26.10	29	0.78	6.38
ธันวาคม	59	0.55	26.10	29	0.78	6.38
มกราคม	59	0.55	26.10	29	0.78	6.38
กุมภาพันธ์	59	0.55	26.10	29	0.78	6.38
มีนาคม	59	0.55	26.10	29	0.78	6.38
เมษายน	59	0.55	26.10	29	0.78	6.38
พฤษภาคม	53	0.44	29.68	25	0.63	9.25
มิถุนายน	55	0.46	29.70	27	0.70	8.10
กรกฎาคม	60	0.75	15.00	26	0.65	9.10
สิงหาคม	50	0.56	22.00	25	0.64	9.00
กันยายน	42	0.39	25.62	22	0.42	12.76
ตุลาคม	30	0.25	22.50	18	0.27	13.14

ที่มา: วัชระ (2537)

พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) เป็นแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำเพื่อช่วยในการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำของช่วงคลองต่าง ๆ ในคลองส่งน้ำให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model) แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model) และแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model) โดยแบบจำลอง COM จะจำลองระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำในคลอง $5L - 2L$ เพื่อคำนวณหาระยะยกบานที่สามารถควบคุมน้ำด้านหน้าอาคารให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด ดังนั้นผลลัพธ์ของแบบจำลองคือ ระยะยกบาน และผลการจำลองระดับน้ำ

ด้านหน้าของอาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L – 2L ที่ช่วงเวลาต่าง ๆ ตามเงื่อนไขการปรับ
บานของแบบจำลอง COM โดยมีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง COM แสดงในภาพที่ 49



ภาพที่ 49 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการบริหารงานคลองส่งน้ำ

1. แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model)

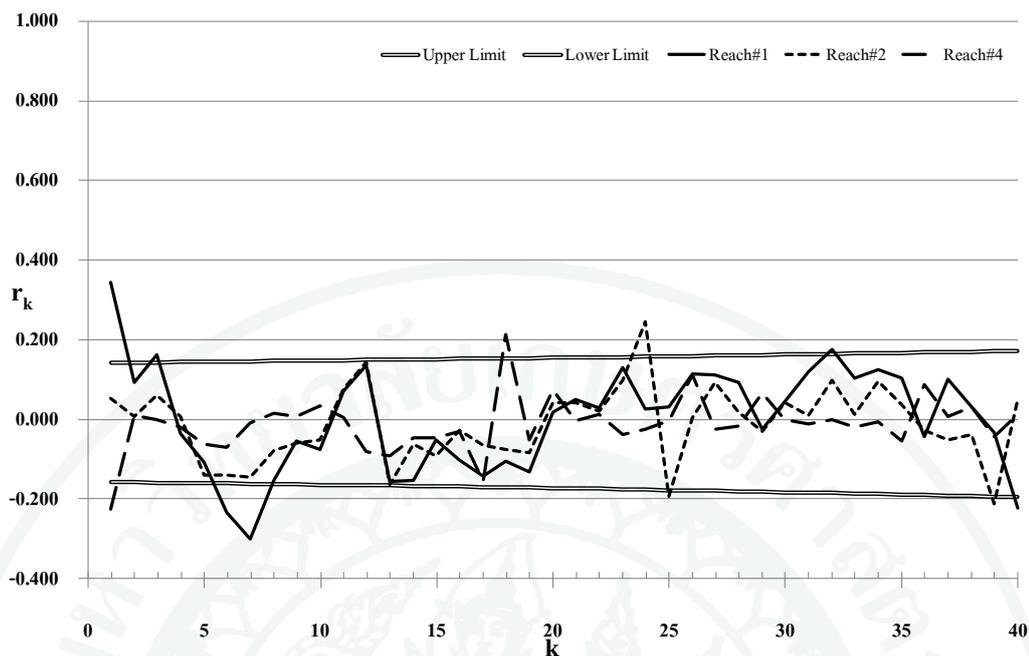
แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจาก Stochastic Model มีขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ (1) ทดสอบการแจกแจงข้อมูล (2) กำหนดค่าลำดับ (Order of Model) (3) ประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimation of Parameters) และ (4) ทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Test of Goodness of Fit of Selected Model) โดยใช้ข้อมูล Perturbation ของช่วงคลองที่ 1, 2 และ 4 เป็นตัวแทนของทั้งระบบส่งน้ำ เนื่องจากช่วงคลองดังกล่าวมีการติดตั้งระบบโทรมาตรสำหรับตรวจวัดข้อมูลทุก 30 นาที และทำการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 โดยข้อมูลสำหรับทดสอบจะใช้ ระหว่างวันที่ 5 พฤษภาคม 2551 ถึงวันที่ 15 มิถุนายน 2551

1.1 ทดสอบการแจกแจง Perturbation ของระบบส่งน้ำ 5L – 2L โดยการเปรียบเทียบกับค่า Skewness ตามตารางที่ 8 ได้ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 39 จากผลการทดสอบพบว่าทุกช่วงคลองมีลักษณะการแจกแจงแบบ Normality ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกแบบจำลอง Autoregressive Model (AR) ในการสร้างแบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ

ตารางที่ 39 ผลการทดสอบลักษณะการแจกแจงข้อมูลของ Perturbation ในระบบส่งน้ำ 5L – 2L

ช่วงคลอง	ค่า Skewness, γ	ผลการทดสอบที่ $\alpha = 0.01$
ช่วงคลองที่ 1	0.08	มีลักษณะการแจกแจงแบบ Normality
ช่วงคลองที่ 2	- 0.05	มีลักษณะการแจกแจงแบบ Normality
ช่วงคลองที่ 4	0.15	มีลักษณะการแจกแจงแบบ Normality

1.2 กำหนดค่าลำดับของแบบจำลอง (Order of Model) โดยการคำนวณหา Sample Correlogram (r_k) ตามสมการที่ (40) ของข้อมูลอนุกรมเวลาและเปรียบเทียบกับ Anderson's limit ตามสมการที่ (41) ผลการเปรียบเทียบแสดงในภาพที่ 50 และจากผลการเปรียบเทียบพบว่าค่าลำดับที่เหมาะสมของแบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำเท่ากับ 1



ภาพที่ 50 กราฟเปรียบเทียบ Sample Correlogram (r_k) กับ Anderson' limit ของช่วงคลองที่ 1, 2 และ 4

1.3 ประมาณค่าพารามิเตอร์ (Estimate Parameters) ของแบบจำลอง Autoregressive Model ลำดับที่ 1 (AR(1)) และ Autoregressive Model ลำดับที่ 2 (AR(2)) ด้วยวิธี Moment Parameters Estimation ตามสมการที่ (56) – (60)

$$\text{AR(1)} \quad \hat{\theta}_1 = r_1 \quad (56)$$

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{N\hat{\sigma}^2}{(N-1)} (1 - \hat{\theta}_1^2) \quad (57)$$

$$\text{AR(2)} \quad \hat{\theta}_1 = \frac{r_1(1 - r_2)}{(1 - r_1^2)} \quad (58)$$

$$\hat{\theta}_2 = \frac{r_2 - r_1^2}{(1 - r_1^2)} \quad (59)$$

$$\hat{\sigma}_\varepsilon^2 = \frac{N\hat{\sigma}^2}{(N-2)} \frac{(1 + \hat{\theta}_2)}{(1 - \hat{\theta}_2)} [(1 - \hat{\theta}_2^2)^2 - \hat{\theta}_1^2] \quad (60)$$

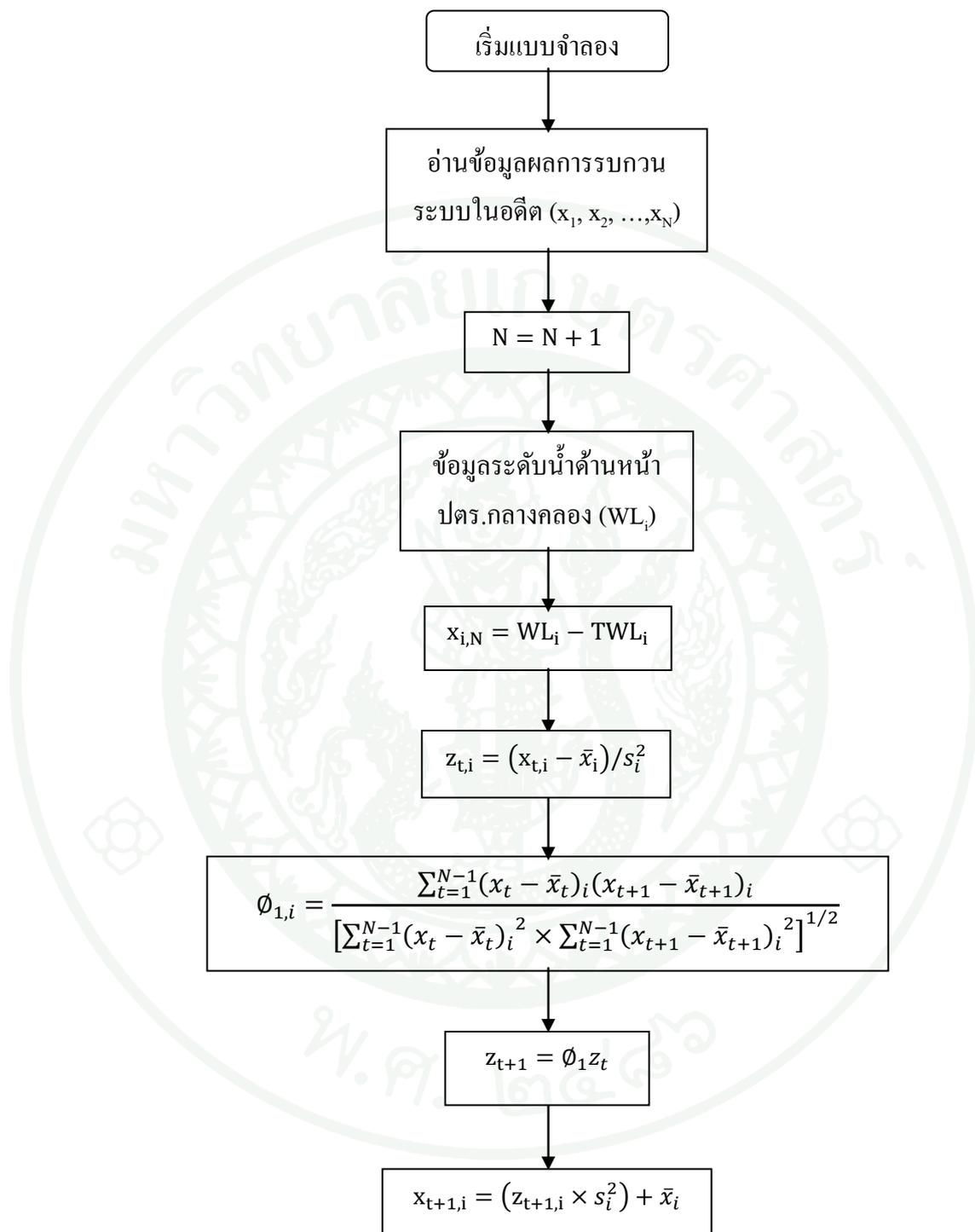
โดยที่	$\hat{\theta}_1$	คือ Autoregression Coefficients ลำดับที่ 1
	$\hat{\theta}_2$	คือ Autoregression Coefficients ลำดับที่ 2
	r_1	คือ The Sample Correlation Coefficients ที่ Lack time 1
	r_2	คือ The Sample Correlation Coefficients ที่ Lack time 2
	$\hat{\sigma}_\varepsilon^2$	คือ ค่าประมาณความแปรปรวนของ ε
	$\hat{\sigma}^2$	คือ ค่าประมาณความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่าง
	N	คือ จำนวนสมาชิกของกลุ่มตัวอย่าง

1.4 ทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Test of Goodness of Fit of Selected Model) ด้วย The Porte Manteau Lack of Fit Test และ The Akaike Information Criterions ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ผลการทดสอบ Goodness of Fit ของแบบจำลองของช่วงคล่องต่างๆ

ช่วงคล่อง		Porte Manteau Lack of Fit Test			Akaike Information Criterions	
		Q	$\chi^2_{(99,15-p)}$	ผล	AIC	ผล
ช่วงคล่องที่ 1	AR(1)	28.17	29.14	เหมาะสม	-12.10	เหมาะสม
	AR(2)	27.78	27.69	ไม่เหมาะสม	-9.21	
ช่วงคล่องที่ 2	AR(1)	15.53	29.14	เหมาะสม	2.64	เหมาะสม
	AR(2)	15.36	27.69	เหมาะสม	5.67	
ช่วงคล่องที่ 3	AR(1)	7.83	29.14	เหมาะสม	-3.24	เหมาะสม
	AR(2)	8.10	27.69	เหมาะสม	-0.45	

จากผลการสร้างแบบจำลองทั้ง 4 ขั้นตอน ทำให้ได้แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่สร้างขึ้นจาก Stochastic Model แบบ Autoregressive Model ลำดับที่ 1 (AR (1)) เพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลอง 5L – 2L ที่เกิดจากการรบกวนระบบล่วงหน้าระหว่างที่มีการควบคุมอาคารควบคุมน้ำในรูปของความลึกน้ำ (เมตร) มีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองแสดงในภาพที่ 51



ภาพที่ 51 แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองสำหรับคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ

2. แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model)

แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น โดยใช้ระเบียบวิธี Standard Step Method (Chaudhry, 1993) ในการสร้างแบบจำลองเพื่อหาระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับน้ำ ณ จุดควบคุม (อาคารควบคุมน้ำ) ซึ่งอยู่ด้านท้ายน้ำของตำแหน่งที่ต้องการหาระดับน้ำ โดยอาศัยหลักการสมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหลตามสมการที่ (22) – (30) และมีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองแสดงในภาพที่ 52 ผลของแบบจำลองจะนำไปใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับจำลองการไหลของน้ำในแบบจำลองไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model)

3. แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model)

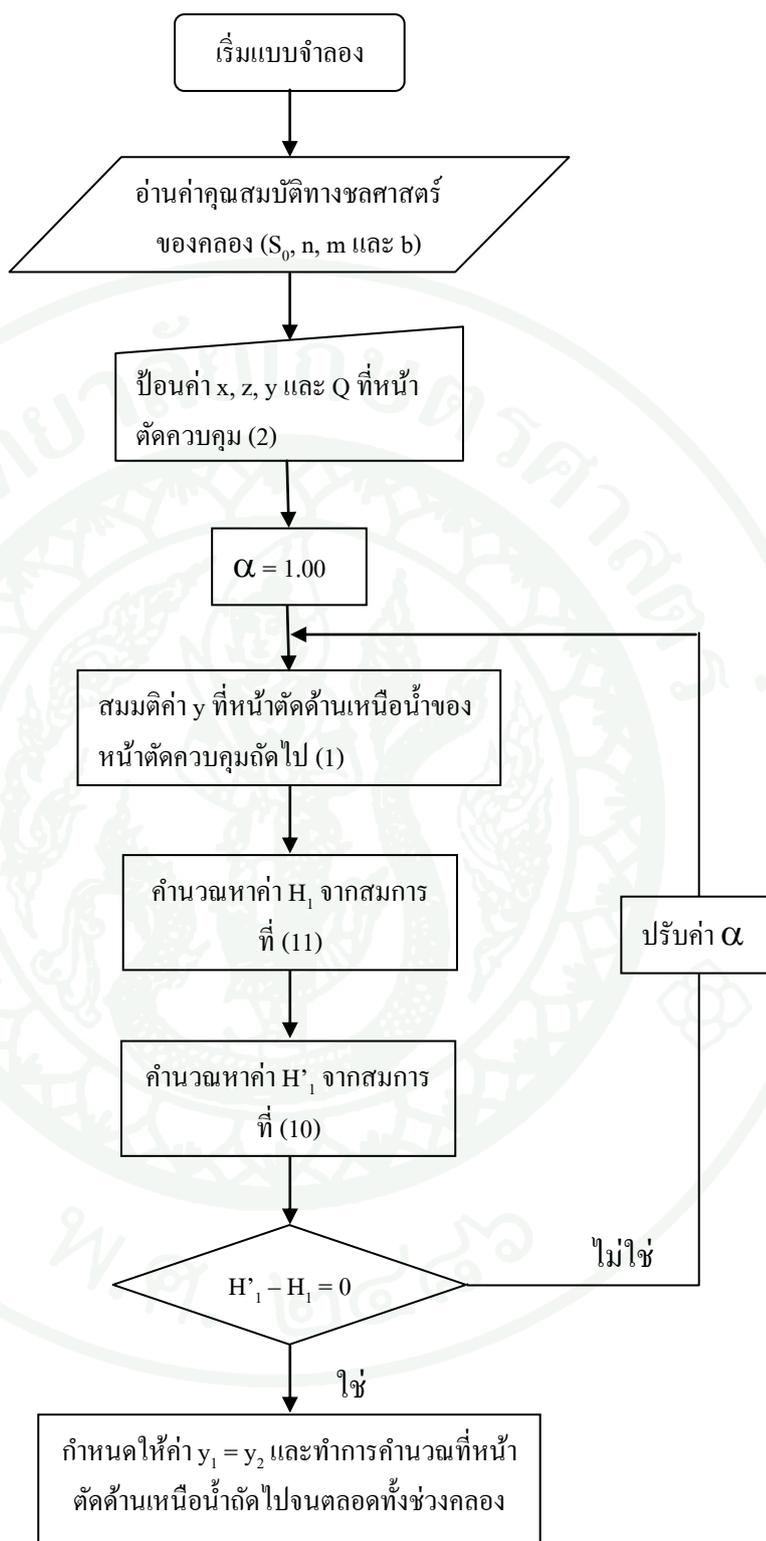
สำหรับในงานวิจัยนี้ทำการคำนวณระยะขยabanของ ปตร. กลางคลอง 5L – 2L พร้อมกันทุกช่วงคลองตลอดคลอง 5L – 2L ด้วยสมการการไหลแบบ Unsteady Flow ของ St. Venant Equations ในรูปของแบบจำลอง Dynamic Wave Model แต่ไม่พิจารณาการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมการไหลที่เกิดจากการส่งน้ำเข้าคลองซอย (Lateral Flow) แรงลม (Wind Shear) และกาเปลี่ยนแปลงความเร็วการไหลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดการไหล (Eddy Loss) และทำการสร้างแบบจำลองการไหลแบบ 1 มิติ ด้วยการประยุกต์จากสมการที่ (19) และ (20) ได้สมการ ดังนี้

Continuity Equation:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (61)$$

Momentum Equation:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (62)$$



ภาพที่ 52 แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model)

การวิเคราะห์หาระยะยกบานของแบบจำลองการไหลของน้ำในคลอง (Unsteady flow Model) จะใช้ MATLAB เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลอง มีขั้นตอนการทำงานแสดงในภาพที่ 53 โดยจะใช้วิธีกำหนดและปรับแก้ระยะยกบานที่ ปตร. กลางคลองแต่ละแห่ง แล้วแปลงค่าระยะยกบานให้เป็นอัตราการไหลผ่านอาคาร เพื่อนำมาใช้เป็นเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ (RDB) ของแต่ละช่วงคลอง จากนั้นใช้ระเบียบวิธี Newton – Raphson เพื่อหาคำตอบของสมการที่อยู่ในรูปของ $f(x) = 0$ เมื่อ $x = (Q_1, h_1, Q_2, h_2, \dots, Q_N, h_N)$ โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการตามสมการที่ (63) – (69) (รายละเอียดของสมการแสดงในภาคผนวก ก.)

$$[J(x)^k][\Delta x^k] = [-R(x)^k] \quad (63)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial UB}{\partial Q_1} dQ_1 = -RUB^k \quad (64)$$

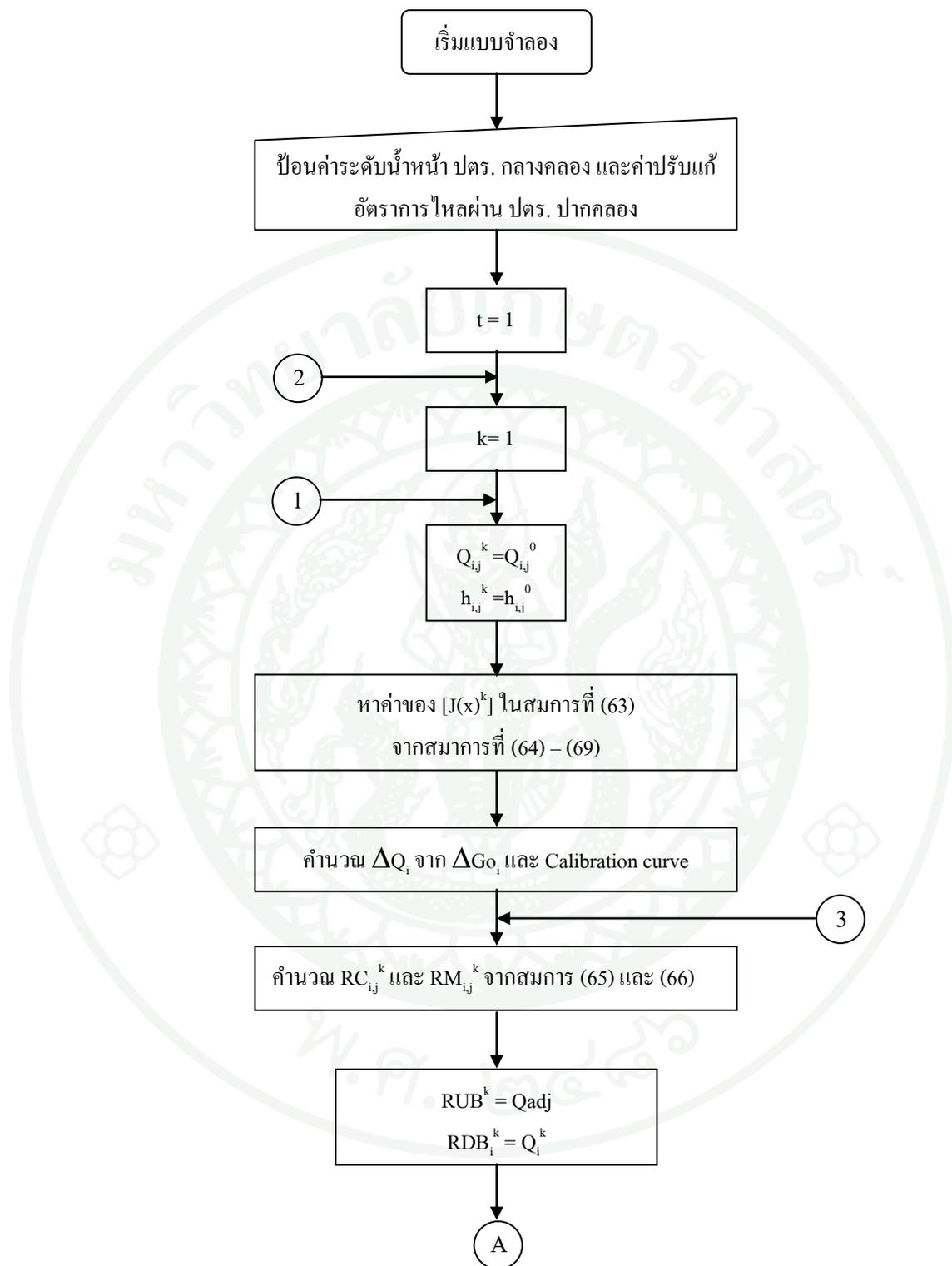
$$\frac{\partial C_i}{\partial h_i} dh_i + \frac{\partial C_i}{\partial Q_i} dQ_i + \frac{\partial C_i}{\partial h_{i+1}} dh_{i+1} + \frac{\partial C_{i+1}}{\partial Q_{i+1}} dQ_{i+1} = -RC_i^k \quad (65)$$

$$\frac{\partial M_i}{\partial h_i} dh_i + \frac{\partial M_i}{\partial Q_i} dQ_i + \frac{\partial M_i}{\partial h_{i+1}} dh_{i+1} + \frac{\partial M_{i+1}}{\partial Q_{i+1}} dQ_{i+1} = -RM_i^k \quad (66)$$

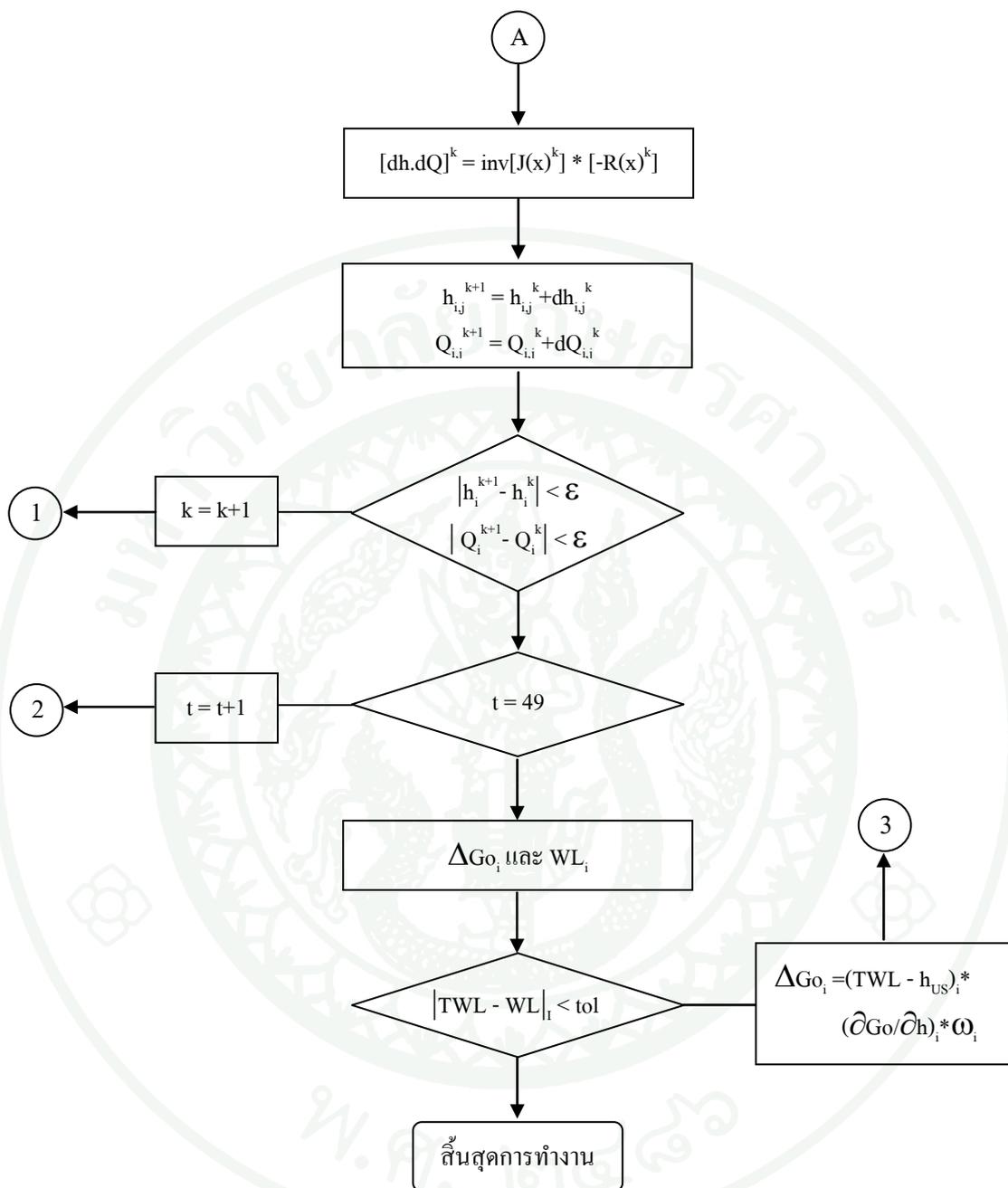
$$\frac{\partial DB}{\partial h_1} dh_1 + \frac{\partial DB}{\partial Q_1} dQ_1 = -RDB^k \quad (67)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial h_1} = 0; \quad \frac{\partial UB}{\partial Q_1} = 1 \quad (68)$$

$$\frac{\partial DB}{\partial h_N} = -\frac{Q_{k+1} - Q_k}{h_{k+1} - h_k}; \quad \frac{\partial DB}{\partial Q_N} = 1 \quad (69)$$



ภาพที่ 53 แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง
(Unsteady Flow Model)



ภาพที่ 53 (ต่อ)

4. ตรวจสอบความถูกต้อง (Validation)

แบบจำลองการบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model) ได้ทำการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลอง โดยการใช้ข้อมูลการบริหารคลองส่งน้ำของคลอง 5L – 2L ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2553 – 30 มิถุนายน 2553 (ยกเว้นวันหยุดราชการ) เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องในการพยากรณ์ระดับน้ำในคลอง 5L – 2L ล่วงหน้า 60 นาที ตามเงื่อนไขระดับน้ำ อัตราการไหล และระยะขยabanของอาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L – 2L ทั้ง 5 ช่วงคลอง ด้วยค่าดัชนี Nash – Sutcliffe efficiency (NSE) สามารถสรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ตามตารางที่ 41 (รายละเอียดการคำนวณแสดงในภาคผนวก ง)

ตารางที่ 41 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM

ช่วงคลอง	ค่าดัชนี NSE	ความหมาย
ช่วงคลองที่ 1	0.98	ความแม่นยำในการคาดคะเนสูง
ช่วงคลองที่ 2	0.95	ความแม่นยำในการคาดคะเนสูง
ช่วงคลองที่ 3	0.98	ความแม่นยำในการคาดคะเนสูง
ช่วงคลองที่ 4	0.99	ความแม่นยำในการคาดคะเนสูง
ช่วงคลองที่ 5	0.97	ความแม่นยำในการคาดคะเนสูง

วางแผนการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

1. ช่วงการควบคุมที่ยอมรับได้ (Tolerance)

การกำหนด Tolerance สำหรับควบคุมการส่งน้ำ กำหนดจากเป้าหมายในการให้บริการส่งน้ำ ร่วมกับคุณสมบัติความอ่อนไหว (Sensitivity) ของอาคาร ได้ Tolerance ของการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารปากคลองซอยแต่ละแห่งในคลอง 5L – 2L ตามตารางที่ 42 และเลือกใช้ค่า Tolerance ที่น้อยที่สุดในช่วงคลองที่อาคารควบคุมน้ำทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำ

ตารางที่ 42 Tolerance ของการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำคลอง 5L – 2L

อาคารควบคุมน้ำ กลางคลอง	อาคารควบคุมน้ำ		ดัชนีความอ่อนไหว m^{-1}	เป้าหมายในการส่งน้ำ %q	Tolerance m
	ปากคลองซอย				
Km3+650	1R – 5L – 2L		0.57	±10	0.175
	1L – 5L – 2L		0.78	±10	0.128*
Km9+813	2L – 5L – 2L		0.61	±10	0.164*
	2R – 5L – 2L		0.52	±10	0.192
Km 14+750	3L – 5L – 2L		0.51	±10	0.196*
Km 20+300	4L – 5L – 2L		0.60	±10	0.167*
Km 26+401	3R – 5L – 2L		0.32	±10	0.313*
Km 33+664	4R – 5L – 2L		0.53	10	0.189
	5L – 5L – 2L		0.58	10	0.172*

หมายเหตุ * คือ ค่าของ Tolerance ที่นำไปใช้ในการควบคุมระดับน้ำของอาคารควบคุมน้ำแต่ละแห่ง

2. กำหนดช่วงเวลาและความถี่ในการปรับบาน

การกำหนดช่วงเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำ และปรับบานของอาคารควบคุมน้ำให้เหมาะสมพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบานตามภาพที่ 39 และตารางที่ 42 พบว่า ช่วงเวลาที่เหมาะสมสำหรับเจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารควบคุมน้ำเข้าไปตรวจวัดระดับน้ำ และปรับบานของอาคารควบคุมน้ำแต่ละแห่งไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับ Tolerance และความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับตามตารางที่ 28

แต่เพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ จึงกำหนดให้อาคารควบคุมในคลอง 5L – 2L มีช่วงเวลาในการตรวจวัด และปรับบานเท่ากันคือวันละ 2 ครั้ง เวลาประมาณ 07.30 น. และ 15.30 น. ของทุกวัน ตามตารางที่ 43

ตารางที่ 43 ช่วงเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำ และปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง

อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง	Tolerance เมตร	ความถี่ในการปรับบาน		ช่วงเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำ และปรับบาน	
		ค่าคำนวณได้ ชั่วโมง / ครั้ง	ค่าใช้จริง ครั้ง / วัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
Km3+650	0.128	17	2	07.30 น.	15.30 น.
Km9+813	0.164	17	2	07.30 น.	15.30 น.
Km 14+750	0.196	24	2	07.45 น.	15.45 น.
Km 20+300	0.167	12	2	07.30 น.	15.30 น.
Km 26+401	0.313	68	2	07.45 น.	15.45 น.
Km 33+664	0.172	12	2	07.30 น.	15.30 น.

3. วางแผนทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบการปรับปรุงวิธีบริหารคลองส่งน้ำระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 ถึงวันที่ 15 พฤษภาคม 2554 โดยหยุดทำการทดลอง 3 ครั้งเนื่องจากมีการปิดน้ำ (1) ระหว่างวันที่ 5 กรกฎาคม 2553 – 18 กรกฎาคม 2553 เพื่อทำการซ่อมแซมบานบังคับน้ำที่ ปตร. กลางคลอง 2L กม.10+300 (2) ระหว่างวันที่ 9 สิงหาคม 2553 – 15 สิงหาคม 2553 เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบอุบัติเหตุในคลอง 2L และ (3) ระหว่างวันที่ 15 พฤศจิกายน 2553 – 15 มกราคม 2554 เพื่อตัดวงจรชีวิตของเพี้ยกระโดดในนาข้าวตามนโยบายของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และระหว่างวันที่ 15 มกราคม – 10 เมษายน 2554 ดำเนินการปรับปรุงระบบคลองอัตโนมัติระยะที่ 2 ซึ่งถึงแม้การทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำดำเนินการในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้มีความแตกต่างในเรื่องของความต้องการน้ำของพืช ปริมาณฝนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ สภาพภูมิอากาศ ซึ่งมีผลต่อค่าดัชนีที่ใช้ในการประเมินวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แต่เนื่องจากได้ทำการทดสอบในพื้นที่เดียวกัน ดังนั้นความแตกต่างที่เกิดขึ้นเมื่อพิจารณาในภาพรวมแล้วส่งผลต่อค่าดัชนีที่ใช้ในการทดสอบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากข้อกำหนดในเรื่องของช่วงการควบคุม (Tolerance) ช่วงเวลาและความถี่ในการปรับ บาน ตลอดจนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ทั้งที่มีอยู่เดิม และที่พัฒนาขึ้น จึงทำการวางแผนการทดสอบ โดยแบ่งวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 5 วิธี แต่ละวิธีจะทำการทดสอบ 5 ซ้ำ และกำหนดให้ 1 ซ้ำใช้เวลาในการบริหารคลองส่งน้ำ 1 สัปดาห์ รายละเอียดวิธีการ และช่วงเวลาในการทดสอบแสดงในตารางที่ 44

ตารางที่ 44 ช่วงเวลาในการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ

วิธีการบริหาร	ช่วงเวลาในการทดสอบ	รายละเอียดวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ
1. Existing Operation	31 พ.ค. 53 – 4 ก.ค. 53	บริหารงานส่งน้ำตามวิธีของโครงการส่งน้ำ และบำรุงรักษาสองพี่น้อง
2. COM_NF_3/Week	19 ก.ค. 53 – 29 ส.ค. 53	บริหารงานส่งน้ำด้วย COM Model แต่ไม่ใช้ Forecasted Perturbation Model และทำการปรับบาน 3 ครั้งต่อสัปดาห์
3. COM_2/Day	30 ส.ค. 53 – 3 ต.ค. 53	บริหารงานส่งน้ำด้วย COM Model และทำการปรับบาน 2 ครั้งต่อวัน
4. COM_Day	4 ต.ค. 53 – 7 พ.ย. 53	บริหารงานส่งน้ำด้วย COM Model และทำการปรับบานวันละครั้ง
5. CAS	11 เม.ย. 54 – 15 พ.ค. 54	บริหารงานส่งน้ำด้วยระบบ Canal Automation System ซึ่งทำการตรวจวัดและปรับบานแบบตลอดเวลาที่อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง และที่อาคารควบคุมน้ำปากคลอง โดยทำการตรวจวัดและปรับบานทุกครั้งชั่วโมง

3.1 Existing Operation

Existing Operation เป็นการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งใช้วิธีการควบคุมด้วยมือ (Manual Control) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1.1 กำหนดให้มีการตรวจวัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ท้ายน้ำ และระยะเปิดบานของ ประตู กลางคลอง 5L – 2L เป็นประจำทุกวันและรายงานให้ฝ่ายจัดสรรน้ำฯ ของโครงการทราบภายในเวลา 07.00 น.

3.1.2 กำหนดให้มีการปรับบานของ ประตู ปากคลอง 5L – 2L ทุกวันจันทร์ และสามารถทำการปรับเพิ่มได้ในกรณีที่เกิดน้ำท่วมในพื้นที่ หรือมีการขาดแคลนน้ำขั้นรุนแรง โดยการปรับบานที่ ประตู ปากคลอง 5L – 2L จะต้องสอดคล้องกับระดับน้ำในคลอง 2L ด้านหน้าคลองด้วย

3.1.3 กำหนดให้มีการปรับบานของ ประตู กลางคลอง 5L – 2L ทุกวันเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย (ระดับน้ำเก็บกัก) แต่ในทางปฏิบัติพนักงานส่งน้ำได้กำหนด Tolerance ของ ประตู แต่ละแห่งกว้างมากประมาณ ± 0.40 เมตร ถึง ± 0.60 เมตร ดังนั้นความถี่ในการปรับบานของอาคารแต่ละแห่งจึงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1 – 2 ครั้ง / สัปดาห์

3.1.4 กำหนดให้มีการปรับบานของอาคารปากคลองซอยให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำของเกษตรกร และระดับน้ำด้านหน้าอาคาร

3.2 COM_NF_3/Week

COM_NF_3/Week เป็นการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ปรับปรุงขึ้น ซึ่งใช้แบบจำลอง COM Model เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการควบคุมและบริหารคลองส่งน้ำ แต่ไม่ได้นำเอาผลการคาดการณ์การรบกวนระบบล่วงหน้าของ Forecasted Perturbation Model มาใช้ในแบบจำลอง กำหนดความถี่ของการตรวจวัด และปรับบานของ ประตู กลางคลอง 5L – 2L ที่ 3 ครั้ง/สัปดาห์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1 กำหนดให้มีการตรวจวัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ท้ายน้ำ และระยะเปิดบานของ ประตู. กลางคลอง 5L – 2L ด้วยระบบโทรมาตร และระบบบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ทุกครึ่งชั่วโมง

3.2.2 กำหนดให้มีการปรับบาน ประตู. ของคลอง 5L – 2L ทั้ง ประตู. ปากคลอง และ ประตู. กลางคลอง ตามผลของแบบจำลอง สัปดาห์ละ 3 ครั้งในวันจันทร์ พุธ และศุกร์ เวลา 07.30 น. โดย Tolerance ของ ประตู. แต่ละแห่งกำหนดตามตารางที่ 27

3.2.3 กำหนดให้มีการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยทุกวันจันทร์ ตามความต้องการน้ำที่คำนวณได้จากวิธีการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของพืชตามข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกรายสัปดาห์ที่ปรับปรุงขึ้น และสามารถปรับบานได้ตลอดเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริงในพื้นที่

3.3 COM_2/Day

COM_2/Day เป็นการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ปรับปรุงขึ้น ซึ่งใช้แบบจำลอง COM Model เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการควบคุมและบริหารคลองส่งน้ำ กำหนดความถี่ของการตรวจวัด และปรับบานของ ประตู. กลางคลอง 5L – 2L ที่ 2 ครั้ง/วัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 กำหนดให้มีการตรวจวัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ท้ายน้ำ และระยะเปิดบานของ ประตู. กลางคลอง 5L – 2L ด้วยระบบโทรมาตร และระบบบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ทุกครึ่งชั่วโมง

3.3.2 กำหนดให้มีการปรับบาน ประตู. ของคลอง 5L – 2L ทั้ง ประตู. ปากคลอง และ ประตู. กลางคลอง ตามผลของแบบจำลองวันละ 2 ครั้ง เวลา 07.30 น. และ 15.30 น. โดย Tolerance ของ ประตู. แต่ละแห่งกำหนดตามตารางที่ 27

3.3.3 กำหนดให้มีการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยทุกวันจันทร์ ตามความต้องการน้ำที่คำนวณได้จากวิธีการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของพืชตามข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกรายสัปดาห์ที่ปรับปรุงขึ้น และสามารถปรับบานได้ตลอดเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริงในพื้นที่

3.4 COM_Day

COM_Day เป็นการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ปรับปรุงขึ้น ซึ่งใช้แบบจำลอง COM Model เป็นเครื่องมือช่วยตัดสินใจในการควบคุมและบริหารคลองส่งน้ำ กำหนดความถี่ของการตรวจวัด และปรับบานของ ประตู, กลางคลอง 5L – 2L ที่ 1 ครั้ง/วัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 กำหนดให้มีการตรวจวัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ทำให้น้ำ และระยะเปิดบานของ ประตู, กลางคลอง 5L – 2L ด้วยระบบโทรมาตร และระบบบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ ทุกครึ่งชั่วโมง

3.4.2 กำหนดให้มีการปรับบาน ประตู, ของคลอง 5L – 2L ทั้ง ประตู, ปากคลอง และ ประตู, กลางคลอง ตามผลของแบบจำลอง วันละครั้ง เวลา 07.30 น. โดยกำหนด Tolerance ของ ประตู, แต่ละแห่งกำหนดตามตารางที่ 27

3.4.3 กำหนดให้มีการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยทุกวันจันทร์ ตามความต้องการน้ำที่คำนวณได้จากวิธีการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของพืชตามข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกรายสัปดาห์ที่ปรับปรุงขึ้น และสามารถปรับบานได้ตลอดเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริงในพื้นที่

3.5 CAS

CAS เป็นการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System) ที่ติดตั้งอยู่ในคลอง 5L – 2L มีความถี่ของการตรวจวัด และปรับบานของ ประตู, กลางคลอง 5L – 2L เป็นแบบตลอดเวลา และทุกครึ่งชั่วโมงที่ ประตู, ปากคลอง 5L – 2L โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 กำหนดให้มีการตรวจวัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ทำให้น้ำ และระยะเปิดบานของ ประตู, ปากคลอง และกลางคลอง 5L – 2L ด้วยระบบโทรมาตรแบบเวลาจริง ทุกครึ่งชั่วโมง

3.5.2 กำหนดให้มีการปรับบานของ ประตู. ปากคลอง 5L – 2L ทุกครึ่งชั่วโมง เพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้า ประตู. กลางคลองให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย โดยใช้หลักการควบคุม แบบปริมาตรน้ำคงที่ (Constant volume)

3.5.3 กำหนดให้มีการปรับบานของ ประตู. กลางคลอง 5L – 2L แบบตลอดเวลา เพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้า ประตู. กลางคลองให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย กำหนดช่วงการควบคุม (Tolerance) ของ ประตู. แต่ละแห่งเท่ากับ ± 0.10 เมตร

3.5.4 กำหนดให้มีการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยทุกวันจันทร์ ตามความต้องการน้ำที่คำนวณได้จากวิธีการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำของพืชตามข้อมูลพื้นที่ เพาะปลูกรายสัปดาห์ที่ปรับปรุงขึ้น และสามารถปรับบาน ได้ตลอดเวลาเพื่อให้สอดคล้องกับ ความต้องการน้ำจริงในพื้นที่

ผลการทดสอบการปรับปรุงการบริหารคลองส่งน้ำ

งานวิจัยนี้ กำหนดเป้าหมายในการบริหารคลองส่งน้ำให้สามารถรักษาระดับน้ำในคลอง 5L – 2L ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้ำเข้าคลองซอยไม่เกิน 10% ของอัตราการไหลในคลองซอย ดังนั้นสามารถแบ่งผลการทดสอบวิธีบริหารคลองส่งน้ำ ออกเป็น 2 ประเภทคือ การควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด และการส่งน้ำให้ พื้นที่เพาะปลูกสอดคล้องกับความต้องการน้ำ ดังนั้นข้อมูลที่ทำการตรวจวัด และบันทึกเพื่อทำการ ประเมินผลการบริหารคลองส่งน้ำประกอบด้วย ระดับน้ำด้านหน้า ประตู. กลางคลอง และปริมาณน้ำ ที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในแต่ละช่วงคลอง โดยแบ่งช่วงคลอง ออกเป็น 5 ช่วง รายละเอียดของระดับ น้ำเป้าหมายและช่วงการควบคุมตามตารางที่ 45 สำหรับช่วงเวลาระหว่างวันที่ 4 ตุลาคม 2553 – 7 พฤศจิกายน 2553 มีการปรับเปลี่ยนระดับน้ำเป้าหมายเกือบทุกสัปดาห์เนื่องจากต้องปรับเป้าหมาย การส่งน้ำให้สอดคล้องกับปัญหาน้ำท่วมที่เกิดขึ้นในพื้นที่ด้านท้ายน้ำ และต้องส่งน้ำให้พื้นที่ เพาะปลูกเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงหยุดการส่งน้ำระหว่างวันที่ 15 พฤศจิกายน 2553 – 15 มกราคม 2554

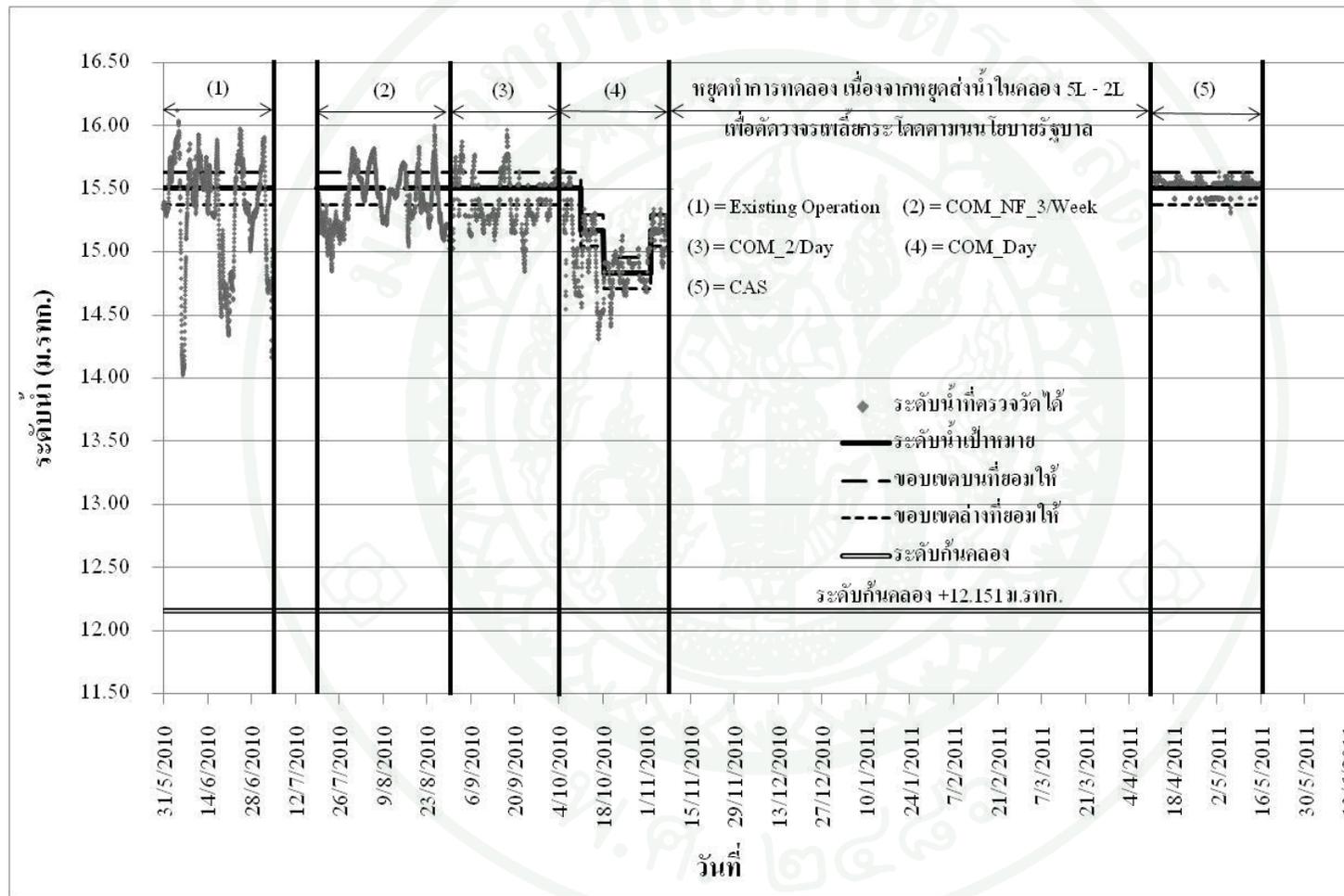
ตารางที่ 45 ระดับน้ำเป้าหมายและช่วงการควบคุมของคลอง 5L – 2L

ช่วงคลอง	อาคารควบคุมน้ำ	ระดับน้ำควบคุม (ม.รทก.)		
		เป้าหมาย	ขอบเขตบน	ขอบเขตล่าง
ช่วงคลองที่ 1 กม.0+020 – 3+650	ปตร. กลางคลอง กม. 3+650	15.501 ± 0.128	15.629	15.373
ช่วงคลองที่ 2 กม.3+650 – 9+813	ปตร. กลางคลอง กม. 9+813	14.276 ± 0.164	14.440	14.112
ช่วงคลองที่ 3 กม.9+813 – 14+750	ปตร. กลางคลอง กม. 14+750	12.681 ± 0.196	12.877	12.485
ช่วงคลองที่ 4 กม.14+750 – 20+300	ปตร. กลางคลอง กม. 20+300	10.948 ± 0.167	11.115	10.781
ช่วงคลองที่ 5 กม.20+300 – 26+401	ปตร. กลางคลอง กม. 26+401	8.500 $+0.313$	8.813	8.187

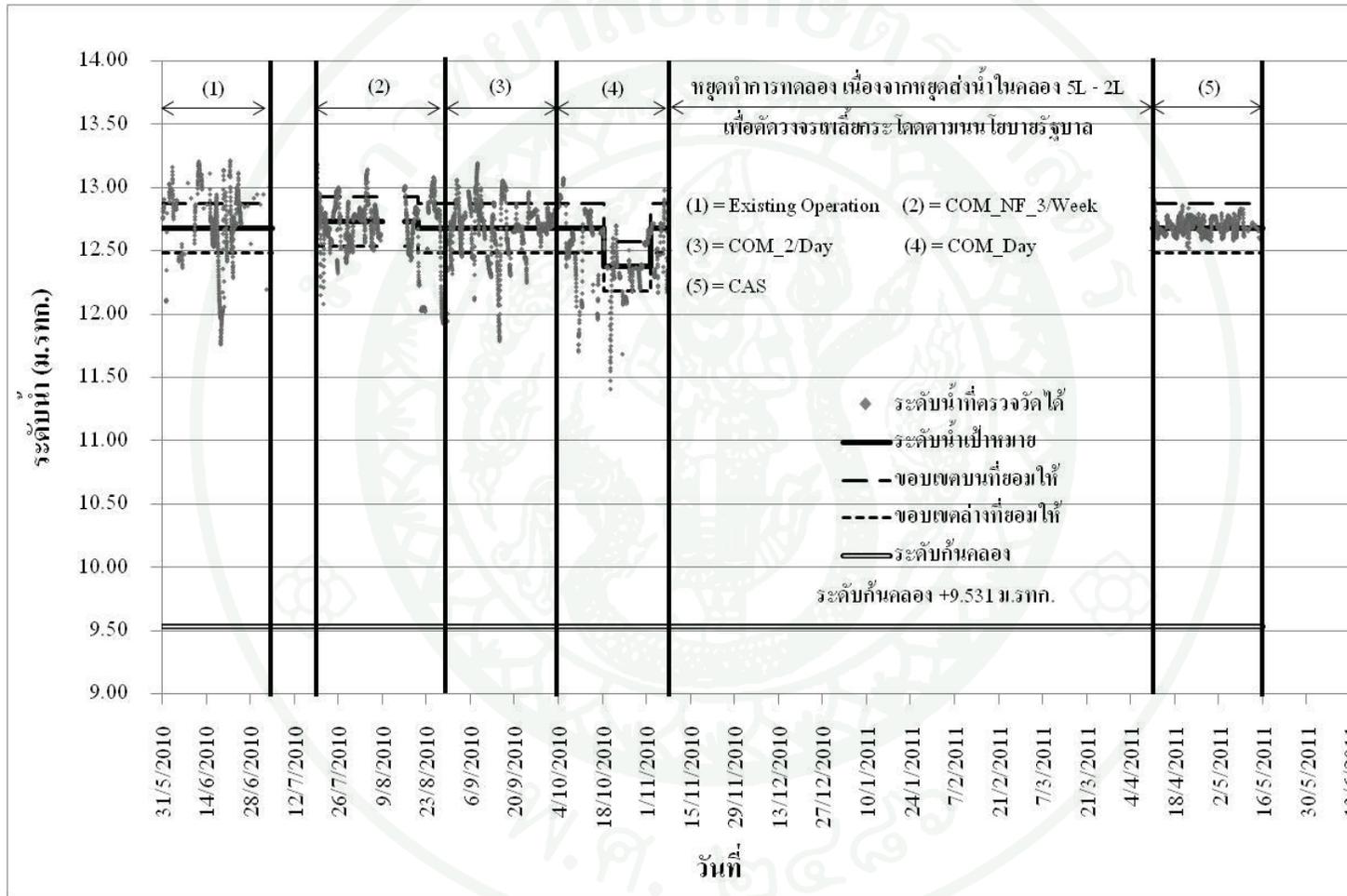
หมายเหตุ (1) ขอบเขตบนและล่างคำนวณจากระดับน้ำเป้าหมาย \pm ช่วงการควบคุมของช่วงคลอง
(2) ระดับน้ำเป้าหมายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามสถานการณ์และความจำเป็น

1. ผลการควบคุมระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง

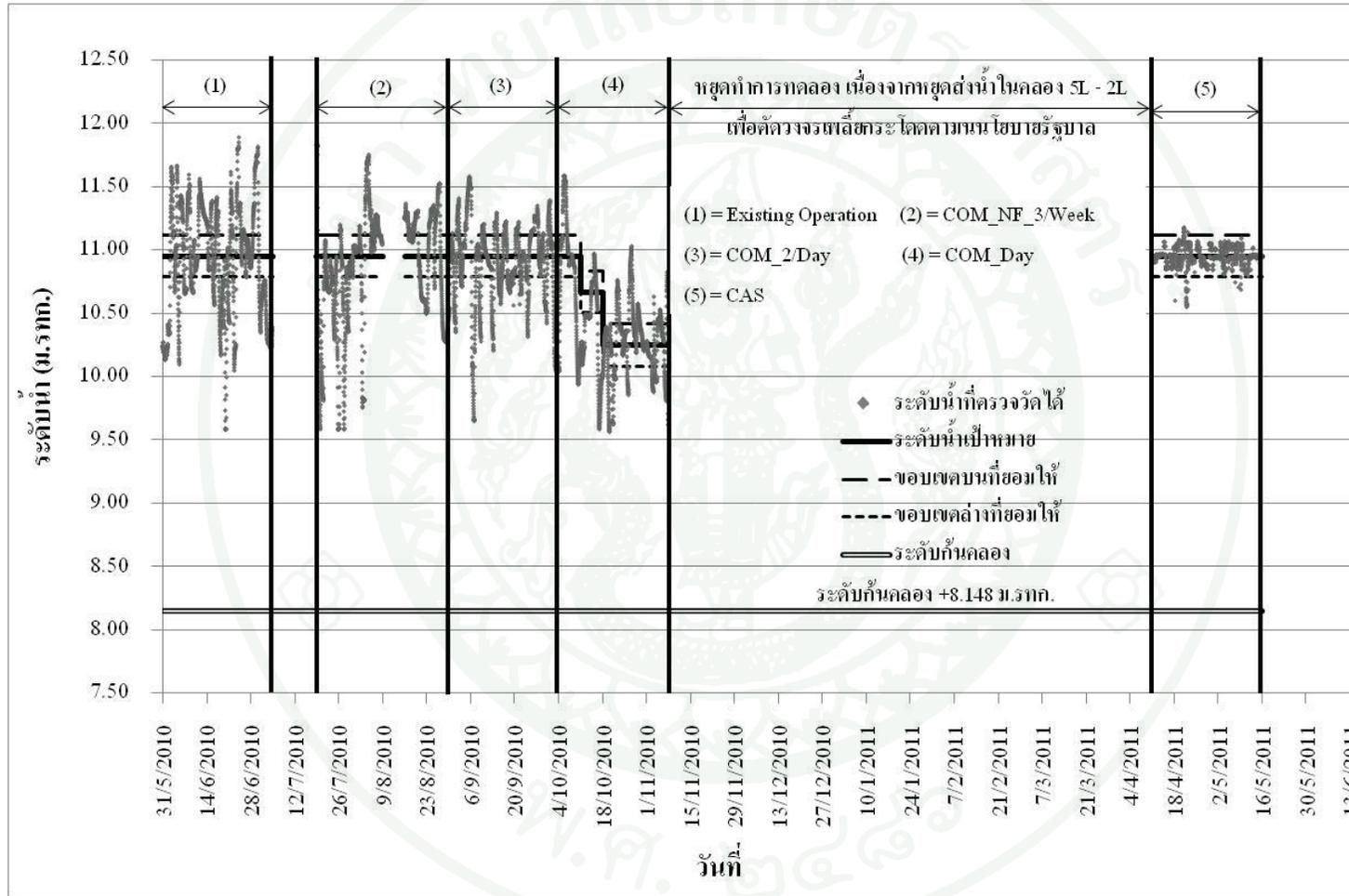
จากการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ตามตารางที่ 44 ได้ผลการควบคุมระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลองของช่วงคลองต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ 5 ช่วงคลอง ตามภาพที่ 54 – 58 และสามารถอธิบายผลการบริหารคลองส่งน้ำตามวิธีต่าง ๆ แยกเป็นรายช่วงคลองได้ ดังนี้



ภาพที่ 54 ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L - 2L กม.3+650 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 - 15 พฤษภาคม 2554



ภาพที่ 56 ระดับน้ำด้านหน้า ประตู กลางคลอง 5L – 2L กม.14+750 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554



ภาพที่ 57 ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.20+300 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554

1.1 ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 1 (ระหว่างกม.0+020 – 3+650) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง กม.3+650 เป็นตัวแทน ระดับน้ำเป้าหมายอยู่ที่ +15.501 ม.รทก. จากผลการทดสอบตามภาพที่ 54 พบว่า วิธีบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ระดับน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมายสูงสุด ค่าพิสัยอยู่ระหว่าง +16.122 ถึง +14.019 ม.รทก. โดยความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่จะเป็นไปในทิศทางต่ำกว่าระดับเป้าหมาย เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของโครงการกำหนดช่วงการควบคุมไว้กว้างมากอยู่ที่ 0.20 เมตร ทางด้านบวกและ 0.60 เมตร ทางด้านลบ ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด ค่าพิสัยอยู่ระหว่าง +15.634 ถึง +15.303 ม.รทก. สำหรับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีตามลำดับขึ้นอยู่กับความถี่ในการปรับบาน ค่าพิสัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง +15.873 ถึง +14.666 ม.รทก. ถึงแม้ว่าใช้ความถี่ในการปรับบาน 3 ครั้ง/สัปดาห์ (COM_NF_3/Week) ก็สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีกว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบปกติของโครงการฯ (Existing Operation) ซึ่งกำหนดให้มีการตรวจวัดและปรับบานทุกวัน

1.2 ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 2 (ระหว่างกม.3+650 – 9+813) ใช้ระดับน้ำด้านหน้าปตร. กลางคลอง กม.9+813 เป็นตัวแทน ระดับน้ำเป้าหมายอยู่ที่ +14.276 ม.รทก. จากผลการทดสอบตามภาพที่ 55 พบว่า วิธีบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ระดับน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมายสูงสุด ค่าพิสัยอยู่ระหว่าง +14.620 ถึง +13.084 ม.รทก. โดยความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่จะเป็นไปในทิศทางต่ำกว่าระดับเป้าหมาย เนื่องจากเจ้าหน้าที่ของโครงการกำหนดช่วงการควบคุมไว้กว้างมากอยู่ที่ 0.20 เมตร ทางด้านบวกและ 0.60 เมตร ทางด้านลบ ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด ค่าพิสัยอยู่ระหว่าง +14.544 ถึง +13.920 ม.รทก. สำหรับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีตามลำดับขึ้นอยู่กับความถี่ในการปรับบาน ค่าพิสัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง +14.676 ถึง +13.485 ม.รทก. นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_NF_3/Week มีความสามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีใกล้เคียงกับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ แตกต่างกันที่ COM_NF_3/Week ความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำส่วนมากสูงกว่าระดับเป้าหมาย แต่ Existing Operation วิธีบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ ความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำส่วนมากต่ำกว่าระดับเป้าหมาย

1.3 ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 3 (ระหว่างกม.9+813 – 14+750) ใช้ระดับน้ำด้านหน้าปตร. กลางคลอง กม.14+750 เป็นตัวแทน ระดับน้ำเป้าหมายอยู่ที่ +12.681 ม.รทก. จากผลการทดสอบ ตามภาพที่ 56 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุม ระดับน้ำให้อยู่ใกล้เคียงเป้าหมายได้ดีที่สุด ค่าพิสัยอยู่ระหว่าง +12.905 ถึง +12.517 ม.รทก. สำหรับวิธี บริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลอง บริหารคลองส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) มีความสามารถในการ ควบคุมระดับน้ำใกล้เคียงกัน ค่าพิสัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง +13.160 ถึง +11.714 ม.รทก. สาเหตุหลักมา จากการที่กลุ่มผู้ใช้น้ำขาดความเข้มแข็ง ไม่เข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารจัดการน้ำกับโครงการ และอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3L – 5L – 2L ชำรุดไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลได้ ต้อง ใช้การควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยแทน ทำให้เกษตรกรทั้งด้านเหนือ น้ำ และท้ายน้ำของ ปตร. กลางคลอง กม.14+750 เข้ามาทำการปรับบานบังคับน้ำของอาคารควบคุม ด้วยตนเองโดยไม่มีแรงจูงใจให้เจ้าหน้าที่ทราบเนื่องจากผู้ใช้น้ำในคลองซอย 3L – 5L – 2L ด้าน ปลายคลองประกอบอาชีพเลี้ยงปลาและกุ้ง ซึ่งมีความต้องการใช้น้ำตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อระดับน้ำ ด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3L – 5L – 2L ต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด บ่อกุ้ง และบ่อปลาจะได้รับน้ำไม่เพียงพอกับการหมุนเวียนน้ำในบ่อ จึงเข้ามาปรับบานของ ปตร. กลาง คลอง กม.14+750 เพื่อยกระดับน้ำให้สูงขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับช่วงคลองที่ 4 ซึ่งรับน้ำ จาก ปตร. กลางคลอง กม.14+750 เกษตรผู้ใช้น้ำจะได้รับน้ำน้อยลงไม่เพียงพอกับความ ต้องการ ก็จะเข้ามาปรับบานของ ปตร. กลางคลอง กม.14+750 เพื่อเพิ่มอัตราการไหลผ่านอาคารให้สูงขึ้น

1.4 ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 4 (ระหว่างกม.14+750 – 20+300) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง กม.20+300 เป็นตัวแทน ระดับน้ำเป้าหมายอยู่ที่ +10.948 ม.รทก. จากผลการทดสอบ ตามภาพที่ 57 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุม ระดับน้ำให้อยู่ใกล้เคียงเป้าหมายได้ดีที่สุด ค่าพิสัยอยู่ระหว่าง +11.176 ถึง +10.548 ม.รทก. สำหรับวิธี บริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลอง บริหารคลองส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) มีความสามารถในการ ควบคุมระดับน้ำใกล้เคียงกัน ค่าพิสัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง +11.717 ถึง +9.596 ม.รทก. เป็นผลมาจาก การที่เกษตรกรเข้าไปปรับบานบังคับน้ำของ ปตร. กลางคลอง กม. 14+750 ด้วยตนเองโดยไม่มี การแรงจูงใจให้เจ้าหน้าที่ทราบ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในช่วงคลองที่ 4

1.5 ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 5 (ระหว่างกม.20+300 – 26+401) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง กม.26+401 เป็นตัวแทน ระดับน้ำเป้าหมายอยู่ที่ +8.500 ม.รทก. จากผลการทดสอบ ตามภาพที่ 58 พบว่า วิธีบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ระดับน้ำมีความ คลาดเคลื่อนจากเป้าหมายสูงสุด ค่าพิสัยอยู่ระหว่าง +9.095 ถึง +7.077 ม.รทก. โดยความคลาด เคลื่อนส่วนใหญ่จะเป็นไปในทิศทางต่ำกว่าระดับเป้าหมาย ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วย ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด ค่าพิสัยอยู่ ระหว่าง +8.964 ถึง +7.822 ม.รทก. สำหรับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลอง ส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้ เป้าหมายได้ดีตามลำดับขึ้นอยู่กับความถี่ในการปรับบาน ค่าพิสัยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง +8.944 ถึง +7.135 ม.รทก. ถึงแม้ว่าใช้ความถี่ในการปรับบาน 3 ครั้ง/สัปดาห์ (COM_NF_3/Week) ก็สามารถควบคุม ระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีกว่าวิธีบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ซึ่งกำหนดให้มีการตรวจวัดและปรับบานทุกวัน โดยในช่วงคลองที่ 5 โครงการฯ มีนโยบายใน กำหนดระดับน้ำเป้าหมายที่เปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ เช่น ปรับลดน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วม หรือทำการซ่อมแซมอาคารชลประทาน เป็นต้น

เมื่อประเมินในภาพรวมทั้งระบบพบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับน้ำเป้าหมายได้ดีที่สุด ถึงแม้ว่าช่วงเวลาที่ทดสอบ จะมีความผันแปรของความต้องการน้ำน้อยกว่าทุกช่วงเวลา (ช่วงฤดูแล้ง) แต่เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้ มีความแตกต่างอย่างชัดเจน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระบบคลองอัตโนมัติมีความสามารถในการ ควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายได้ดีที่สุด ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลอง บริหารคลองส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) สามารถควบคุมระดับน้ำ ให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีตามลำดับขึ้นอยู่กับความถี่ในการปรับบาน และวิธีบริหารคลองส่งน้ำของ โครงการ (Existing Operation) มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย ต่ำที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดในการปรับปรุงวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และความถี่ในการปรับบาน ที่กำหนดไว้ว่าถ้าระบบที่มีความถี่ของการตรวจวัดและปรับบานสูงมีความสามารถควบคุมระดับน้ำ ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายได้ดีกว่าระบบที่มีความถี่ของการตรวจวัดและปรับบานต่ำ โดยระหว่างวันที่ 4 ตุลาคม 2553 – 7 พฤศจิกายน 2553 มีการปรับลดระดับน้ำเป้าหมายลงในทุกช่วงคลอง เนื่องจาก ช่วงเวลาดังกล่าวพื้นที่ส่งน้ำของคลอง 5L – 2L บางส่วนเกิดน้ำท่วม ดังนั้นเพื่อเป็นการลดแรง กดดันด้านมวลชนในพื้นที่ โครงการจึงมีนโยบายปรับลดระดับน้ำในคลอง 5L – 2L ในทุกช่วง คลองลง

2. เกณฑ์ประเมินผลค่าดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ

เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มค่าดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำจำนวน 3 ดัชนี กำหนดความหมายจากค่าดัชนีจากเกณฑ์การให้คะแนนของ RAP เพื่อให้ผลการประเมินเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และสะดวกในการพิจารณาผลการประเมิน

2.1 ดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum absolute error, MAE)

ค่าดัชนี MAE บอกถึงความคลาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำห่างจากเป้าหมายสูงสุด ต่อความลึกของน้ำที่กำหนด โดยเกณฑ์การแปลความหมายจากค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE) กำหนดจากการควบคุมการส่งน้ำ และคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ ดังนี้

ดี หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจากเป้าหมายต้องไม่มากกว่าระดับเก็บกักของคลองซอย และระดับน้ำสูงสุดในคลองสายใหญ่เพราะหมายถึงยังสามารถควบคุมการส่งน้ำได้

พอใช้ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจากเป้าหมายต้องไม่ต่ำกว่าระดับธรณีของคลองซอย และไม่สูงกว่าระดับตลิ่งของคลองสายใหญ่เพราะหมายถึงยังสามารถส่งน้ำเข้าคลองซอยได้ และน้ำไม่เอ่อล้นตลิ่งสร้างความเสียหายให้กับพื้นที่เพาะปลูก

ต้องปรับปรุง หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจากเป้าหมายต่ำกว่าระดับธรณีของคลองซอย และสูงกว่าระดับตลิ่งของคลองสายใหญ่เพราะหมายถึงไม่สามารถส่งน้ำเข้าคลองซอยได้ และน้ำสามารถเอ่อล้นตลิ่งสร้างความเสียหายให้กับพื้นที่เพาะปลูก

เนื่องจากแต่ละช่วงคลองมีคุณสมบัติของอาคาร และเป้าหมายในการควบคุมระดับน้ำที่แตกต่างกัน ทำให้เกณฑ์การกำหนดความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE) แตกต่างกันตามตารางที่ 46 ดังนี้

ตารางที่ 46 ความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE)

ช่วงคลอง	ค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุดตามเกณฑ์ (เมตร/เมตร)		
	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
คลอง 5L – 2L	≤ 0.19	0.20 – 0.42	≥ 0.43
ช่วงคลองที่ 1	≤ 0.17	0.18 – 0.36	≥ 0.37
ช่วงคลองที่ 2	≤ 0.19	0.20 – 0.40	≥ 0.41
ช่วงคลองที่ 3	≤ 0.17	0.18 – 0.37	≥ 0.38
ช่วงคลองที่ 4	≤ 0.18	0.19 – 0.40	≥ 0.41
ช่วงคลองที่ 5	≤ 0.25	0.26 – 0.57	≥ 0.58

2.2 ดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Integrated absolute error, IAE)

ค่าดัชนี IAE บอกถึงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการควบคุมระดับน้ำห่างจากเป้าหมาย ทั้งสูงกว่า และต่ำกว่าเป้าหมาย ต่อความลึกของน้ำที่กำหนด โดยเกณฑ์การแปลความหมายจากค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE) ปรับปรุงจากดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำของ RAP ตามสมการที่ (67) ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

ดี	หมายถึง	ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมีค่าน้อยกว่า 0.20
พอใช้	หมายถึง	ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมีค่าอยู่ระหว่าง 0.20 – 0.50
ต้องปรับปรุง	หมายถึง	ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำมีค่ามากกว่า 0.50

เนื่องจากแต่ละช่วงคลองมีคุณสมบัติของอาคารแตกต่างกัน ทำให้เกณฑ์การกำหนดความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE) แตกต่างกันตามตารางที่ 47

$$WLF = \frac{\Delta WL}{H_E} \quad (67)$$

โดยที่	WLF	คือ ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ
	ΔWL	คือ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำปากคลอง (เมตร)
	H_E	คือ ผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำปากคลอง (เมตร)

ตารางที่ 47 ความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE)

ช่วงคลอง	ค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยตามเกณฑ์ (เมตร/เมตร)		
	ดี	พอใช้	ต้องปรับปรุง
คลอง 5L – 2L	≤ 0.04	0.05 – 0.09	≥ 0.10
ช่วงคลองที่ 1	≤ 0.03	0.04 – 0.05	≥ 0.06
ช่วงคลองที่ 2	≤ 0.03	0.04 – 0.08	≥ 0.09
ช่วงคลองที่ 3	≤ 0.06	0.07 – 0.13	≥ 0.14
ช่วงคลองที่ 4	≤ 0.04	0.05 – 0.09	≥ 0.10
ช่วงคลองที่ 5	≤ 0.05	0.06 – 0.11	≥ 0.12

2.3 ดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of Water Level Control, RWLC)

ค่าดัชนี RWLC บอกถึงความสามารถในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในเป้าหมาย โดยเป้าหมายของงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ $\pm 10\%$ หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำจะส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลในคลองขอยไม่เกิน $\pm 10\%$ สำหรับเกณฑ์การแปลความหมายจากค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (RWLC) กำหนดจากเป้าหมายการควบคุมการส่งน้ำของ RAP และคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ โดย

ดี หมายถึง สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในช่วงการควบคุม (Tolerance) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนครั้งที่ทำการตรวจวัด

พอใช้ หมายถึง สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในช่วงการควบคุม (Tolerance) อยู่ระหว่างร้อยละ 51 - 79 ของจำนวนครั้งที่ทำการตรวจวัด

ต้องปรับปรุง หมายถึง สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในช่วงการควบคุม (Tolerance) น้อยกว่าร้อยละ 50 ของจำนวนครั้งที่ทำการตรวจวัด

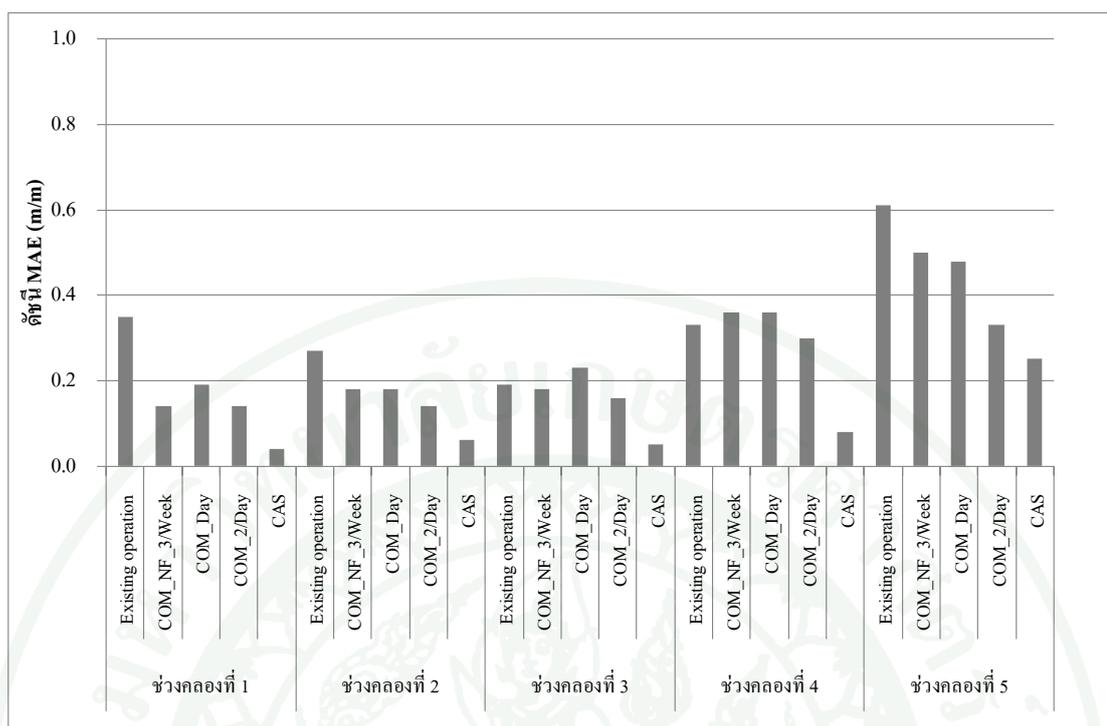
3. ดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ

3.1 ดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum Absolute Error, MAE)

จากผลการคำนวณค่าดัชนี MAE ตารางที่ 48 ตามภาพที่ 59 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation) และช่วงคลอง (Canal Section) ด้วยวิธี Analysis of Variance (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 49 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองมีอิทธิพลต่อค่าดัชนี MAE ของคลอง 5L – 2L ซึ่งไม่เป็นไปตามแนวคิดของการพัฒนาวิธีควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ที่กำหนดให้ความถี่ของการปรับบานทุกช่วงคลองเท่ากันในแต่ละวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ เนื่องจากช่วงคลองไม่มีอิทธิพลต่อการควบคุมระดับน้ำ

ตารางที่ 48 ค่าดัชนี MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L

วิธีการบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี MAE (m/m)					5L – 2L	ความหมาย
	ช่วงคลอง						
	1	2	3	4	5		
Existing Operation	0.35	0.27	0.19	0.33	0.61	0.35	พอใช้
COM_NF_3/Week	0.14	0.18	0.18	0.36	0.50	0.27	พอใช้
COM_Day	0.19	0.18	0.23	0.36	0.48	0.29	พอใช้
COM_2/Day	0.14	0.14	0.16	0.30	0.33	0.21	พอใช้
CAS	0.04	0.06	0.05	0.08	0.25	0.10	ดี
เฉลี่ยทุกวิธี	0.17	0.17	0.16	0.29	0.43		
ความหมาย	ดี	ดี	ดี	พอใช้	พอใช้		



ภาพที่ 59 คำนวณค่า MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L

ตารางที่ 49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า MAE ของคลอง 5L – 2L ($\alpha = 0.05$)

Sources of Variation	Degree of Freedom	Sum Square Error	Mean Square Error	P - Value	F	$F_{0.05,4,4}$
Canal Operation	4	0.184	0.046	0.000021	15.736	3.007
Canal Section	4	0.279	0.070	0.000001	23.911	3.007
Error	16	0.047	0.003			
Total	24	0.510				

จากการวิเคราะห์ค่า MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ด้วยวิธี Duncan's (Richard, 1992) โดยใช้โปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 50 และ 51 ตามลำดับ พบว่า

3.1.1 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_2/Day และ COM_NF_3/Week ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่า MAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.1.2 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day และ COM_NF_3/Week ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.1.3 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day & Existing Operation ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.1.4 ช่วงคลองที่ 1 และ 2 มีการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE เฉลี่ยในทุกวิธีการบริหารคลองส่งน้ำเท่ากัน

3.1.5 ช่วงคลองที่ 1, 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 50 ผลการทดสอบดัชนี MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5

เปรียบเทียบวิธีบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
CAS & COM_2/Day	2.998	4.552	มี
CAS & COM_Day	3.235	7.862	มี
CAS & COM_NF_3/Week	3.144	7.035	มี
CAS & Existing	3.298	14.069	มี
COM_2/Day & COM_Day	3.144	3.310	มี
COM_2/Day & COM_NF_3/Week	2.998	2.483	ไม่มี
COM_2/Day & Existing	3.235	5.793	มี
COM_Day & COM_NF_3/Week	2.998	0.828	ไม่มี
COM_Day & Existing	2.998	2.483	ไม่มี
COM_NF_3/Week & Existing	3.144	3.310	มี

ตารางที่ 51 ผลการทดสอบดัชนี MAE ของช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5

เปรียบเทียบช่วงคลอง	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
5 & 4	2.998	5.793	มี
5 & 3	3.235	11.173	มี
5 & 2,1	3.144	10.759	มี
4 & 3	3.144	5.379	มี
4 & 2,1	2.998	4.966	มี
3 & 2,1	2.998	0.414	ไม่มี

จากผลการทดสอบดัชนี MAE ตามตารางที่ 48 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE อยู่ในเกณฑ์ดี ได้แก่ CAS (MAE = 0.10 เมตร/เมตร) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ประกอบด้วย COM_2/Day, COM_Day, COM_NF_3/Week และ Existing Operation (MAE = 0.21, 0.29, 0.27 และ 0.35 เมตร/เมตร ตามลำดับ) แต่เมื่อทำการจัดกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 50 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่มตามตารางที่ 52 คือ กลุ่มที่ 1 CAS เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE ดีที่สุด กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE รองลงมา ประกอบด้วย COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE ต่ำที่สุด ประกอบด้วย Existing Operation และ COM_Day ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE ดีที่สุด ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำสามารถลดความคลาดเคลื่อนสูงสุดรายสัปดาห์ของระดับน้ำกับระดับน้ำเป้าหมายลงได้ถึง 0.06 – 0.14 เมตร ต่อความลึกของน้ำ 1 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับ การควบคุมตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ขึ้นอยู่กับความถี่ในการตรวจวัดระดับและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำ รวมถึงสถานการณ์น้ำในช่วงเวลาส่งน้ำด้วย

ตารางที่ 52 ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี MAE

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	จำนวน ช่วงคลอง	ค่าดัชนี MAE		
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
Existing Operation	5			0.35
COM_NF_3/Week	5		0.27	
COM_Day	5		0.29	0.29
COM_2/Day	5		0.21	
CAS	5	0.1		

สำหรับช่วงคลองส่งน้ำ จากผลการทดสอบดัชนี MAE ตามตารางที่ 48 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE อยู่ในเกณฑ์ดี ได้แก่ ช่วงคลองที่ 1, 2 และ 3 ให้ค่าดัชนี MAE = 0.17, 0.17 และ 0.16 เมตร/เมตร ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้แก่ ช่วงคลองที่ 4 และ 5 ให้ค่าดัชนี MAE = 0.29 และ 0.43 เมตร/เมตร ตามลำดับ แต่เมื่อทำการจัดกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 51 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่ม ตามตารางที่ 53 คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มของช่วงคลองที่สามารถควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE ได้ง่าย ประกอบด้วย ช่วงคลองที่ 1, 2 และ 3 กลุ่มที่ 2 คือช่วงคลองที่ 4 เป็นช่วงคลองที่ต้องใช้วิธีการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE ที่มีความเหมาะสมเพิ่มขึ้น และกลุ่มที่ 3 คือช่วงคลองที่ 5 เป็นช่วงคลองที่การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี MAE ทำได้ยาก เนื่องจากในช่วงคลองที่ 5 มีช่วงการควบคุมที่ยอม (Tolerance) ให้ (Tolerance = 0.313 เมตร) กว้างกว่าทุกช่วงคลอง (Tolerance ช่วงคลองที่ 1 – 4 อยู่ระหว่าง 0.128 – 0.196 เมตร) และระบบควบคุมแบบเหนือน้ำ (Upstream Control) เป็นระบบควบคุมที่ตอบสนองการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำต้นคลองมากกว่าปลายคลอง ทำให้ช่วงคลองที่ 5 ซึ่งเป็นช่วงคลองสุดท้ายของระบบส่งน้ำคลอง 5L – 2L สะสมผลความคลาดเคลื่อนของการควบคุมการส่งน้ำในทุกช่วงคลอง

ตารางที่ 53 ผลการการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี MAE

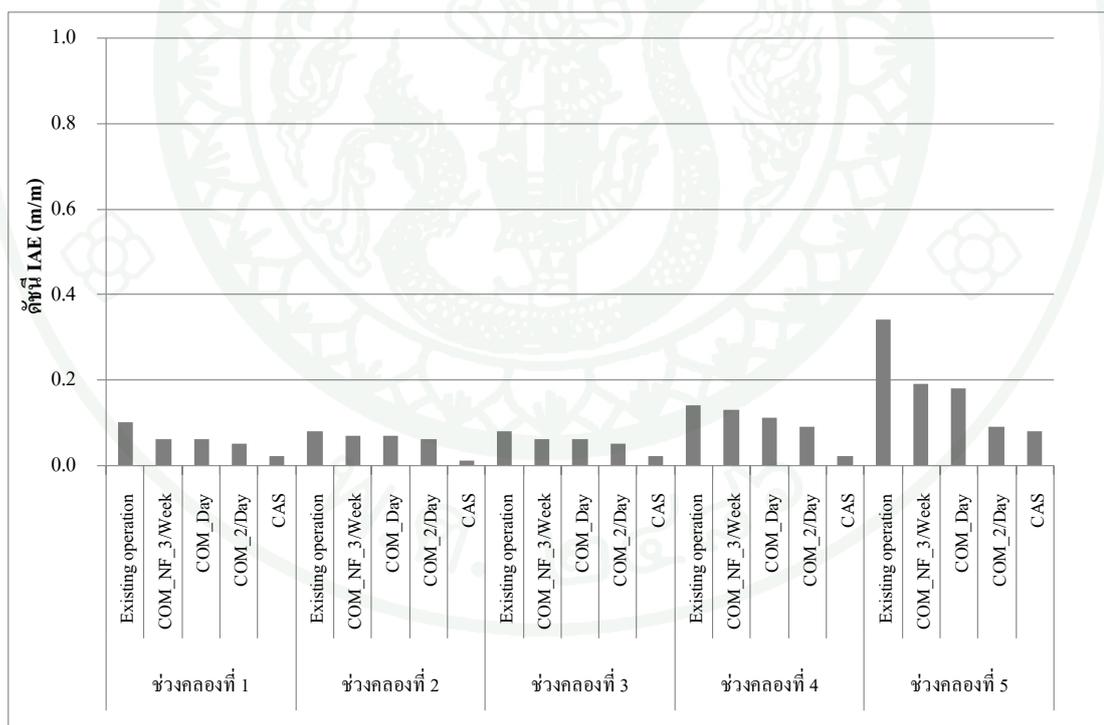
ช่วงคลอง	จำนวนวิธีบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี MAE		
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
1	5	0.17		
2	5	0.17		
3	5	0.16		
4	5		0.29	
5	5			0.43

3.2 คำนวณความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Integrated Absolute Error, IAE)

จากผลการคำนวณค่าดัชนี IAE ตารางที่ 54 ตามภาพที่ 60 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ (Operation) และช่วงคลอง (Section) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 55 พบว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองมีอิทธิพลต่อค่าดัชนี IAE ของคลอง 5L – 2L ซึ่งไม่เป็นไปตามแนวคิดของการพัฒนาวิธีควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ที่กำหนดให้ความถี่ของการปรับบานทุกช่วงคลองเท่ากันในแต่ละวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ เนื่องจากช่วงคลองไม่มีอิทธิพลต่อการควบคุมระดับน้ำ แต่จากผลการทดสอบพบว่าในช่วงคลองที่ 3 ให้ค่าดัชนี IAE ดีที่สุดเนื่องจากการเข้าไปปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลองในอัตราความถี่สูงเพื่อรักษาระดับน้ำให้อยู่ที่เป้าหมาย ทั้งจากเจ้าหน้าที่ของโครงการ และจากตัวของเกษตรกรผู้ใช้น้ำ สำหรับในช่วงคลองที่ 1, 4 และ 5 อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุงเนื่องจากระดับน้ำการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่สูงกว่า 0.50 เท่าของผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย ทำให้เจ้าหน้าที่ไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยได้ตามเป้าหมายที่กำหนด และเมื่อพิจารณาจากช่วงคลองที่ 3 ที่ให้ค่าดัชนี IAE ดีที่สุด เนื่องจากการเข้าไปปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลองในอัตราความถี่สูง ดังนั้นในช่วงคลองที่ 1, 4 และ 5 ควรเพิ่มความถี่ให้เจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัดและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลองสายใหญ่มากขึ้น

ตารางที่ 54 ค่าดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L

วิธีการบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี IAE (m/m)					5L – 2L	ความหมาย
	ช่วงคลอง						
	1	2	3	4	5		
Existing Operation	0.10	0.08	0.08	0.14	0.34	0.15	ปรับปรุง
COM_NF_3/Week	0.06	0.07	0.06	0.13	0.19	0.10	พอใช้
COM_Day	0.06	0.07	0.06	0.11	0.18	0.10	พอใช้
COM_2/Day	0.05	0.06	0.05	0.09	0.09	0.07	พอใช้
CAS	0.02	0.01	0.02	0.02	0.08	0.03	ดี
เฉลี่ยทุกวิธี	0.06	0.06	0.05	0.10	0.18		
ความหมาย	ปรับปรุง	พอใช้	ดี	ปรับปรุง	ปรับปรุง		



ภาพที่ 60 ดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลอง 5L – 2L

ตารางที่ 55 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี IAE ของคลอง 5L – 2L ($\alpha = 0.05$)

Sources of Variation	Degree of Freedom	Sum Square Error	Mean Square Error	P - Value	F	$F_{0.05,4,4}$
Canal Operation	4	0.038	0.010	0.002401	6.634	3.007
Canal Section	4	0.054	0.013	0.000417	9.398	3.007
Error	16	0.023	0.001			
Total	24	0.115				

จากการวิเคราะห์ดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ด้วยวิธี Duncan's (Richard, 1992) โดยใช้โปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 56 และ 57 ตามลำดับ พบว่า

3.2.1 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day และ COM_NF_3/Week มีการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE เฉลี่ยในทุกช่วงคลองส่งน้ำเท่ากัน

3.2.2 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ CAS และ COM_2/Day ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.2.3 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.2.4 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบ COM_Day, COM_NF_3/Week และ Existing Operation ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.2.5 ช่วงคลองที่ 1 และ 2 มีการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE เฉลี่ยในทุกวิธีการบริหารคลองส่งน้ำเท่ากัน

3.2.6 ช่วงคลองที่ 1, 2 และ 3 ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.2.7 ช่วงคลองที่ 1, 2 และ 4 ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 56 ผลการทดสอบดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4

เปรียบเทียบวิธีบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
CAS & COM_2/Day	2.998	2.360	ไม่มี
CAS & COM_Day, COM_NF_3/Week	3.144	4.131	มี
CAS & Existing	3.235	7.081	มี
COM_2/Day & COM_Day, COM_NF_3/Week	2.998	1.770	ไม่มี
COM_2/Day & Existing	3.144	4.721	มี
COM_Day, COM_NF_3/Week & Existing	2.998	2.995	ไม่มี

ตารางที่ 57 ผลการทดสอบดัชนี IAE ของช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4

เปรียบเทียบช่วงคลอง	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
5 & 4	2.998	4.721	มี
5 & 3	3.235	7.671	มี
5 & 1,2	3.144	7.081	มี
4 & 3	3.144	2.950	ไม่มี
4 & 1,2	2.998	2.360	ไม่มี
3 & 1,2	2.998	2.360	ไม่มี

จากผลการทดสอบดัชนี IAE ตามตารางที่ 54 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อยู่ในเกณฑ์ดี คือ CAS (IAE = 0.03 เมตร/เมตร) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ คือ COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week (IAE = 0.07, 0.10 และ 0.10 เมตร/เมตร ตามลำดับ) และ กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง คือ Existing Operation (IAE = 0.15 เมตร/เมตร) และเมื่อทำการจัดกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 56 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่ม ตามตารางที่ 58 คือ กลุ่มที่ 1 CAS และ COM_2/Day เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE ดีที่สุด กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE รองลงมา ประกอบด้วย COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE ต่ำที่สุด ประกอบด้วยวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ Existing Operation, COM_NF_3/Week และ COM_Day ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติมีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE ดีที่สุด ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำสามารถลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายสัปดาห์ของระดับน้ำกับระดับน้ำเป้าหมาย ลงได้ถึง 0.05 – 0.08 เมตร ต่อความลึกของน้ำ 1 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ขึ้นอยู่กับความถี่ในการตรวจวัดระดับและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำ

ตารางที่ 58 ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี IAE

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	จำนวน ช่วงคลอง	ค่าดัชนี IAE		
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
Existing Operation	5	0.15		
COM_NF_3/Week	5	0.10	0.10	
COM_Day	5	0.10	0.10	
COM_2/Day	5		0.07	0.07
CAS	5			0.03

สำหรับช่วงคลองส่งน้ำ จากผลการทดสอบดัชนี IAE ตามตารางที่ 54 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อยู่ในเกณฑ์ดี ได้แก่ ช่วงคลองที่ 3 ให้ค่าดัชนี IAE = 0.05 เมตร/เมตร กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้แก่ ช่วงคลองที่ 2 ให้ค่าดัชนี IAE = 0.06 เมตร/เมตร และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุงได้แก่ ช่วงคลองที่ 1, 4 และ 5 ให้ค่าดัชนี IAE = 0.06, 0.10 และ 0.18 เมตร/เมตร ตามลำดับ แต่เมื่อทำการจัดกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 57 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม ตามตารางที่ 59 คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มของช่วงคลองที่สามารถควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE ได้ง่าย ประกอบด้วย ช่วงคลองที่ 1, 2, 3 และ 4 และกลุ่มที่ 2 คือช่วงคลองที่ 5 เป็นช่วงคลองที่การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE ทำได้ยาก เนื่องจากในช่วงคลองที่ 5 มีช่วงการควบคุมที่ยอม (Tolerance) ใหญ่ (Tolerance = 0.313 เมตร) กว้างกว่าทุกช่วงคลอง (Tolerance ช่วงคลองที่ 1 – 4 อยู่ระหว่าง 0.128 – 0.196 เมตร) และระบบควบคุมแบบเหนือน้ำ (Upstream Control) เป็นระบบควบคุมที่ตอบสนองการใช้น้ำของผู้ใช้น้ำต้นคลองมากกว่าปลายคลอง ทำให้ช่วงคลองที่ 5 ซึ่งเป็นช่วงคลองสุดท้ายของระบบส่งน้ำคลอง 5L – 2L สะสมผลความคลาดเคลื่อนของการควบคุมการส่งน้ำในทุกช่วงคลอง

ตารางที่ 59 ผลการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี IAE

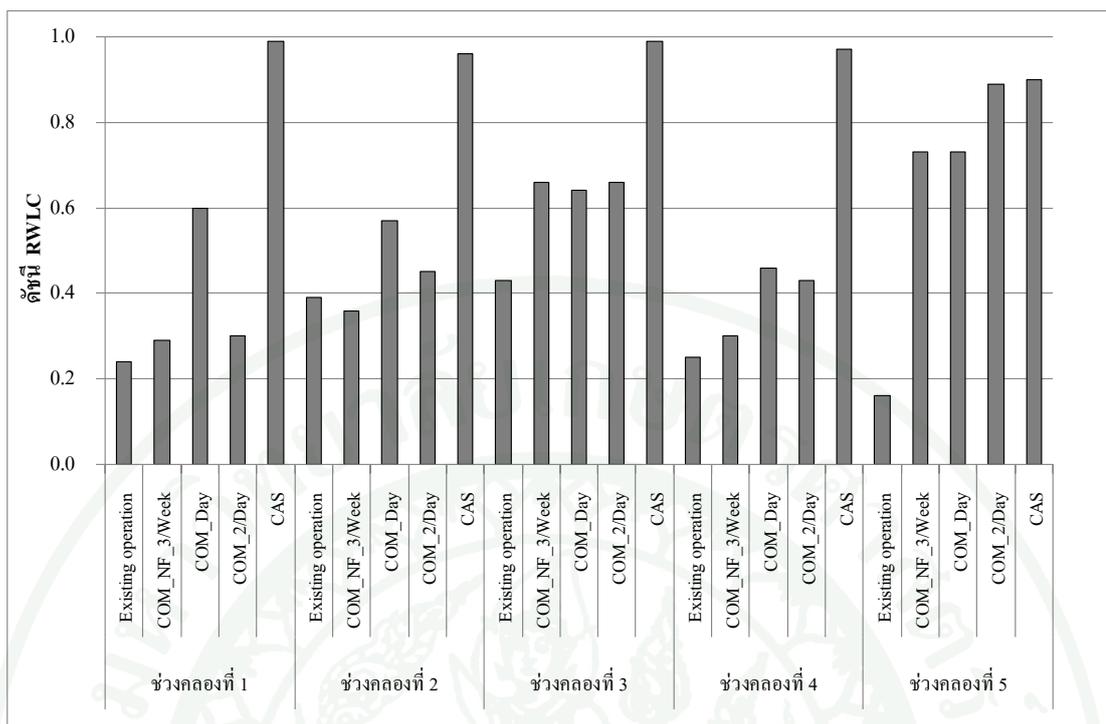
ช่วงคลอง	จำนวนวิธีบริหาร		ค่าดัชนี IAE	
	คลองส่งน้ำ	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	
1	5	0.06		
2	5	0.06		
3	5	0.05		
4	5	0.10		
5	5		0.18	

3.3 คำนวณความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of water level control, RWLC)

จากการคำนวณค่าดัชนี RWLC ตามตารางที่ 60 ภาพที่ 61 และการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ (Operation) และช่วงคลอง (Section) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 61 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ มีอิทธิพลต่อค่าดัชนี RWLC ของคลอง 5L – 2L ส่วนช่วงคลองต่าง ๆ ไม่มีอิทธิพลต่อค่าดัชนี RWLC ของคลอง 5L – 2L ซึ่งเป็นไปตามแนวคิดของการพัฒนาวิธีควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ที่กำหนดให้ความถี่ของการปรับบานในแต่ละช่วงคลองเท่ากันในแต่ละวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ เนื่องจากช่วงคลองไม่มีอิทธิพลต่อการควบคุมระดับน้ำ และเมื่อพิจารณาในผลลัพธ์ของค่าดัชนี RWLC ในแต่ละช่วงคลองพบว่า ในช่วงคลองที่ 1 และ 4 อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง โดยในช่วงคลองที่ 1 มีสาเหตุมาจากความผันแปรของระดับน้ำด้านหน้า ประตู ปากคลอง 5L – 2L ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำในคลอง 5L – 2L ในช่วงคลองที่ 1 มีความผันแปรสูง สำหรับช่วงคลองที่ 4 เป็นผลมาจากการที่เกษตรกรและเจ้าหน้าที่เข้าไปปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลองในช่วงคลองที่ 3 บ่อยครั้ง ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำในช่วงคลองที่ 4 มีความผันแปรสูง ทำให้การควบคุมระดับน้ำในช่วงคลองที่ 1 และ 4 ให้อยู่ในช่วงของการควบคุมทำได้ยาก

ตารางที่ 60 ค่าดัชนี RWLC ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

วิธีการบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี RWLC					5L – 2L	ความหมาย
	ช่วงคลอง						
	1	2	3	4	5		
Existing Operation	0.24	0.39	0.43	0.25	0.16	0.29	ปรับปรุง
COM_NF_3/Week	0.29	0.36	0.66	0.30	0.73	0.47	ปรับปรุง
COM_Day	0.60	0.57	0.64	0.46	0.73	0.60	พอใช้
COM_2/Day	0.30	0.45	0.66	0.43	0.89	0.55	พอใช้
CAS	0.99	0.96	0.99	0.97	0.90	0.96	ดี
เฉลี่ยทุกวิธี	0.48	0.55	0.68	0.48	0.68		
ความหมาย	ปรับปรุง	พอใช้	พอใช้	ปรับปรุง	พอใช้		



ภาพที่ 61 ดัชนี RWLC ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

ตารางที่ 61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี RWLC ของคลอง 5L – 2L ($\alpha = 0.05$)

Sources of Variation	Degree of Freedom	Sum Square Error	Mean Square Error	P - Value	F	F _{0.05,4,4}
Canal Operation	4	1.208	0.302	0.000015	16.692	3.007
Canal Section	4	0.197	0.049	0.066593	2.723	3.007
Error	16	0.290	0.018			
Total	24	1.695				

จากการวิเคราะห์ดัชนี RWLC ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ด้วยวิธี Duncan’s (Richard, 1992) โดยใช้โปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 62 พบว่า

3.3.1 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 3 วิธี ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

3.3.2 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_NF_3/Week และ Existing Operation ไม่มีความแตกต่างของการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 62 ผลการทดสอบดัชนี RWLC ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5

เปรียบเทียบวิธีบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
CAS & COM_2/Day	3.144	6.815	มี
CAS & COM_Day	2.998	5.984	มี
CAS & COM_NF_3/Week	3.235	8.145	มี
CAS & Existing	3.298	11.137	มี
COM_2/Day & COM_Day	2.998	0.831	ไม่มี
COM_2/Day & COM_NF_3/Week	2.998	1.330	ไม่มี
COM_2/Day & Existing	3.144	4.322	มี
COM_Day & COM_NF_3/Week	3.144	2.161	ไม่มี
COM_Day & Existing	3.235	5.153	มี
COM_NF_3/Week & Existing	2.998	2.992	ไม่มี

จากผลการทดสอบดัชนี RWLC ตามตารางที่ 60 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC อยู่ในเกณฑ์ดี คือ CAS (RWLC = 0.96) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC อยู่ในเกณฑ์พอใช้ คือ COM_2/Day และ COM_Day (RWLC = 0.55 และ 0.60 ตามลำดับ) และ กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง คือ COM_NF_3/Week และ Existing Operation (RWLC = 0.47, 0.29 ตามลำดับ) และเมื่อทำการจัดกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 62 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่ม ตามตารางที่ 63 คือ กลุ่มที่ 1 CAS เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC ดีที่สุด กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี IAE รองลงมา ประกอบด้วย COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการ

ควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC ต่ำที่สุด ประกอบด้วย Existing Operation และ COM_NF_3/Week ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติมีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC ดีที่สุด ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำสามารถในการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L – 2L ได้ดีกว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ(Existing Operation) ประมาณ 1 เท่า

ตารางที่ 63 ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี RWLC

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	จำนวน ช่วงคลอง	ค่าดัชนี RWLC		
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
Existing Operation	5			0.29
COM_NF_3/Week	5		0.47	0.47
COM_Day	5		0.60	
COM_2/Day	5		0.55	
CAS	5	0.96		

สำหรับช่วงคลองส่งน้ำ จากผลการทดสอบดัชนี RWLC ตามตารางที่ 60 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ได้แก่ ช่วงคลองที่ 2, 3 และ 5 ให้ค่าดัชนี RWLC = 0.55, 0.68 และ 0.68 ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ได้แก่ ช่วงคลองที่ 1 และ 4 ให้ค่าดัชนี RWLC = 0.48 และ 0.48 ตามลำดับ แต่ทั้ง 2 กลุ่มให้ผลลัพธ์การควบคุมระดับน้ำในค่าดัชนี RWLC ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

จากผลการประเมินดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำทั้ง 3 ดัชนี พบว่าระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ให้ผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำดีที่สุด ส่วนแบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (COM) ให้ผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำรองลงมาขึ้นอยู่กับความถี่ในการเข้าไปตรวจวัดระดับน้ำและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง และระบบบริหารคลองส่งน้ำของโครงการให้ผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำต่ำที่สุด โดยผลการประเมินดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำของคลอง 5L – 2L แสดงในตารางที่ 64

ตารางที่ 64 ผลการประเมินดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำของคลอง 5L – 2L

วิธีบริหารคลองส่งน้ำ	ดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ		
	MAE (เมตร/เมตร)	IAE (เมตร/เมตร)	RWCL
Existing Operation	0.35	0.15	0.29
COM_NF_3/Week	0.27	0.10	0.47
COM_Day	0.29	0.10	0.60
COM_2/Day	0.21	0.07	0.55
CAS	0.10	0.03	0.96

4. ผลลัพธ์ในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก

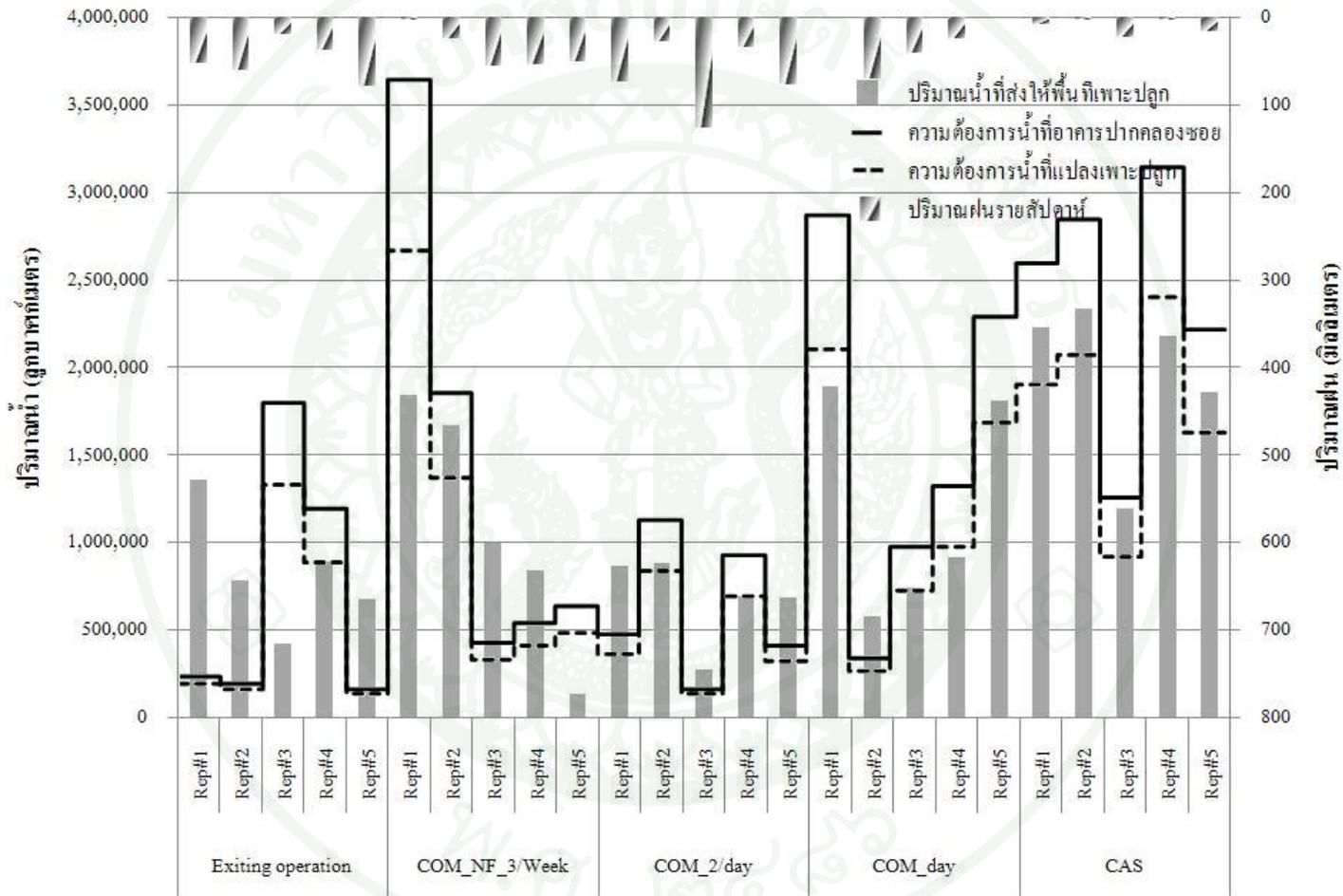
งานวิจัยนี้กำหนดเป้าหมายในการควบคุมการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเข้าคลองซอยไม่ให้สูงกว่า $\pm 10\%$ ของปริมาณน้ำความต้องการน้ำของพืชรายสัปดาห์ของแต่ละช่วงคลองในคลอง 5L – 2L ซึ่งจะช่วยให้เกษตรกรได้รับน้ำเพียงพอกับความต้องการอย่างทั่วถึงทุกแปลง และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งน้ำ จากผลการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่างๆ สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอย และความ ต้องการน้ำที่แปลงเพาะปลูก ของทั้ง 5 ช่วงคลอง ซึ่งสามารถอธิบายผลการบริหารคลองส่งน้ำตามวิธีต่าง ๆ แยกเป็นรายช่วงคลองได้ ดังนี้

4.1 ผลการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ 1 (คลอง 1R – 5L – 2L และ 1L – 5L – 2L) ตามภาพที่ 62 พบว่า ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกแบบรายสัปดาห์ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ Existing Operation และ COM_NF_3/Week แตกต่างกับความต้องการน้ำค่อนข้างมาก ค่าเฉลี่ยรายสัปดาห์เท่ากับ 805,992 และ 673,033 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ สำหรับสาเหตุสำคัญอีกประการนอกจากการคาดการณ์ปริมาณฝนไม่ถูกต้องคือ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำค้ำหน้า ปตร. กลางคลอง กม.3+650 ซึ่งส่งผลโดยตรงกับอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 1R – 5L – 2L และ 1L – 5L – 2L (ถ้าระดับน้ำสูงกว่าระดับเป้าหมายอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมจะเพิ่มขึ้น ถ้าระดับน้ำต่ำกว่าระดับเป้าหมายอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมจะลดลง) แต่เกษตรกรได้รับผลกระทบจากความแตกต่างในการส่งน้ำนี้เพียงเล็กน้อย เนื่องจากในคลอง 1R – 5L – 2L ซึ่งมีความต้องการน้ำคิดเป็นร้อยละ 90 ของความต้องการน้ำทั้งหมด มีการก่อสร้างอ่างพักน้ำขนาดความจุ 50,000 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 3 แห่งที่ กม.1+930,

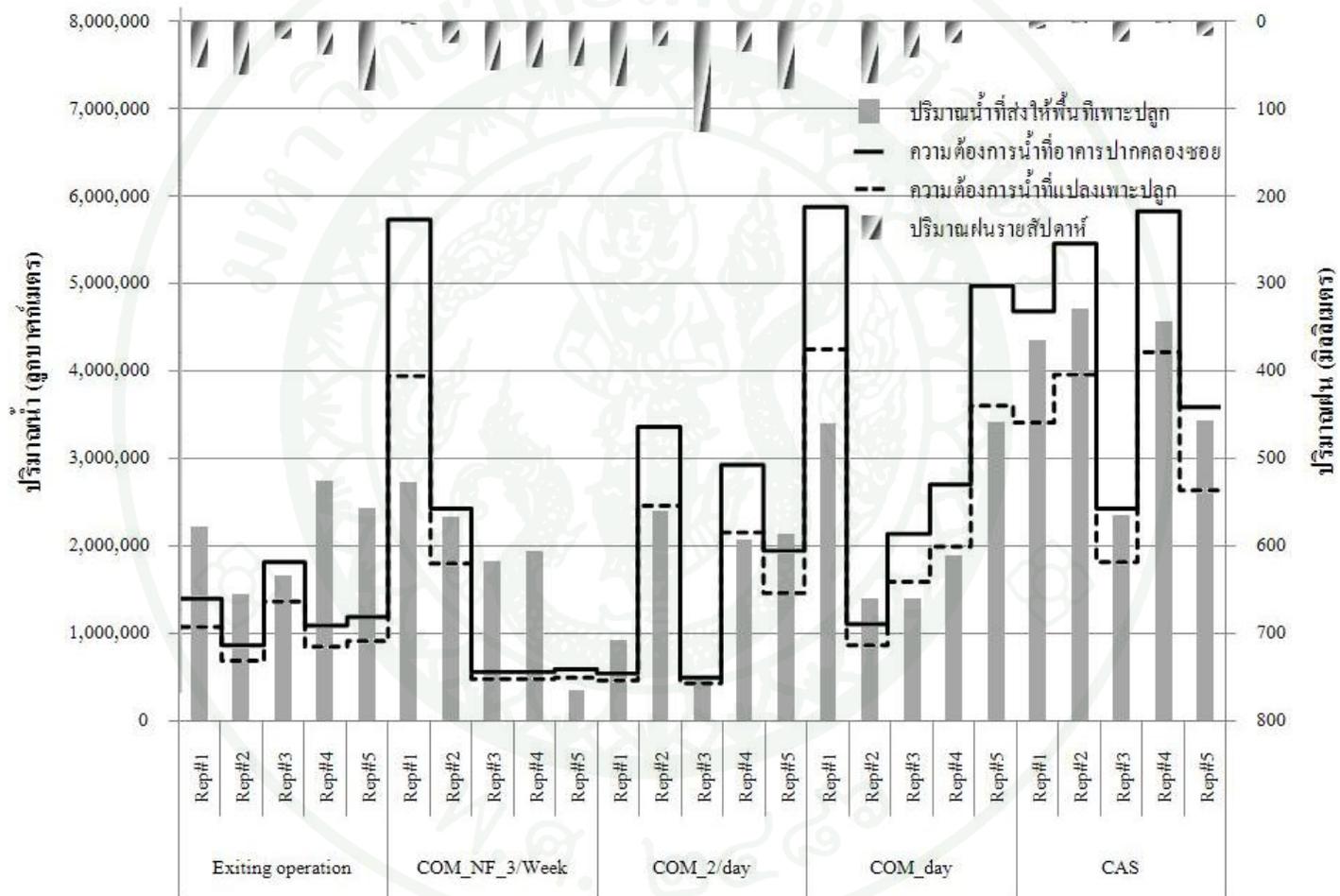
7+775 และ 11+560 สำหรับเก็บกักน้ำส่วนที่เหลือจากความต้องการเพื่อสำรองน้ำไว้ในกรณี ที่ปริมาณน้ำในคลองไม่เพียงพอกับความ ต้องการ ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ CAS, COM_2/Day และ COM_Day ปริมาณน้ำรายสัปดาห์ที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกแตกต่างกับความ ต้องการน้ำเพียงเล็กน้อย โดยในช่วงสัปดาห์ที่ใช้วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day ปริมาณ น้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกน้อยกว่าความต้องการน้ำเกือบทุกสัปดาห์ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวพื้นที่ การเกษตรในคลอง 5L – 2L เกิดน้ำท่วมขัง โครงการฯ มีนโยบายปรับลดอัตราการส่งน้ำให้ทุกพื้นที่ เพาะปลูก

4.2 ผลการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ 2 (คลอง 2L – 5L – 2L และ 2R – 5L – 2L) ตามภาพที่ 63 พบว่า ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกรายสัปดาห์ของวิธีการ บริหารคลองส่งน้ำแบบ Existing Operation สูงกว่าความต้องการน้ำของพืชทุกสัปดาห์ คิดเป็น 110% ของความต้องการน้ำของพืชตลอดช่วงเวลาทดสอบวิธีบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลอง อัตโนมัติ (CAS) ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกรายสัปดาห์มีทั้งสูงกว่าและต่ำกว่าความต้องการ น้ำของพืชละกันไป แต่เมื่อมองในภาพรวมทุกสัปดาห์ในแต่ละวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ พบว่า ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่จะใกล้เคียงกับความต้องการน้ำของพืช (ร้อยละของปริมาณน้ำที่ส่งต่อ ความต้องการน้ำของพืชเท่ากับ 1%, -26%, 7% และ -7% ตามลำดับ) สำหรับวิธีการบริหารคลองส่ง น้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกได้สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืชมากที่สุด คือ วิธีการบริหาร คลองส่งน้ำแบบ COM_2/Day เนื่องจากเป็นวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่มีความถี่ในการปรับบาน ของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยดีที่สุด เนื่องจากเจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารควบคุมน้ำปากคลอง ซอย 2L – 5L – 2L และ 2R – 5L – 2L เป็นคนเดียวกับเจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง 5L – 2L ช่วงคลองที่ 2

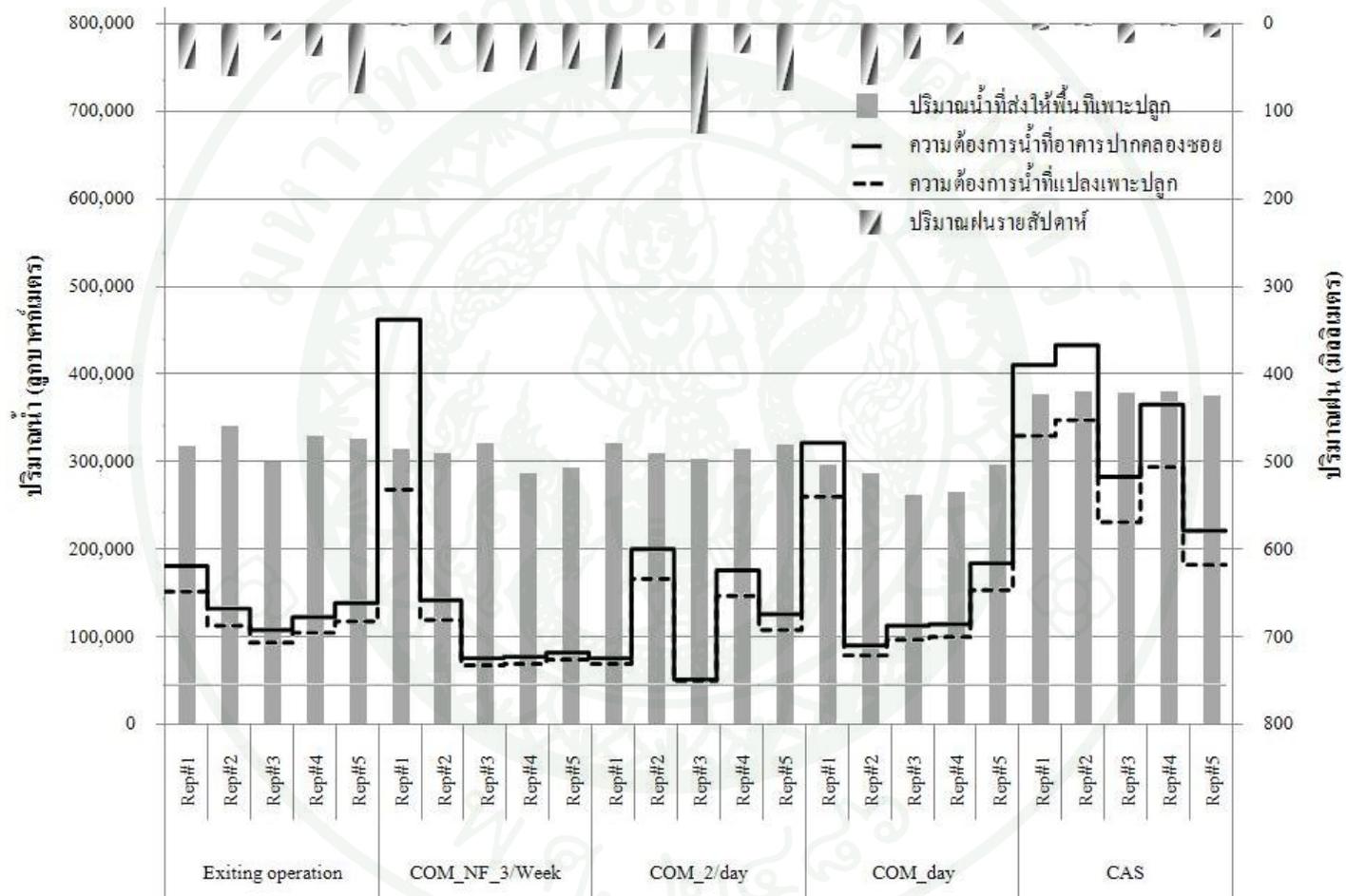
4.3 ผลการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ 3 (คลอง 3L – 5L – 2L) ตามภาพที่ 64 พบว่า ทุกวิธีการบริหารคลองส่งน้ำปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกสูงกว่าความ ต้องการน้ำของพืช เนื่องจากในช่วงคลองที่ 3 อาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3L – 5L – 2L บาน ชำรุดไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารได้ โดยมีอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ ประมาณ 0.596 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ที่ระดับน้ำด้านหน้า ประตู กลางคลอง กม.14+650 เท่ากับ +12.681 ม.รทก.



ภาพที่ 62 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงทดลองที่ 1



ภาพที่ 63 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงทดลองที่ 2

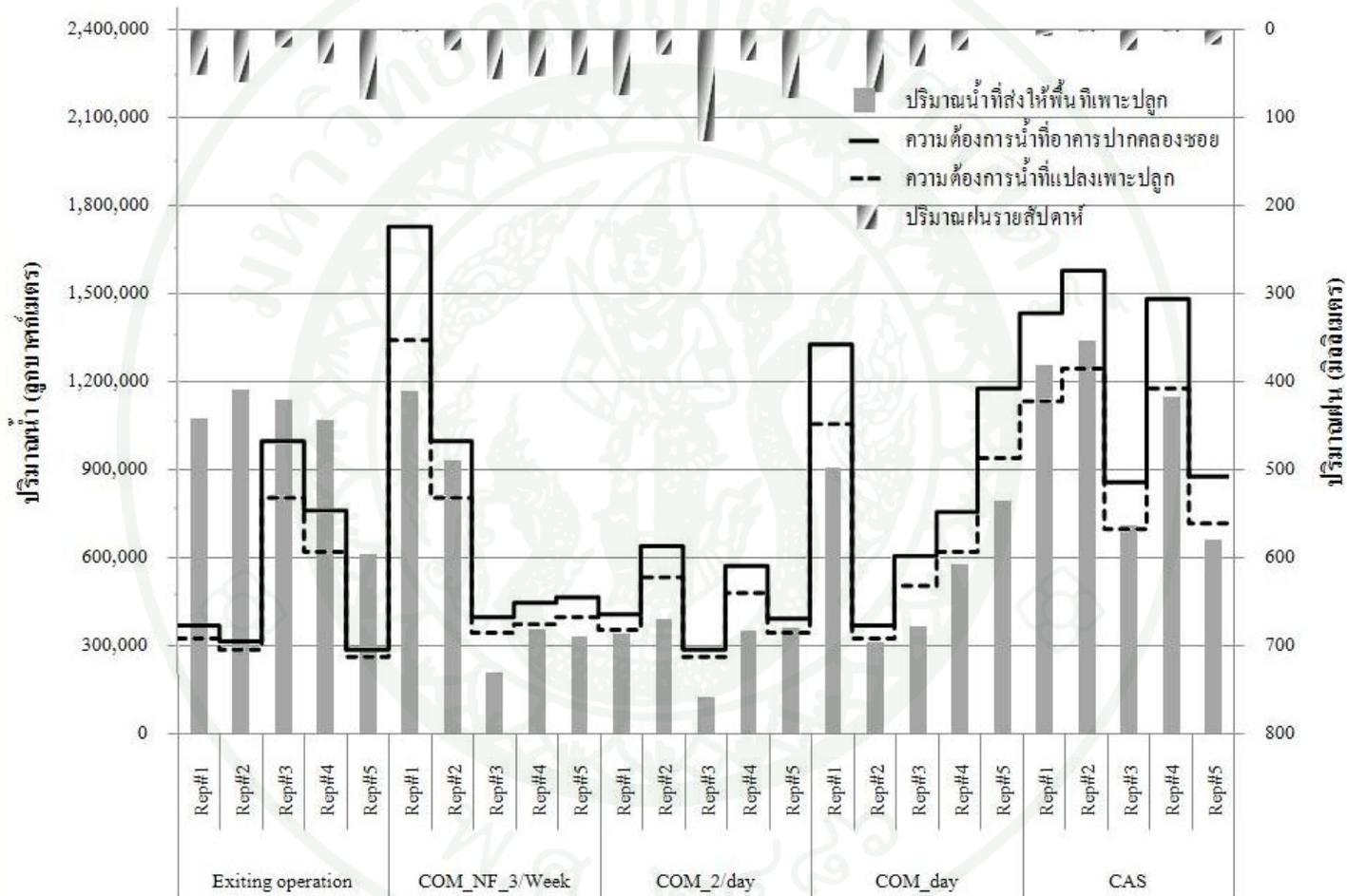


ภาพที่ 64 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 3

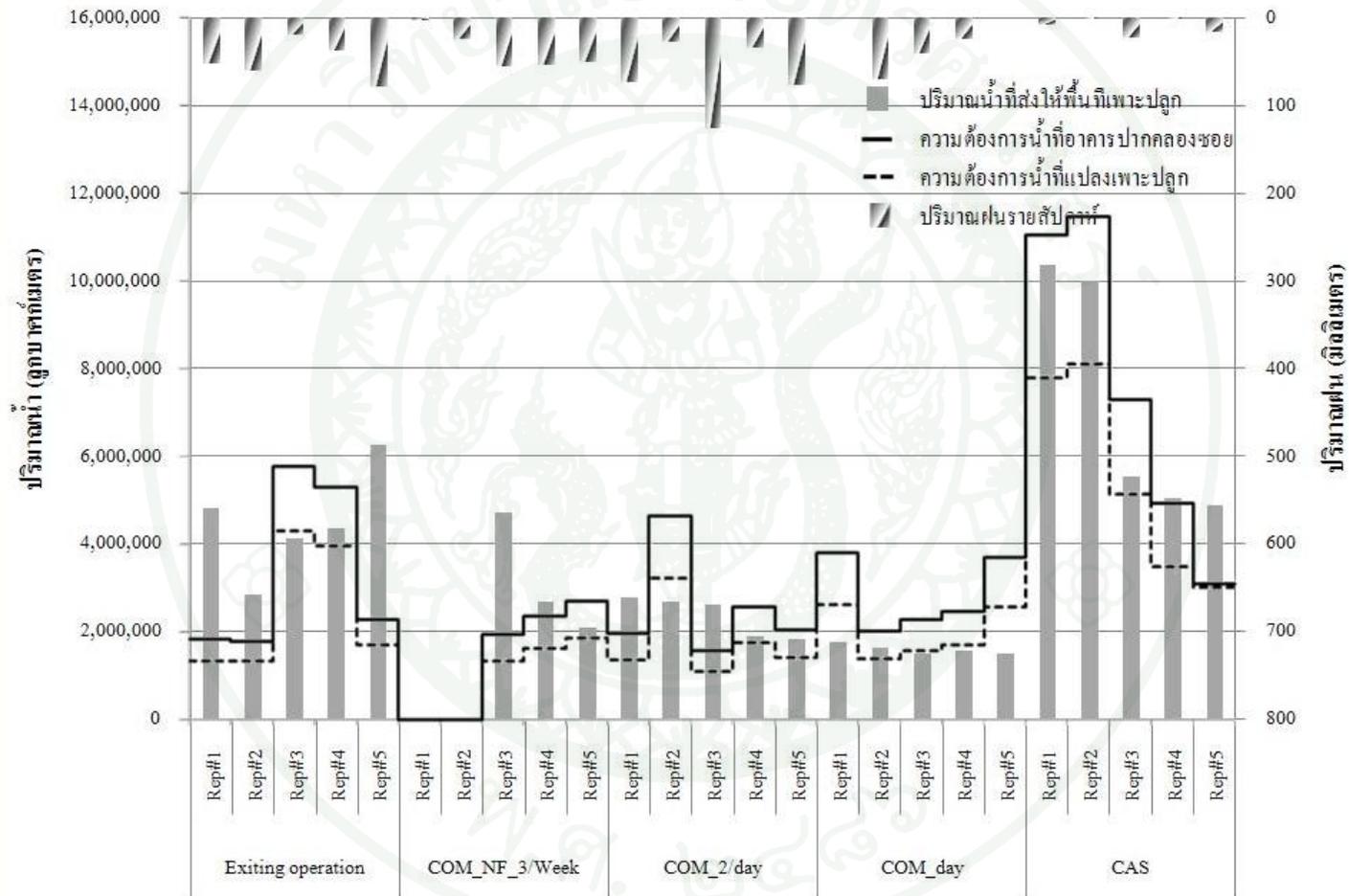
4.4 ผลการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ 4 (คลอง 4L – 5L – 2L) ตามภาพที่ 65 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกได้สอดคล้องกับความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยในแต่ละสัปดาห์ เนื่องจากในช่วงคลองที่ 4 เจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารปากคลองซอยทำการปรับอัตราการไหลผ่านอาคารทุกวันตอนเช้าตามผลการส่งน้ำในแต่ละวัน ดังนั้นในช่วงคลองที่ 4 ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกจะสอดคล้องกับความต้องการน้ำจริง

4.5 ผลการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ 5 (คลอง 3R – 5L – 2L) ตามภาพที่ 66 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ Existing Operation มีการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืชแบบรายสัปดาห์ค่อนข้างมาก เนื่องจากเครื่องกว้านสำหรับยกบานระบายของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3R – 5L – 2L ชำรุด ดังนั้นฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาที่ 3 จึงทำหน้าที่ควบคุมอาคาร ได้กำหนดนโยบายในการปรับบานให้การปรับบานแต่ละครั้งต้องไม่ต่ำกว่า 0.20 เมตร สำหรับสัปดาห์ที่ 3 ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_NF_3/Week มีการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกสูงกว่าความต้องการน้ำมาก เนื่องจากเป็นสัปดาห์แรกของการส่งน้ำหลังจากการปิดคลอง 3R – 5L – 2L เพื่อซ่อมแซมคอนกรีตคอคองที่ชำรุดเสียหาย ดังนั้นปริมาณน้ำที่ไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3R – 5L – 2L จะรวมทั้งส่วนที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกและส่วนที่เก็บกักไว้ในคลอง และช่วงเวลาระหว่างสัปดาห์ที่ 4 ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_2/Day จนถึงสัปดาห์สุดท้ายของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day มีการลดระยะเปิดบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย 3R – 5L – 2L ลง เนื่องจากพื้นที่บริเวณปลายคลองมีน้ำท่วมขังจำนวนมาก และระดับน้ำในคลองสองพี่น้องที่เชื่อมกับคลอง 3R – 5L – 2L มีระดับสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

เมื่อประเมินในภาพรวมทั้งระบบพบว่า ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกรายสัปดาห์ไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริงของพืช เนื่องจากวิธีการคำนวณปริมาณฝนที่ใช้ในการคำนวณความต้องการน้ำของพืชไม่ถูกต้อง (ใช้ข้อมูลฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์คาบ 5 ปีระหว่างปี พ.ศ.2548 - 2552) ทำให้การกำหนดปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในต้นสัปดาห์ไม่ถูกต้อง และระหว่างวันที่ 4 ตุลาคม 2553 – 7 พฤศจิกายน 2553 ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่้น้อยกว่าปริมาณความต้องการน้ำของพืช เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวพื้นที่ส่งน้ำของคลอง 5L – 2L ด้านท้ายน้ำเกิดน้ำท่วมขังจำนวนมาก ทำให้โครงการมีนโยบายปรับลดปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลอง 5L – 2L



ภาพที่ 65 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 4



ภาพที่ 66 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 5

5. เกณฑ์ประเมินผลค่าดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มค่าดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำจำนวน 3 ดัชนี กำหนดความหมายตามที่ Molden and Gate ได้นำเสนอไว้เมื่อปี ค.ศ. 1990 ดังนี้

ตารางที่ 65 เกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มค่าดัชนีผลลัพธ์ของการส่งน้ำ

Measure	Performance Class		
	Good	Fair	Poor
Adequacy, PA	0.90 – 1.00	0.80 – 0.89	< 0.80
Efficiency, PE	0.85 – 1.00	0.70 – 0.84	< 0.70
Equity, PEQ	0.00 – 0.10	0.11 – 0.25	>0.25

ที่มา: Molden and Gate (1990)

6. ดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

6.1 ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA)

จากการคำนวณค่าดัชนี PA ตารางที่ 66 ตามภาพที่ 67 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ (Operation) และช่วงคลอง (Section) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 67 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองมีอิทธิพลต่อค่าดัชนี PA ของคลอง 5L – 2L โดยวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลอง COM แบบ COM_Day ให้ค่าดัชนีความเพียงพออยู่ในเกณฑ์พอใช้ เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบเป็นช่วงเวลาที่เกิดน้ำท่วมขังบริเวณปลายคลอง 5L – 2L โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องมีนโยบายให้ปรับลดอัตราการไหลเข้าคลอง 5L – 2L ลงในสัปดาห์ที่ 2 – 4 ของช่วงเวลาที่ใช้ในการทดสอบส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในแต่ละช่วงคลองลดลงตามไปด้วย สำหรับในกรณีที่พิจารณาตามช่วงคลอง พบว่าช่วงคลองที่ 1 ซึ่งเป็นช่วงคลองที่อยู่ต้นคลองซึ่งควรมีค่าดัชนีความเพียงพอที่ดีที่สุด กลับให้ค่าดัชนีความเพียงพออยู่ในเกณฑ์พอใช้ เป็นผลมาจากการความผันแปรของระดับน้ำด้านหน้า ปตร. ปากคลอง 5L – 2L ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลในคลอง 5L

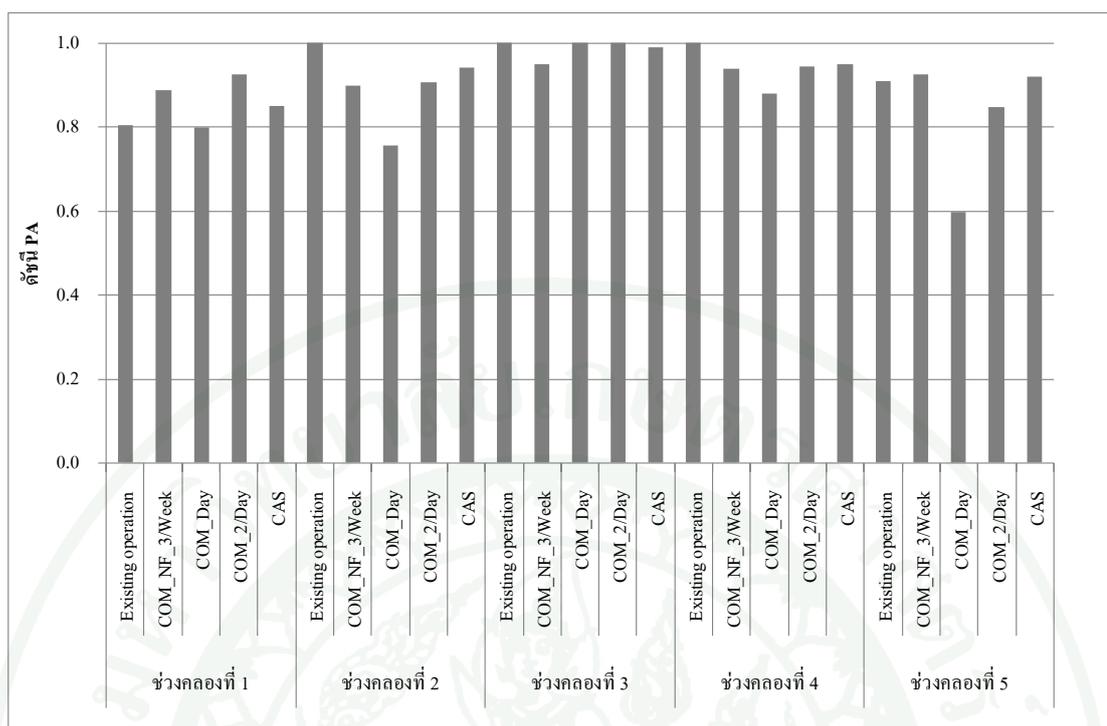
-2L มีความผันแปรสูงตาม และช่วงคลองที่ 1 เป็นช่วงคลองที่อยู่ต้นคลอง ดังนั้นจึงได้รับผลกระทบสูงที่สุด และเนื่องจากความผันแปรของระดับน้ำด้านหน้า ปตร. ปากคลอง 5L - 2L จะผันแปรในทางต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมาย จึงส่งผลให้อัตรการไหลโดยส่วนใหญ่จะน้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด

ตารางที่ 66 ค่าดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L - 2L

วิธีการบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี PA					5L - 2L	ความหมาย
	ช่วงคลอง						
	1	2	3	4	5		
Existing Operation	0.80	1.00	1.00	1.00	0.91	0.94	ดี
COM_NF_3/Week	0.89	0.90	0.95	0.94	0.92	0.92	ดี
COM_Day	0.80	0.75	1.00	0.88	0.60	0.81	พอใช้
COM_2/Day	0.93	0.91	1.00	0.94	0.85	0.92	ดี
CAS	0.85	0.94	0.99	0.95	0.92	0.93	ดี
เฉลี่ยทุกวิธี	0.85	0.90	0.99	0.94	0.84		
ความหมาย	พอใช้	ดี	ดี	ดี	พอใช้		

ตารางที่ 67 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนี PA ของคลอง 5L - 2L ($\alpha = 0.05$)

Sources of Variation	Degree of Freedom	Sum Square Error	Mean Square Error	P - Value	F	F _{0.05,4,4}
Canal Operation	4	0.062	0.016	0.028254	3.598	3.007
Canal Section	4	0.077	0.019	0.013346	4.432	3.007
Error	16	0.069	0.004			
Total	24	0.208				



ภาพที่ 67 ดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

จากการวิเคราะห์ดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ด้วยวิธี Duncan's (Richard, 1992) โดยใช้โปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 68 และ 69 ตามลำดับ พบว่า

(1) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_2/Day และ COM_NF_3/Week ให้ผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PA เฉลี่ยในทุกช่วงคลองส่งน้ำเท่ากัน

(2) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ CAS และ COM_2/Day, COM_NF_3/Week ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

(3) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ CAS และ Existing Operation ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

(4) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบ COM_2/Day, COM_NF_3/Week และ Existing Operation ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

(5) ช่วงคลองที่ 5, 2 และ 1 ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

(6) ช่วงคลองที่ 4, 3 และ 2 ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

(7) ช่วงคลองที่ 4 และ 1 ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PA อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 68 ผลการทดสอบดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4

เปรียบเทียบวิธีบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
CAS & COM_2/Day, COM_NF_3/Week	2.998	0.340	ไม่มี
CAS & COM_Day	3.144	4.078	มี
CAS & Existing	2.998	0.340	ไม่มี
COM_2/Day, COM_NF_3/Week & COM_Day	2.998	3.738	มี
COM_2/Day, COM_NF_3/Week & Existing	3.144	0.680	ไม่มี
COM_Day & Existing	3.235	4.417	มี

ตารางที่ 69 ผลการทดสอบดัชนี PA ของช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 5

เปรียบเทียบช่วงคลอง	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
5 & 4	3.235	3.398	มี
5 & 3	3.298	5.037	มี
5 & 2	3.144	2.039	ไม่มี
5 & 1	2.998	0.340	ไม่มี
4 & 3	2.998	1.699	ไม่มี
4 & 2	2.998	1.359	ไม่มี
4 & 1	3.144	3.058	ไม่มี
3 & 2	3.144	3.058	ไม่มี
3 & 1	3.235	4.757	มี
2 & 1	2.998	1.699	ไม่มี

จากผลการทดสอบดัชนี PA ตามตารางที่ 66 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PA อยู่ในเกณฑ์ดี คือ Existing Operation, CAS, COM_NF_3/Week และ COM_2/Day (PA = 0.94, 0.93, 0.92 และ 0.92 ตามลำดับ) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PA อยู่ในเกณฑ์พอใช้ คือ COM_Day (PA = 0.81) และเมื่อทำการจัดกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 68 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม ตามตารางที่ 70 คือ กลุ่มที่ 1 คือ Existing Operation, CAS, COM_NF_3/Week และ COM_2/Day เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการน้ำของเกษตรกรได้ดีที่สุด และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการน้ำของเกษตรกรรองลงมา คือ COM_Day ซึ่งสอดคล้องกับการแบ่งผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PA ตามเกณฑ์ที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำที่พัฒนาขึ้นสามารถตอบสนองความต้องการน้ำของเกษตรกรได้ดี สำหรับ COM_Day ที่ให้ผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PA อยู่ในเกณฑ์พอใช้ เนื่องจากช่วงเวลาทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day พื้นที่เพาะปลูกในคลอง 5L – 2L เกิดน้ำท่วมขังเป็นบริเวณกว้าง โครงการจึงมีนโยบายปรับลดอัตราการไหลในคลอง 5L – 2L ลงเพื่อลดปริมาณน้ำที่เข้าไปสะสมในบริเวณดังกล่าว

ตารางที่ 70 ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PA

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	จำนวน ช่วงคลอง	ค่าดัชนี PA	
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2
Existing Operation	5	0.94	
COM_NF_3/Week	5	0.92	
COM_Day	5		0.81
COM_2/Day	5	0.92	
CAS	5	0.93	

สำหรับช่วงคลองส่งน้ำ จากผลการทดสอบดัชนี PA ตามตารางที่ 66 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PA อยู่ในเกณฑ์ดี ได้แก่ ช่วงคลองที่ 2, 3 และ 4 ให้ค่าดัชนี PA = 0.90, 0.99 และ 0.94 ตามลำดับ และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PA อยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้แก่ ช่วงคลองที่ 1 และ 5 ให้ค่าดัชนี PA = 0.85 และ 0.84 ตามลำดับ แต่เมื่อทำการจัดกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 69 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่มตามตารางที่ 71 คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มของช่วงคลองที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการน้ำของเกษตรกรได้ดีที่สุด ประกอบด้วย ช่วงคลองที่ 2, 3 และ 4 กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วย ช่วงคลองที่ 2, 3 และ 4 เป็นกลุ่มของช่วงคลองที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการน้ำของเกษตรกรได้ดีรองลงมา และกลุ่มที่ 3 ประกอบด้วย ช่วงคลองที่ 1, 2 และ 5 เป็นกลุ่มช่วงคลองที่ตอบสนองต่อความต้องการน้ำของเกษตรกรได้ต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ช่วงคลองที่ 2 เป็นช่วงคลองที่มีความอ่อนไหวการตอบสนองต่อความต้องการน้ำของเกษตรกรขึ้นอยู่กับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยตรง สำหรับช่วงคลองที่ 1 และ 5 เป็นช่วงคลองที่ควรเพิ่มความถี่ในการตรวจวัดและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยในช่วงคลองดังกล่าวของเจ้าหน้าที่ให้มีความถี่ขึ้นเพื่อให้อัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยสอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืช

ตารางที่ 71 ผลการการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PA

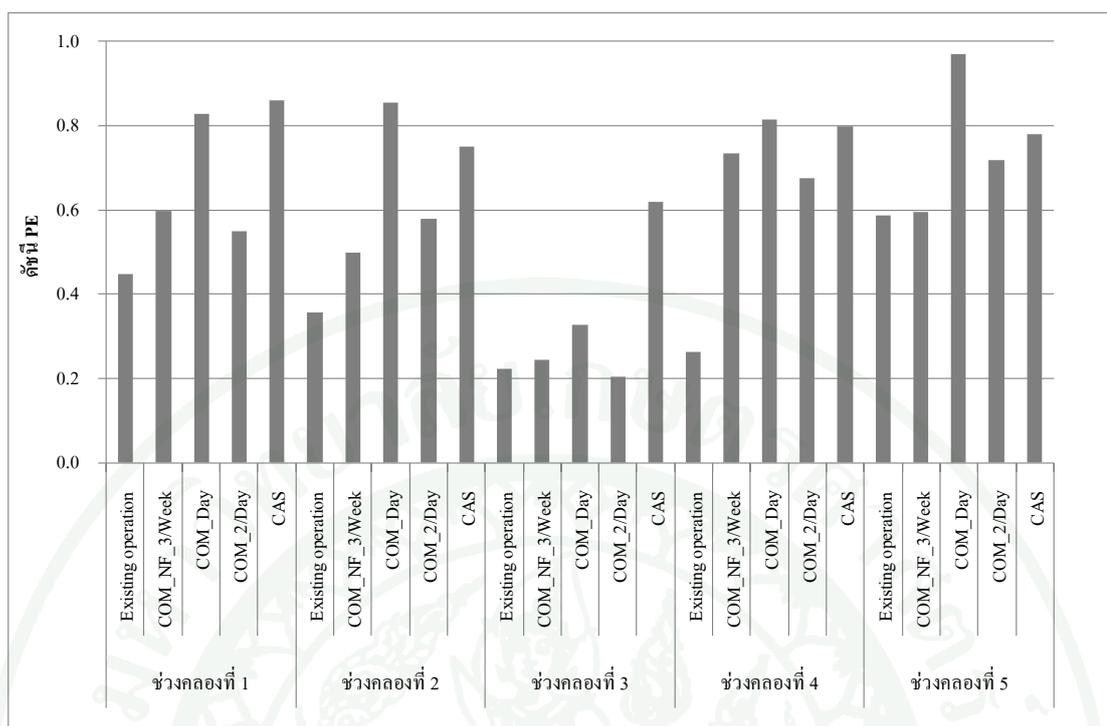
ช่วงคลอง	จำนวนวิธีบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี PA		
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
1	5		0.85	0.85
2	5	0.90	0.90	0.90
3	5	0.99		
4	5	0.94	0.94	
5	5			0.84

3.2 ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทาน (Efficiency Indicator, PE)

จากการคำนวณค่าดัชนี PE ตารางที่ 72 ตามภาพที่ 68 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ (Operation) และช่วงคลอง (Section) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ด้วยโปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 73 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองมีอิทธิพลต่อค่าดัชนี PE ของคลอง 5L – 2L

ตารางที่ 72 ค่าดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

วิธีการบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี PE					5L – 2L	ความหมาย
	ช่วงคลอง						
	1	2	3	4	5		
Existing Operation	0.45	0.36	0.22	0.26	0.59	0.38	ปรับปรุง
COM_NF_3/Week	0.60	0.50	0.24	0.73	0.60	0.53	ปรับปรุง
COM_Day	0.83	0.86	0.33	0.82	0.97	0.76	พอใช้
COM_2/Day	0.55	0.58	0.20	0.67	0.72	0.54	ปรับปรุง
CAS	0.86	0.75	0.62	0.80	0.78	0.76	พอใช้
เฉลี่ยทุกวิธี	0.66	0.61	0.32	0.66	0.73	0.66	
ความหมาย	ปรับปรุง	ปรับปรุง	ปรับปรุง	ปรับปรุง	พอใช้		



ภาพที่ 68 ค่าดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

ตารางที่ 73 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าดัชนี PE ของคลอง 5L – 2L ($\alpha = 0.05$)

Sources of Variation	Degree of Freedom	Sum Square Error	Mean Square Error	P - Value	F	$F_{0.05,4,4}$
Canal Operation	4	0.548	0.137	0.000059	13.263	3.007
Canal Section	4	0.502	0.125	0.000099	12.151	3.007
Error	16	0.165	0.010			
Total	24	1.214				

จากการวิเคราะห์ค่าดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ และช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ด้วยวิธี Duncan's (Richard, 1992) โดยใช้โปรแกรม SPSS ได้ผลตามตารางที่ 74 และ 75 ตามลำดับ พบว่า

(1) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ CAS และ COM_Day ให้ผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามค่าดัชนี PE เฉลี่ยในทุกช่วงคลองส่งน้ำเท่ากัน

(2) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_2/Day และ COM_NF_3/Week ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

(3) ช่วงคลองที่ 4 และ 1 ให้ผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PE เฉลี่ยในทุกวิธีการบริหารคลองส่งน้ำเท่ากัน

(4) ช่วงคลองที่ 5, 4, 2 และ 1 ไม่มีความแตกต่างของผลลัพธ์ในการส่งน้ำตามดัชนี PE อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 74 ผลการทดสอบดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4

เปรียบเทียบวิธีบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
CAS, COM_Day & COM_2/Day	2.998	4.842	มี
CAS, COM_Day & COM_NF_3/Week	3.144	5.062	มี
CAS, COM_Day & Existing	3.235	8.364	มี
COM_2/Day & COM_NF_3/Week	2.998	0.220	ไม่มี
COM_2/Day & Existing	3.144	3.521	มี
COM_NF_3/Week & Existing	2.998	3.301	มี

ตารางที่ 75 ผลการทดสอบดัชนี PE ของช่วงคลองส่งน้ำ แบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ค่าพิสัยของลำดับค่าเฉลี่ย = 4

เปรียบเทียบช่วงคลอง	ค่าวิกฤติ	สถิติทดสอบ	นัยสำคัญ
5 & 4,1	2.998	1.541	ไม่มี
5 & 3	3.235	9.024	มี
5 & 2	3.144	2.641	ไม่มี
4,1 & 3	3.144	7.483	มี
4,1 & 2	2.998	1.100	ไม่มี
3 & 2	2.998	6.383	มี

จากผลการทดสอบดัชนี PE ตามตารางที่ 72 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพท์การส่งน้ำในค่าดัชนี PE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ คือ COM_Day และ CAS (PE = 0.76 และ 0.76 ตามลำดับ) และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพท์การส่งน้ำในค่าดัชนี PE อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง คือ Existing Operation, COM_NF_3/Week และ COM_2/Day (PE = 0.38, 0.53 และ 0.54 ตามลำดับ) แต่เมื่อทำการจัดกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 74 สามารถแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 3 กลุ่ม ตามตารางที่ 76 คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย CAS และ COM_Day เป็นกลุ่มที่มีการสูญเสียน้ำชลประทานน้อยที่สุด กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่มีการสูญเสียน้ำชลประทานรองลงมา ประกอบด้วย COM_NF_3/Week และ COM_2/Day และกลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มที่มีการสูญเสียน้ำชลประทานสูงที่สุด คือ Existing Operation แสดงให้เห็นว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำสามารถลดการสูญเสียน้ำชลประทานลงได้ถึงแม้ว่าการแบ่งกลุ่มผลลัพท์ในค่าดัชนี PE ตามเกณฑ์ที่กำหนดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบตามหลักสถิติกลับพบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำสามารถลดการสูญเสียน้ำชลประทานลงประมาณครึ่งหนึ่งของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบปกติของโครงการ

ตารางที่ 76 ผลการการแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PE

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	จำนวน ช่วงคลอง	ค่าดัชนี PE		
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3
Existing Operation	5			0.38
COM_NF_3/Week	5		0.53	
COM_Day	5	0.76		
COM_2/Day	5		0.54	
CAS	5	0.76		

สำหรับช่วงคลองส่งน้ำ จากผลการทดสอบดัชนี PE ตามตารางที่ 72 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ได้แก่ ช่วงคลองที่ 5 ให้ค่าดัชนี PE = 0.73 และกลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ให้ผลลัพธ์การส่งน้ำในค่าดัชนี PE อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ได้แก่ ช่วงคลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ให้ค่าดัชนี PE = 0.66, 0.61, 0.32 และ 0.66 ตามลำดับ และเมื่อทำการจัดกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำตามหลักสถิติ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบแบบพหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$) ได้ผลการทดสอบตามตารางที่ 75 สามารถแบ่งช่วงคลองส่งน้ำออกเป็น 2 กลุ่ม ตามตารางที่ 77 คือ กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มของช่วงคลองที่มีการสูญเสียน้ำชลประทานต่ำ ประกอบด้วย ช่วงคลองที่ 1, 2, 4 และ 5 และกลุ่มที่ 2 เป็นช่วงคลองที่มีการสูญเสียน้ำชลประทานสูง ได้แก่ ช่วงคลองที่ 3 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ช่วงคลองที่ 3 เป็นช่วงคลองที่มีมีการสูญเสียน้ำชลประทานสูงเนื่องจากบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยบางส่วนชำรุดเสียหาย ควรซ่อมแซมอย่างเร่งด่วนเพื่อลดการสูญเสียน้ำชลประทาน สำหรับช่วงคลองที่ 1, 2 และ 4 ซึ่งอยู่ในกลุ่มพอใช้ แต่การสูญเสียน้ำชลประทานของทั้ง 3 ช่วงคลองไม่มีความแตกต่างกับช่วงคลองที่ 5 ซึ่งอยู่ในกลุ่มดี อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญของการทดสอบ 0.05 ($\alpha = 0.05$)

ตารางที่ 77 ผลการแบ่งกลุ่มช่วงคลองส่งน้ำ ตามค่าดัชนี PE

ช่วงคลอง	จำนวนวิธีบริหาร คลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี PE	
		กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2
1	5	0.66	
2	5	0.61	
3	5		0.32
4	5	0.66	
5	5	0.73	

3.3 ดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ)

จากผลการคำนวณค่าดัชนี PEQ ตามตารางที่ 78 พบว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_NF_3/Week และ COM_2/Day) และระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ให้ค่าดัชนี PEQ สูงกว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบปกติของโครงการ (Existing Operation) แสดงให้เห็นว่าการนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นเครื่องมือในการ

บริหารคลองส่งน้ำ และการใช้ระบบคลองอัตโนมัติในการบริหารคลองส่งน้ำสามารถกระจายน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างทั่วถึงมากกว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบปกติของโครงการ สำหรับกรณีที่ใช้วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day ให้ค่าดัชนี PEQ ต่ำ เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวโครงการฯ มีนโยบายเก็บกักน้ำไว้ในช่วงคลองที่ 1 – 3 และปรับลดน้ำในช่วงคลองที่ 4 และ 5 เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่

ตารางที่ 78 ค่าดัชนี PEQ ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี PEQ	ความหมาย
Existing Operation	0.89	พอใช้
COM_NF_3/Week	0.92	ดี
COM_Day	0.79	พอใช้
COM_2/Day	0.93	ดี
CAS	0.91	ดี

จากผลการประเมินดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำทั้ง 3 ดัชนี พบว่า ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (COM) สามารถเพิ่มค่าดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำทั้งในด้านประสิทธิภาพชลประทาน และด้านความเป็นธรรมในการส่งน้ำ จากวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ ส่วนผลลัพธ์ในการส่งน้ำด้านความเพียงพอในระดับใกล้เคียงกันในทุกวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ โดยผลการประเมินดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L แสดงในตารางที่ 79

ตารางที่ 79 ผลการประเมินดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L

วิธีบริหารคลองส่งน้ำ	ดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ		
	PA	PE	PEQ
Existing Operation	0.94	0.38	0.89
COM_NF_3/Week	0.92	0.53	0.92
COM_Day	0.81	0.76	0.79
COM_2/Day	0.92	0.54	0.93
CAS	0.93	0.76	0.91

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

คลอง 5L – 2L มีความยาวคลองทั้งสิ้น 41.188 กิโลเมตร มีอาคารบังคับน้ำ จำนวน 9 แห่ง ประกอบด้วย ประตู. ปากคลอง 1 แห่ง ประตู. กลางคลอง 7 แห่ง และ ประตู. ปลายคลอง 1 แห่ง เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกจำนวน 272,535 ไร่ ด้วยวิธีการส่งน้ำแบบตลอดเวลา มีการติดตั้งระบบควบคุม 2 ระบบ คือ ระบบควบคุมด้วยมือ (Manual Control) ซึ่งเป็นระบบควบคุมหลักที่ใช้ในการควบคุมคลอง 5L – 2L ในปัจจุบัน และ ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System Control) ที่ ประตู. กลางคลอง กม.3+650, 9+813, 14+750, 20+300, 26+401 และ 33+650 โดยมีฝายจัดสรรน้ำฯ ของโครงการทำหน้าที่ควบคุมประตูระบายน้ำปากคลอง 5L – 2L เพื่อส่งน้ำเข้าสู่คลอง 5L – 2L ตามความต้องการน้ำของพื้นที่เพาะปลูกทั้งหมด ซึ่งฝายจัดสรรน้ำฯ จะต้องรวบรวมความต้องการน้ำในคลอง 5L – 2L และแจ้งความต้องการน้ำในคลองให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L ทราบล่วงหน้า 10 วัน

1. สรุปผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ระบบบริหารคลอง 5L – 2L

จากผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ระบบบริหารคลอง 5L – 2L พบว่า คลอง 5L – 2L มีปริมาณน้ำต้นทุนเพียงพอสำหรับให้เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูกให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาดและศักยภาพของตนเอง มีการจัดสรรน้ำที่สอดคล้องกับความต้องการได้ดี แต่มีการสูญเสียน้ำค่อนข้างมากส่งผลให้ประสิทธิภาพการชลประทานทั้งในระดับแปลง และประจำป๊ออยู่ที่ 57% และ 51% ตามลำดับ และในปีการเพาะปลูก 2551 เกษตรกรมีผลตอบแทนเนื่องจากผลผลิตทางการเกษตรค่อนข้างสูงอยู่ระหว่าง 13,500 บาท / ไร่ / ปี

สำหรับในด้านของการให้บริการส่งน้ำ พบว่าระดับการให้บริการส่งน้ำจริงต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในทุกระดับคลองส่งน้ำ โดยมีสัดส่วนการให้บริการส่งน้ำจริง/เป้าหมาย ในระดับคลองสายใหญ่ คลองซอย และแปลงเพาะปลูก เท่ากับ 0.61 0.53 และ 0.43 ตามลำดับ ปัญหาหลักเกิดจากไม่สามารถควบคุมการไหลจากคลองสายใหญ่เข้าสู่คลองซอย (ระดับคะแนน = 1.1) การขาดความยืดหยุ่นในการส่งน้ำในระดับคูน้ำและแปลงเพาะปลูก (ระดับคะแนน = 0.0 ทั้ง 2 ระดับ) และการขาดความเป็นธรรมในการได้รับน้ำของผู้ใช้น้ำทั้งในระดับคูน้ำ และแปลงเพาะปลูก (ระดับคะแนน = 2.5 และ 1.0 ตามลำดับ) โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากการวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงวิธีการบริหารคลองส่งน้ำให้เหมาะสม ปัญหาความไม่สมบูรณ์ของอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ ในคลอง 5L – 2L การแก้ไขก่อนข้างยุ่งยากเนื่องจากเกี่ยวข้องกับการได้รับจัดสรรงบประมาณของโครงการฯ และปัญหาด้านการขาดอัตรากำลังซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการใช้นวัตกรรมเข้ามาช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำเช่น แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และระบบคลองอัตโนมัติ เป็นต้น

2. สรุปผลการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) ซึ่งประกอบ 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่

2.1 แบบจำลองสำหรับคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model) ซึ่งเป็นแบบจำลองสุโตคาสติก (Stochastic Model) สำหรับคาดการณ์ผลลัพธ์ที่เกิดจากปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) ในรูปของความลึกของน้ำ

2.2 แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model) เป็นแบบจำลองการไหลแบบมั่นคง (Steady Flow) โดยใช้ระเบียบวิธี Standard Step Method สำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความเร็วในการไหล (α) เพื่อนำไปคำนวณระดับน้ำที่หน้าตัดการไหลต่าง ๆ ในคลองส่งน้ำ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้น (Initial Data) ของแบบจำลองการไหลแบบไม่มั่นคงของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model)

2.3 แบบจำลองสำหรับจำลองการไหลแบบไม่มั่นคงของน้ำในคลอง (Unsteady Flow model) เป็นแบบจำลองการไหลแบบไม่มั่นคง (Unsteady Flow) ในคลองส่งน้ำ เพื่อใช้หา ระยะเปิดบานของ ประตู ต่าง ๆ ในคลอง 5L – 2L ที่ให้ผลของการจำลองระดับน้ำด้านหน้า ประตู. กลางคลอง 5L – 2L อยู่ในเป้าหมายที่กำหนด โดยใช้สมการ Saint – Venant Equations ในการจำลองระดับน้ำที่หน้าตัดการไหลต่าง ๆ ในคลองส่งน้ำตามเงื่อนไขการปรับบานของ ประตู. กลางคลอง จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการจำลองกับระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด และคำนวณหาระยะเปิดบานของ ประตู. ต่าง ๆ ในคลอง 5L – 2L ที่ให้ผลการจำลองระดับน้ำด้านหน้า ประตู. กลางคลอง 5L – 2L อยู่ในเป้าหมายที่กำหนด

จากผลการตรวจสอบความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) โดยการใช้ข้อมูลระดับน้ำของการบริหารคลองส่งน้ำของคลอง 5L – 2L ระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน 2553 – 30 มิถุนายน 2553 เป็นข้อมูลสำหรับตรวจสอบความถูกต้องในการคาดคะเนระดับน้ำในคลอง 5L – 2L ล่วงหน้า 60 นาที ตามเงื่อนไขระดับน้ำ อัตราการไหล และระยะยกบานของอาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L – 2L ทั้ง 5 ช่วงคลอง ด้วยดัชนี Nash – Sutcliffe efficiency ผลที่ได้ ($NSE \geq 0.95$ ทุกช่วงคลอง) แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองมีความแม่นยำในการคาดคะเนสูงในทุกช่วงคลอง

3. สรุปผลการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

งานวิจัยนี้วางแผนการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในคลอง 5L – 2L ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554 โดยแบ่งวิธีการบริหารคลองส่งน้ำออกเป็น 5 วิธี ประกอบด้วย Existing Operation, COM_NF_3/Week, COM_Day, COM_2/Day และ CAS (ตารางที่ 44) เพื่อเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำทั้งในด้านการควบคุมระดับน้ำในคลอง และผลลัพธ์ในการส่งน้ำ ผลการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 80 และสามารถสรุปได้ ดังนี้

ตารางที่ 80 ผลการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ ด้วยค่าดัชนีต่าง ๆ

วิธีการบริหาร คลองส่งน้ำ	ดัชนีผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ			ดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ		
	MAE (ม./ม.)	IAE (ม./ม.)	RWLC	PA	PE	PEQ
Existing Operation	0.35	0.15	0.29	0.94	0.38	0.89
COM_NF_3/Week	0.27	0.10	0.47	0.92	0.53	0.92
COM_Day	0.29	0.10	0.60	0.81	0.76	0.79
COM_2/Day	0.21	0.07	0.55	0.92	0.54	0.93
CAS	0.10	0.03	0.96	0.93	0.76	0.91

3.1 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Exiting Operation) เป็นวิธีที่ควบคุมระดับน้ำ คลาดเคลื่อนจากระดับเป้าหมายมากที่สุด ทั้งในรูปของความคลาดเคลื่อนสูงสุดรายสัปดาห์ (MAE = 0.35 เมตร/เมตร) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (IAE = 0.15 เมตร/ เมตร) และความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (RWLC = 0.29) อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ปรับปรุง สำหรับผลลัพธ์ในการส่งน้ำวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ ให้ค่าประสิทธิภาพ การชลประทาน (PE = 0.38) อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ความเป็นธรรมในการส่งน้ำ (PEQ = 0.89) อยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ความสามารถในการส่งน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของเกษตรกร (PA = 0.94) อยู่ในเกณฑ์ดี

3.2 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_2/Day, COM_Day, COM_NF_3/Week) เป็นวิธีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมระดับน้ำ และให้ ผลลัพธ์ในการส่งน้ำได้ดีกว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ ค่าดัชนี MAE อยู่ระหว่าง 0.21 – 0.29 เมตร/เมตร, IAE อยู่ระหว่าง 0.07 – 0.10 เมตร/ เมตร และ RWLC อยู่ระหว่าง 0.47 – 0.60 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ โดยสามารถลดคลาดเคลื่อนของระดับน้ำจากระดับเป้าหมายสูงสุดรายสัปดาห์ (MAE) ลงได้ 0.06 – 0.14 เมตร ต่อความลึกของน้ำ 1 เมตร ลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (IAE) ลงได้ 0.05 – 0.08 เมตร ต่อความลึกของน้ำ 1 เมตร และเพิ่มความน่าเชื่อถือของการควบคุม ระดับน้ำ (RWLC) ขึ้น 100% สำหรับผลลัพธ์ในการส่งน้ำวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลอง ทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทาน (PE) จากเดิม 0.38 ขึ้นเป็น 0.53 – 0.76 เมื่อเทียบกับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Exiting Operation) มีความเป็น ธรรมในการส่งน้ำ (PEQ อยู่ระหว่าง 0.79 – 0.93) อยู่ในเกณฑ์ พอใช้ – ดี และความสามารถในการ ส่งน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของเกษตรกร (PA อยู่ระหว่าง 0.81 – 0.92) อยู่ในเกณฑ์ พอใช้ – ดี โดยความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ และผลลัพธ์ในการส่งน้ำจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ในการ ตรวจวัดและปรับบานของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

3.3 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) เป็นวิธีการควบคุมระดับน้ำ ในคลองส่งน้ำที่ดีที่สุด ให้ค่าดัชนี MAE = 0.10 เมตร/ เมตร, IAE = 0.03 เมตร/ เมตร และ RWLC = 0.96 อยู่ในเกณฑ์ดี โดยสามารถลดความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำจากระดับเป้าหมายสูงสุดราย สัปดาห์ (MAE) ลงได้ 0.25 เมตร ต่อความลึกของน้ำ 1 เมตร ลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายสัปดาห์ (IAE) ลงได้ 0.12 เมตร ต่อความลึกของน้ำ 1 เมตร เพิ่มความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (RWLC) ขึ้น 231% สำหรับผลลัพธ์ในการส่งน้ำระบบคลองอัตโนมัติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ

การชลประทาน (PE) จากเดิม 0.38 ขึ้นเป็น 0.76 เมื่อเทียบกับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) มีความเป็นธรรมในการส่งน้ำ (PEQ = 0.91) อยู่ในเกณฑ์ดี และความสามารถในการส่งน้ำให้เพียงพอกับความต้องการน้ำของเกษตรกร (PA = 0.93) อยู่ในเกณฑ์ดี

3.4 จากผลการเปรียบเทียบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 5 วิธีในแต่ละดัชนีด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนของดัชนีต่าง ๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบพหุคูณพบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำ และผลลัพธ์ในการส่งน้ำในทุกดัชนี สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ให้ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำดีที่สุด รองลงมาคือ ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_2/Day, COM_Day, COM_NF_3/Week) และกลุ่มที่ 3 คือวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการ (Existing Operation) ซึ่งให้ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำต่ำที่สุด ส่วนคุณสมบัติของช่วงคลองส่งน้ำต่อดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE) ดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE) ดัชนีความเพียงพอ (PA) และ ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทาน (PE) นอกจากนั้นยังพบว่าวิธีการคาดการณ์ปริมาณฝนที่ใช้ในการคำนวณความต้องการน้ำเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (PA, PE และ PEQ)

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ให้ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารคลองส่งน้ำดีที่สุด มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ และให้ผลลัพธ์ในการส่งน้ำที่ดี เหมาะสำหรับนำมาใช้บริหารคลองส่งน้ำของโครงการชลประทาน แต่เนื่องจากระบบคลองอัตโนมัติเป็นระบบที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุมจำนวนมาก ดังนั้นสำหรับโครงการชลประทานที่ยังไม่มีความพร้อมในเรื่องของอุปกรณ์ตรวจวัดและควบคุม ควรพิจารณานำเอาวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เพื่อปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำของโครงการในปัจจุบัน เนื่องจากวิธีนี้ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมในคลองส่งน้ำ ใช้เพียงคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณการปรับบานและจำลองการไหลของน้ำในคลองเท่านั้น ทำให้ไม่เสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากวิธีการบริหารคลองส่งน้ำของโครงการในปัจจุบัน

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิจัยเรื่องการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ สามารถแบ่งข้อเสนอแนะออกเป็น 2 หัวข้อคือ การนำวิธีการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำไปใช้งาน และการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมในด้านต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานวิจัยเรื่องการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และสามารถนำงานวิจัยไปประยุกต์ใช้สำหรับระบบบริหารคลองส่งน้ำของโครงการชลประทานต่างๆ ดังนี้

1. การนำวิธีการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำไปใช้งาน

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ 2 แนวทางคือ ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ และติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติ ซึ่งจากการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 2 แนวทาง พบว่า การนำไปใช้ควรพิจารณาในด้านต่าง ๆ ดังนี้

1.1 การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการบริหารคลองส่งน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความจำเป็นต้องทราบข้อมูลคุณสมบัติด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Water Control Structure Sensitivity) และปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) ซึ่งข้อมูลที่ใช้ควรมีการตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อให้ผลของแบบจำลองมีความแม่นยำ

1.2 การใช้ระบบคลองอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลคุณสมบัติด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ แต่ต้องพิจารณาในเรื่องของแหล่งพลังงานสำรองให้เพียงพอกับความต้องการของระบบ ในการตรวจวัด และปรับบาน ซึ่งระบบจะทำแบบตลอดเวลา

2. แนวทางในศึกษาเพิ่มเติม

2.1 การคาดการณ์ข้อมูลฝนที่ใช้ในการประเมินความต้องการน้ำของพืช ในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณฝนเฉลี่ยรายสัปดาห์คาบ 5 ปีระหว่างปี พ.ศ.2548 – 2552 เป็นข้อมูลในการประเมินความต้องการน้ำของพืช และเนื่องจากปริมาณฝนที่ตกจริงในพื้นที่ไม่ตรงกับปริมาณฝนเฉลี่ยที่ใช้ ทำให้การประเมินความต้องการน้ำของพืชซึ่งนำไปกำหนดปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกในต้นสัปดาห์ไม่ถูกต้อง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความถูกต้องในการประเมินความต้องการน้ำของพืช ควรพิจารณาใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคาดคะเนปริมาณฝนรายสัปดาห์ เช่น การใช้แบบจำลองสโตคาสติกสำหรับคาดคะเนปริมาณฝนรายสัปดาห์

2.2 การประเมินผลตอบแทนต่อหน่วยน้ำ ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ 5 วิธี โดยในแต่ละวิธีจะทำการทดสอบ 5 ซ้ำ และกำหนดให้ 1 ซ้ำใช้เวลาในการทดสอบ 1 สัปดาห์ เพื่อเก็บข้อมูลสำหรับคำนวณค่าดัชนีผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำ (MAE, IAE และ RWLC) และดัชนีผลลัพท์ในการส่งน้ำ (PA, PE และ PEQ) สำหรับเปรียบเทียบผลการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 5 วิธี โดยไม่ได้ทำการเปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในแต่ละวิธีใช้เวลาในการทดสอบ 5 สัปดาห์ ซึ่งไม่ครบอายุการเพาะปลูกของพืชทำให้ไม่สามารถประเมินผลตอบแทนต่อหน่วยน้ำของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ได้ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาวางแผนการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำเพื่อให้สามารถประเมินผลตอบแทน ต่อหน่วยน้ำ ซึ่งเป็นดัชนีเปรียบเทียบผลทางด้านเศรษฐศาสตร์ ที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบหาวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่เหมาะสมได้

2.3 การปรับปรุงเกณฑ์การแปลความหมายของดัชนีต่าง ๆ จากผลการแปลความหมายของค่าดัชนีตามเกณฑ์ที่กำหนด และการเปรียบเทียบผลของค่าดัชนีแบบ พหุคูณ (Multiple Comparison Procedure) ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ของดัชนีต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ พบว่า บางครั้งการแบ่งกลุ่มตามเกณฑ์ที่กำหนดไม่สอดคล้องกับหลักทางสถิติ อาทิเช่น การแบ่งกลุ่มวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยดัชนี MAE ตามเกณฑ์ที่กำหนด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มพอใช้ และกลุ่มดี (ตารางที่ 33) แต่ผลการแบ่งกลุ่มตามหลักสถิติด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (ตารางที่ 37) เนื่องจากวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในกลุ่มพอใช้ ค่าดัชนี MAE มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทำให้สามารถแบ่งกลุ่มย่อยออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาปรับปรุงแนวทางและหลักเกณฑ์ในการกำหนด

เกณฑ์ความหมายของค่าดัชนีต่างๆ ให้เหมาะสมยิ่งขึ้น เพื่อให้สามารถแบ่งกลุ่มของค่าดัชนีได้อย่างเหมาะสมและสามารถอธิบายผลของค่าดัชนีได้อย่างชัดเจน

2.4 การปรับปรุงวิธีการควบคุมอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย เนื่องจากในงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นที่การควบคุมระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งจะช่วยให้สามารถควบคุมอัตราไหลเข้าคลองซอยให้มีความคลาดเคลื่อนไม่สูงกว่า $\pm 10\%$ ของอัตราการไหลในคลองซอย ซึ่งการควบคุมดังกล่าวไม่ใช่วิธีการควบคุมอัตราไหลเข้าคลองซอยที่อาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยโดยตรง แต่ทำการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการไหลเข้าคลองซอย 1 ปัจจัยจาก 3 ปัจจัยหลัก ซึ่งประกอบไปด้วย ระดับน้ำด้านหน้าอาคาร ระดับน้ำด้านท้ายอาคาร และระยะเปิดบาน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มผลลัพธ์ของระบบบริหารคลองส่งน้ำครั้งต่อไป ควรพิจารณาปรับปรุงวิธีการควบคุมอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยควบคู่ไปกับการควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ เช่น กำหนดให้มีการตรวจวัดและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยพร้อมกับการตรวจวัดและปรับบานของอาคารควบคุมน้ำในคลองสายใหญ่ซึ่งอาจสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการตัดสินใจ หรือพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการตรวจวัดและปรับบาน

2.5 การปรับปรุงแนวคิดของการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ ในงานวิจัยนี้มีแนวคิดของการปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำ โดยพัฒนาวิธีควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย และตั้งสมมติฐานว่าช่วงคลองไม่มีอิทธิพลต่อการควบคุมระดับน้ำ แต่จากผลการทดสอบพบว่าช่วงคลองมีอิทธิพลต่อการควบคุมระดับน้ำ มีเพียงดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (RWLC) เพียงดัชนีเดียวที่ไม่ขึ้นอยู่กับช่วงคลอง ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรพิจารณาถึงคุณสมบัติและเงื่อนไขของการส่งน้ำในแต่ละช่วงคลอง ประกอบการพัฒนาวิธีการควบคุมระดับน้ำด้วย เพื่อให้ได้วิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ดีที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2549. สถิติข้อมูลโครงการชลประทาน. สถิติโครงการชลประทาน. แหล่งที่มา <http://www.rid.go.th/document/stat.htm>, 25 พฤษภาคม 2550.

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. 2552. รายงานสรุปโครงการประจำปี 2551.

เจษฎา แก้วกัลยา. 2527. ความต้องการน้ำชลประทาน, น. 159 – 209. ใน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, (ผู้รวบรวม). เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการฝึกอบรมการจัดการน้ำชลประทาน เล่ม 1. กรมชลประทาน, นนทบุรี.

ฉลอง เกิดพิทักษ์. 2538. การจัดการลุ่มน้ำของประเทศไทย. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ณัฐวุฒิ สร้อยประเสริฐ. 2550. การประยุกต์พันธุกรรมคอมพิวเตอร์เพื่อการจัดสรรน้ำ ณ เวลาจริง : กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธนศรี สมบูรณ์ และก่อเกียรติ ผ่องพุฒิ. 2547. การประเมินผลการจัดการน้ำโครงการชลประทานแบบเร่งด่วน, น. 35 – 43. ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9. เพชรบุรี.

ประพันธ์ สพลเสถียร. 2539. การประเมินผลการใช้งานระบบจัดสรรน้ำและติดตามผลสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ยุทธนา พันธุ์กมลศิลป์. 2551. การจำลองการใช้น้ำชลประทานในพื้นที่นาข้าว โดยแนวทางเชิงออบเจกต์ร่วมกับเทคนิคปัญญาประดิษฐ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรารุช วุฒิวณิชย์. 2545. เอกสารประกอบการสอนวิชา เทคนิควิจัยทางวิศวกรรมชลประทาน.

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
กำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2548. ประสิทธิภาพการชลประทานในประเทศไทย, น. 1 – 9. ใน รายงานการประชุม
วิชาการ เรื่องน้ำของประเทศไทย ครั้งที่ 1. สมาคมทรัพยากรน้ำ, กรุงเทพฯ.

_____. 2553. การวิเคราะห์ความแม่นยำของแบบจำลอง โดยใช้ Nash – Sutcliffe Efficiency และ
 R^2 . วันชาติ 4 มกราคม 2553. 77 – 87.

_____. 2553. เอกสารประกอบ **Stochastic Analysis of Irrigation System**. ภาควิชาวิศวกรรม
ชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.

_____, นิมิตร เติงจันทร์พิพัฒน์, กิตติพงษ์ เจาจารีก, ธนา ชีพสมทรง และวิชญ์ ศรีวงษา. 2552.
รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์: การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ.

_____, นิมิตร เติงจันทร์พิพัฒน์, บัญชา ขวัญยืน และอรุรินทร์ โสทรโยม. 2553. รายงาน
ความก้าวหน้าโครงการวิจัย: การประเมินและการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ
ของคลองในโครงการชลประทานขนาดใหญ่.

วัชระ เสือดี. 2537. การพัฒนาโปรแกรมจัดสรรน้ำและติดตามประเมินผลการใช้ น้ำ สำหรับ
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม

วิชญ์ ศรีวงษา. 2551. การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติต้นทุนต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม

_____. และวรารุช วุฒิวณิชย์. 2550. ระบบคลองอัตโนมัติกำแพงแสน. วิทยาสารกำแพงแสน.
5(3): 36 – 44.

วีระโชติ จุติษฐ์ประเสริฐ. 2547. การประยุกต์ใช้ดัชนีประเมินผลของ FAO และ ADB เพื่อการประเมินประสิทธิผลของโครงการชลประทาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

อารีธา ฤทธิมา. 2549. การปฏิบัติงานระบบอ่างเก็บน้ำบนพื้นฐานความน่าเชื่อถือได้ของกลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุรินทร์ โสตรโยม และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2551. การใช้วิธีประเมินแบบรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการปฏิบัติงานของโครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำพระปรัง. วิทยาสารกำแพงแสน. 6 (3): 69 – 78.

_____. และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2554. การใช้วิธีประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่. วิทยาสารกำแพงแสน. 9 (1): 41 – 52.

_____, วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2552. การประเมินผลสัมฤทธิ์ของการควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ, น. 159 – 160. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ครั้งที่ 6 (สาขาวิศวกรรมศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. , วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2553. การประเมินผลพัทธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ, น. 1 – 9. ใน การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 (สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Burt, C.M. 2001. **Rapid Appraisal Process (RAP) and Benchmarking: Explanation and Tools.** Irrigation Training and Research Center (ITRC), California Polytechnic State University (CalPoly), San Luis Obispo, California, USA.

Burt, C.M. and S. Styles. 1998. **Report to the World Bank Research Committee Modern Water Control and Management Practices in Irrigation: Impact on Performance.** 241.

Chaudhry, M.H. 1993. **Open-Channel Flow.** Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Chow, V.T., D.R. Maidment and L.W. Mays. 1988. **Applied Hydrology.** McGraw-Hill, New York.

Clemmens, A.J., T.F. Kacerek, B. Grawitz and W. Schuurmans. 1998. Test Case for Canal Control Algorithms. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** 124 (1): 23 – 30.

_____, E. Bautista, B.T. Wahlin and R.J. Strand. 2005. Simulation of Automatic Canal Control Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** 131 (4): 324 – 335.

Durdu, O.F. 2004. Regulation of Irrigation Canals Using A Two-Stage Linear Quadratic Reliable Control. **Turkish Journal of Engineering, Environment and Science.** 28: 111 – 120.

Facon, T. 2001. Performance Evaluation of Makhamthao – Uthong Project With A Rapid Appraisal Procedure. **Water and Energy International.** 58 (2): 12 – 19.

Food and Agriculture Organization. 2008. **Modernization Strategy for Irrigation Management in Almatti Left Systems –KJBNL Karnataka – India.**

Hu, R. 1999. **Food Product Design: A Computer – Aided Statistical Approach.** Technomic Publishing Co., Ltd. Pennsylvania, USA.

- Islam, D., S. Raghuwanshin and R. Singh. 2008. Development and Application of Hydraulic Simulation Model for Irrigation Canal Network. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. 134 (1): 49 – 59.
- Jain, M.K., U.C. Kothiyari and K.G. Ranga Raju. 2004. A GIS Based Distributed Rainfall – Runoff Model. **Journal of Hydrology**. 299: 107 – 135.
- Laycock, A. 2007. **Irrigation System Design, Planning and Construction**. Cromwell Press, UK.
- Lozano, D., C. Arranja, M. Rijo, and L. Mateos. 2010. Simulation of Automatic Control of an Irrigation Canal. **Agricultural Water Management**. 97: 91 – 100.
- Malaterre, P.O. and B.P. Baume. 1998. Modeling and Regulation of Irrigation Canals: Existing Applications and Ongoing Researches. pp. 3850 – 3855. *In Proceedings of the 36th IEEE Conference on System, Man and Cybernetics*. IEEE, San Diego.
- _____, D.C. Rogers and J. Schuurmans. 1998. Classification of Canal Control Algorithms. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. 124 (1): 3 – 10.
- Ooi, S.K. and E. Weyer. 2001. Closed Loop Identification of An Irrigation Channel. pp. 4388 – 4343. *In Proceedings of the 40th IEEE control and decision conference*. IEEE, Orlando, Fl.
- Plusquellec, H. 1988. **Improving the Operation of Canal Irrigation Systems**. The Economic Development Institute of the World Bank. Washington, D.C., USA.
- _____, C.M. Burt and H.W. Wolter. 1994. **Modern Water Control in Irrigation-Concepts, Issues and Applications**. Technical Report No.246, World Bank.

- Ruiz-Carmona, V.M., A.J. Clemmens and J. Schuurmans. 1998. Canal Control Algorithm Formulations. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. 124 (1): 31 – 39.
- Renault, D. 1999. Offtake Sensitivity, Operation Effectiveness, and Performance of Irrigation System. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. 125 (3): 137–147.
- _____. and I.W. Makin. 1999. Modernization of Irrigation Systems Operation: A Disaggregated Approach of the Demand. **IWMI Research Report 35. International Water Management Institute, Sri Lanka**.
- _____, T. Facon and R. Wahaj. 2007. Modernizing the Irrigation Management -MASSCOTE Approach. **Irrigation and Drainage Paper No.63., FAO, Rome**. 207.
- Salas, J.D., J.W. Delleur, V. Yevjevich and W.L. Lane. 1988. **Applied Modeling of Hydrologic Time Series**. Water Resources Publications, Colorado.
- Sang, Y.S. and D. Wang. 2008. A Stochastic Model for Mid – to – Long Term Runoff Forecast. pp. 44 – 48. *In: Fourth International Conference on Natural Computation*. IEEE. Orlando, Fl.
- Singh, V.P. 1996. **Kinematic Wave Modeling in Water Resources: Surface-Water Hydrology**. John Wiley & Sons, New York.
- Svendsen, M., D.H. Murray – Rust, N. Harmancioglu, and N. Alpaslan. 2001. Governin closing basins: the case of the Gediz River in Turkey. pp. 183 – 214. *In: Abernethy, C.L.(Ed.), Intersectoral Management of River Basins. International Water Management Institute (IWMI) and German Foundation of International Development (DSE), Colombia, Sri Lanka*.

- Szymkiewics, R. 1996. Numerical Stability of Implicit Four – Point Scheme Applied to Inverse Linear Flow Routing. **Journal of Hydrology**. 176: 13 – 23.
- Thanet, S. 2007. **Multi – Criteria Decision Making for Water Allocation Improvement in Large Irrigation System**. Ph.D. Thesis, Kasetsart University. Bangkok.
- Toepfer, C. S. 2007. **Instrumentation, Model Identification and Control of an Experimental Irrigation Canal**. Ph.D. Thesis, Universityat Poltenica De Catalunya.
- Tsai, T.L. and J.C. Yang. 2005. Kinematic Wave Modeling of Overland Flow Using Characteristics Method with Cubic - Spline Interpolation. **Advances in Water Resources**. 28: 661–670.
- Unal, H.B., S. Asik, M. Avci, S. Yasar, and E. Akkuzu. 2004. Performance of Water Delivery System at Tertiary Canal Level: A Case Study of The Menemen Left Bank Irrigation System, Gediz Basin, Turkey. **Agricultural Water Management**. 65: 155 – 171.
- Vudhivanich, V. 2007. **Final Technical Report on Design and Operation submitted to Food and Agriculture Organization of the United Nations and Ministry of Agriculture and Cooperatives under the TCP/THA/3101 (Policies and Strategic Planning for the Thailand Irrigation Sector Reform Programme)**. 286.
- Wagener T., H.V. Gupta and S. Sorooshian. 2004. Stochastic formulation of a conceptual hydrological model. **Hydrology: Science & Practice for the 21st Century**. 1: 398 – 405.
- Wahlin, B.T. and A.J. Clemmens. 2002. Performance of Historic Downstream Canal Control Algorithms on ASCE Test Canal 1. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. 128 (6): 365 – 375.





ภาคผนวก ก
ผลการสอบเทียบเครื่องมือ

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ Electromagnetic Current Meter รุ่น VP1200

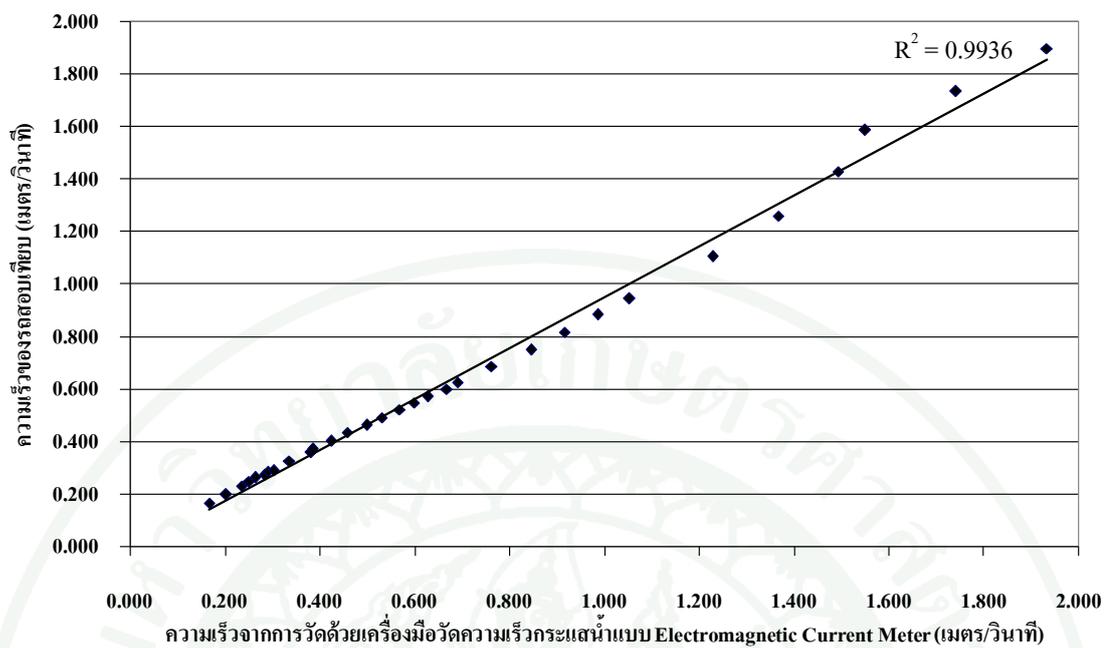
เครื่องมือ เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ รุ่น VP1200
Electromagnetic Current Meter
สถานที่สอบเทียบ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)
วันที่ทดสอบ 30 เมษายน 2552

ครั้งที่	Electromagnetic Current Meter			รถสอบเทียบ	
	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
1	20	0.168	12.10	73.9	0.164
2	20	0.203	12.10	61.3	0.198
3	20	0.235	12.10	52.8	0.229
4	20	0.251	12.10	48.6	0.249
6	20	0.265	12.10	45.9	0.263
7	20	0.284	12.10	44.5	0.272
8	20	0.291	12.10	42.3	0.286
9	20	0.304	12.10	41.9	0.289
10	20	0.336	12.10	37.2	0.325
11	20	0.382	12.10	33.7	0.359
12	20	0.386	12.10	32.6	0.372
13	20	0.424	12.10	30.2	0.401
14	20	0.459	12.10	27.9	0.434
15	20	0.500	12.10	26.2	0.463
16	20	0.532	12.10	24.7	0.491
17	20	0.569	12.10	23.3	0.520
18	20	0.599	12.10	22.1	0.548
19	20	0.629	12.10	21.2	0.571

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

เครื่องมือ	เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำแบบ รุ่น	VP1200
	Electromagnetic Current Meter	
สถานที่สอบเทียบ	สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)	
วันที่ทดสอบ	30 เมษายน 2552	

ครั้งที่	Electromagnetic Current Meter			รถสอบเทียบ	
	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
20	20	0.692	12.10	19.3	0.626
21	20	0.763	12.10	17.7	0.685
22	20	0.846	12.10	16.2	0.749
23	20	0.916	12.10	14.8	0.816
24	20	0.987	12.10	13.7	0.884
25	20	1.054	12.10	12.8	0.945
26	10	1.230	12.10	10.9	1.106
27	10	1.367	12.10	9.6	1.260
28	10	1.494	12.10	8.5	1.429
29	10	1.551	12.10	7.6	1.588
30	5	1.742	12.10	7.0	1.736
31	5	1.934	12.10	6.4	1.900



ภาพผนวกที่ ก1 เปรียบเทียบความเร็วระหว่างเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ
Electromagnetic Current Meter กับรถสอบเทียบ

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ Electric current meter รุ่น OSK14948

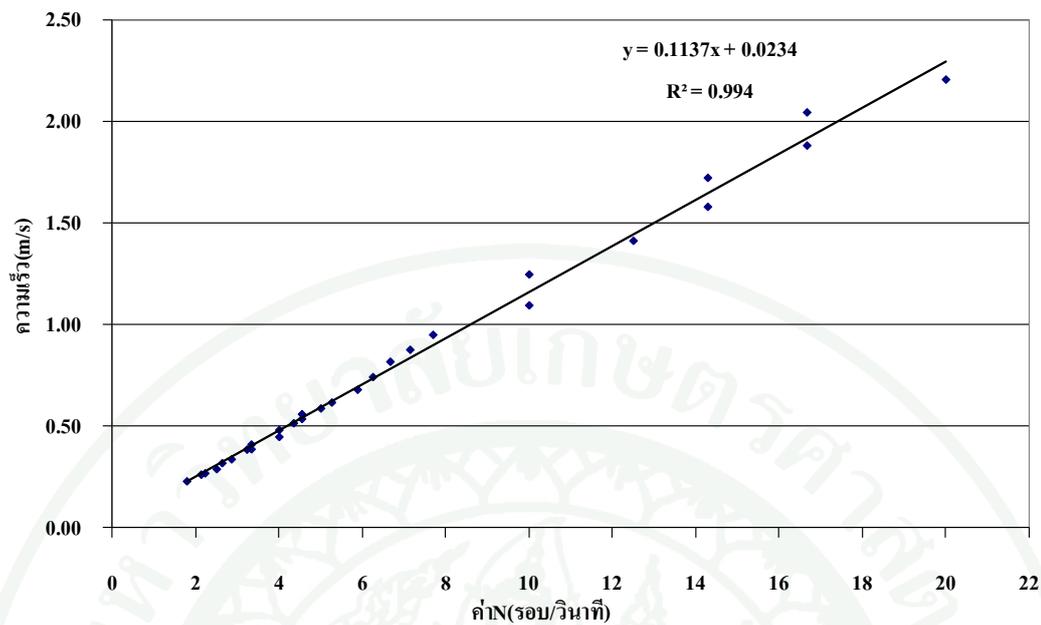
เครื่องมือ เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ รุ่น OSK14948
 Electric current meter
 สถานที่สอบเทียบ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)
 วันที่ทดสอบ 30 เมษายน 2552

ครั้งที่	จำนวนรอบ (x 10)	Electric Current Meter			รถสอบเทียบ	
		เวลา (วินาที)	รอบ/เวลา (รอบ/วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
1	10	56	1.89	12	53	0.23
2	10	47	2.17	12	46	0.26
3	10	45	2.22	12	45	0.27
4	10	40	2.38	12	42	0.29
5	10	38	2.63	12	38	0.32
6	10	35	2.78	12	36	0.33
7	10	31	3.23	12	31	0.39
8	10	30	3.23	12	31	0.39
9	10	30	3.45	12	29	0.41
10	10	25	3.70	12	27	0.44
11	10	25	4.00	12	25	0.48
12	10	23	4.35	12	23	0.52
13	10	22	4.55	12	22	0.55
14	10	22	4.55	12	22	0.55
15	10	20	5.00	12	20	0.60
16	10	19	5.00	12	20	0.60
17	10	17	5.56	12	18	0.67
18	10	16	6.25	12	16	0.75

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

เครื่องมือ	เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ รุ่น	OSK14948
	Electric current meter	
สถานที่สอบเทียบ	สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)	
วันที่ทดสอบ	30 เมษายน 2552	

ครั้งที่	Electric Current Meter				ทดสอบเทียบ	
	จำนวนรอบ (x 10)	เวลา (วินาที)	รอบ/เวลา (รอบ/วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
19	10	15	6.67	12	15	0.80
20	10	14	7.14	12	14	0.86
21	10	13	7.69	12	13	0.92
22	10	10	9.09	12	11	1.09
23	10	10	10.00	12	10	1.20
24	10	8	11.11	12	9	1.33
25	10	7	12.50	12	8	1.50
26	10	7	14.29	12	7	1.71
27	10	6	16.67	12	6	2.00
28	10	6	16.67	12	6	2.00
29	10	5	20.00	12	5	2.40



ภาพผนวกที่ ก2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(รอบ/วินาที) กับความเร็วของรถสอบเทียบ ของ เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าแบบ Electric Current Meter รุ่น OSK14948

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบใบพัด ชนิดเครื่อง A-OTT

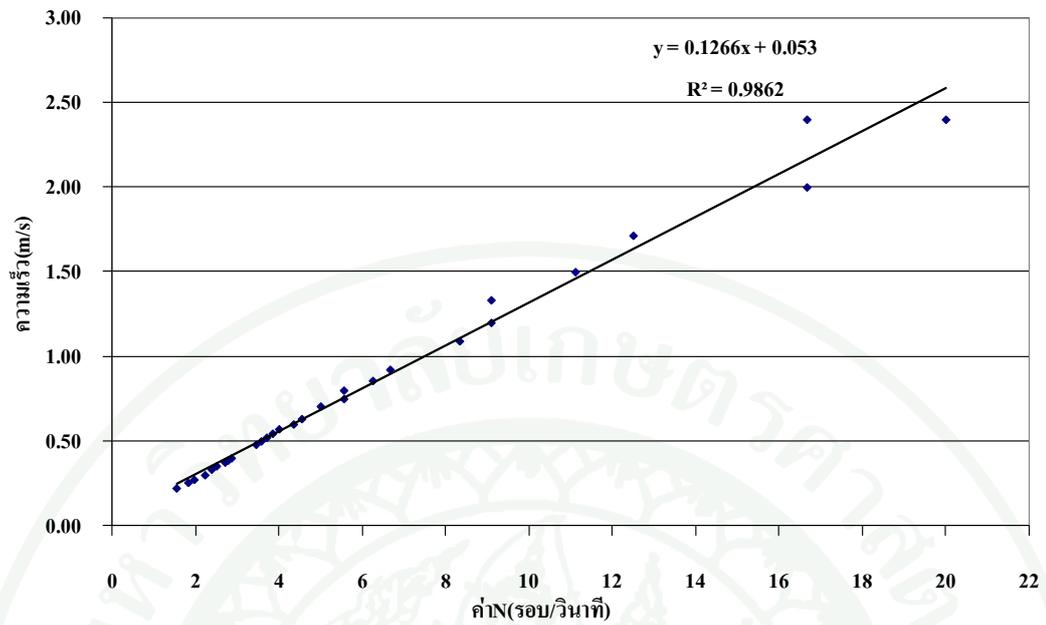
เครื่องมือ เครื่องมือวัดความเร็วกระแสไฟฟ้าแบบ ใบพัด ชนิดเครื่อง A-OTT หมายเลขเครื่อง 14319-1
 สถานที่สอบเทียบ สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)
 วันที่ทดสอบ 30 เมษายน 2552

ครั้งที่	จำนวนรอบ (x 10)	Electric Current Meter			ทดสอบเทียบ	
		เวลา (วินาที)	รอบ/เวลา (รอบ/วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
1	10	65	1.54	12	54	0.22
2	10	55	1.82	12	47	0.26
3	10	51	1.96	12	44	0.27
4	10	45	2.22	12	40	0.30
5	10	42	2.38	12	36	0.33
6	10	40	2.50	12	34	0.35
7	10	37	2.70	12	32	0.38
8	10	36	2.78	12	31	0.39
9	10	35	2.86	12	30	0.40
10	10	29	3.45	12	25	0.48
11	10	28	3.57	12	24	0.50
12	10	27	3.70	12	23	0.52
13	10	26	3.85	12	22	0.55
14	10	25	4.00	12	21	0.57
15	10	23	4.35	12	20	0.60
16	10	22	4.55	12	19	0.63
17	10	20	5.00	12	17	0.71
18	10	18	5.56	12	16	0.75

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

เครื่องมือ	เครื่องมือวัดความเร็วกระแสน้ำแบบ ใบพัด ชนิดเครื่อง A-OTT	หมายเลข	14319-1
สถานที่สอบเทียบ	สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)		
วันที่ทดสอบ	30 เมษายน 2552		

ครั้งที่	Electric Current Meter				รถสอบเทียบ	
	จำนวนรอบ (x 10)	เวลา (วินาที)	รอบ/เวลา (รอบ/วินาที)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)
19	10	18	5.56	12	15	0.80
20	10	16	6.25	12	14	0.86
21	10	15	6.67	12	13	0.92
22	10	12	8.33	12	11	1.09
23	10	11	9.09	12	10	1.20
24	10	11	9.09	12	9	1.33
25	10	9	11.11	12	8	1.50
26	10	8	12.50	12	7	1.71
27	10	6	16.67	12	6	2.00
28	10	6	16.67	12	5	2.40
29	10	5	20.00	12	5	2.40



ภาพผนวกที่ ก3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า N(รอบ/วินาที) กับความเร็วของรถสอบเทียบ ของ
เครื่องมือวัดกระแสน้ำแบบใบพัด ชนิดเครื่อง A – OTT หมายเลขเครื่อง 14319 – 1



ภาคผนวก ข
ผลการประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว

ตารางผนวกที่ ข1 คำนีภายนอกของคลอง 5L – 2L

รายการ	หน่วย	ค่าดัชนี
<u>ประสิทธิภาพที่กำหนด(Stated Efficiencies)</u>		
ประสิทธิภาพการส่งน้ำที่กำหนดสำหรับน้ำในคลองที่นำเข้า (พิจารณาการรั่วซึม การไหลสั้นคลองและการระบายน้ำท้ายคลอง)	%	90
ประสิทธิภาพการชลประทานระดับแปลงที่ถ่วงน้ำหนักโดยคำนวณจากค่าที่กำหนด	%	66
<u>พื้นที่</u>		
พื้นที่เพาะปลูกพืชในพื้นที่ชลประทาน (ไม่รวม multiple cropping)	Ha	43,606
พื้นที่เพาะปลูกพืชในพื้นที่ชลประทาน (รวม multiple cropping)	Ha	59,189
Cropping intensity ในพื้นที่ชลประทานรวม double cropping	none	1.36
<u>แหล่งน้ำภายนอกโครงการสำหรับพื้นที่ชลประทาน</u>		
ปริมาณน้ำชลประทานผิวดินที่นำเข้าจากภายนอกพื้นที่ชลประทาน (ปริมาณน้ำทั้งหมดที่จุดผันน้ำเข้าโครงการ)	MCM	811
ปริมาณฝนทั้งหมดที่ตกในพื้นที่ส่งน้ำชลประทาน	MCM	375
ปริมาณฝนใช้การในพื้นที่ส่งน้ำชลประทาน (ไม่รวมปริมาณฝนที่มีส่วนในการชะล้างเกลือ)	MCM	302

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ค่าดัชนี
ปริมาณน้ำใต้ดินสุทธินำมาใช้ในการชลประทานในพื้นที่	MCM	0
ปริมาณน้ำภายนอกทั้งหมดสำหรับโครงการ-รวมปริมาณฝน ปริมาณน้ำใต้ดินสุทธิ แต่ไม่รวมปริมาณน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่)	MCM	1,186
ปริมาณน้ำชลประทานภายนอกทั้งหมดสำหรับโครงการ	MCM	811
<u>แหล่งน้ำภายใน</u>		
ปริมาณน้ำผิวดินภายในที่เกษตรกรหรือโครงการนำกลับมาใช้ใหม่ในพื้นที่ชลประทาน	MCM	0
ปริมาณน้ำใต้ดินทั้งหมดที่เกษตรกรสูบขึ้นมาใช้ในพื้นที่ชลประทาน	MCM	0
ปริมาณน้ำใต้ดินที่โครงการสูบขึ้นมาใช้ในพื้นที่ชลประทาน	MCM	0
ปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมดที่โครงการจัดส่ง	MCM	811
ปริมาณน้ำใต้ดินทั้งหมดที่สูบขึ้นมาใช้ในพื้นที่ชลประทาน	MCM	0
ปริมาณน้ำใต้ดินที่โครงการสูบขึ้นมาใช้ในพื้นที่ชลประทาน หักลบด้วยปริมาณน้ำใต้ดินสุทธิที่สูบขึ้นมาใช้	MCM	0
ค่าประมาณปริมาณน้ำภายในทั้งหมดและน้ำใต้ดิน	MCM	0

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ค่าดัชนี
<u>ปริมาณน้ำชลประทานที่ส่งให้ผู้ใช้</u>		
แหล่งน้ำภายในโครงการถูกระบุว่ามีประสิทธิภาพการส่งน้ำ	%	100
ปริมาณการส่งน้ำชลประทานผิวดินภายนอกโครงการให้ผู้ใช้ตามประสิทธิภาพการส่งน้ำที่ระบุ	MCM	730
ปริมาณน้ำชลประทานอื่นๆทั้งหมดที่ส่งให้ผู้ใช้ (น้ำผิวดินที่นำกลับมาใช้ใหม่ บวกน้ำที่สูบจากบ่อน้ำใต้ดิน โดยใช้ประสิทธิภาพการส่งน้ำที่ระบุ และคิดประสิทธิภาพ 100 % สำหรับน้ำที่เกษตรกรสูบหรือผันมาใช้)	MCM	0
ปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมดที่ส่งให้ผู้ใช้ (น้ำชลประทานผิวดินภายนอกโครงการ+น้ำภายในที่ผันและสูบมาใช้) หักด้วยการสูญเสียจากประสิทธิภาพการส่งน้ำ	MCM	730
ปริมาณน้ำชลประทานทั้งหมด (ภายใน+ภายนอก)	MCM	811
ประสิทธิภาพการส่งน้ำรวมของโครงการ	%	90
<u>ความต้องการน้ำชลประทานระบบแปลงสุทธิ</u>		
ET ของพื้นที่เพาะปลูกในเขตชลประทาน	MCM	614
ET ของน้ำชลประทานในพื้นที่ชลประทาน (ET - Re)	MCM	312

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ค่าดัชนี
ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสุทธิสำหรับการควบคุมเกลือ	MCM	5
ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานสำหรับกิจกรรมพิเศษอื่นๆ	MCM	97
ความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ (ET-Re+Salt control+special practices)	MCM	414
<u>ค่าดัชนีสำคัญอื่นๆ</u>		
ความจุคลองสายใหญ่ที่ปากคลองหรือจุดผันน้ำ	cms	51.103
อัตราการไหลสูงสุดจริงที่ปากคลองส่งน้ำสายใหญ่ ของปีนี้	cms	38.552
ความต้องการชลประทานสุทธิสูงสุดสำหรับแปลงเพาะปลูก รวมความต้องการอื่นๆ	cms	30.1
ความต้องการน้ำชลประทานทั้งหมดสูงสุด รวมส่วนที่ไม่มีประสิทธิภาพทั้งหมด	cms	58.9
<u>กรณีภายนอกประจำปีหรือ One-Time สำหรับพื้นที่ชลประทาน</u>		
อัตราการนำเข้าน้ำชลประทานผิวดินสูงสุดเข้าสู่คลองสำหรับปีนี้	LPS/Ha	0.88
อัตราส่วนการส่งน้ำสัมพัทธ์ (Relative Water Supply, RWS) สำหรับพื้นที่เพาะปลูกในเขตชลประทาน = (Total external water supply)/(Field ET during growing seasons + water for	none	2.86

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ค่าดัชนี
ประสิทธิภาพการชลประทานประจำปี (Command Area IE)= $[100 \times (\text{Crop ET} + \text{Leaching needs} - \text{Effective ppt}) / (\text{Surface irrigation diversions} + \text{Net groundwater})]$	%	51
ประสิทธิภาพการชลประทานระดับแปลงที่คำนวณได้ (Field IE) = $100 \times [\text{Crop ET} - \text{Re} + \text{LR water}] / [\text{Total Water Delivered to Users}]$	%	57
ความจุคลองรวมสัมพัทธ์ (Relative Gross Canal Capacity, RGCC)= $(\text{Peak Monthly Net Irrigation Requirement}) / (\text{Main Canal Capacity})$	none	0.59
อัตราการไหลของน้ำในคลองจริงสัมพัทธ์ (Relative Actual Canal Flow, RACF) = $(\text{Peak Monthly Net Irrigation Requirement}) / (\text{Peak Main Canal Flow Rate})$	none	0.78
มูลค่าผลผลิตทางการเกษตรรายปีทั้งหมด \$US		135,957,380

ตารางผนวกที่ ข2 คดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านการบริการและความเกี่ยวพันทางสังคม
(SERVICE and SOCIAL ORDER)

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-1	การบริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลง		1.09
I-1A	การวัดปริมาณน้ำที่ส่งให้แต่ละแปลง		0.00
I-1B	ความยืดหยุ่นในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง		0.00
I-1C	ความน่าเชื่อถือในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง		2.00
I-1D	ความเสมอภาคเป็นธรรมในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง		1.00
I-2	การส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ให้แต่ละแปลงได้รับ		2.55
I-2A	การวัดปริมาณน้ำที่ส่งให้แต่ละแปลง		0.00
I-2B	ความยืดหยุ่นในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง		2.00
I-2C	ความน่าเชื่อถือในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง		2.00
I-2D	ความเสมอภาคเป็นธรรมในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง		4.00
I-3	การบริการส่งน้ำจริง ณ จุดสุดท้ายที่ควบคุมโดยโครงการ		1.06
I-3A	จำนวนแปลงท้ายน้ำจุดนี้		0.00
I-3B	การวัดปริมาณน้ำที่ส่งให้จุดนี้		0.00
I-3C	ความยืดหยุ่นในคูน้ำ		0.00
I-3D	ความน่าเชื่อถือได้ในคูน้ำ		2.00
I-3E	ความเสมอภาคเป็นธรรมในการได้รับน้ำ		2.50
I-4	การบริการส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ ณ จุดสุดท้ายที่ควบคุมโดยโครงการ		2.00
I-4A	จำนวนแปลงท้ายน้ำจุดนี้		0.00
I-4B	การวัดปริมาณน้ำที่ส่งให้จุดนี้		0.00
I-4C	ความยืดหยุ่นในคูน้ำ		2.00
I-4D	ความน่าเชื่อถือได้ในคูน้ำ		2.50
I-4E	ความเสมอภาคเป็นธรรมในการได้รับน้ำ		4.00

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-5	การบริการส่งน้ำจริงของคลองสายใหญ่		2.22
I-5A	ดัชนีความยืดหยุ่น		2.50
I-5B	ดัชนีความน่าเชื่อถือ		3.00
I-5C	ดัชนีความเสมอภาค		3.00
I-5D	การควบคุมอัตราการไหลให้คลองซอย		1.00
I-6	การบริการส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ของคลองสายใหญ่		3.67
I-6A	ดัชนีความยืดหยุ่น		2.50
I-6B	ดัชนีความน่าเชื่อถือ		4.00
I-6C	ดัชนีความเสมอภาค		4.00
I-6D	การควบคุมอัตราการไหลให้คลองซอย		4.00
I-7	ลักษณะพฤติกรรมกาปฏิบัติตามกติกา ที่บริหาร โดย โครงการ		1.75
I-7A	ระดับการใช้น้ำ (เอาน้ำไปใช้โดยไม่มีสิทธิ)		2.00
I-7B	ข้อสังเกตเกี่ยวกับการมีท่อฝืนคลอง		1.00
I-7C	การทำลายอาคารชลประทาน		2.00

ตารางผนวกที่ ข3 ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านสมรรถนะการให้บริการคลองสายใหญ่

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-8	<u>ปตร.กลางคลอง ในคลองสายใหญ่ (Cross regulator)</u>		1.86
I-8A	ความยาก-ง่ายในการปรับ ปตร. กลางคลอง		3.00
I-8B	ระดับของการบำรุงรักษา ปตร. กลางคลอง		4.00
I-8C	การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ		0.00
I-8D	ระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองสายใหญ่		3.00
I-9	<u>ดัชนี Turnout คลองสายใหญ่</u>		1.67
I-9A	การควบคุมการปรับบานและวัดน้ำที่ Turnout		2.00
I-9B	ระดับของการบำรุงรักษา Turnout		2.00
I-9C	ความสามารถในการระบายน้ำของ Turnout		1.00
I-10	<u>ดัชนีของอ่างพักน้ำ ในคลองสายใหญ่</u>		0.00
I-10A	ความเหมาะสมของจำนวนอ่างพักน้ำ		0.00
I-10B	ประสิทธิผลของการใช้งาน		0.00
I-10C	ความเหมาะสมของความจุอ่างพักน้ำ		0.00
I-10D	การบำรุงรักษา		0.00
I-11	<u>การติดต่อสื่อสารและการคมนาคมในการดูแลคลองสายใหญ่</u>		3.32
I-11A	ความถี่ที่ผู้ควบคุมอาคารติดต่อสื่อสารกับผู้บังคับบัญชา		3.00
I-11B	ความถี่ที่ผู้ควบคุมอาคารหรือหัวหน้าติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้น้ำ		4.00
I-11C	ความน่าเชื่อถือในการติดต่อสื่อสารของผู้ควบคุมอาคาร		4.00
I-11D	ความถี่ที่หัวหน้าออกตรวจคลองและพูดคุยกับผู้ควบคุมอาคาร		2.00
I-11E	ระบบตรวจวัดข้อมูล (อัตโนมัติหรือควบคุมด้วยมือ)		1.50
I-11F	การมี ถนนตามแนวคลอง		3.50
I-12	<u>สภาพทั่วไปของคลองสายใหญ่</u>		3.00
I-12A	ระดับของการบำรุงรักษาพื้นคลองและตลิ่งคลอง (0-4)		3.00
I-12B	การรั่วซึมน้ำที่ไม่พึงประสงค์		3.00
I-12C	ความพร้อมของอุปกรณ์และเจ้าหน้าที่ในการบำรุงรักษาคลอง		3.00
I-12D	ดัชนีระยะเวลาการเดินทางสำหรับการบำรุงรักษา		3.00

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-13	การควบคุมน้ำในคลองสายใหญ่(Operation)		2.14
I-13A	ความรวดเร็วของตอบสนองต่อรายงานข้อมูลจากสนาม		2.70
I-13B	มีระบบการขนน้ำและส่งน้ำซึ่งสอดคล้องกับความต้องการน้ำ		1.30
I-13C	ความชัดเจนและความถูกต้องของคำสั่งแก่ผู้ควบคุมอาคาร		2.70
I-13D	มีการตรวจสอบสภาพคลองตลอดทั้งสายและรายงานปัญหา		1.30

ตารางผนวกที่ ข4 ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านสมรรถนะการให้บริการคลองสายซอย

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-14	<u>ปตร. กลางคลอง ในคลองซอย (Cross regulator)</u>		<u>0.71</u>
I-14A		ความยาก-ง่ายในการปรับ ปตร. กลางคลอง	2.00
I-14B		ระดับของการบำรุงรักษา ปตร. กลางคลอง	1.00
I-14C		การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	0.00
I-14D		ระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองสายใหญ่	1.00
I-15	<u>ดัชนี Turnout คลองซอย</u>		<u>1.83</u>
I-15A		การควบคุมการปรับบานและวัดน้ำที่ Turnout	2.00
I-15B		ระดับของการบำรุงรักษา Turnout	1.50
I-15C		ความสามารถในการระบายน้ำของ Turnout	2.00
I-16	<u>ดัชนีของอ่างพักน้ำ ในคลองซอย</u>		<u>0.00</u>
I-16A		ความเหมาะสมของจำนวนอ่างพักน้ำ	0.00
I-16B		ประสิทธิผลของการใช้งาน	0.00
I-16C		ความเหมาะสมของความจุอ่างพักน้ำ	0.00
I-16D		การบำรุงรักษา	0.00
I-17	<u>การติดต่อสื่อสารและการคมนาคมในการดูแลคลองซอย</u>		<u>2.73</u>
I-17A		ความถี่ที่ผู้ควบคุมอาคารติดต่อสื่อสารกับผู้บังคับบัญชา	2.00
I-17B		ความถี่ที่ผู้ควบคุมอาคารหรือหัวหน้าติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้น้ำ	3.00
I-17C		ความน่าเชื่อถือในการติดต่อสื่อสารของผู้ควบคุมอาคาร	4.00
I-17D		ความถี่ที่หัวหน้าออกตรวจคลองและพูดคุยกับผู้ควบคุมอาคาร	2.00
I-17E		ระบบตรวจวัดข้อมูล (อัตโนมัติหรือควบคุมด้วยมือ)	0.00
I-17F		การมี ถนนตามแนวคลอง	3.00
I-18	<u>สภาพทั่วไปของคลองซอย</u>		<u>2.20</u>
I-18A		ระดับของการบำรุงรักษาพื้นคลองและตลิ่งคลอง (0-4)	2.00
I-18B		การรั่วซึมน้ำที่ไม่พึงประสงค์	2.00
I-18C		ความพร้อมของอุปกรณ์และเจ้าหน้าที่ในการบำรุงรักษาคลอง	2.00
I-18D		ดัชนีระยะเวลาการเดินทางสำหรับการบำรุงรักษา	3.00

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-19	การควบคุมน้ำในคลองซอย (Operation)		1.32
I-19A	ความเร็วของตอบสนองต่อรายงานข้อมูลจากสนาม		1.30
I-19B	มีระบบการขนน้ำและส่งน้ำซึ่งสอดคล้องกับความต้องการน้ำ		1.30
I-19C	ความชัดเจนและความถูกต้องของคำสั่งแก่ผู้ควบคุมอาคาร		2.70
I-19D	มีการตรวจสอบสภาพคลองตลอดทั้งสายและรายงานปัญหา		0.00

ตารางผนวกที่ ข5 ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านสมรรถนะการให้บริการคลองแยกซอย

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-20	<u>ปตร. กลางคลอง ในคลองแยกซอย (Cross regulator)</u>		<u>0.29</u>
I-20A		ความยาก-ง่ายในการปรับ ปตร. กลางคลอง	1.00
I-20B		ระดับของการบำรุงรักษา ปตร. กลางคลอง	1.00
I-20C		การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	0.00
I-20D		ระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองสายใหญ่	0.00
I-21	<u>ดัชนี Turnout คลองแยกซอย</u>		<u>1.33</u>
I-21A		การควบคุมการปรับบานและวัดน้ำที่ Turnout	1.00
I-21B		ระดับของการบำรุงรักษา Turnout	2.00
I-21C		ความสามารถในการระบายน้ำของ Turnout	1.00
I-22	<u>ดัชนีของอ่างพักน้ำ ในคลองแยกซอย</u>		<u>0.00</u>
I-22A		ความเหมาะสมของจำนวนอ่างพักน้ำ	0.00
I-22B		ประสิทธิผลของการใช้งาน	0.00
I-22C		ความเหมาะสมของความจุอ่างพักน้ำ	0.00
I-22D		การบำรุงรักษา	0.00
I-23	<u>การติดต่อสื่อสารและการคมนาคมในการดูแลคลองแยกซอย</u>		<u>2.64</u>
I-23A		ความถี่ที่ผู้ควบคุมอาคารติดต่อสื่อสารกับผู้บังคับบัญชา	2.00
I-23B		ความถี่ที่ผู้ควบคุมอาคารหรือหัวหน้าติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้น้ำ	3.00
I-23C		ความน่าเชื่อถือในการติดต่อสื่อสารของผู้ควบคุมอาคาร	4.00
I-23D		ความถี่ที่หัวหน้าออกตรวจคลองและพูดคุยกับผู้ควบคุมอาคาร	2.00
I-23E		ระบบตรวจวัดข้อมูล (อัตโนมัติหรือควบคุมด้วยมือ)	0.00
I-23F		การมี ถนนตามแนวคลอง	2.50
I-24	<u>สภาพทั่วไปของคลองแยกซอย</u>		<u>2.00</u>
I-24A		ระดับของการบำรุงรักษาพื้นคลองและตลิ่งคลอง (0-4)	1.00
I-24B		การรั่วซึมน้ำที่ไม่พึงประสงค์	2.00
I-24C		ความพร้อมของอุปกรณ์และเจ้าหน้าที่ในการบำรุงรักษาคลอง	2.00
I-24D		ดัชนีระยะเวลาการเดินทางสำหรับการบำรุงรักษา	3.00

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-25	การควบคุมน้ำในคลองแยกซอย (Operation)	1.32
I-25A	ความเร็วของตอบสนองต่อรายงานข้อมูลจากสนาม	1.30
I-25B	มีระบบการขนน้ำและส่งน้ำซึ่งสอดคล้องกับความต้องการน้ำ	1.30
I-25C	ความชัดเจนและความถูกต้องของคำสั่งแก่ผู้ควบคุมอาคาร	2.70
I-25D	มีการตรวจสอบสภาพคลองตลอดทั้งสายและรายงานปัญหา	0.00

ตารางผนวกที่ ๖๖ ดัชนีภายในของคลอง 5L – 2L ด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และ องค์กรผู้ใช้น้ำ

	ดัชนีภายในหลัก	ดัชนีภายในรอง	ค่าดัชนี
I-26	<u>งบประมาณ (Budgets)</u>		<u>1.40</u>
I-26A		% ของค่า O&M ของโครงการ	0.00
I-26B		% ของงบประมาณด้าน O&M ที่ได้รับจัดสรรต่อความต้องการ	2.00
I-26C		% ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการปรับปรุงโครงการให้ทันสมัย	3.00
I-27	<u>เจ้าหน้าที่ (Employees)</u>		<u>1.79</u>
I-27A		ความถี่และความพอเพียงในการอบรม	3.00
I-27B		การมีข้อตกลงประสิทธิภาพการทำงานเป็นลายลักษณ์อักษร	2.00
I-27C		อำนาจในการตัดสินใจของเจ้าหน้าที่	2.00
I-27D		ความสามารถในการในการไล่เจ้าหน้าที่ออกเมื่อมีมูลความผิด	1.00
I-27E		รางวัลสำหรับการทำงานแบบอุทิศตน	3.00
I-27F		สัดส่วนเงินเดือนระหว่างผู้รักษาอาคารกับคนงาน	1.00
I-28	<u>องค์กรผู้ใช้น้ำ</u>		<u>0.85</u>
I-28A		เปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้น้ำที่มีบทบาทและมีส่วนร่วม ต่อการส่งน้ำ	0.00
I-28B		องค์กรผู้ใช้น้ำมีความเข้มแข็งและมีอิทธิพล	2.50
I-28C		องค์กรผู้ใช้น้ำหาบุคคลภายนอกมาช่วยบังคับใช้กฎระเบียบ	2.00
I-28D		หลักเกณฑ์ด้านกฎหมายของกลุ่มผู้ใช้น้ำ	1.00
I-28E		ความเข้มแข็งทางการเงินของกลุ่มผู้ใช้น้ำ	0.00
I-29	<u>ประสิทธิภาพการใช้เจ้าหน้าที่ (จำนวน turnouts ต่อเจ้าหน้าที่)</u>		<u>0.00</u>
I-30	<u>การใช้คอมพิวเตอร์ในงานธุรการ (ออกหนังสือและบันทึกผลการทำงาน)</u>		<u>3.50</u>
I-31	<u>การใช้คอมพิวเตอร์ในงานควบคุมการส่งน้ำ</u>		<u>0.00</u>

ตารางผนวกที่ ข7 คัดนี้ภายในพิเศษของคลอง 5L – 2L

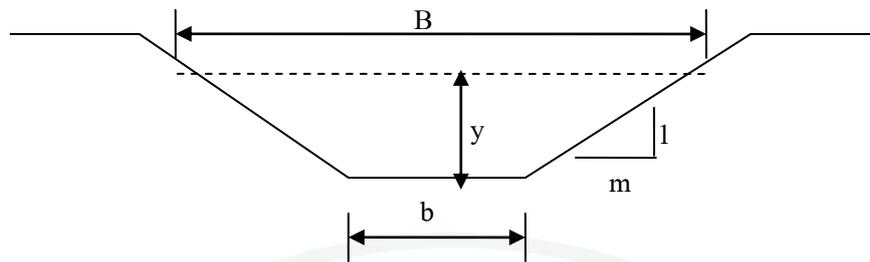
	คัดนี้ภายในหลัก	คัดนี้ภายในรอง	ค่าคัดนี้
I-32	ความสามารถในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกเพื่อสนับสนุนการชลประทานสมัยใหม่ (ให้น้ำระบบท่อภายใต้แรงดัน)		0.00
I-33	การเปลี่ยนแปลงที่จำเป็นเพื่อสนับสนุนการชลประทานสมัยใหม่(ให้น้ำระบบท่อภายใต้แรงดัน)		0.00
I-34	การรับและใช้ประโยชน์ของข้อมูลย้อนกลับ		0.00
I-35	ความหนาแน่นของ Turnouts		15.18
I-36	จำนวน Turnouts/Operator		3.71
I-37	ความยุ่งเหยิงในการควบคุมน้ำในคลองสายใหญ่		0.61
I-38	ความยุ่งเหยิงในการควบคุมน้ำในคลองซอย		0.53
I-39	ความยุ่งเหยิงในการควบคุมน้ำในระดับแปลงนา		0.43



ภาคผนวก ค
สมการแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัว

คำอธิบายสัญลักษณ์

z_t	=	Standardization of x_t
ϕ_1	=	parameter of model AR1
z_{t+1}	=	Standardization of x_{t+1}
x_t	=	perturbation at time t at cross regulator
\bar{x}_t	=	mean of perturbation at cross regulator
s^2	=	variance of perturbation at cross regulator
H	=	total head, m
h_f	=	head losses between sections 1 and 2, m
z	=	elevation of the channel bottom above a specified datum, msl
y	=	flow depth, m
α	=	coefficient, 1
v	=	mean flow velocity, m/s
g	=	Acceleration due to gravity, 9.81 m/s^2
S_f	=	slope of the energy line
x	=	specified location at which flow depth, m
n	=	Manning coefficient
R	=	hydraulic radius, m
Q	=	rate of discharge, m^3/s
A	=	cross – sectional area of flow, m^2
P	=	wetted perimeter , m
m	=	side slopes, 1.5H to 1V
b	=	bottom width, m
S_0	=	longitudinal slope of the channel bottom
t	=	time, s
A_0	=	initial cross – section area of flow, m^2
q	=	lateral outflow per unit length, $(\text{m}^3/\text{s})/\text{m}$
x	=	distance along the reach, m
h	=	water level of flow, msl



$$A = \frac{1}{2}(b_0 + B)y \quad A = by + my^2$$

$$B = b + 2my$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+m^2}$$

For Governing equations

Continuity equation

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad ; A_0 = \text{initial area}; q = \text{lateral inflow} \quad (\text{ก. 1})$$

Momentum equation

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e \right) - \beta q v_x + W_f B = 0 \quad (\text{ก. 2})$$

If q is perpendicular with main canal, wind shear is not effect and eddy loss is very little, then $v_x = 0$, $W_f = 0$ and $S_e = 0$. So the momentum equation can rearrange to

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (\text{ก. 3})$$

The weighted of four – point finite difference.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \theta \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (1 - \theta) \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} \quad (\text{ก. 4})$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \theta \frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (1-\theta) \frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta x_i} \quad (\text{ก. 5})$$

$$\frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} = \frac{(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \quad (\text{ก. 6})$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \quad (\text{ก. 7})$$

The non derivative term

$$q = \theta \frac{q_i^{j+1} + q_{i+1}^{j+1}}{2} + (1-\theta) \frac{q_i^j + q_{i+1}^j}{2} = \theta \bar{q}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{q}_i^j \quad (\text{ก. 8})$$

$$A = \theta \bar{A}_i^{j+1} + (1-\theta) \bar{A}_i^j \quad (\text{ก. 9})$$

Substitution in continuity equation

$$\begin{aligned} & \theta \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (1-\theta) \frac{Q_{i+1}^j - Q_i^j}{\Delta x_i} + \frac{(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j}{2\Delta t_j} \\ & - \theta \bar{q}_i^{j+1} - (1-\theta) \bar{q}_i^j = 0 \end{aligned} \quad (\text{ก. 10})$$

$$\begin{aligned} & \theta(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}) + (1-\theta)(Q_{i+1}^j - Q_i^j) + \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} \left[(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j \right] \\ & - \Delta x_i \theta \bar{q}_i^{j+1} - \Delta x_i (1-\theta) \bar{q}_i^j = 0 \end{aligned} \quad (\text{ก. 11})$$

$$\begin{aligned} & \theta(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1} - \Delta x_i \bar{q}_i^{j+1}) + (1-\theta)(Q_{i+1}^j - Q_i^j - \Delta x_i \bar{q}_i^j) + \\ & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} \left[(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j \right] = 0 \end{aligned} \quad (\text{ก. 12})$$

Substitution in momentum equation

$$\begin{aligned} & \frac{Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j}{2\Delta t_j} + \theta \left[\frac{(\beta Q^2 / A)_{i+1}^{j+1} - (\beta Q^2 / A)_i^{j+1}}{\Delta x_i} + g\bar{A}_i^{j+1} \left(\frac{h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta x_i} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \right) \right] \\ & + (1-\theta) \left[\frac{(\beta Q^2 / A)_{i+1}^j - (\beta Q^2 / A)_i^j}{\Delta x_i} g\bar{A}_i^j \left(\frac{h_{i+1}^j - h_i^j}{\Delta x_i} + (\bar{S}_f)_i^j \right) \right] = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) + \theta \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g\bar{A}_i^{j+1} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \\ & + (1-\theta) \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^j - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^j + g\bar{A}_i^j (h_{i+1}^j - h_i^j + (\bar{S}_f)_i^j \Delta x_i) \right] = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Define $R = A/P$

$$\begin{aligned} \bar{\beta}_i &= \frac{\beta_i + \beta_{i+1}}{2} & \bar{A}_i &= \frac{A_i + A_{i+1}}{2} & \bar{B}_i &= \frac{B_i + B_{i+1}}{2} & \bar{Q}_i &= \frac{Q_i + Q_{i+1}}{2} \\ \bar{P}_i &= \frac{P_i + P_{i+1}}{2} & \bar{n}_i &= \frac{n_i + n_{i+1}}{2} & \bar{R}_i &= \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \\ (\bar{S}_f)_i &= \frac{\bar{n}^2 |\bar{Q}_i| \bar{Q}_i}{C_o^2 \bar{A}_i^2 \bar{R}_i^{4/3}} & C_0 &= 1.485 \end{aligned}$$

For the Jacobian coefficient matrix (18); the terms dependent on h^{j+1} and Q^{j+1}

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial h_i} &= \frac{\partial}{\partial h_i} \left\{ \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} \left[(A + A_0)_i^{j+1} + (A + A_0)_{i+1}^{j+1} - (A + A_0)_i^j - (A + A_0)_{i+1}^j \right] \right\} \\ &= \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} \frac{\partial (A + A_0)_i^{j+1}}{\partial h_i} \\ &= \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} \frac{\partial}{\partial h_i} \frac{1}{2} [(B + b)y + (B_0 + b)y_0]_i^{j+1} \end{aligned}$$

$$\frac{\partial C}{\partial h_i} = \frac{\Delta x_i}{4\Delta t_j} [(B + b) + (B_0 + b)]_i^{j+1} \quad (15)$$

$$\frac{\partial C}{\partial h_{i+1}} = \frac{\Delta x_i}{4\Delta t_j} [(B + b) + (B_0 + b)]_{i+1}^{j+1} \quad (16)$$

$$\frac{\partial C}{\partial Q_i} = \frac{\partial}{\partial Q_i} \theta (Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}) = -\theta \quad (17)$$

$$\frac{\partial C}{\partial Q_{i+1}} = \theta \quad (\text{ก. 18})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_i} &= \frac{\partial}{\partial h_i} \theta \left[- \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left(h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i \right) \right] \\ \frac{\partial M}{\partial h_i} &= \theta \left[- (\beta Q^2)_i^{j+1} \frac{\partial (A^{-1})_i^{j+1}}{\partial h_i} + g \bar{A}_i^{j+1} \frac{\partial (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i)}{\partial h_i} + (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) g \frac{\partial (\bar{A})_i^{j+1}}{\partial h_i} \right] \\ \frac{\partial M}{\partial h_i} &= \theta \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A^2} \right)_i^{j+1} \frac{\partial (A)_i^{j+1}}{\partial h_i} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[1 + \left(\frac{\partial (\bar{S}_f)_i^{j+1}}{\partial h_i} \right) \Delta x_i \right] + (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \frac{g}{2} \frac{\partial [(B+b)y/2]_i^{j+1}}{\partial h_i} \right] \\ \frac{\partial M}{\partial h_i} &= \theta \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A^2} \right)_i^{j+1} \frac{1}{2} (B+b)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[-1 + \left(\frac{\partial (\bar{S}_f)_i^{j+1}}{\partial h_i} \right) \Delta x_i \right] + \frac{g(B+b)}{4} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \end{aligned} \quad (\text{ก. 19})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} &= \frac{\partial}{\partial h_{i+1}} \theta \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left(h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i \right) \right] \\ \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} &= \theta \left[(\beta Q^2)_{i+1}^{j+1} \frac{\partial (A^{-1})_{i+1}^{j+1}}{\partial h_{i+1}} + g \bar{A}_i^{j+1} \frac{\partial (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i)}{\partial h_{i+1}} + (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) g \frac{\partial (\bar{A})_i^{j+1}}{\partial h_{i+1}} \right] \\ \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} &= \theta \left[- \left(\frac{\beta Q^2}{A^2} \right)_i^{j+1} \frac{\partial (A)_{i+1}^{j+1}}{\partial h_{i+1}} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[1 + \left(\frac{\partial (\bar{S}_f)_i^{j+1}}{\partial h_{i+1}} \right) \Delta x_i \right] + (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \frac{g}{2} \frac{\partial [(B+b)y/2]_{i+1}^{j+1}}{\partial h_{i+1}} \right] \\ \frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} &= \theta \left[- \left(\frac{\beta Q^2}{A^2} \right)_{i+1}^{j+1} \frac{1}{2} (B+b)_{i+1}^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \left[1 + \left(\frac{\partial (\bar{S}_f)_i^{j+1}}{\partial h_{i+1}} \right) \Delta x_i \right] + \frac{g(B+b)_{i+1}^{j+1}}{4} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \end{aligned} \quad (\text{ก. 20})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial Q_i} &= \frac{\partial}{\partial Q_i} \left\{ \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} (Q_i^{j+1} + Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^j - Q_{i+1}^j) + \theta \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \right\} \\ &= \frac{\partial}{\partial Q_i} \left\{ (1-\theta) \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^j - \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^j + g \bar{A}_i^j (h_{i+1}^j - h_i^j + (\bar{S}_f)_i^j \Delta x_i) \right] \right\} \\ \frac{\partial M}{\partial Q_i} &= \frac{\partial}{\partial Q_i} \left\{ \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} (Q_i^{j+1}) + \theta \left[- \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \right\} \\ \frac{\partial M}{\partial Q_i} &= \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} \left(\frac{\partial Q_i^{j+1}}{\partial Q_i} \right) + \theta \left\{ - \frac{\beta}{A} \frac{\partial (Q^2)_i^{j+1}}{\partial Q_i} + g \bar{A}_i^{j+1} \frac{\partial}{\partial Q_i} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) + (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \frac{\partial g \bar{A}_i^{j+1}}{\partial Q_i} \right\} \\ \frac{\partial M}{\partial Q_i} &= \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} + \theta \left\{ - \left(\frac{2 \beta Q}{A} \right)_i^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \frac{\partial (\bar{S}_f)_i^{j+1}}{\partial Q_i} \Delta x_i \right\} \end{aligned} \quad (\text{ก. 21})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial Q_{i+1}} &= \frac{\partial}{\partial Q_{i+1}} \left\{ \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} (Q_{i+1}^{j+1}) + \theta \left[\left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)_{i+1}^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \right] \right\} \\ \frac{\partial M}{\partial Q_{i+1}} &= \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} \left(\frac{\partial Q_{i+1}^{j+1}}{\partial Q_{i+1}} \right) + \theta \left\{ \frac{\beta}{A} \frac{\partial (Q^2)_{i+1}^{j+1}}{\partial Q_{i+1}} + g \bar{A}_i^{j+1} \frac{\partial}{\partial Q_{i+1}} (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) + (h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + (\bar{S}_f)_i^{j+1} \Delta x_i) \frac{\partial g \bar{A}_i^{j+1}}{\partial Q_{i+1}} \right\} \\ \frac{\partial M}{\partial Q_{i+1}} &= \frac{\Delta x_i}{2 \Delta t_j} + \theta \left\{ \left(\frac{2 \beta Q}{A} \right)_{i+1}^{j+1} + g \bar{A}_i^{j+1} \frac{\partial (\bar{S}_f)_i^{j+1}}{\partial Q_{i+1}} \Delta x_i \right\} \end{aligned} \quad (\text{ก. 22})$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= \frac{\partial}{\partial h_i} \left(\frac{\bar{n}^2 |\bar{Q}| \bar{Q}}{C_0^2 \bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \right)_i^{j+1} ; \quad Z_i = \left(\frac{\bar{n}^2 |\bar{Q}| \bar{Q}}{C_0^2} \right)_i^{j+1} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= \frac{\partial}{\partial h_i} Z_i \left(\frac{\bar{P}^{4/3}}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \right)_i^{j+1} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= Z_i \frac{\partial}{\partial h_i} \left(\frac{\bar{P}^{4/3}}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \right)_i^{j+1} + \left(\frac{\bar{P}^{4/3}}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \right)_i^{j+1} \frac{\partial Z_i}{\partial h_i} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= Z_i \left[\frac{1}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \frac{\partial \bar{P}^{4/3}}{\partial h_i} + \bar{P}^{4/3} \frac{\partial \bar{A}^{-10/3}}{\partial h_i} \right] + \left(\frac{\bar{P}^{4/3}}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \right) \left(\frac{|\bar{Q}| \bar{Q}}{C_0^2} \right) \frac{\partial \bar{n}^2}{\partial h_i} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= Z_i \left[\frac{1}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \frac{4}{3} \bar{P}^{1/3} \frac{\partial \bar{P}}{\partial h_i} + \bar{P}^{4/3} \frac{-10}{3} \bar{A}^{-13/3} \frac{\partial \bar{A}}{\partial h_i} \right] + \left(\frac{\bar{P}^{4/3}}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \right) \left(\frac{|\bar{Q}| \bar{Q}}{C_0^2} \right) 2\bar{n} \frac{\partial \bar{n}}{\partial h_i} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= \left[Z_i \frac{1}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \frac{4}{3} \bar{P}^{1/3} \left(\frac{\bar{P}}{\bar{P}} \right) \frac{\partial \bar{P}}{\partial h_i} + Z_i \bar{P}^{4/3} \frac{-10}{3} \bar{A}^{-13/3} \left(\frac{\bar{A}}{\bar{A}} \right) \frac{\partial \bar{A}}{\partial h_i} \right] + \left(\frac{\bar{P}^{4/3}}{\bar{A}^2 \bar{A}^{4/3}} \right) \left(\frac{|\bar{Q}| \bar{Q}}{C_0^2} \right) 2\bar{n} \left(\frac{\bar{n}}{\bar{n}} \right) \frac{\partial \bar{n}}{\partial h_i} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= \left[(\bar{S}f)_i \frac{4}{3} \left(\frac{1}{\bar{P}} \right) \frac{\partial (P_i + P_{i+1})/2}{\partial h_i} + (\bar{S}f)_i \frac{-10}{3} \left(\frac{1}{\bar{A}} \right) \frac{\partial (A_i + A_{i+1})/2}{\partial h_i} \right] + 2(\bar{S}f)_i \left(\frac{1}{\bar{n}} \right) \frac{\partial \bar{n}}{\partial h_i} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= \left[(\bar{S}f)_i \frac{2}{3} \left(\frac{1}{\bar{P}} \right) \frac{\partial (P_i)}{\partial h_i} + (\bar{S}f)_i \frac{-5}{3} \left(\frac{1}{\bar{A}} \right) \frac{\partial (A_i)}{\partial h_i} \right] + 2(\bar{S}f)_i \left(\frac{1}{\bar{n}} \right) \frac{\partial \bar{n}}{\partial h_i} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= 2(\bar{S}f)_i \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\bar{P}_i} \right) \frac{\partial (P_i)}{\partial h_i} + \frac{-5}{6} \left(\frac{1}{\bar{A}_i} \right) \frac{\partial (B+b)_i y_i / 2}{\partial h_i} + \left(\frac{1}{\bar{n}_i} \right) \frac{\partial \bar{n}_i}{\partial h_i} \right] \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_i} &= 2(\bar{S}f)_i \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\bar{P}_i} \right) \frac{\partial (P_i)}{\partial h_i} + \frac{-5(B+b)_i}{12} \left(\frac{1}{\bar{A}_i} \right) + \left(\frac{1}{\bar{n}_i} \right) \frac{\partial \bar{n}_i}{\partial h_i} \right] \tag{ก. 23} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial h_{i+1}} &= 2(\bar{S}f)_i \left[\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\bar{P}_i} \right) \frac{\partial (P_{i+1})}{\partial h_{i+1}} + \frac{-5(B+b)_{i+1}}{12} \left(\frac{1}{\bar{A}_i} \right) + \left(\frac{1}{\bar{n}_i} \right) \frac{\partial \bar{n}_i}{\partial h_{i+1}} \right] \tag{ก. 24} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_i} &= \frac{\partial}{\partial Q_i} \left(\frac{\bar{n}^2 |\bar{Q}| \bar{Q}}{C_0^2 \bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \right)_i^{j+1} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_i} &= \frac{1}{C_0^2 \bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \frac{\partial (\bar{n}^2 \bar{Q}^2)_i^{j+1}}{\partial Q_i} \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_i} &= \frac{1}{C_0^2 \bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \left[\bar{n}^2 \frac{\partial (\bar{Q}^2)_i^{j+1}}{\partial Q_i} + \bar{Q}^2 \frac{\partial (\bar{n}^2)_i^{j+1}}{\partial Q_i} \right] \\ \frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_i} &= \frac{1}{C_0^2 \bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \left[\bar{n}^2 2\bar{Q} \frac{\partial (\bar{Q})_i^{j+1}}{\partial Q_i} + \bar{Q}^2 2\bar{n} \frac{\partial (\bar{n})_i^{j+1}}{\partial Q_i} \right] \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_i} = \left[\frac{1}{C_0^2 \bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \bar{n}^2 2\bar{Q} \left(\frac{\bar{Q}}{\bar{Q}} \right) \frac{\partial(Q_i + Q_{i+1})/2}{\partial Q_i} + \frac{1}{C_0^2 \bar{A}^2 \bar{R}^{4/3}} \bar{Q}^2 2\bar{n} \left(\frac{\bar{n}}{\bar{n}} \right) \frac{\partial(n_i + n_{i+1})/2}{\partial Q_i} \right]$$

$$\frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_i} = \left[(\bar{S}_f)_i \left(\frac{1}{\bar{Q}_i} \right) + (\bar{S}_f)_i \left(\frac{1}{\bar{n}_i} \right) \frac{\partial n_i}{\partial Q_i} \right]$$

$$\frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_i} = (\bar{S}_f)_i \left[\left(\frac{1}{\bar{Q}_i} \right) + \left(\frac{1}{\bar{n}_i} \right) \frac{\partial n_i}{\partial Q_i} \right] \quad (\text{ก. 25})$$

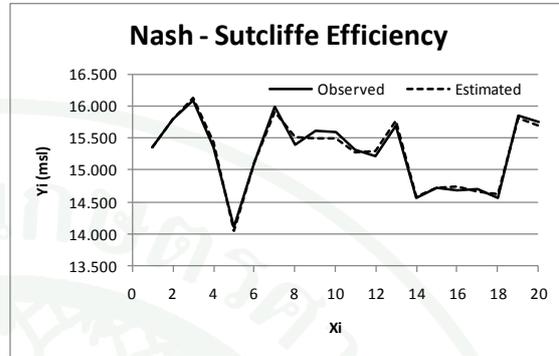
$$\frac{\partial \bar{S}f}{\partial Q_{i+1}} = (\bar{S}_f)_i \left[\left(\frac{1}{\bar{Q}_i} \right) + \left(\frac{1}{\bar{n}_i} \right) \frac{\partial n_{i+1}}{\partial Q_{i+1}} \right] \quad (\text{ก. 26})$$



ภาคผนวก
สรุปผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM

ตารางผนวกที่ ง1 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 1

i	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1	15.347	15.355	0.000	0.006
2	15.778	15.795	0.000	0.263
3	16.122	16.095	0.001	0.783
4	15.441	15.362	0.006	0.066
5	14.054	14.102	0.002	1.244
6	15.108	15.115	0.000	0.018
7	15.903	15.991	0.008	0.423
8	15.505	15.394	0.012	0.091
9	15.490	15.608	0.014	0.098
10	15.490	15.603	0.013	0.116
11	15.275	15.308	0.001	0.025
12	15.293	15.215	0.006	0.038
13	15.763	15.703	0.004	0.477
14	14.589	14.568	0.000	0.148
15	14.717	14.723	0.000	0.104
16	14.740	14.681	0.003	0.132
17	14.664	14.704	0.002	0.281
18	14.616	14.553	0.004	0.569
19	15.800	15.856	0.003	0.003
20	15.695	15.761	0.004	0.000
	Σ		0.084	4.884

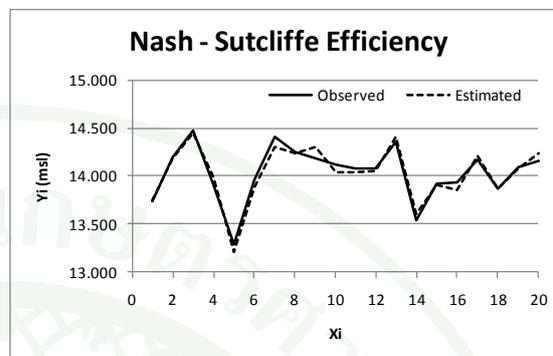


$$\begin{aligned} \text{NSE} &= 1 - (0.084 / 4.884) \\ &= 0.983 \end{aligned}$$

แบบจำลอง COM สามารถพยากรณ์ระดับน้ำ
ในช่วง
คลองที่ 1 ล่วงหน้า 60 นาทีได้ดี

ตารางผนวกที่ ง2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 2

i	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$(Y_i - Y_i)^2$
1	13.738	13.756	0.000	0.089
2	14.199	14.184	0.000	0.022
3	14.479	14.447	0.001	0.190
4	13.905	13.987	0.007	0.013
5	13.281	13.212	0.005	0.553
6	13.955	13.888	0.005	0.014
7	14.407	14.297	0.012	0.105
8	14.252	14.239	0.000	0.038
9	14.190	14.304	0.013	0.022
10	14.124	14.044	0.006	0.009
11	14.074	14.034	0.002	0.003
12	14.077	14.053	0.001	0.004
13	14.357	14.409	0.003	0.124
14	13.528	13.612	0.007	0.181
15	13.921	13.906	0.000	0.011
16	13.927	13.854	0.005	0.014
17	14.176	14.212	0.001	0.010
18	13.871	13.867	0.000	0.030
19	14.096	14.081	0.000	0.001
20	14.162	14.235	0.005	0.000
Σ			0.074	1.433

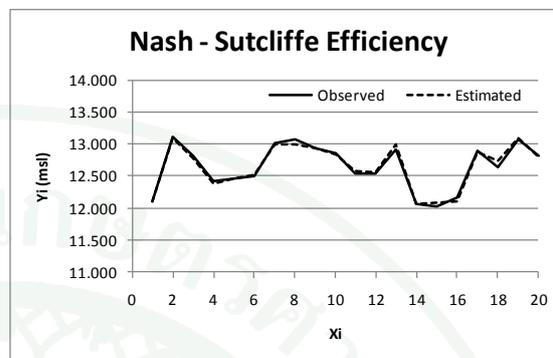


$$\begin{aligned} \text{NSE} &= 1 - (0.074 / 1.433) \\ &= 0.948 \end{aligned}$$

แบบจำลอง COM สามารถพยากรณ์ระดับน้ำ
ในช่วง
คลองที่ 2 ล่วงหน้า 60 นาทีได้ดี

ตารางผนวกที่ 3 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 3

i	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1	12.102	12.109	0.000	0.298
2	13.109	13.094	0.000	0.187
3	12.821	12.783	0.001	0.028
4	12.418	12.378	0.002	0.050
5	12.461	12.468	0.000	0.038
6	12.502	12.524	0.000	0.028
7	13.014	13.008	0.000	0.111
8	13.071	13.000	0.005	0.172
9	12.939	12.930	0.000	0.101
10	12.854	12.836	0.000	0.068
11	12.544	12.578	0.001	0.000
12	12.538	12.568	0.001	0.001
13	12.907	12.994	0.007	0.112
14	12.068	12.067	0.000	0.209
15	12.029	12.084	0.003	0.327
16	12.168	12.100	0.005	0.300
17	12.887	12.879	0.000	0.001
18	12.642	12.740	0.010	0.039
19	13.070	13.097	0.001	0.017
20	12.810	12.805	0.000	0.000
			Σ 0.037	2.089

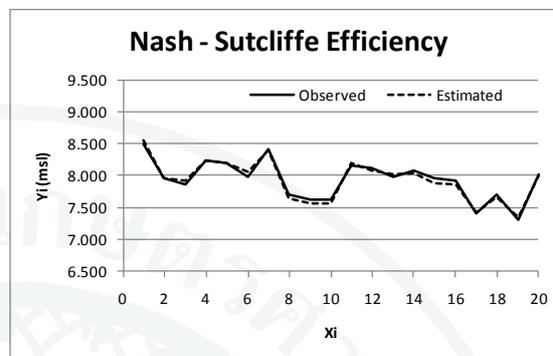


$$\begin{aligned} \text{NSE} &= 1 - (0.037 / 2.089) \\ &= 0.982 \end{aligned}$$

แบบจำลอง COM สามารถพยากรณ์ระดับน้ำ
ในช่วง
คลองที่ 3 ล่วงหน้า 60 นาทีได้ดี

ตารางผนวกที่ 4 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 4

i	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1	10.187	10.231	0.002	0.487
2	11.259	11.256	0.000	0.114
3	11.034	10.973	0.004	0.017
4	10.397	10.385	0.000	0.248
5	11.290	11.239	0.003	0.132
6	10.663	10.625	0.001	0.057
7	11.034	11.063	0.001	0.013
8	11.362	11.366	0.000	0.204
9	11.017	10.980	0.001	0.021
10	11.135	11.136	0.000	0.076
11	10.659	10.623	0.001	0.030
12	10.616	10.601	0.000	0.055
13	11.406	11.369	0.001	0.275
14	10.302	10.217	0.007	0.254
15	10.763	10.699	0.004	0.016
16	10.770	10.759	0.000	0.021
17	9.853	9.890	0.001	1.207
18	11.121	11.147	0.001	0.039
19	11.844	11.827	0.000	0.182
20	10.990	10.912	0.006	0.000
		Σ	0.035	3.449

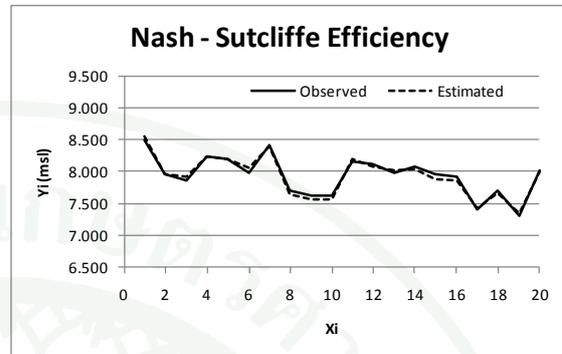


$$\begin{aligned} NSE &= 1 - (0.035 / 3.449) \\ &= 0.990 \end{aligned}$$

แบบจำลอง COM สามารถพยากรณ์ระดับน้ำ
ในช่วง
คลองที่ 4 ล่วงหน้า 60 นาทีได้ดี

ตารางผนวกที่ 5 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง COM ในช่วงคลองที่ 5

i	Y_i	\hat{Y}_i	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	$(Y_i - \bar{Y})^2$
1	8.498	8.543	0.002	0.313
2	7.954	7.948	0.000	0.002
3	7.861	7.924	0.004	0.002
4	8.235	8.238	0.000	0.106
5	8.199	8.186	0.000	0.096
6	7.978	8.053	0.006	0.012
7	8.417	8.379	0.001	0.310
8	7.707	7.650	0.003	0.012
9	7.625	7.562	0.004	0.041
10	7.629	7.572	0.003	0.046
11	8.162	8.183	0.000	0.088
12	8.114	8.082	0.001	0.079
13	7.975	8.023	0.002	0.031
14	8.078	8.038	0.002	0.093
15	7.958	7.881	0.006	0.056
16	7.927	7.857	0.005	0.064
17	7.405	7.433	0.001	0.043
18	7.701	7.665	0.001	0.000
19	7.311	7.348	0.001	0.129
20	8.030	8.001	0.001	0.000
Σ			0.044	1.524



$$\begin{aligned} \text{NSE} &= 1 - (0.044 / 1.524) \\ &= 0.971 \end{aligned}$$

แบบจำลอง COM สามารถพยากรณ์ระดับน้ำ

ในช่วง

คลองที่ 5 ล่วงหน้า 60 นาทีได้ดี



```

function [Go,SIM,C,SIMQ,Out,Pert,R] =
distribute_s(Input,Cs,qT,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6,C,Sens,ver,curve,Y)
[QI,Q,Qadj,WL,qb,C,Pert,R] = adjust(Input,Cs,qT,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6,C,Sens,Y);
%for first of week Qadj = NewQ_target - OldQ_target
RUB = Qadj
RDB = zeros(6,1);
dGo = zeros(7,1);
0.020%calculate Go at km0+020
hs = Input(1,2) - Cs(1,3);
dH = Input(1,1) - Input(1,2);
a = Cs(1,1);
b=Cs(1,2);
L = Cs(1,4);
Q1 = QI(1,1)+Qadj;
Go1 = (a*(hs^(b+1))*L*sqrt(2*9.81*dH)/Q1)^(1/b);
dGo(1) = Go1 - Input(1,3);
% build Q,WL,Hy in time space there are 68 sections and 48 time steps
Qcal = zeros(68,49);WLcal=zeros(68,49);Hycal=zeros(68,7);qbc cal=zeros(68,49);
Qcal(1:11,1)=Q(1:11,1);WLcal(1:11,1)=WL(1:11,1);Hycal(1:11,1:6)=Hy1;Hycal(1:11,7)=C(4);
qbc cal(1:11,1)=qb(1:11,1); %reach 1
Qcal(12:26,1)=Q(1:15,2);WLcal(12:26,1)=WL(1:15,2);Hycal(12:26,1:6)=Hy2;Hycal(12:26,7)=C(5);
qbc cal(12:26,1)=qb(1:15,2); %reach 2
Qcal(27:38,1)=Q(1:12,3);WLcal(27:38,1)=WL(1:12,3);Hycal(27:38,1:6)=Hy3;Hycal(27:38,7)=C(6);
qbc cal(27:38,1)=qb(1:12,3); %reach 3
Qcal(39:52,1)=Q(1:14,4);WLcal(39:52,1)=WL(1:14,4);Hycal(39:52,1:6)=Hy4;Hycal(39:52,7)=C(7);
qbc cal(39:52,1)=qb(1:14,4); %reach 4
Qcal(53:62,1)=Q(1:10,5);WLcal(53:62,1)=WL(1:10,5);Hycal(53:62,1:6)=Hy5;Hycal(53:62,7)=C(8);
qbc cal(53:62,1)=qb(1:10,5); %reach 5
Qcal(63:68,1)=Q(1:6,6);WLcal(63:68,1)=WL(1:6,6);Hycal(63:68,1:6)=Hy6;Hycal(63:68,7)=C(9);
qbc cal(63:68,1)=qb(1:6,6); %reach 6
% first loop for Qadjust at Km0+020
for j = 1:48 % 48 time steps
Qcal(:,j+1)=Qcal(:,j);
WLcal(:,j+1) = WLcal(:,j);
error = 1;

```

```

while error > 0.0001

[Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal(:,j),WLcal(:,j),Qcal(:,j+1),WLcal(:,j+1),Hycal,Input,Cs,C,qbcal(:,j),RUB,RDB,
dGo);

    Qcal(:,j+1)=Qk;
    WLcal(:,j+1)=WLk;
    RUB = 0;
    RDB = zeros(6,1);
end
qbcal(:,j+1)=qbcal(:,j);
end
3.650% for adjust Go km3+650
[dG,DB] =
P_dGdh3(Qcal(11,49),WLcal(11,49),WLcal(12,49),Cs(2,:),Hy1(11,3),Input(2,3),Input(2,1),Input(2,2));
    RUB = Qadj;
    RDB(1) = DB;
    RDB1 = RDB;
    dGo(2,1)=dG;
% second loop for adj Go at Km3+650
for j = 1:48      % 48 time steps
    Qcal(:,j+1)=Qcal(:,j);
    WLcal(:,j+1) = WLcal(:,j);
    error = 1;
    while error > 0.0001

[Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal(:,j),WLcal(:,j),Qcal(:,j+1),WLcal(:,j+1),Hycal,Input,Cs,C,qbcal(:,j),RUB,RDB1
,dGo);

    Qcal(:,j+1)=Qk;
    WLcal(:,j+1)=WLk;
    RUB = 0;
    RDB1 = zeros(6,1);
end
qbcal(:,j+1)=qbcal(:,j);
end
9.813% for adjust Go km9+813

```

```

[dG,DB] =
P_dGdh9(Qcal(26,49),WLcal(26,49),WLcal(27,49),Cs(3,:),Hy2(15,3),Input(3,3),Input(3,1),Input(3,2));
RUB = Qadj;
RDB(2) = DB;
RDB1 = RDB;
dGo(3,1)=dG;
% third loop for adj Go at Km9+813
for j = 1:48 % 48 time steps
Qcal(:,j+1)=Qcal(:,j);
WLcal(:,j+1) = WLcal(:,j);
error = 1;
while error > 0.0001
[Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal(:,j),WLcal(:,j),Qcal(:,j+1),WLcal(:,j+1),Hycal,Input,Cs,C,qbcal(:,j),RUB,RDB1
,dGo);
Qcal(:,j+1)=Qk;
WLcal(:,j+1)=WLk;
RUB = 0;
RDB1 = zeros(6,1);
end
qbcal(:,j+1)=qbcal(:,j);
end
14.750% for adjust Go km14+750
[dG,DB] =
P_dGdh14(Qcal(38,49),WLcal(38,49),WLcal(39,49),Cs(4,:),Hy3(12,3),Input(4,3),Input(4,1),Input(4,2));
RUB = Qadj;
RDB(3) = DB;
RDB1 = RDB;
dGo(4,1)=dG;
% forth loop for adj Go at Km14+750
for j = 1:48 % 48 time steps
Qcal(:,j+1)=Qcal(:,j);
WLcal(:,j+1) = WLcal(:,j);
error = 1;
while error > 0.0001

```

```

[Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal(:,j),WLcal(:,j),Qcal(:,j+1),WLcal(:,j+1),Hycal,Input,Cs,C,qbcal(:,j),RUB,RDB1
,dGo);
    Qcal(:,j+1)=Qk;
    WLcal(:,j+1)=WLk;
    RUB = 0;
    RDB1 = zeros(6,1);
end
qbcal(:,j+1)=qbcal(:,j);
end
20.300% for adjust Go km20+300
[dG,DB] =
P_dGdh20(Qcal(52,49),WLcal(52,49),WLcal(53,49),Cs(5,:),Hy4(14,3),Input(5,3),Input(5,1),Input(5,2));
RUB = Qadj;
RDB(4) = DB;
RDB1 = RDB;
dGo(5,1)=dG;
% fifth loop for adj Go at Km20+300
for j = 1:48    % 48 time steps
    Qcal(:,j+1)=Qcal(:,j);
    WLcal(:,j+1) = WLcal(:,j);
    error = 1;
    while error > 0.0001
[Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal(:,j),WLcal(:,j),Qcal(:,j+1),WLcal(:,j+1),Hycal,Input,Cs,C,qbcal(:,j),RUB,RDB1
,dGo);
    Qcal(:,j+1)=Qk;
    WLcal(:,j+1)=WLk;
    RUB = 0;
    RDB1 = zeros(6,1);
end
qbcal(:,j+1)=qbcal(:,j);
end
24.500% for adjust Go km24+500
if abs(WLcal(62,49) - Hy5(10,3))> 0.01

```

```

[dG,DB] =
P_dGdh24(Qcal(62,49),WLcal(62,49),WLcal(63,49),0.75,Hy5(10,3),Input(6,3),Input(6,1),Input(6,2));
RUB = Qadj;
RDB(5) = DB;
RDB1 = RDB;
dGo(6,1)=dG;
% sixth loop for adj Go at Km24+500
for j = 1:48 % 48 time steps
    Qcal(:,j+1)=Qcal(:,j);
    WLcal(:,j+1) = WLcal(:,j);
    error = 1;
    while error > 0.0001
        [Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal(:,j),WLcal(:,j),Qcal(:,j+1),WLcal(:,j+1),Hycal,Input,Cs,C,qbcal(:,j),RUB,RDB1
        ,dGo);
        Qcal(:,j+1)=Qk;
        WLcal(:,j+1)=WLk;
        RUB = 0;
        RDB1 = zeros(6,1);
    end
    qbcal(:,j+1)=qbcal(:,j);
end
end
%26.401% for adjust Go km26+401
[dG,DB] =
P_dGdh26(Qcal(68,49),WLcal(68,49),Input(7,2),Cs(7,:),Hy6(6,3),Input(7,3),Input(7,1),Input(7,2));
RUB = Qadj;
RDB(6) = DB;
RDB1 = RDB;
dGo(7,1)=dG;
% seventh loop for adj Go at Km26+401
for j = 1:48 % 48 time steps
    Qcal(:,j+1)=Qcal(:,j);
    WLcal(:,j+1) = WLcal(:,j);
    error = 1;

```

```

while error > 0.0001

[Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal(:,j),WLcal(:,j),Qcal(:,j+1),WLcal(:,j+1),Hycal,Input,Cs,C,qbcal(:,j),RUB,RDB1
,dGo);

    Qcal(:,j+1)=Qk;
    WLcal(:,j+1)=WLk;
    RUB = 0;
    RDB1 = zeros(6,1);
end
qbcal(:,j+1)=qbcal(:,j);
end
dGo
Gov = dGo(:)+Input(:,3);
%tranform vertical to curve
Go = zeros(7,2);
Go(:,1) = interp1(ver,curve,Gov(:,1));
Go(7,1) = Gov(7);
Go(:,2) = Gov;
SIM = zeros(6,51);
SIM(1,1) = 3.650;SIM(2,1) = 9.813;SIM(3,1) =
14.750;SIM(4,1)=20.300;SIM(5,1)=24.500;SIM(6,1)=26.401;
SIM(:,2) = dGo(2:7);
SIMQ = SIM;
for j = 1:49
    SIM(1,j+2) = WLcal(11,j);
    SIM(2,j+2) = WLcal(26,j);
    SIM(3,j+2) = WLcal(38,j);
    SIM(4,j+2) = WLcal(52,j);
    SIM(5,j+2) = WLcal(62,j);
    SIM(6,j+2) = WLcal(68,j);
    SIMQ(1,j+2) = Qcal(11,j);
    SIMQ(2,j+2) = Qcal(26,j);
    SIMQ(3,j+2) = Qcal(38,j);
    SIMQ(4,j+2) = Qcal(52,j);
    SIMQ(5,j+2) = Qcal(62,j);

```

```

SIMQ(6,j+2) = Qcal(68,j);
end
Out = zeros(7,6);
Out(1,1) = 0.02;Out(2,1) = 3.650;Out(3,1) = 9.813;Out(4,1) =
14.750;Out(5,1)=20.300;Out(6,1)=24.500;Out(7,1)=26.401;
Out(2,2) =
Hy1(11,3);Out(3,2)=Hy2(15,3);Out(4,2)=Hy3(12,3);Out(5,2)=Hy4(14,3);Out(6,2)=Hy5(10,3);Out(7,2)=Hy6(6,
3);
Out(2,3) = Hy1(11,3)-Pert(1);Out(3,3)=Hy2(15,3)-Pert(2);Out(4,3)=Hy3(12,3)-Pert(3);
Out(5,3)=Hy4(14,3)-Pert(4);Out(6,3)=Hy5(10,3);Out(7,3)=Hy6(6,3)-Pert(5);
Out(1,4) = Input(1,1);
Out(2,5) = WLcal(12,49);Out(3,5) = WLcal(27,49);Out(4,5) = WLcal(39,49);Out(5,5) = WLcal(53,49);
Out(6,5) = WLcal(63,49);Out(7,5)=Input(7,2);
Out(1,5) = WLcal(1,49);
Out(2:7,4)=SIM(:,51);
Out(:,6) = Go(:,1);

```

```

function [QI,Q,Qadj,WL,qb,C,Pert,R] = adjust(Input,Cs,qT,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6,C,Sens,Y)
    [QI,Q,qb] = discharge(Input,Cs,qT,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6);
    maning = adj_n(Input,Q,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6);
    C(4:9,1) = maning(1:6,1);
    [Pert,R] = perturbation(Y,Input,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy6);
    % adjust Reach 1 : Total volume = 170,006.45 m3 :
    % add TWL 0.15 m = 180,242.20
    % Reach 1 has 11 sections
    A = zeros(11,1);V=0;
    [WL1] = standard_s(Input(2,1)+Pert(1),Q(:,1),Hy1,C(4));
    for i = 1 : 10
        A(i)=(Hy1(i,2)+(1.5*(WL1(i)-Hy1(i,4))))*(WL1(i)-Hy1(i,4));
        A(i+1)=(Hy1(i+1,2)+(1.5*(WL1(i+1)-Hy1(i+1,4))))*(WL1(i+1)-Hy1(i+1,4));
        dx = Hy1(i+1,1)-Hy1(i,1);
        V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
    end
    V1adj = 170006.45-V;
    Q1adj = V1adj/C(1); %time interval = 8 hours
    % adjust Reach 2 : Total volume = 266,138.51 m3
    % add TWL 0.15 m = 282,963.04
    % Reach 2 has 15 sections
    A = zeros(15,1);V=0;
    [WL2] = standard_s(Input(3,1)+Pert(2),Q(:,2),Hy2,C(5));
    for i = 1 : 14
        A(i)=(Hy2(i,2)+(1.5*(WL2(i)-Hy2(i,4))))*(WL2(i)-Hy2(i,4));
        A(i+1)=(Hy2(i+1,2)+(1.5*(WL2(i+1)-Hy2(i+1,4))))*(WL2(i+1)-Hy2(i+1,4));
        dx = Hy2(i+1,1)-Hy2(i,1);
        V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
    end
    V2adj = 266138.51-V;
    Q2adj = V2adj/C(1); %time interval = 8 hours
    % adjust Reach 3 : Total volume = 174,294.61 m3
    % add TWL 0.20 m = 190,537.34 ; add TWL 0.10 m = 182,341.92
    % Reach 3 has 12 sections
    A = zeros(12,1);V=0;

```

```

[WL3] = standard_s(Input(4,1)+Pert(3),Q(:,3),Hy3,C(6));
for i = 1 : 11
    A(i)=(Hy3(i,2)+(1.5*(WL3(i)-Hy3(i,4))))*(WL3(i)-Hy3(i,4));
    A(i+1)=(Hy3(i+1,2)+(1.5*(WL3(i+1)-Hy3(i+1,4))))*(WL3(i+1)-Hy3(i+1,4));
    dx = Hy3(i+1,1)-Hy3(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V3adj = 182341.92-V;
Q3adj = V3adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 4 : Total volume = 191,038.54 m3
% add TWL 0.10 m = 199,993.45
% Reach 4 has 14 sections
A = zeros(14,1);V=0;
[WL4] = standard_s(Input(5,1)+Pert(4),Q(:,4),Hy4,C(7));
for i = 1 : 13
    A(i)=(Hy4(i,2)+(1.5*(WL4(i)-Hy4(i,4))))*(WL4(i)-Hy4(i,4));
    A(i+1)=(Hy4(i+1,2)+(1.5*(WL4(i+1)-Hy4(i+1,4))))*(WL4(i+1)-Hy4(i+1,4));
    dx = Hy4(i+1,1)-Hy4(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V4adj = 191038.54-V;
Q4adj = V4adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 5 : Total volume = 131,712 m3
% Reach 5 has 10 sections
A = zeros(10,1);V=0;
[WL5] = standard_s(Input(6,1),Q(:,5),Hy5,C(8));
for i = 1 : 9
    A(i)=(Hy5(i,2)+(1.5*(WL5(i)-Hy5(i,4))))*(WL5(i)-Hy5(i,4));
    A(i+1)=(Hy5(i+1,2)+(1.5*(WL5(i+1)-Hy5(i+1,4))))*(WL5(i+1)-Hy5(i+1,4));
    dx = Hy5(i+1,1)-Hy5(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V5adj = 131712-V;
Q5adj = V5adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 6 : Total volume = 55,693.85 m3 adj TWL drop for working so

```

```

% TWL change to 50176.9 for reduce TWL 0.20 m.
% Reach 6 has 6 sections
A = zeros(6,1);V=0;
[WL6] = standard_s(Input(7,1)+Pert(5),Q(:,6),Hy6,C(9));
for i = 1 : 5
    A(i)=(Hy6(i,2)+(1.5*(WL6(i)-Hy6(i,4))))*(WL6(i)-Hy6(i,4));
    A(i+1)=(Hy6(i+1,2)+(1.5*(WL6(i+1)-Hy6(i+1,4))))*(WL6(i+1)-Hy6(i+1,4));
    dx = Hy6(i+1,1)-Hy6(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V6adj = 50176.9-V;
Q6adj = V6adj/C(1); %time interval = 8 hours
Qadj = Q1adj+Q2adj+Q3adj+Q4adj+Q5adj+Q6adj;
% lateral adjust use sensitivity for calculate (not use in calculate)
qT1adj = -Sens(1)*(WL1(7)-Hy1(7,3))*qT(1); %1R-5L-2L
qT2adj = -Sens(2)*(WL1(9)-Hy1(9,3))*qT(2); %1L-5L-2L
qT3adj = -Sens(3)*(WL2(10)-Hy2(10,3))*qT(3); %2L-5L-2L
qT4adj = -Sens(4)*(WL2(13)-Hy2(13,3))*qT(4); %2R-5L-2L
qT5adj = -Sens(5)*(WL3(10)-Hy3(10,3))*qT(5); %3L-5L-2L
qT6adj = -Sens(6)*(WL4(12)-Hy4(12,3))*qT(6); %4L-5L-2L
qT7adj = -Sens(7)*(WL6(4)-Hy6(4,3))*qT(7); %3R-5L-2L
qTadj = qT1adj+qT2adj+qT3adj+qT4adj+qT5adj+qT6adj+qT7adj;
%Qadj = Qadj + qTadj; % -qTadj because if WL down qTadj is positive but we must access discharge
[WL1] = standard_s(Input(2,1),Q(:,1),Hy1,C(4));
[WL2] = standard_s(Input(3,1),Q(:,2),Hy2,C(5));
[WL3] = standard_s(Input(4,1),Q(:,3),Hy3,C(6));
[WL4] = standard_s(Input(5,1),Q(:,4),Hy4,C(7));
[WL5] = standard_s(Input(6,1),Q(:,5),Hy5,C(8));
[WL6] = standard_s(Input(7,1),Q(:,6),Hy6,C(9));
WL=zeros(15,6);
WL(1:11,1)=WL1(1:11);WL(1:15,2)=WL2(1:15);WL(1:12,3)=WL3(1:12);
WL(1:14,4)=WL4(1:14);WL(1:10,5)=WL5(1:10);WL(1:6,6)=WL6(1:6);
function [Qk,WLk,error]=jacobian(Qcal,WLcal,Q1cal,WL1cal,Hycal,Input,Cs,C,qbcal,RUB,RDB,dGo)
Q = zeros(15,6);Q1=zeros(15,6);WL=zeros(15,6);WL1=zeros(15,6);qb = zeros(15,6);

```

```

Q(1:11,1)=Qcal(1:11,1);WL(1:11,1)=WLcal(1:11,1);Hy1=Hycal(1:11,1:6);qb(1:11,1)=qbcal(1:11,1);
%reach 1
Q(1:15,2)=Qcal(12:26,1);WL(1:15,2)=WLcal(12:26,1);Hy2=Hycal(12:26,1:6);qb(1:15,2)=qbcal(12:26,1);
%reach 2
Q(1:12,3)=Qcal(27:38,1);WL(1:12,3)=WLcal(27:38,1);Hy3=Hycal(27:38,1:6);qb(1:12,3)=qbcal(27:38,1);
%reach 3
Q(1:14,4)=Qcal(39:52,1);WL(1:14,4)=WLcal(39:52,1);Hy4=Hycal(39:52,1:6);qb(1:14,4)=qbcal(39:52,1);
%reach 4
Q(1:10,5)=Qcal(53:62,1);WL(1:10,5)=WLcal(53:62,1);Hy5=Hycal(53:62,1:6);qb(1:10,5)=qbcal(53:62,1);
%reach 5
Q(1:6,6)=Qcal(63:68,1);WL(1:6,6)=WLcal(63:68,1);Hy6=Hycal(63:68,1:6);qb(1:6,6)=qbcal(63:68,1);
%reach 6
Q1(1:11,1)=Q1cal(1:11,1);WL1(1:11,1)=WL1cal(1:11,1); %reach 1
Q1(1:15,2)=Q1cal(12:26,1);WL1(1:15,2)=WL1cal(12:26,1); %reach 2
Q1(1:12,3)=Q1cal(27:38,1);WL1(1:12,3)=WL1cal(27:38,1); %reach 3
Q1(1:14,4)=Q1cal(39:52,1);WL1(1:14,4)=WL1cal(39:52,1); %reach 4
Q1(1:10,5)=Q1cal(53:62,1);WL1(1:10,5)=WL1cal(53:62,1); %reach 5
Q1(1:6,6)=Q1cal(63:68,1);WL1(1:6,6)=WL1cal(63:68,1); %reach 6
% calculate parameter of reach at time j
PA1 = para_adj(Q(:,1),WL(:,1),C(4),Hy1,qb(:,1)); %reach 1
PA2 = para_adj(Q(:,2),WL(:,2),C(5),Hy2,qb(:,2)); %reach 2
PA3 = para_adj(Q(:,3),WL(:,3),C(6),Hy3,qb(:,3)); %reach 3
PA4 = para_adj(Q(:,4),WL(:,4),C(7),Hy4,qb(:,4)); %reach 4
PA5 = para_adj(Q(:,5),WL(:,5),C(8),Hy5,qb(:,5)); %reach 5
PA6 = para_adj(Q(:,6),WL(:,6),C(9),Hy6,qb(:,6)); %reach 6
% calculate parameter of reach at time j+1
PAj1 = para_adj(Q1(:,1),WL1(:,1),C(4),Hy1,qb(:,1)); %reach 1
PAj2 = para_adj(Q1(:,2),WL1(:,2),C(5),Hy2,qb(:,2)); %reach 2
PAj3 = para_adj(Q1(:,3),WL1(:,3),C(6),Hy3,qb(:,3)); %reach 3
PAj4 = para_adj(Q1(:,4),WL1(:,4),C(7),Hy4,qb(:,4)); %reach 4
PAj5 = para_adj(Q1(:,5),WL1(:,5),C(8),Hy5,qb(:,5)); %reach 5
PAj6 = para_adj(Q1(:,6),WL1(:,6),C(9),Hy6,qb(:,6)); %reach 6
% calculate partial differential
diff_CM1 = pdiff(PAj1,C);
diff_CM2 = pdiff(PAj2,C);

```

```

diff_CM3 = pdiff(PAj3,C);
diff_CM4 = pdiff(PAj4,C);
diff_CM5 = pdiff(PAj5,C);
diff_CM6 = pdiff(PAj6,C);
% calculate residual of reach
RCM1 = resi(PA1,PAj1,C);
RCM2 = resi(PA2,PAj2,C);
RCM3 = resi(PA3,PAj3,C);
RCM4 = resi(PA4,PAj4,C);
RCM5 = resi(PA5,PAj5,C);
RCM6 = resi(PA6,PAj6,C);
% calculate partial differential of Go
dqdh = pdiff_G(Input,WL1,Cs,dGo);
%build jacobian matrix for 2 reach
Jacob = zeros(136,136);
Jacob(1,2) = 1;
% for reach 1 has 11 sections, 10 reaches
for i = 1:10
    Jacob(2*i,2*i-1:2*i+2) = diff_CM1(i,1:4);
    Jacob(2*i+1,2*i-1:2*i+2) = diff_CM1(i,5:8);
end
Jacob(22,21) = -dqdh(1);% = -dQ/dHus
Jacob(22,22) = 1;
% for reach 2 has 15 sections, 14 reaches
Jacob(23,22) = -1; Jacob(23,24) = 1;
for i = 1:14
    Jacob(2*i+22,2*i+21:2*i+24) = diff_CM2(i,1:4);
    Jacob(2*i+23,2*i+21:2*i+24) = diff_CM2(i,5:8);
end
Jacob(52,51) = -dqdh(2);% = -dQ/dHus
Jacob(52,52) = 1;
% for reach 3 has 12 sections, 11 reaches
Jacob(53,52) = -1; Jacob(53,54) = 1;
for i = 1:11
    Jacob(2*i+52,2*i+51:2*i+54) = diff_CM3(i,1:4);

```

```

    Jacob(2*i+53,2*i+51:2*i+54)=diff_CM3(i,5:8);
end
Jacob(76,75) = -dqdh(3);% - dQ/dHus
Jacob(76,76) = 1;
% for reach 4 has 14 sections, 13 reaches
Jacob(77,76)=-1;Jacob(77,78)=1;
for i = 1:13
    Jacob(2*i+76,2*i+75:2*i+78)=diff_CM4(i,1:4);
    Jacob(2*i+77,2*i+75:2*i+78)=diff_CM4(i,5:8);
end
Jacob(104,103) = -dqdh(4);% - dQ/dHus
Jacob(104,104) = 1;
% for reach 5 has 10 sections, 9 reaches
Jacob(105,104)=-1;Jacob(105,106)=1;
for i= 1:9
    Jacob(2*i+104,2*i+103:2*i+106)=diff_CM5(i,1:4);
    Jacob(2*i+105,2*i+103:2*i+106)=diff_CM5(i,5:8);
end
Jacob(124,123) = -dqdh(5);% - dQ/dHus
Jacob(124,124) = 1;
% for reach 6 has 6 sections, 5 reaches
Jacob(125,124)=-1;Jacob(125,126)=1;
for i = 1:5
    Jacob(2*i+124,2*i+123:2*i+126)=diff_CM6(i,1:4);
    Jacob(2*i+125,2*i+123:2*i+126)=diff_CM6(i,5:8);
end
Jacob(136,135) = -dqdh(6); % -dqdh(6);% - dQ/dHus
Jacob(136,136) = 1;
% build residaul matrix
RCM = zeros(136,1);
% for reach 1 has 11 sections, 10 reaches
RCM(1) = RUB; %RUB1
for i =1:10
    RCM(2*i) =-RCM1(i,1);
    RCM(2*i+1)=-RCM1(i,2);

```

```

end
RCM(22)=RDB(1); %RDB1
RCM(23)=0; %RUB2
% for reach 2 has 15 sections, 14 reaches
for i =1:14
    RCM(2*i+22) =-RCM2(i,1);
    RCM(2*i+23)=-RCM2(i,2);
end
RCM(52)=RDB(2); %RDB2
RCM(53)=0; %RUB3
% for reach 3 has 12 sections, 11 reaches
for i =1:11
    RCM(2*i+52) =-RCM3(i,1);
    RCM(2*i+53)=-RCM3(i,2);
end
RCM(76)=RDB(3); %RDB3
RCM(77)=0; %RUB4
% for reach 4 has 14 sections, 13 reaches
for i =1:13
    RCM(2*i+76) =-RCM4(i,1);
    RCM(2*i+77)=-RCM4(i,2);
end
RCM(104)=RDB(4); %RDB4
RCM(105)=0; %RUB5
% for reach 5 has 10 sections, 9 reaches
for i =1:9
    RCM(2*i+104) =-RCM5(i,1);
    RCM(2*i+105)=-RCM5(i,2);
end
RCM(124)=RDB(5); %RDB5
RCM(125)=0; %RUB6
% for reach 6 has 6 sections, 5 reaches
for i =1:5
    RCM(2*i+124) =-RCM6(i,1);
    RCM(2*i+125)=-RCM6(i,2);

```

```

end
RCM(136)=RDB(6); %RDB6
%RCM;
in =inv(Jacob);
%dhdQ = zeros(136,1);
Qk = Q1cal;
WLk = WL1cal;
dhdQ = in*RCM;
error = max(abs(dhdQ));
%dhdQ=LUsol(Jacob,RCM)
for i=1:68
    Qk(i) =Q1cal(i)+dhdQ(2*i);
    WLk(i)=WL1cal(i)+dhdQ(2*i-1);
end

```

```
function maning = adj_n(Input,Q,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6)
% adj for each reach
maning = zeros(6,1);
maning(1) = brent_n(Input(2,1),Q(:,1),Hy1,0.005,0.05,Input(1,2));
maning(2) = brent_n(Input(3,1),Q(:,2),Hy2,0.005,0.05,Input(2,2));
maning(3) = brent_n(Input(4,1),Q(:,3),Hy3,0.005,0.05,Input(3,2));
maning(4) = brent_n(Input(5,1),Q(:,4),Hy4,0.005,0.05,Input(4,2));
maning(5) = brent_n(Input(6,1),Q(:,5),Hy5,0.005,0.05,Input(5,2));
maning(6) = brent_n(Input(7,1),Q(:,6),Hy6,0.005,0.07,Input(6,2));
```

```

function maning = brent_n(Input,Q,Hy,a,b,TWL)
% Finds a maning of f(x) = 0 by combining quadratic
% interpolation with bisection (Brent's method).
% USAGE: maning = brent_n(func,a,b,tol)
% func = handle of function that returns f(x).
% a,b = limits of the interval containing the root.
% tol = error tolerance (default is 1.0e6*eps).
% maning = zero of f(x) (root = NaN if failed to converge).
tol = 0.0001;
x1 = a; WL = standard_s(Input,Q,Hy,x1);
f1 = WL(1) - TWL;
if f1 == 0; maning = x1; return; end
x2 = b; WL = standard_s(Input,Q,Hy,x2);
f2 = WL(1) - TWL;
if f2 == 0; maning = x2; return; end
if f1*f2 > 0.0
    error('Root is not bracketed in (a,b)')
end
x3 = 0.5*(a + b);
% Beginning of iterative loop.
for i = 1:30
    WL = standard_s(Input,Q,Hy,x3);
    f3 = WL(1) - TWL;
    if abs(f3) < tol
        maning = x3; return
    end
    % Tighten brackets (a,b) on the root.
    if f1*f3 < 0.0; b = x3;
    else
        a = x3;
    end
    if (b - a) < tol*max(abs(b),1.0)
        maning = 0.5*(a + b); return
    end
    % Try quadratic interpolation.

```

```

denom = (f2 - f1)*(f3 - f1)*(f2 - f3);
numer = x3*(f1 - f2)*(f2 - f3 + f1)...
      + f2*x1*(f2 - f3) + f1*x2*(f3 - f1);
% If division by zero, push x out of bracket
% to force bisection.
if denom == 0; dx = b - a;
else
    dx = f3*numer/denom;
end
x = x3 + dx;
% If interpolation goes out of bracket, use bisection.
if (b - x)*(x - a) < 0.0
    dx = 0.5*(b - a); x = a + dx;
end
% Let x3 <-- x & choose new x1, x2 so that x1 < x3 < x2.
if x < x3
    x2 = x3; f2 = f3;
else
    x1 = x3; f1 = f3;
end
x3 = x;
end
maning = NaN;

```

```

function [QI,Q,qb]=discharge(Input,Cs,qT,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6)
dx = zeros(15,1);h = Input(:,1)-Input(:,2);hs = Input(:,2)-Cs(:,3);C1 = Cs(:,1).*((hs./Input(:,3)).^Cs(:,2));
C1(6,1)=0.75;
QI = C1.*Cs(:,4).*hs.*sqrt(2*9.81*h);
QI(6,1) = C1(6,1)*Cs(6,4)*Input(6,3)*sqrt(2*9.81*h(6,1));
Q = zeros(15,6);qb=zeros(15,6); Q(1,1) = QI(1,1);
dq = (QI(1,1)-QI(2,1)-qT(1)-qT(2))/(3056-20);
for i = 2:7
    dx(i)=Hy1(i,1)-Hy1(i-1,1);
    Q(i,1) = Q(i-1,1)-(dq*dx(i));
    qb(i-1,1) = -dq;
end
Q(8,1)=Q(7,1)-qT(1,1);
qb(7,1)=-qT(1,1)/(Hy1(8,1)-Hy1(7,1));
Q(9,1) = Q(8,1);
Q(10,1)=Q(9,1) - qT(2,1);
qb(9,1)=-qT(2,1)/(Hy1(10,1)-Hy1(9,1));
Q(11,1) = Q(10,1);
Q(1,2) = QI(2,1);
dq = (QI(2,1)-QI(3,1)-qT(3)-qT(4))/(8254-3650);
for i = 2:10
    dx(i)=Hy2(i,1)-Hy2(i-1,1);
    Q(i,2) = Q(i-1,2)-(dq*dx(i));
    qb(i-1,2)=-dq;
end
Q(11,2)=Q(10,2) - qT(3,1);
qb(10,2)=-qT(3,1)/(Hy2(11,1)-Hy2(10,1));
Q(12,2) = Q(11,2);Q(13,2)=Q(12,2);
Q(14,2)=Q(13,2)-qT(4,1);
qb(13,2)=-qT(4,1)/(Hy2(14,1)-Hy2(13,1));
Q(15,2)=Q(14,2);
Q(1,3) = QI(3,1);
dq = (QI(3,1)-QI(4,1)-qT(5))/(14477-9813);
for i = 2:10
    dx(i)=Hy3(i,1)-Hy3(i-1,1);

```

```

    Q(i,3) = Q(i-1,3)-(dq*dx(i));
    qb(i-1,3)=-dq;
end
Q(11,3)=Q(10,3) - qT(5,1);
qb(10,3)=-qT(5,1)/(Hy3(11,1)-Hy3(10,1));
Q(12,3)=Q(11,3);
Q(1,4) = QI(4,1);
dq = (QI(4,1)-QI(5,1)-qT(6))/(20152-14750);
for i = 2:12
    dx(i)=Hy4(i,1)-Hy4(i-1,1);
    Q(i,4) = Q(i-1,4)-(dq*dx(i));
    qb(i-1,4)=-dq;
end
Q(13,4) = Q(12,4)-qT(6,1);
qb(12,4)=-qT(6,1)/(Hy4(13,1)-Hy4(12,1));
Q(14,4) = Q(13,4);
Q(1,5)=QI(5,1);
dq = (QI(5,1)-QI(6,1))/(24500-20300);
for i = 2:10
    dx(i)=Hy5(i,1)-Hy5(i-1,1);
    Q(i,5) = Q(i-1,5)-(dq*dx(i));
    qb(i-1,5)=-dq;
end
Q(1,6) = QI(6,1);
dq = (QI(6,1)-QI(7,1)-qT(7))/(26160-24500);
for i = 2:4
    dx(i)=Hy6(i,1)-Hy6(i-1,1);
    Q(i,6) = Q(i-1,6)-(dq*dx(i));
    qb(i-1,6)=-dq;
end
Q(5,6)=Q(4,6)-qT(7,1);
qb(4,6)=-qT(7,1)/(Hy6(5,1)-Hy6(4,1));
Q(6,6) = Q(5,6);
function [QI,Q,Qadj,WL,qb,C,Pert,R] = adjust(Input,Cs,qT,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6,C,Sens,Y)
[QI,Q,qb] = discharge(Input,Cs,qT,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6);

```

```

maning = adj_n(Input,Q,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6);
C(4:9,1) = maning(1:6,1);
[Pert,R] = perturbation(Y,Input,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy6);
% adjust Reach 1 : Total volume = 170,006.45 m3 :
% add TWL 0.15 m = 180,242.20
% Reach 1 has 11 sections
A = zeros(11,1);V=0;
[WL1] = standard_s(Input(2,1)+Pert(1),Q(:,1),Hy1,C(4));
for i = 1 : 10
    A(i)=(Hy1(i,2)+(1.5*(WL1(i)-Hy1(i,4))))*(WL1(i)-Hy1(i,4));
    A(i+1)=(Hy1(i+1,2)+(1.5*(WL1(i+1)-Hy1(i+1,4))))*(WL1(i+1)-Hy1(i+1,4));
    dx = Hy1(i+1,1)-Hy1(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V1adj = 170006.45-V;
Q1adj = V1adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 2 : Total volume = 266,138.51 m3
% add TWL 0.15 m = 282,963.04
% Reach 2 has 15 sections
A = zeros(15,1);V=0;
[WL2] = standard_s(Input(3,1)+Pert(2),Q(:,2),Hy2,C(5));
for i = 1 : 14
    A(i)=(Hy2(i,2)+(1.5*(WL2(i)-Hy2(i,4))))*(WL2(i)-Hy2(i,4));
    A(i+1)=(Hy2(i+1,2)+(1.5*(WL2(i+1)-Hy2(i+1,4))))*(WL2(i+1)-Hy2(i+1,4));
    dx = Hy2(i+1,1)-Hy2(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V2adj = 266138.51-V;
Q2adj = V2adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 3 : Total volume = 174,294.61 m3
% add TWL 0.20 m = 190,537.34 ; add TWL 0.10 m = 182,341.92
% Reach 3 has 12 sections
A = zeros(12,1);V=0;
[WL3] = standard_s(Input(4,1)+Pert(3),Q(:,3),Hy3,C(6));
for i = 1 : 11

```

```

A(i)=(Hy3(i,2)+(1.5*(WL3(i)-Hy3(i,4))))*(WL3(i)-Hy3(i,4));
A(i+1)=(Hy3(i+1,2)+(1.5*(WL3(i+1)-Hy3(i+1,4))))*(WL3(i+1)-Hy3(i+1,4));
dx = Hy3(i+1,1)-Hy3(i,1);
V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;

end

V3adj = 182341.92-V;
Q3adj = V3adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 4 : Total volume = 191,038.54 m3
% add TWL 0.10 m = 199,993.45
% Reach 4 has 14 sections
A = zeros(14,1);V=0;
[WL4] = standard_s(Input(5,1)+Pert(4),Q(:,4),Hy4,C(7));
for i = 1 : 13
    A(i)=(Hy4(i,2)+(1.5*(WL4(i)-Hy4(i,4))))*(WL4(i)-Hy4(i,4));
    A(i+1)=(Hy4(i+1,2)+(1.5*(WL4(i+1)-Hy4(i+1,4))))*(WL4(i+1)-Hy4(i+1,4));
    dx = Hy4(i+1,1)-Hy4(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V4adj = 191038.54-V;
Q4adj = V4adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 5 : Total volume = 131,712 m3
% add TWL 0.10 m = 138,243.00
% Reach 5 has 10 sections
A = zeros(10,1);V=0;
[WL5] = standard_s(Input(6,1),Q(:,5),Hy5,C(8));
for i = 1 : 9
    A(i)=(Hy5(i,2)+(1.5*(WL5(i)-Hy5(i,4))))*(WL5(i)-Hy5(i,4));
    A(i+1)=(Hy5(i+1,2)+(1.5*(WL5(i+1)-Hy5(i+1,4))))*(WL5(i+1)-Hy5(i+1,4));
    dx = Hy5(i+1,1)-Hy5(i,1);
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
end
V5adj = 131712-V;
Q5adj = V5adj/C(1); %time interval = 8 hours
% adjust Reach 6 : Total volume = 55,693.85 m3 adj TWL drop for working so
% TWL change to 50176.9 for reduce TWL 0.20 m.

```

```
% Reach 6 has 6 sections
```

```
A = zeros(6,1);V=0;
```

```
[WL6] = standard_s(Input(7,1)+Pert(5),Q(:,6),Hy6,C(9));
```

```
for i = 1 : 5
```

```
    A(i)=(Hy6(i,2)+(1.5*(WL6(i)-Hy6(i,4))))*(WL6(i)-Hy6(i,4));
```

```
    A(i+1)=(Hy6(i+1,2)+(1.5*(WL6(i+1)-Hy6(i+1,4))))*(WL6(i+1)-Hy6(i+1,4));
```

```
    dx = Hy6(i+1,1)-Hy6(i,1);
```

```
    V = V+(A(i)+A(i+1))*dx/2;
```

```
end
```

```
V6adj = 50176.9-V;
```

```
Q6adj = V6adj/C(1); %time interval = 8 hours
```

```
Qadj = Q1adj+Q2adj+Q3adj+Q4adj+Q5adj+Q6adj;
```

```
% lateral adjust use sensitivity for calculate (not use in calculate)
```

```
qT1adj = -Sens(1)*(WL1(7)-Hy1(7,3))*qT(1); %1R-5L-2L
```

```
qT2adj = -Sens(2)*(WL1(9)-Hy1(9,3))*qT(2); %1L-5L-2L
```

```
qT3adj = -Sens(3)*(WL2(10)-Hy2(10,3))*qT(3); %2L-5L-2L
```

```
qT4adj = -Sens(4)*(WL2(13)-Hy2(13,3))*qT(4); %2R-5L-2L
```

```
qT5adj = -Sens(5)*(WL3(10)-Hy3(10,3))*qT(5); %3L-5L-2L
```

```
qT6adj = -Sens(6)*(WL4(12)-Hy4(12,3))*qT(6); %4L-5L-2L
```

```
qT7adj = -Sens(7)*(WL6(4)-Hy6(4,3))*qT(7); %3R-5L-2L
```

```
qTadj = qT1adj+qT2adj+qT3adj+qT4adj+qT5adj+qT6adj+qT7adj;
```

```
[WL1] = standard_s(Input(2,1),Q(:,1),Hy1,C(4));
```

```
[WL2] = standard_s(Input(3,1),Q(:,2),Hy2,C(5));
```

```
[WL3] = standard_s(Input(4,1),Q(:,3),Hy3,C(6));
```

```
[WL4] = standard_s(Input(5,1),Q(:,4),Hy4,C(7));
```

```
[WL5] = standard_s(Input(6,1),Q(:,5),Hy5,C(8));
```

```
[WL6] = standard_s(Input(7,1),Q(:,6),Hy6,C(9));
```

```
WL=zeros(15,6);
```

```
WL(1:11,1)=WL1(1:11);WL(1:15,2)=WL2(1:15);WL(1:12,3)=WL3(1:12);
```

```
WL(1:14,4)=WL4(1:14);WL(1:10,5)=WL5(1:10);WL(1:6,6)=WL6(1:6);
```

```
function [Qcal,WLcal,Hycal]=cal(Q,WL,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy5,Hy6,C)
```

```
Qcal = zeros(68,48);WLcal=zeros(68,48);Hycal=zeros(68,7);
```

```
Qcal(1:11,1)=Q(1:11,1);WLcal(1:11,1)=WL(1:11,1);Hycal(1:11,1:6)=Hy1;Hycal(1:11,7)=C(4); %reach 1
```

```
Qcal(12:26,1)=Q(1:15,2);WLcal(12:26,1)=WL(1:15,2);Hycal(12:26,1:6)=Hy2;Hycal(12:26,7)=C(5); %reach 2
```

$Qcal(27:38,1)=Q(1:12,3); WLcal(27:38,1)=WL(1:12,3); Hycal(27:38,1:6)=Hy3; Hycal(27:38,7)=C(6); \%reach\ 3$
 $Qcal(39:52,1)=Q(1:14,4); WLcal(39:52,1)=WL(1:14,4); Hycal(39:52,1:6)=Hy4; Hycal(39:52,7)=C(7); \%reach\ 4$
 $Qcal(53:62,1)=Q(1:10,5); WLcal(53:62,1)=WL(1:10,5); Hycal(53:62,1:6)=Hy5; Hycal(53:62,7)=C(8); \%reach\ 5$
 $Qcal(63:68,1)=Q(1:6,6); WLcal(63:68,1)=WL(1:6,6); Hycal(63:68,1:6)=Hy6; Hycal(63:68,7)=C(9); \%reach\ 6$



function dH = para(Q1,Q2,y1,y2,B1,B2,z1,z2,n,dis)

$$A1 = (B1+1.5*y1)*y1;$$

$$A2 = (B2+1.5*y2)*y2;$$

$$P1 = B1+3.60555*y1;$$

$$P2 = B2+3.60555*y2;$$

$$R1 = A1/P1;$$

$$R2 = A2/P2;$$

$$R143 = R1^{(4/3)};$$

$$R243 = R2^{(4/3)};$$

$$v1 = Q1/A1;$$

$$v2 = Q2/A2;$$

$$v12 = (v1^2)/(2*9.81);$$

$$v22 = (v2^2)/(2*9.81);$$

$$H1 = y1+v12+z1;$$

$$H2 = y2+v22+z2;$$

$$Sf1 = (n^2)*(v1^2)/R143;$$

$$Sf2 = (n^2)*(v2^2)/R243;$$

$$Sfb=(Sf1+Sf2)/2;$$

$$hf = Sfb*dis;$$

$$H = hf+H1;$$

$$dH = H2 - H;$$

```

function PA=para_adj(Q,WL,n,Hy,qb)
l = length(Hy);
PA = zeros(15,15);A=zeros(1,1);B=zeros(1,1);P=zeros(1,1);
v=zeros(1,1);dx=zeros(1,1);Ab=zeros(1,1);
Bb=zeros(1,1);Pb=zeros(1,1);Qb=zeros(1,1);Rb=zeros(1,1);
Sfb=zeros(1,1);Seb=zeros(1,1);
for i=1:l
    A(i)=(Hy(i,2)+1.5*(WL(i)-Hy(i,4)))*(WL(i)-Hy(i,4));
    B(i)=Hy(i,2)+(3*(WL(i)-Hy(i,4)));
    P(i)=Hy(i,2)+(3.60555*(WL(i)-Hy(i,4)));
    v(i)=Q(i)/A(i);
end
for i=1:l-1
    dx(i)=Hy(i+1,1)-Hy(i,1);
    Ab(i)=(A(i+1)+A(i))/2;
    Bb(i)=(B(i+1)+B(i))/2;
    Pb(i)=(P(i+1)+P(i))/2;
    Qb(i)=(Q(i+1)+Q(i))/2;
    Rb(i)=Ab(i)/Pb(i);
    Sfb(i)=(n^2)*Qb(i)*Qb(i)/(Ab(i)^2)/(Rb(i)^(4/3));
    Ke = 0.50; %contraction/expansion loss coefficient = 0.50
    Seb(i)=Ke*((v(i+1)^2)-(v(i)^2))/(2*9.81*dx(i));
end
PA(:,1)=Q;PA(:,2)=WL;PA(1:l,3)=dx;PA(:,4)=qb;PA(1:l,5)=A;
PA(1:l,6)=B;PA(1:l,7)=P;PA(1:l,8)=Ab;PA(1:l,9)=Bb;PA(1:l,10)=Pb;
PA(1:l,11)=Qb;PA(1:l,12)=Rb;PA(1:l,13)=Sfb;PA(1:l,14)=Seb;PA(1:l,15)=Hy(:,2);

```

```

function diff_CM = pdiff(PA,C)
l = length(PA)-1;
dSfh = zeros(1,1);dSfh1 = zeros(1,1);dSfQ = zeros(1,1);dSfQ1 = zeros(1,1);
dCh = zeros(1,1);dCh1 = zeros(1,1);dCQ = zeros(1,1);dCQ1 = zeros(1,1);
dMh = zeros(1,1);dMh1 = zeros(1,1);dMQ = zeros(1,1);dMQ1 = zeros(1,1);
diff_CM = zeros(1,8);
Q = PA(:,1);h=PA(:,2);dx=PA(:,3);A=PA(:,5);
B1 = PA(:,6);Ab = PA(:,8);Pb=PA(:,10);
Qb=PA(:,11);Sfb=PA(:,13);B0=PA(:,15);
theta = C(2);dt = C(1)/48;
for i = 1:l
    dSfh(i) = 2*Sfb(i)*((1/3/Pb(i)*3.60555)-(5*(B1(i)+B0(i))/12/Ab(i)));
    dSfh1(i) = 2*Sfb(i)*((1/3/Pb(i)*3.60555)-(5*(B1(i+1)+B0(i+1))/12/Ab(i)));
    dSfQ(i) = Sfb(i)/Qb(i);
    dSfQ1(i) = Sfb(i)/Qb(i);
    dCh(i) = dx(i)*(B1(i)+B0(i))/(4*dt);
    dCh1(i) = dx(i)*(B1(i+1)+B0(i+1))/(4*dt);
    dCQ(i) = -theta;
    dCQ1(i) = theta;
    dMh(i) = theta*(((Q(i)^2)/(A(i)^2)*(B1(i)+B0(i))/2)+...
        9.81*Ab(i)*(-1+dSfh(i)*dx(i))+...
        9.81*(B1(i)+B0(i))*(h(i+1)-h(i)+Sfb(i)*dx(i))/4);
    dMh1(i) = theta*(((Q(i+1)^2)/(A(i+1)^2)*(B1(i+1)+B0(i+1))/2)+...
        9.81*Ab(i)*(1+dSfh1(i)*dx(i))+...
        9.81*(B1(i+1)+B0(i+1))*(h(i+1)-h(i)+Sfb(i)*dx(i))/4);
    dMQ(i) = (dx(i)/2/dt)+...
        (-theta*2*Q(i)/A(i))+...
        theta*9.81*Ab(i)*(dSfQ(i)*dx(i));
    dMQ1(i) = (dx(i)/2/dt)+...
        theta*2*Q(i+1)/A(i+1)+...
        theta*9.81*Ab(i)*(dSfQ1(i)*dx(i));
end
diff_CM(:,1)=dCh;diff_CM(:,2)=dCQ;diff_CM(:,3)=dCh1;diff_CM(:,4)=dCQ1;
diff_CM(:,5)=dMh;diff_CM(:,6)=dMQ;diff_CM(:,7)=dMh1;diff_CM(:,8)=dMQ1;
function dQdh = pdiff_G(Input,WL,Cs,dGo)

```

```

dH = zeros(6,1);hs = zeros(6,1);
dH(1) = WL(11,1)-WL(1,2);
dH(2) = WL(15,2)-WL(1,3);
dH(3) = WL(12,3)-WL(1,4);
dH(4) = WL(14,4)-WL(1,5);
dH(5) = WL(10,5)-WL(1,6);
dH(6) = WL(6,6) - Input(7,2);
hs(1) = WL(1,2)-Cs(2,3);
hs(2) = WL(1,3)-Cs(3,3);
hs(3) = WL(1,4)-Cs(4,3);
hs(4) = WL(1,5)-Cs(5,3);
hs(5) = WL(1,6)-Cs(6,3);
hs(6) = Input(7,2)-Cs(7,3);
Gadj = Input(2:7,3)+dGo(2:7,1);
C = Cs(2:7,1).*(hs./Gadj(1:6)).^Cs(2:7,2));
C(5) = 0.65;
dQdh = C.*Cs(2:7,4).*hs.*(dH.^(-1/2))*(sqrt(2*9.81)/2);
dQdh(5)=0.65*Cs(6,4)*Input(6,3)*sqrt(2*9.81)*(dH(5)^(-1/2))/2;

```

```

function [Pert,R] = perturbation(Y,Input,Hy1,Hy2,Hy3,Hy4,Hy6)
% Km24+500 not use perturbation because it did not have data for calculate
%l = length(Y);
l = length(Y)+1;
Y(l,1) = Input(2,1) - Hy1(11,3); %Km3+650
Y(l,2) = Input(3,1) - Hy2(15,3); %Km9+813
Y(l,3) = Input(4,1) - Hy3(12,3); %Km14+750
Y(l,4) = Input(5,1) - Hy4(14,3); %Km20+300
Y(l,5) = Input(7,1) - Hy6(6,3); %Km26+401
m = mean(Y);
s = std(Y,0,1);
z = zeros(1,5);
for i=1:5
    z(:,i) = (Y(:,i)-m(i))/s(i);
end
R = zeros(1,5);forcast=zeros(1,5);Pert=zeros(1,5);

R1 = corrcoef(Y(1:l-1,1),Y(2:l,1));
R2 = corrcoef(Y(1:l-1,2),Y(2:l,2));
R3 = corrcoef(Y(1:l-1,3),Y(2:l,3));
R4 = corrcoef(Y(1:l-1,4),Y(2:l,4));
R5 = corrcoef(Y(1:l-1,5),Y(2:l,5));
R(1) = R1(1,2);R(2)=R2(1,2);R(3)=R3(1,2);
R(4)=R4(1,2);R(5)=R5(1,2);

for i = 1:5
    forcast(i) = z(1,i)*R(i);
    Pert(i) = (forcast(i)*s(i))+m(i);
end

```

```

function RCM = resi(PA,PAj,C)
l = length(PA)-1;
RC = zeros(l,1);
RM = zeros(l,1);
RCM = zeros(l,2);
dx=PA(:,3);
theta = C(2);
dt = C(1)/48;
Q1=PAj(:,1);Q=PA(:,1);
qb1=PAj(:,4);qb=PA(:,4);
A1=PAj(:,5);A=PA(:,5);
Ab1=PAj(:,8);Ab=PA(:,8);
h1=PAj(:,2);h=PA(:,2);
Sfb1=PAj(:,13);Sfb=PA(:,13);
for i=1:l
    RC(i)= theta*(Q1(i+1)-Q1(i)-dx(i)*qb1(i))+...
        (1-theta)*(Q(i+1)-Q(i)-dx(i)*qb(i))+...
        (dx(i)/2/dt)*(A1(i)+A1(i+1)-A(i)-A(i+1));
    RM(i)= (dx(i)/2/dt)*(Q1(i)+Q1(i+1)-Q(i)-Q(i+1))+...
        theta*(((Q1(i+1)^2)/A1(i+1))-((Q1(i)^2)/A1(i)))+(9.81*Ab1(i)*(h1(i+1)-h1(i)+Sfb1(i)*dx(i)))+...
        (1-theta)*(((Q(i+1)^2)/A(i+1))-((Q(i)^2)/A(i)))+(9.81*Ab(i)*(h(i+1)-h(i)+Sfb(i)*dx(i)));
end
RCM(:,1)=RC;RCM(:,2)=RM;

```

```

function [WL] = standard_s(Input,Q,Hy,C)
    l = length(Hy);
    x = Hy(:,1);
    B = Hy(:,2);
    z = Hy(:,4);
    y = zeros(l,1);
    WL=zeros(l,1);dx=zeros(l,1);
    for i = 1:l-1
        dx(i)=x(i+1)-x(i);
    end
    y(l)=Input-z(l);
    WL(l)=Input;
    for i=l-1:-1:1
        a=WL(i+1)-z(i)-0.5;
        b=a+1;
        root = brent(Q(i+1),Q(i),y(i+1),B(i+1),B(i),z(i+1),z(i),C,dx(i),a,b);
        y(i) = root ;
        WL(i)=y(i)+z(i);
    end
end

```

```
function [dG,DB] = P_dGdh(Q,Hus,Hds,Cs,TWL,Go,Hus1,Hds1)
```

```
    a = Cs(1);
```

```
    b = Cs(2);
```

```
    BL = Cs(3);
```

```
    L = Cs(4);
```

```
    hs = Hds - BL;
```

```
    dH = Hus - Hds;
```

```
    term1 = a*(hs^(b+1))*L*sqrt(2*9.81)/Q;
```

```
    term2 = dH^(-1+(1/(2*b)));
```

```
    dGdH = term1*term2/(2*b);
```

```
    dG = (TWL-Hus)*dGdH;
```

```
    Go = Go+dG;
```

```
    hs = Hds1 - BL;
```

```
    dH = Hus1 - Hds1;
```

```
    Q1 = a*((hs/Go)^b)*L*hs*sqrt(2*9.81*dH);
```

```
    DB = Q1 - Q;
```

```
function [dG,DB] = P_dGdh3(Q,Hus,Hds,Cs,TWL,Go,Hus1,Hds1)
```

```
    a = Cs(1);
```

```
    b = Cs(2);
```

```
    BL = Cs(3);
```

```
    L = Cs(4);
```

```
    hs = Hds - BL;
```

```
    dH = Hus - Hds;
```

```
    term1 = a*(hs^(b+1))*L*sqrt(2*9.81)/Q;
```

```
    term2 = dH^(-1+(1/(2*b)));
```

```
    dGdH = term1*term2/(2*b);
```

```
    dG = (TWL-Hus)*dGdH*w;
```

```
    Go = Go+dG;
```

```
    hs = Hds1 - BL;
```

```
    dH = Hus1 - Hds1;
```

```
    Q1 = a*((hs/Go)^b)*L*hs*sqrt(2*9.81*dH);
```

```
    DB = Q1 - Q;
```

```
function [dG,DB] = P_dGdh9(Q,Hus,Hds,Cs,TWL,Go,Hus1,Hds1)
```

```
    a = Cs(1);
```

```
    b = Cs(2);
```

```
    BL = Cs(3);
```

```
    L = Cs(4);
```

```
    hs = Hds - BL;
```

```
    dH = Hus - Hds;
```

```
    term1 = a*(hs^(b+1))*L*sqrt(2*9.81)/Q;
```

```
    term2 = dH^(-1+(1/(2*b)));
```

```
    dGdH = term1*term2/(2*b);
```

```
    dG = (TWL-Hus)*dGdH*w;
```

```
    Go = Go+dG;
```

```
    hs = Hds1 - BL;
```

```
    dH = Hus1 - Hds1;
```

```
    Q1 = a*((hs/Go)^b)*L*hs*sqrt(2*9.81*dH);
```

```
    DB = Q1 - Q;
```

```
function [dG,DB] = P_dGdh14(Q,Hus,Hds,Cs,TWL,Go,Hus1,Hds1)
```

```
    a = Cs(1);
```

```
    b = Cs(2);
```

```
    BL = Cs(3);
```

```
    L = Cs(4);
```

```
    hs = Hds - BL;
```

```
    dH = Hus - Hds;
```

```
    term1 = a*(hs^(b+1))*L*sqrt(2*9.81)/Q;
```

```
    term2 = dH^(-1+(1/(2*b)));
```

```
    dGdH = term1*term2/(2*b);
```

```
    dG = (TWL-Hus)*dGdH*w;
```

```
    Go = Go+dG;
```

```
    hs = Hds1 - BL;
```

```
    dH = Hus1 - Hds1;
```

```
    Q1 = a*((hs/Go)^b)*L*hs*sqrt(2*9.81*dH);
```

```
    DB = Q1 - Q;
```

```
function [dG,DB] = P_dGdh20(Q,Hus,Hds,Cs,TWL,Go,Hus1,Hds1)
```

```
    a = Cs(1);
```

```
    b = Cs(2);
```

```
    BL = Cs(3);
```

```
    L = Cs(4);
```

```
    hs = Hds - BL;
```

```
    dH = Hus - Hds;
```

```
    term1 = a*(hs^(b+1))*L*sqrt(2*9.81)/Q;
```

```
    term2 = dH^(-1+(1/(2*b)));
```

```
    dGdH = term1*term2/(2*b);
```

```
    dG = (TWL-Hus)*dGdH*-2;
```

```
    Go = Go+dG;
```

```
    hs = Hds1 - BL;
```

```
    dH = Hus1 - Hds1;
```

```
    Q1 = a*((hs/Go)^b)*L*hs*sqrt(2*9.81*dH);
```

```
    DB = Q1 - Q;
```

```
function [dG,DB] = P_dGdh24(Q,Hus,Hds,C,TWL,Go,Hus1,Hds1)
```

```
L = 4;
```

```
dH = Hus - Hds;
```

```
term1 = Q/(C*L*sqrt(2*9.81));
```

```
term2 = dH^(-3/2);
```

```
dGdH = (-1/2)*term1*term2;
```

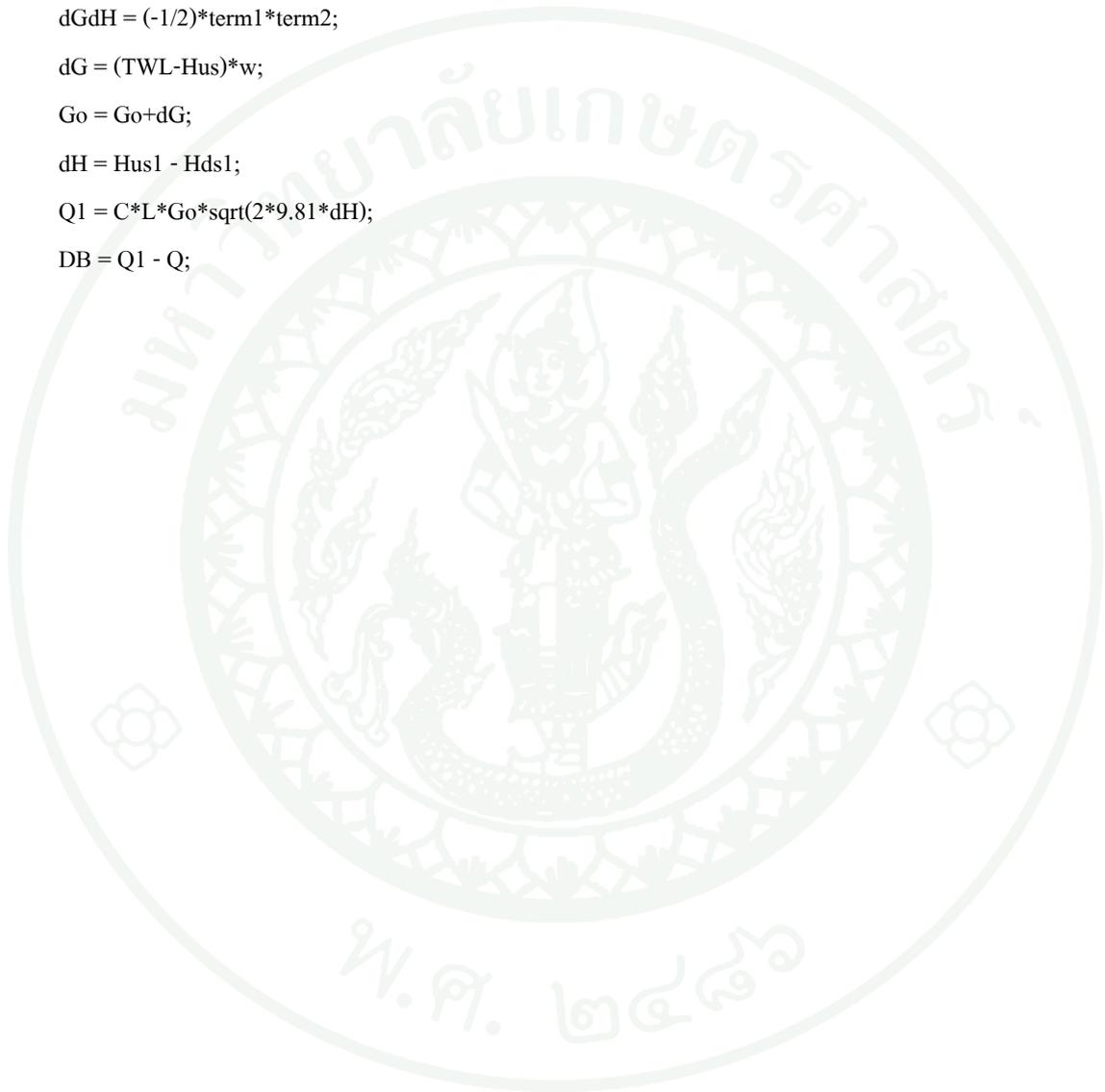
```
dG = (TWL-Hus)*w;
```

```
Go = Go+dG;
```

```
dH = Hus1 - Hds1;
```

```
Q1 = C*L*Go*sqrt(2*9.81*dH);
```

```
DB = Q1 - Q;
```



```
function [dG,DB] = P_dGdh26(Q,Hus,Hds,Cs,TWL,Go,Hus1,Hds1)
```

```
    a = Cs(1);
```

```
    b = Cs(2);
```

```
    BL = Cs(3);
```

```
    L = Cs(4);
```

```
    hs = Hds - BL;
```

```
    dH = Hus - Hds;
```

```
    term1 = a*(hs^(b+1))*L*sqrt(2*9.81)/Q;
```

```
    term2 = dH^(-1+(1/(2*b)));
```

```
    dGdH = term1*term2/(2*b);
```

```
    dG = (TWL-Hus)*w;
```

```
    Go = Go+dG;
```

```
    hs = Hds1 - BL;
```

```
    dH = Hus1 - Hds1;
```

```
    Q1 = a*((hs/Go)^b)*L*hs*sqrt(2*9.81*dH);
```

```
    DB = Q1 - Q;
```

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายอรินทร์ โสทรโยม
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 พฤษภาคม 2516
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	<ol style="list-style-type: none"> 1. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (คลอง 6) 2. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	วิศวกร โยธา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)
ผลงานดีเด่น และรางวัลทางวิชาการ	<ol style="list-style-type: none"> 1. รางวัลคุณภาพงานวิจัยระดับชมเชย ปี 2550 สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 2. รางวัลคุณภาพงานวิจัยระดับดี ปี 2552 สาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 3. รางวัลคุณภาพงานวิจัยระดับดีเด่น ปี 2554 สาขาสถาปัตยกรรมและวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	<ol style="list-style-type: none"> 1. ทุนอุดหนุนงานวิจัย มก. ปี 2552 - 2553 2. ทุนสนับสนุนงานวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม ปี 2554