ส่วนที่ 2 **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์**

โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ปีงบประมาณ 2552-2553

โครงการวิจัยรหัส ก-ษ(ด) 73.52

ชื่อโครงการภาษาไทย การประเมินและการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของคลองในโครงการชลประทานขนาดใหญ่

ชื่อโครงการภาษาอังกฤษ Performance Assessment and Improvement of Canal Operation in Large Scale Irrigation Project

ชื่อผู้วิจัยภาษาไทย รศ.ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์[(1)] ผศ.นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์[(1)] รศ.ดร.บัญชา ขวัญยืน[(1)] และนายอุรินทร์ โสตรโยม[(2)]

ชื่อผู้วิจัยภาษาอังกฤษ Assoc. Prof. Dr.Varawoot Vudhivanich[(1)], Asst. Prof. Nimit Cherdchanpipat[(1)], Assoc.Prof.Dr.Bancha Kwanyuen[(1)] and Mr.Urin Soteyome[(2)]

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยการประเมินและการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำของโครงการขนาดใหญ่ ได้เลือกคลอง 2L ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่เป็นพื้นที่ศึกษา ทำการประเมินผลการส่งน้ำในปี พ.ศ. 2552 โดยใช้วิธีการประเมินผลอย่างรวดเร็ว ในรูปของดัชนีภายนอกและดัชนีภายใน และเลือกคลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง เป็นพื้นที่ทดลองการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของระบบส่งน้ำของคลอง 2L และ 5L-2L พบว่าไม่มีอาคารวัดน้ำโดยตรง และอาคารควบคุมน้ำส่วนใหญ่ไม่ได้มีการสอบเทียบ จึงได้ทำการสอบเทียบอาคารที่สำคัญในคลอง 2L และ 5L-2L เพื่อใช้เป็นอาคารควบคุมและวัดน้ำไปในตัวสำหรับงานวิจัยนี้ อาคารทางออกส่วนใหญ่เป็นอาคารควบคุมน้ำแบบ Submerged Orifice มีค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) อยู่ระหว่าง 0.16-1.12 ซึ่งถือว่าอยู่เป็นอาคารที่มีค่าความอ่อนไหวอยู่ในเกณฑ์ต่ำ-ปานกลาง แต่ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของระบบ ส่วนอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Cross Regulator) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาคารควบคุมน้ำแบบ Submerged Orifice เช่นกัน แต่มีค่าความอ่อนไหวระหว่าง 0.16-5.57 และพบว่าส่วนใหญ่เป็นอาคารที่มีความอ่อนไหวสูง ซึ่งทำให้ยากต่อการควบคุมระดับน้ำในคลองให้เป็นไปตามเป้าหมาย จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดระดับ Tolerance ในการควบคุมน้ำ และมีการตรวจวัดและปรับบาน ปตร. บ่อยๆ จึงจะสามารถควบคุมระดับน้ำให้เป็นไปตามเป้าหมายได้

[(1)] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Dept. of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

[(2)] นิสิตปริญญาเอก ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Doctoral Student, Dept. of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University

การทดลองแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำในคลอง 5L-2L แบ่งออกได้เป็น 5 แนวทาง หรือ 5 Treatments คือ (1) Existing operation ปรับบานสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ตามปกติตามแนวทางที่โครงการปฏิบัติอยู่ (2) COM_NF_3/Week ใช้แบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำของคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) และปรับบาน 3 ครั้ง/สัปดาห์ (3) COM_2/Day ใช้แบบจำลอง COM ในการควบคุมการส่งน้ำและปรับบาน 2 ครั้ง/วัน (4) COM_Day ใช้แบบจำลอง COM ในการควบคุมการส่งน้ำและปรับบาน 1 ครั้ง/วัน (5) CAS ใช้ระบบคลองอัตโนมัติ(Canal Automation System) ในการควบคุมการส่งน้ำ ทำการทดลอง Treatment ละ 5 สัปดาห์ ระหว่าง 31 พฤษภาคม 2553-15 พฤษภาคม 2554 และประเมินผลการส่งน้ำโดยใช้ ดัชนีแสดงผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำ จำนวน 3 ดัชนี คือ Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE)และ Reliability of Water Level Control (RWLC) และ (2) ตัวชี้วัดผลลัพธ์ในการส่งน้ำ 3 ดัชนี คือดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA) ประสิทธิภาพชลประทาน (Efficiency Indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ)

ผลการทดลองแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ 5 แนวทางดังกล่าวข้างต้น พบว่า ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) มีสามารถควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L อยู่ในเกณฑ์ดี ค่าดัชนี MAE, IAE และ RWLC มีเท่ากับ 0.10, 0.03 และ 0.95 ตามลำดับ ขณะที่การควบคุมการส่งน้ำด้วยคนโดยใช้แบบจำลอง COM พบว่าผลการควบคุมระดับน้ำในช่วงคลองต่างๆ ของคลอง 5L – 2L ตามเกณฑ์ของดัชนี MAE และ IAE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ดัชนี RWCL แสดงว่าต้องปรับปรุง และการควบคุมการส่งน้ำตามที่โครงการปฏิบัติอยู่ตามปกติ (Existing Operation) ดัชนีส่วนใหญ่แสดงว่าอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ยกเว้น MAE แสดงว่าพอใช้ ผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output Performance) จากดัชนีความเพียงพอ (PA) ประสิทธิภาพชลประทาน (PE) และดัชนีความเป็นธรรม (PEQ) พบว่า การใช้แบบจำลอง COM ช่วยในการคำนวณการปรับบาน แล้วแจ้งให้พนักงานส่งน้ำปรับบานด้วยมือ ดัชนี PA มีค่าระหว่าง 0.81-0.92 อยู่ในเกณฑ์พอใช้-ดี ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ดี ดัชนี PE มีค่าระหว่าง 0.53-0.76 อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง-พอใช้ และดัชนี PEQ มีค่าระหว่าง 0.79-0.93 อยู่ในเกณฑ์พอใช้-ดี ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ดี ขณะที่การควบคุมการส่งน้ำตามที่โครงการปฏิบัติอยู่ตามปกติ (Existing Operation) PA มีค่าเท่ากับ 0.94 อยู่ในเกณฑ์ดี PE มีค่าเท่ากับ 0.38 อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง และดัชนี PEQ มีค่าเท่ากับ 0.89 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ผลลัพธ์ของการควบคุมการส่งน้ำด้วย CAS อยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นดัชนีประสิทธิภาพเนื่องจากเกณฑ์ของ Molden and Gate(1990) กำหนดว่าค่า PE ไว้สูงมาก PE มากกว่า 0.85 จึงถือว่าดี ผลการควบคุมการส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM มีแนวโน้มให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมการส่งน้ำตามที่โครงการปฏิบัติอยู่ แต่เนื่องจากการทดลองการควบคุมการส่งน้ำของแต่ Treatment มีปัจจัยอื่นที่ควบคุมไม่ได้เข้ามารบกวน ทำให้ผลลัพธ์ในการควบคุมการส่งน้ำในบางช่วงคลองและบางช่วงเวลาออกมาไม่ดีเท่าที่ควร จึงควรมีการวิจัยเพื่อปรับแนวทางการควบคุมการส่งน้ำในคลอง 5L-2L และทดสอบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมการส่งน้ำต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: การจัดการน้ำ เทคนิคการบริหารงานส่งน้ำของคลอง การประเมินผลสัมฤทธิ์ของการชลประทาน

ABSTRACT

The main canal 2L of The Greater Maeklong Irrigation project was selected to be the study area of the research project on Performance Assessment and Improvement on Water Delivery of Large Scale Irrigation Canal. Rapid Appraisal Process (RAP) was selected for the initial performance assessment of water delivery by 2L canal in 2009. The external and internal indicators were assessed. Canal 5L-2L of Song Phi Nong O&M project was selected for experimenting the performance improvement approaches. The hydraulic characteristics of 2L and 5L-2L canals were also studied. No water measuring devices were installed in 2L canal system. Most of the flow control structures were not calibrated. Therefore main control structures along 2L and 5L-2L canals were calibrated in order to use that structure for water measurement for this study. Most of the offtake structures are submerged orifice type with the sensitivity index of 0.16-1.12 which is in the range of low-medium, but mostly medium, which is the advantage of this system. The cross regulators are also submerged orifice type structures with the sensitivity index of 0.16-5.57. Most of the structures have high sensitivity index which makes difficulty in water level control. Therefore the tolerance of water level control was analyzed and more frequent schedule for water measurement and control was defined in order to control target water level in the canal.

To improve the water control performance of 5L-2L canal, 5 water control treatments namely (1) Existing operation, all the regulators in the canal adjusted manually once a week according to the existing practice of Song Phi Nong O&M project (2) COM_NF_3/Week, all the regulators adjusted manually 3 times a week according to the Canal Operation Model (COM) calculation (3) COM_2/Day, all the regulators adjusted manually 2 times a day according to the Canal Operation Model (COM) calculation (4) COM_Day, all the regulators adjusted manually once a day according to the Canal Operation Model (COM) calculation (5) Canal Automation Model (CAS) is used to adjusted all regulators automatically. Each water control treatment was tested for 5 weeks during 31 May 2010 to 15 May 2011. The water level control performance was assessed by 3 performance indicators namely Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE) and Reliability of Water Level Control (RWLC). The water control output

performance was assessed by 3 indicators namely Adequacy Indicator (PA), Efficiency Indicator (PE) and Equity Indicator (PEQ)

The experimental result of 5 water level control treatments showed that the performance of CAS for water level control in canal 5L-2L was good, water level control indicators MAE, IAE and RWLC equal to 0.0, 0.03 and 0.95 respectively. The performance of COM model to help canal operators control water level manually was classified as fair due to MAE and IAE but was poor by RWCL indicator. The performance of the existing operation was mostly poor except MAE showed fair performance. The water control output performance was assessed by Adequacy Indicator (PA), Efficiency Indicator (PE) and Equity Indicator (PEQ). The performance of COM model as indicated PA was fair-good (0.81-0.92) but mostly were good. PE was 0.53-0.76, poor to good. PEQ was 0.79-0.93, fair-good but mostly good. The performance of the existing operation showed that PA equal to 0.94 (good), PE equal to 0.38 (poor) and PEQ equal to 0.89 (fair). The output performance of CAS was good as indicated by all indicators except PE. According to Molden and Gate(1990), PE above 0.85 is good which is too high for Thai standard. The COM model treatments indicated better output performance than the existing operation but there were many uncontrollable factors affected the experiment. The result of water control by COM model in some reach of 5L-2L canal and in some period of times during the experiment showed the output performance not as good as expected. Therefore new water control treatments should be further investigated and experimented in 5L-2L in the future.

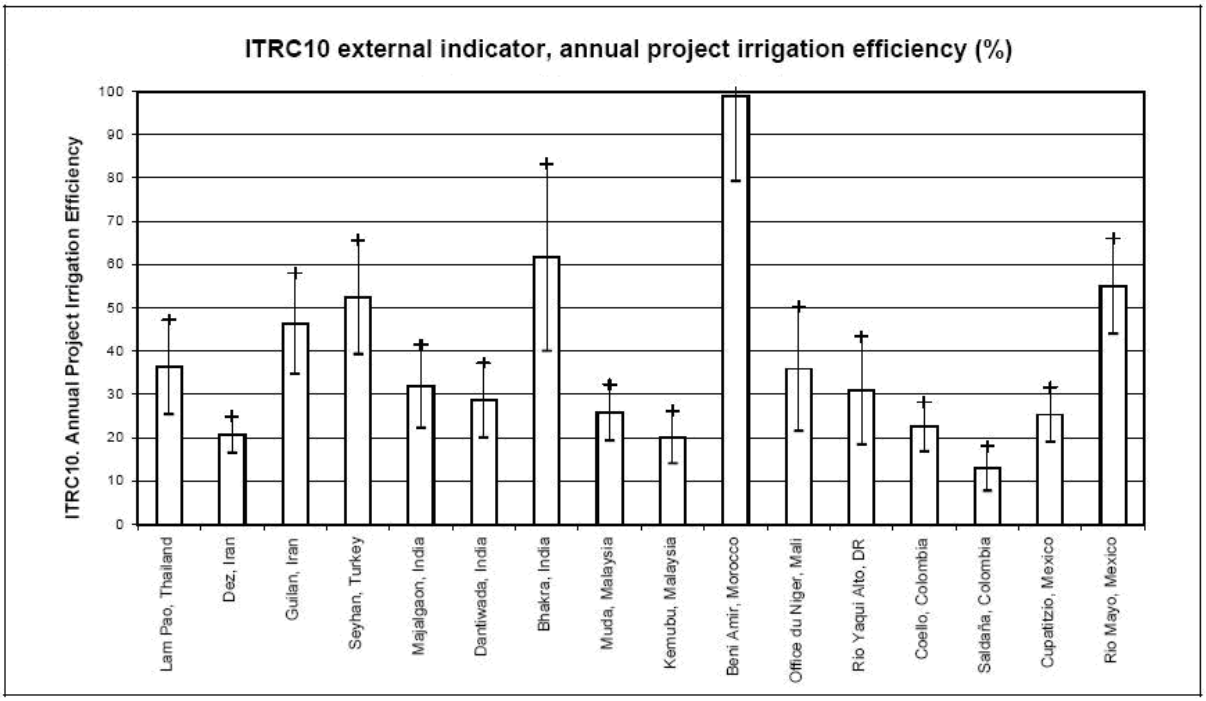
Key words: Water Management, Canal Operation Technique, Irrigation Performance Assessment

บทนำ

ประเทศไทยได้ดำเนินการพัฒนาการชลประทานอย่างจริงจังมานานกว่าศตวรรษ นับตั้งแต่ตั้งกรมชลประทานมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2445 ปัจจุบันมีโครงการชลประทานขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็กกว่าหมื่นโครงการ สามารถส่งน้ำเพื่อการเพาะปลูกในพื้นที่ถึง 23.6 ล้านไร่ หรือประมาณ 20% ของพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศ (http://www.rid.go.th/document/stat.htm) โครงการชลประทานเกือบทั้งหมดส่งน้ำโดยแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยระบบคลองส่งน้ำชลประทาน ประสิทธิภาพการชลประทานของประเทศไทยยังอยู่ในเกณฑ์ไม่สูง มีค่าเฉลี่ย 43% และค่าฐานนิยม อยู่ระหว่าง 40-50% บางโครงการมีค่าประสิทธิภาพการชลประทานต่ำกว่า 10% (วราวุธ. 2548) ผลการศึกษาประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาวพบว่ายังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการชลประทานในต่างประเทศดังรูปที่ 1.1 (Plusquellec *et al.*,1994) และ ตารางที่ 1.1 (Burt and Styles, 1999) การที่ประสิทธิภาพการชลประทานในประเทศไทยยังไม่สูง เพราะสาเหตุสำคัญหลายประการ คือ (1) ขาดการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ ทำให้ไม่ทราบว่าผลสัมฤทธิ์ของการส่งน้ำอยู่ในระดับไหน และควรพัฒนาหรือปรับปรุงอะไร (2) ขาดการประเมินสมรรถนะหรือขีดความสามารถในการส่งและควบคุมน้ำของระบบคลองและอาคาร (3) เจ้าหน้าที่สนามขาดความรู้ทางด้านชลศาสตร์การไหลของน้ำในคลอง (Hydraulic of Open Channel Flow) ซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการสอนในระดับปริญญา แต่มีเนื้อหาค่อนข้างยุ่งยาก ต้องมีพื้นฐานทางด้านคณิตศาสตร์ดี จึงจะเข้าใจ ในความเป็นจริง น้ำในคลองส่วนใหญ่ไหลแบบไม่มั่นคง (Unsteady State) ระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำในคลองเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา แต่ในการควบคุมน้ำ (Operate) เจ้าหน้าที่มักตั้งสมมติฐานว่าน้ำไหลแบบมั่นคง (Steady State) ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ทำให้การควบคุมน้ำไม่เป็นไปตามเป้าหมาย และมีผลทำให้ผู้ใช้น้ำขาดความเชื่อถือ จนเป็นเหตุให้มีการแย่งกันใช้น้ำและถึงขั้นทำลายอาคาร ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน มีความพยายามที่จะพัฒนาระบบควบคุมน้ำในคลองเป็นแบบอัตโนมัติ (วราวุธ และ วิชญ์. 2547, วราวุธ และ วิชญ์. 2548) แต่ยังอยู่ในขั้นทดลอง และต้องใช้เงินลงทุนสูงมากในการติดตั้งระบบควบคุมอัตโนมัติ

ถึงแม้ว่าประเทศไทยจะอยู่ในเขตมรสุม แต่ละปีมีฝนตกมากวกว่า 1,000 มม. แต่ปัญหาการขาดแคลนน้ำ มักเกิดขึ้นเป็นประจำ ไม่เว้นแม้แต่ในเขตพื้นที่ส่งน้ำของโครงการชลประทานขนาดใหญ่ การเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลองจะมีประโยชน์ที่สำคัญ คือ (1) ช่วยลดการสูญเสียน้ำชลประทานซึ่งรัฐบาลต้องเสียค่าลงทุนและค่าใช้จ่ายเป็นเงินหลายหมื่นล้านบาทในแต่ละปี เพื่อการพัฒนาและบริหารจัดการน้ำชลประทาน (2) ทำให้โครงการชลประทานสามารถส่งน้ำได้สอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรผู้ใช้น้ำมากขึ้น มีความความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีความเป็นธรรม (Equity) สูงขึ้น

เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูกตามความต้องการของตลาด ไม่ต้องห่วงว่าจะขาดน้ำตอนปลายฤดูกาล

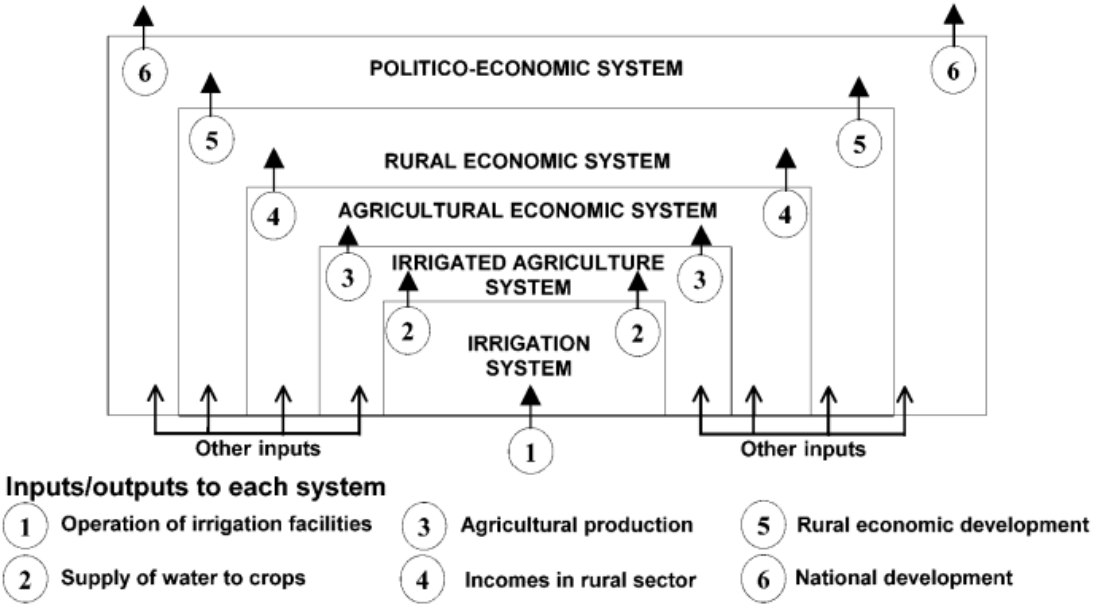


รูปที่ 1.1 ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาวเทียบกับโครงการชลประทานในต่างประเทศ (Plusquellec *et al.*, 1994)

ตารางที่ 1.1 ค่าประสิทธิภาพการชลประทานจริงและค่าออกแบบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาวเทียบกับโครงการชลประทานในต่างประเทศ (Burt and Styles, 1999)

Projects	Design(%)	Actual(%)	Actual as % of design
Sinaloe(Mexico)	52	37	71
Panuco(Mexico)	52	26	50
Doukkala Sprinkler (Morocco)	64	49	77
Doukkala Gravity (Morocco)	50	42	84
Yaqui (Mexico)	43-46	38	85
Coello (Columbia)	-	30	-
Upper Pampanga (Philippines)	58	36	62
Aurora-Penaranda (Philippines)	39	36	92
Lam Pao I (Thailand)	55	28	51
Lam Pao II (Thailand)	58	28	48

จากเหตุผลแลความจำเป็นดังกล่าวข้างต้น จึงควรได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลอง และ วิเคราะห์หาแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทาน(Irrigation Efficiency) เพิ่มความน่าเชื่อถือ(Reliability) ความเป็นธรรม(Equity)และความยืดหยุ่น(Flexibility)ในการส่งน้ำ เกษตรกรจะสามารถวางแผนการเพาะปลูกให้เหมาะสมกับความต้องการของตลาดและศักยภาพของตนเอง โดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่องน้ำชลประทาน อันจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการเพิ่มผลผลิต และรายได้ของเกษตรกร และมีผลต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ และสังคมของประเทศต่อไปในอนาคต ดังรูปที่ 1.2



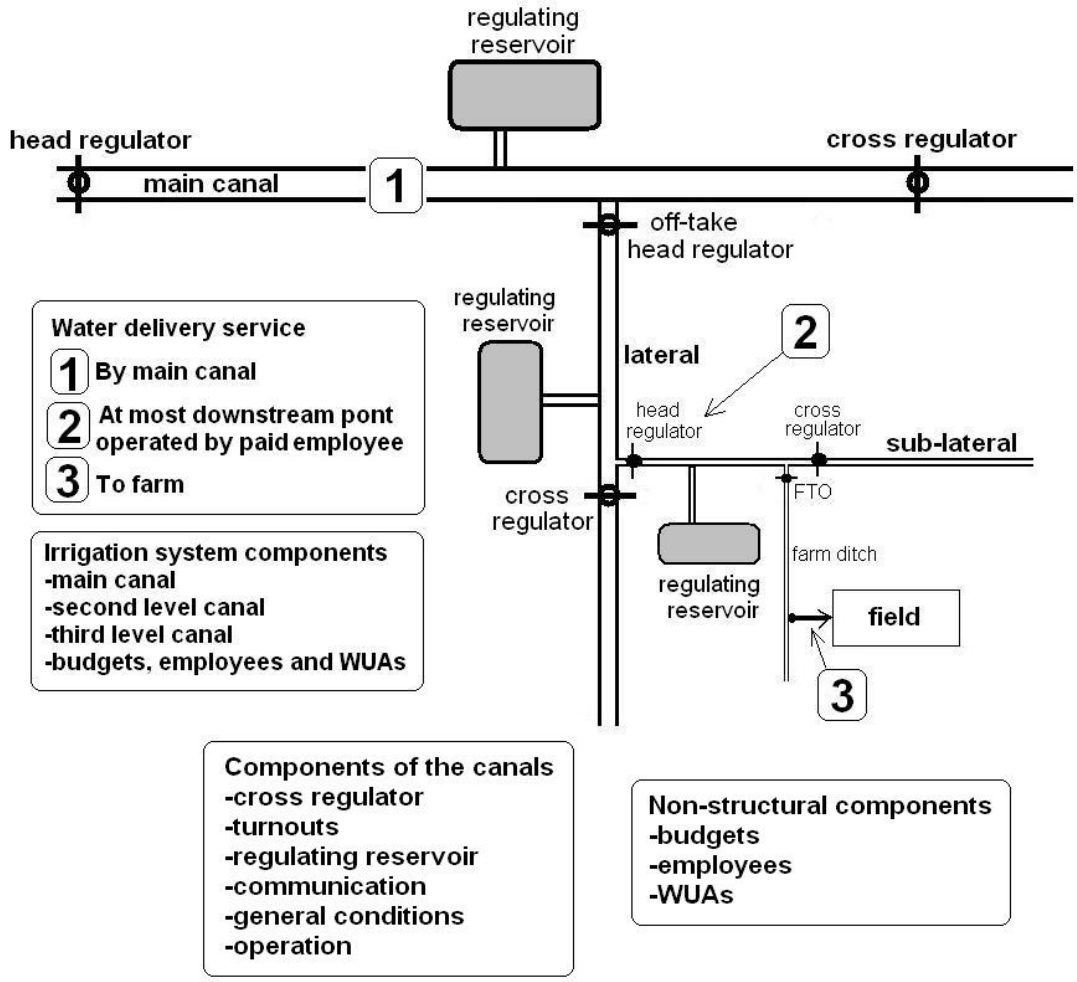
รูปที่ 1.2 Irrigation in the Context of Nested System (Small and Svendsen. 1992)

นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 เป็นต้นมาองค์กรที่ทำงานเกี่ยวข้องกับงานด้านการชลประทานของโลก อาทิ เช่น FAO, IWMI(International Water Management Institute), ITRC(Irrigation Training and Research Center, CalPoly, USA), World Bank และ IPTRID(International Program for Technology and Research on Irrigation and Drainage) ได้ประชุมปรึกษาหาหรือเกี่ยวกับแนวทางการปรับปรุงโครงการชลประทานให้ทันสมัย(Irrigation Modernization) ซึ่งคนทั่วไปมักถูกเข้าใจผิดว่า “Modernization” จะต้องเกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีขั้นสูง (High Technology) เช่น ระบบ SCADA ระบบโทรมาตร ระบบสารสนเทศด้วยคอมพิวเตอร์ แต่ “Irrigation Modernization” ตามแนวคิดขององค์กรด้านการชลประทานของโลก จะเน้นการปรับปรุงระบบการบริหารงานส่งน้ำของคลองชลประทาน (Canal Operation) เพื่อให้โครงการสามารถส่งน้ำตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำในลักษณะของ Service Oriented Management (SOM) ซึ่งมีหลักการที่สำคัญคือโครงการชลประทาน จะมีลักษณะเป็นผู้

ให้บริการ (Service Provider) ซึ่งจะคอยศึกษาถึงความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำ และพยายามบริหารการส่งน้ำอย่างมืออาชีพเพื่อให้ผู้ใช้น้ำได้รับความพึงพอใจ ผู้ใช้น้ำเปรียบเสมือนลูกค้า (Client) ซึ่งมีหน้าที่ต้องคอยสื่อสารกับทางโครงการถึงความต้องการของตนเอง และช่วยสนับสนุนโครงการในรูปของการให้ความช่วยเหลือหรือจ่ายค่าบริการ เพื่อให้โครงการมีเงินทุนในอันที่จะปรับปรุงการบริการให้ดียิ่งๆขึ้น (Renault *et al*., 2007) ซึ่งถือว่าเป็นแนวคิดใหม่สำหรับประเทศไทย ประมาณ ปี ค.ศ. 2000 FAO ได้เริ่มกระบวนการพัฒนา ระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ของโครงการชลประทาน (Rapid Appraisal Procedure) ในเอเชีย เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ และค้นหาสาเหตุว่าอะไรทำให้ผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของโครงการชลประทานต่ำ หลังจากนั้นจึงได้พัฒนาเทคนิคในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลอง ซึ่งเรียกว่า MASSCOTE (MApping System and Services for Canal Operation TEchnique) ขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการ Modernization โครงการชลประทานขนาดใหญ่และขนาดกลาง โดยเน้นการใช้ทรัพยากรและเทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ FAO ได้ทำการทดสอบการใช้ MASSCOTE ในเนปาล และอินเดีย ซึ่งพบว่า MASSCOTE มีศักยภาพในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของการบริหารงานส่งน้ำของโครงการ และพยายามแนะนำให้กรมชลประทานทดลองนำเทคนิคดังกล่าวไปทดลองใช้

ระบบประเมินผลสัมฤทธิ์ของโครงการชลประทาน(Burt. 2001) จะเกี่ยวข้องกับการประเมินและวิเคราะห์ดัชนีแสดงผลสัมฤทธิ์ (Key Performance Indicators, KPI) ซึ่งจะช่วยให้โครงการชลประทานทราบข้อเท็จจริงที่สำคัญ คือ (1) ศักยภาพในการอนุรักษ์น้ำในโครงการ (2) จุดอ่อนของโครงการทั้งทางด้านการปฏิบัติการ และการบริหารจัดการ ทั้งด้านทรัพยากรและฮาร์ดแวร์ของโครงการ และ (3) แนวทางการดำเนินงานที่สำคัญที่จะช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของโครงการชลประทาน ดัชนีแสดงผลสัมฤทธิ์ จะในรูปของดัชนีภายนอกและดัชนีภายใน (External Indicators and Internal Indicators) ดัชนีภายนอกจะช่วยตรวจสอบการใช้ปัจจัยการผลิตและผลผิตของโครงการ ในรูปของประสิทธิภาพ เช่นประสิทธิภาพการใช้งบประมาณ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และประสิทธิภาพในการผลิต ถ้าประสิทธิภาพต่ำ จะช่วยในการพิจารณาตัดสินใจว่าต้องมีการดำเนินการปรับปรุงโครงการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้อยู่ในระดับที่ต้องการ แต่ดัชนีภายนอกไม่สามารถบอกรายละเอียดได้ว่าต้องปรับปรุงส่วนไหนและปรับปรุงอะไร ดัชนีภายในคือดัชนีที่เกี่ยวกับการบริหารและควบคุมการส่งน้ำทั้งโครงการ ซึ่งจะบอก (1) ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำที่ระดับต่างๆของระบบส่งน้ำ 3 ระดับคือ ระดับคลองสายใหญ่ ระดับคลองซอย-คลองแยกซอย และระดับคูน้ำ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าส่วนไหนของระบบชลประทานมีผลผลสัมฤทธิ์ต่ำ และจำเป็นต้องปรับปรุง และ (2) สมรรถนะของฮาร์ทแวร์และซอฟท์แวร์ในการบริหารงานส่งน้ำ ซึ่งได้แก่ประตูระบายกลางคลอง (Cross Regulator) ท่อระบายน้ำเข้าคลอง(Turnout หรือ Offtake) อ่างพักน้ำ(Regulating Reservoir) การสื่อสารและการคมนาคม(Communication) สภาพทั่วไปของระบบส่งน้ำ(General Conditions) การบริหารงานส่งน้ำ(Operation) งบประมาณ(Budget) จำนวนและความสามารถของเจ้าหน้าที่(Employee)

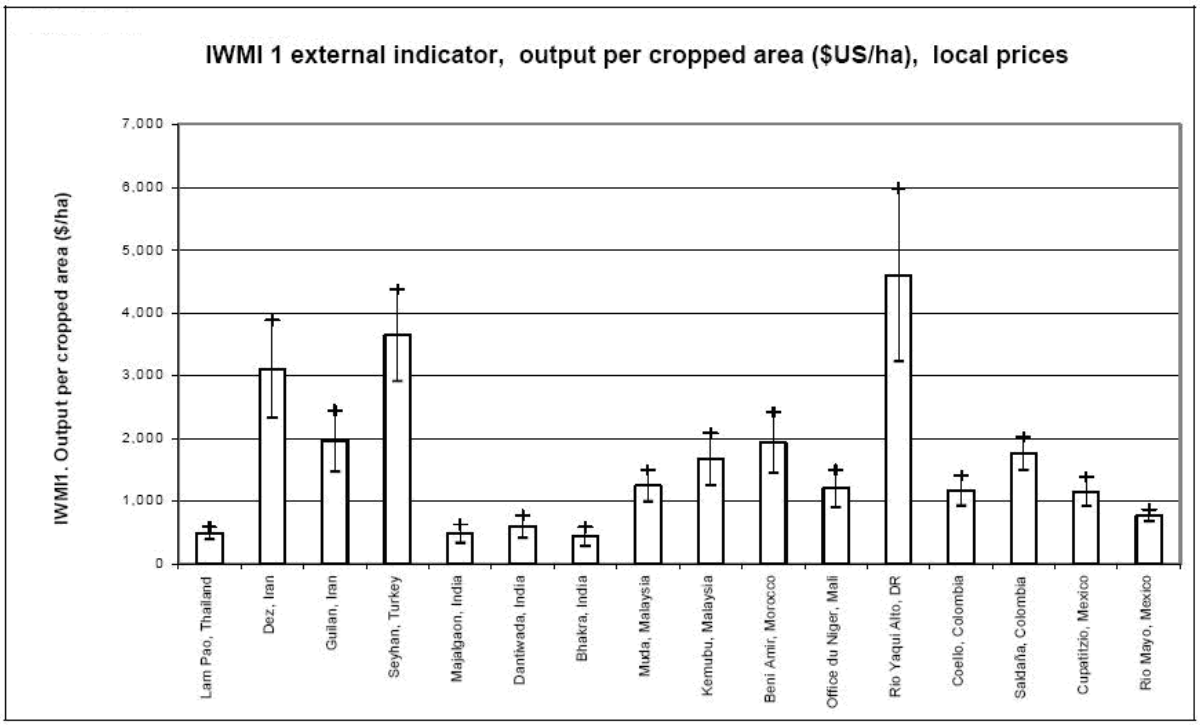
และองค์กรผู้ใช้น้ำ(Water User Association) ซึ่งจะช่วยบอกว่าปัญหาอยู่ที่ฮาร์ทแวร์หรือซอฟท์แวร์ เพื่อจะได้หาวิธีการปรับปรุงได้อย่างถูกต้อง แนวคิดในการวิเคราะห์ดัชนีภายในแสดงอยู่ในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แนวคิดในการประเมินดัชนีภายใน(วราวุธ. 2550)

การชลประทานในประเทศไทยในปัจจุบัน มีลักษณะเป็นโครงการที่ส่งน้ำให้แก่ผู้ใช้น้ำแบบให้เปล่า โดยใช้งบประมาณของประเทศในการดำเนินงาน ปัจจุบันงบประมาณด้านการส่งน้ำและบำรุงรักษามีจำกัดเมื่อเทียบกับพื้นที่ให้บริการ มากกว่า 23 ล้านไร่ ความต้องการงบประมาณในการบำรุงรักษาระบบคลองส่งน้ำ ซึ่งเพิ่มขึ้นทุกปี ตามสภาพคลองซึ่งมีการเสื่อมสภาพลงทุกปี ประกอบกับนโยบายลดอัตรากำลังคนภาครัฐ ทำให้โครงการประสบปัญหาการขาดแคลนบุคคลากรสนามในการบริหารงานส่งน้ำ อันเป็นผลทำให้ผลสัมฤทธิ์ของการชลประทานยังไม่สูงเท่าที่ควร ตัวอย่างผลผลิตของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาวยังอยู่ในเกณฑ์ต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับโครงการชลประทานในต่างประเทศ ดังรูปที่ 1.4 ดังนั้นจึงมี

ความจำเป็นในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของโครงการชลประทานขนาดใหญ่และขนาดกลาง ซึ่งแต่ละโครงการส่งน้ำด้วยระบบคลองให้พื้นที่เพาะปลูกหลายหมื่นถึงหลายแสนไร่ โดยมีการวางหลักเกณฑ์การประเมินผลสัมฤทธิ์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับเป้าหมายหลักในการส่งน้ำ คือการเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทาน(Irrigation Efficiency) เพิ่มความน่าเชื่อถือ(Reliability) ความเป็นธรรม(Equity)และความยืดหยุ่น(Flexibility)ในการส่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลต่อผลผลิต ตามที่กล่ามาแล้วในหัวข้อ 1.1



รูปที่ 1.4 ผลผลิตของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำปาวเปรียบเทียบกับโครงการชลประทานในต่างประเทศ (Plusquellec *et al.*, 1994)

ประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency) หมายถึงเปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อปริมาณน้ำที่ส่งทั้งหมด ความน่าเชื่อถือได้ของการส่งน้ำ (Reliability) จะบอกว่าทั้งปริมาณน้ำที่ส่งให้เกษตรกรและระยะเวลาที่ส่งเป็นไปตามแผน หรือตามความต้องการหรือไม่ ความเสมอภาคในการใช้น้ำ (Equity) จะบอกถึงความเสมอภาคหรือความเป็นธรรมของเกษตรกรต้นคลองและปลายคลอง ในการได้รับน้ำ และความยืดหยุ่น (Flexibility) จะบอกถึงความสามารถของระบบชลประทานที่จะปรับเปลี่ยนอัตราการส่งน้ำ(Flow Rate) ความถี่ในการส่งน้ำ(Frequency) และระยะเวลาในการส่งน้ำ (Duration) ให้ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆและต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำ

ในการบริหารงานส่งน้ำ วิศวกรชลประทานของโครงการ จำเป็นต้องทราบว่าความผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อน(Error) ในการควบคุมปริมาณน้ำที่ส่งเข้าคลองส่งน้ำ มีสาเหตุหลักหลายประการซึ่ง

คุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ โดยเฉพาะค่าความอ่อนไหว(Sensitivity)ของอาคารชลประทาน เป็นหนึ่งในสาเหตุหลักดังกล่าว (Renault and Makin, 1999) ค่า Sensitivity หมายถึงค่าที่บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของ output (อัตราการไหลหรือระดับน้ำ) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ input (ระดับน้ำหรืออัตราการไหล) ซึ่งการวางแผนการบริหารการส่งน้ำในคลองในปัจจุบัน ไม่ได้มีการนำค่า Sensitivity ของอาคารชลประทานแต่ละแห่งในระบบคลองส่งน้ำเข้ามาร่วมในการวางแผน ส่งผลต่อการกำหนดอัตรากำลังในการดำเนินงาน ทำให้การบริหารอัตรากำลังในสนามไม่สอดคล้องกับความเป็นจริง นอกจากนั้นยังทำให้เกิดการสิ้นเปลืองทรัพยากรของโครงการ และยังไม่สามารถกำหนดหรือรับประกันปริมาณน้ำที่ส่งให้แก่เกษตรกรหรือกลุ่มผู้ใช้น้ำได้อย่างมั่นใจ ดังนั้นเพื่อเป็นการสร้างความเชื่อมั่นในด้านปริมาณน้ำที่เกษตรกรหรือกลุ่มผู้ใช้น้ำได้รับ จึงควรมีการประเมินคุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำ เช่น Capacity, Sensitivity, Tolerance และ Perturbation และนำมาใช้ในการวางแผนการส่งน้ำด้วย คุณสมบัติทางด้านชลศาสตร์ของระบบคลองส่งน้ำ ที่ต้องนำมาพิจารณาในการวางแผนการบริหารการส่งน้ำในคลอง ประกอบไปด้วย 4 ส่วน คือ

(1) Capacity ของระบบส่งน้ำ ซึ่งประกอบด้วย Storage Capacity, Conveyance Capacity, Diversion Capacity, Control Capacity, Measurement Capacity, Safety และ Transmission Capacity (Clemmens and Replogle, 1987) ซึ่งจะหาได้จากข้อมูลในการออกแบบระบบส่งน้ำ และการตรวจวัดหรือประเมินจากสภาพจริงในสนาม

(2) Sensitivity คือ คุณสมบัติของอาคารควบคุมน้ำ ซึ่งจะบอกถึงความไวหรือความอ่อนไหวของ output (อัตราการไหลหรือระดับน้ำ) ต่อการเปลี่ยนแปลงของ input (ระดับน้ำหรืออัตราการไหล) ในการวิเคราะห์ Sensitivity ของอาคารควบคุมน้ำ จะแบ่งอาคารออกเป็น 2 กลุ่ม คือ อาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง(Offtake) และอาคารบังคับน้ำกลางคลอง (Regulator) ซึ่งสามารถประเมินได้จากการตรวจวัดการไหลของน้ำผ่านอาคาร หรือ คำนวณจากสูตรทางชลศาสตร์ ดังนี้(Renault, 1999)

$$\text{Sensitivity} = \text{Variation in output / Variation in input} \quad (1)$$

$$S_{offtake} = (\triangle q / q) / \triangle H \quad (2)$$

$$S_{regulator} = \triangle H / (\triangle Q/Q) \quad (3)$$

เมื่อ

Q = อัตราการไหลของน้ำในคลองแม่

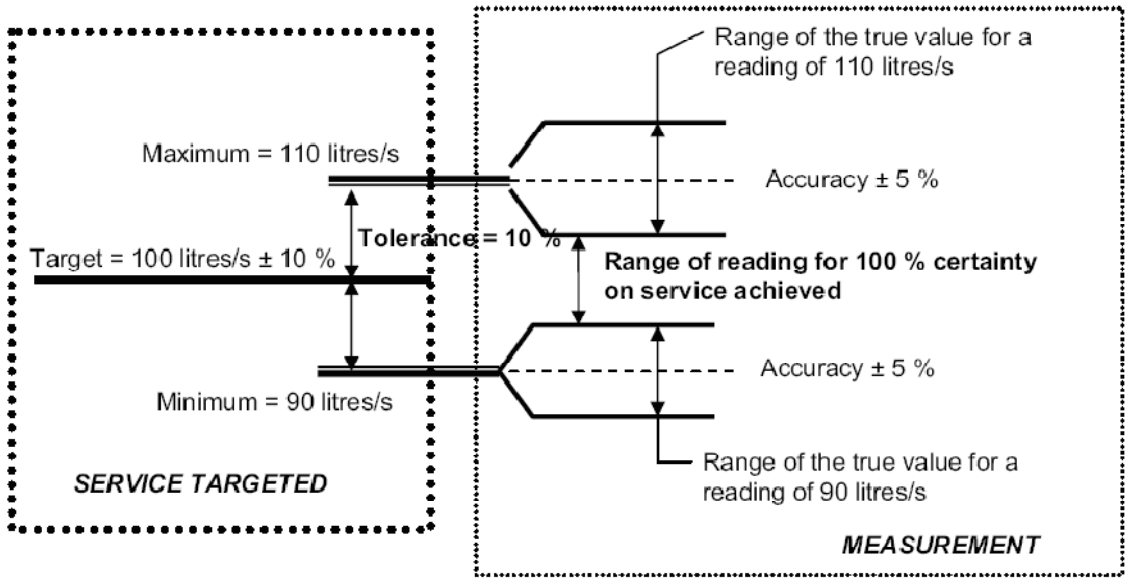
$\triangle Q$ = การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำในคลองแม่

q = อัตราการไหลของน้ำในคลองลูก

△q = การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของน้ำในคลองลูก

△H = ผลต่างของระดับน้ำด้านหน้าและด้านท้ายอาคารในกรณีOfftake หรือ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองแม่ในกรณี Regulator

(3) Tolerance คือขอบเขตของความคาดเคลื่อนในการควบคุมน้ำที่ยอมรับได้ ซึ่งจะกำหนดจากระดับเป้าหมายในการให้บริการส่งน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการควบคุมน้ำของโครงการ และความเปราะบาง (Vulnerability) ของพื้นที่รับน้ำ ค่า Tolerance และ Sensitivity ของอาคาร จะสามารถนำมาใช้ในการกำหนดความแม่นยำ (Accuracy) ในการควบคุมน้ำ ดังรูปที่ 1.5 (Molden and Gates, 1990)



รูปที่ 1.5 แนวทางการกำหนดเป้าหมายการส่งน้ำ และความแม่นยำในการควบคุมน้ำในคลอง

(4) Perturbation คือ สิ่งที่รบกวนระบบการไหลของน้ำในคลอง ทำให้น้ำในคลองอยู่ในสภาวะไม่มั่นคง (Unsteady) ซึ่งเกิดได้ทั้งจากการเปลี่ยนแปลงภายนอกและภายในระบบส่งน้ำ เช่น การตกของฝน การปรับบานประตูในคลอง การใช้น้ำของเกษตรกร การสูบน้ำ เป็นต้น Perturbation จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของน้ำหรือระดับน้ำในระบบส่งน้ำ perturbation มีทั้งด้านบวกและลบซึ่งเป็นตัวแทนของการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณน้ำและระดับน้ำในคลองส่งน้ำ ตามลำดับ (Renault *et al*., 2007)

จากเหตุผลและความจำเป็นดังกล่าวข้างต้น จึงจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาวิจัยเพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำและหาแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของโครงการชลประทานขนาดใหญ่ ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงตั้งวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังต่อไปนี้

(1) เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารจัดการน้ำของระบบคลองในโครงชลประทานขนาดใหญ่ โดยการประเมินแนวทางการบริหารงานส่งน้ำของโครงการ ประเมินสภาพคลองและอาคารควบคุมน้ำของคลองสายใหญ่ คลองซอย คลองแยกซอย และระบบกระจายน้ำในไร่นาในขณะส่งน้ำ ตลอดจนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ และกลุ่มผู้ใช้น้ำ

(2) วิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาในการส่งน้ำ เช่น สมรรถนะของระบบ (Carrying Capacity) ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำ (Water Control Structure Sensitivity)ปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ(Perturbation) ปริมาณน้ำต้นทุนของโครงการ และความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำ เพื่อหากลยุทธ์ในการเพิ่มผลสัมฤทธิ์

(3) วางแผนการทดลองเพื่อทดสอบกลยุทธ์การเพิ่มผลสัมฤทธิ์

วิธีวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีขั้นตอนในเบื้องต้น ดังนี้

(1) คัดเลือกโครงการนำร่อง

(2) ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโครงการเช่น พื้นที่เพาะปลูก ชนิดพืช ลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะดิน สภาพคลอง อาคารและข้อมูลระบบส่งน้ำ แหล่งน้ำอื่นๆในไร่นา ระบบบริหารการส่งน้ำ ระบบการจัดการน้ำ องค์กรผู้ใช้น้ำ

(3) ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของโครงการชลประทาน โดยใช้ดัชนีแสดงผลสัมฤทธิ์ ในรูปของดัชนีภายนอก (External Indicators) และดัชนีภายใน (Internal Indicators) ตามหลัก Rapid Appraisal Procedure (Burt. 2001) ตามที่กล่าวถึงในหัวข้อ 9 (การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง)

(4) ศึกษาคุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของระบบส่งน้ำที่จะนำมาใช้ประกอบในการวางแผนบริหารคลองส่งน้ำ ซึ่งประกอบด้วย Capacity, Sensitivity, Tolerance และ Perturbation

(5) วิเคราะห์เป้าหมายในการส่งน้ำ และกำหนด Tolerance ในการควบคุมการส่งน้ำในคลองส่งน้ำในทุกระดับ

(6) กำหนดกลยุทธ์ในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ และจัดทำแผนการส่งน้ำจาก ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของระบบส่งน้ำ และเป้าหมายการให้บริการ

(7) เลือกพื้นที่ในโครงการที่มีความพร้อมและทดลองทดลองส่งน้ำตามแผนการบริหารงานส่งน้ำที่แนะนำ เปรียบเทียบกับการบริหารงานส่งน้ำแบบเดิม

(8) วิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์และผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

(9) รายงานผลการวิจัย

ผลและวิจารณ์

3.1 รายละเอียดโครงการนำร่อง

3.1.1 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของคลองส่งน้ำ 2L เป็นที่ราบและที่ราบลุ่ม โดยทางด้านทิศตะวันตกจะมีระดับสูงประมาณ +10.00 ม.รทก. แล้วค่อย ๆ ลาดเอียงไปทางทิศตะวันออก ซึ่งติดกับแม่น้ำสองพี่น้อง พื้นที่บริเวณนี้ส่วนใหญ่จะมีระดับต่ำกว่า +2.00 ม.รทก. ส่งผลให้พื้นที่ทางด้านทิศตะวันออกจะเกิดน้ำท่วมขังเมื่อถึงฤดูน้ำหลาก

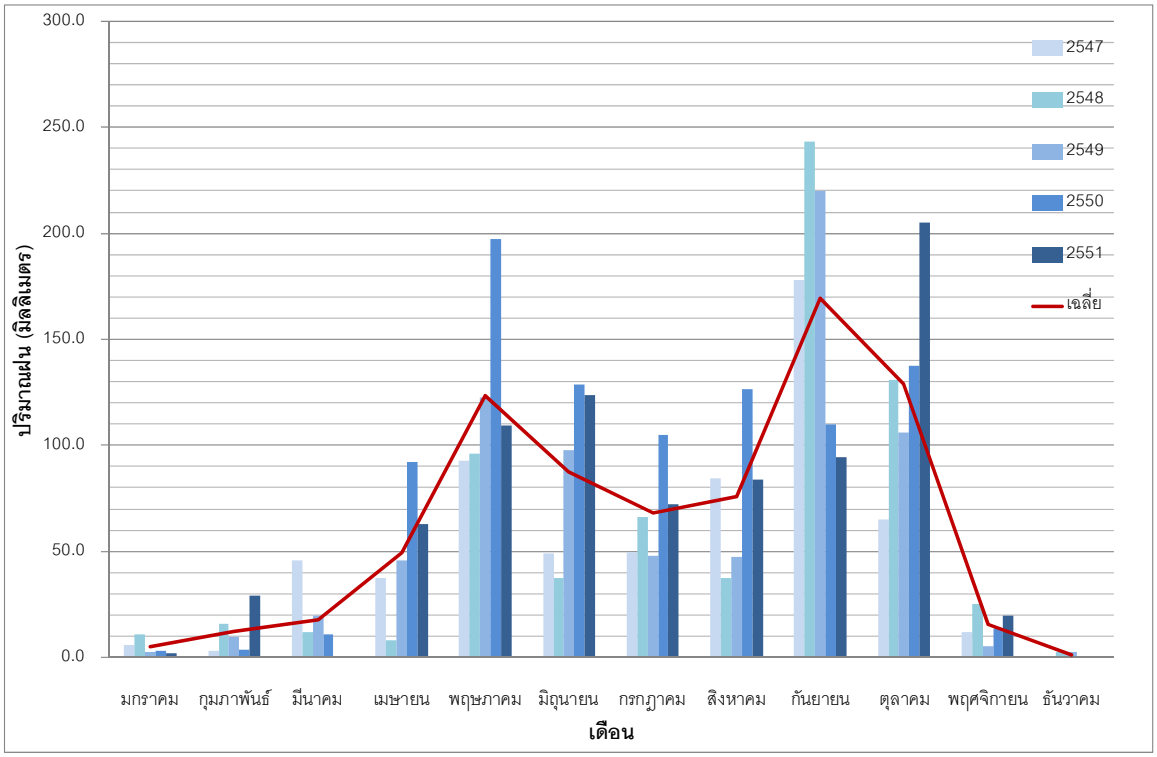
3.1.2 ลักษณะภูมิอากาศ

มีลักษณะอากาศในเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L เป็นแบบมรสุมเขตร้อน โดยฤดูร้อนเริ่มตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-เมษายน ฤดูฝนเริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคม-ตุลาคม ฤดูหนาวเริ่มตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน-มกราคม อุณหภูมิเฉลี่ย 32° C ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 69 %

ฝนที่ตกในเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L ได้รับอิทธิพลจากมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และอิทธิพลของพายุหมุนในทะเลจีนใต้ ซึ่งพัดเข้ามาทางตะวันออกของประเทศ โดยฝนจะเริ่มตกในราวเดือนเมษายน (ตกหนักในเดือนกันยายน และตุลาคม) และหมดประมาณกลางเดือนพฤศจิกายน ปริมาณฝนเฉลี่ยในเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L ประมาณ 756.0 มม. (ตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1)

ตารางที่ 3.1 ปริมาณฝนในเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L ปี พ.ศ. 2547 – 2551

พ.ศ.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รวม
2547	6.1	3.4	46.0	37.7	92.9	49.4	49.9	84.9	178.3	65.4	12.0	0.0	626.1
2548	11.3	15.9	12.4	8.5	96.1	37.8	66.5	37.4	243.7	131.2	25.6	2.9	689.5
2549	2.9	9.7	20.2	45.8	122.6	98.0	48.0	47.5	220.5	106.0	5.6	3.0	729.8
2550	3.1	3.5	11.1	92.4	197.3	128.7	105.0	126.5	110.2	137.7	13.5	0.3	929.4
2551	2.3	29.6	0.5	63.0	109.6	123.9	72.3	83.9	94.7	205.1	20.1	0.0	804.8
เฉลี่ย	5.1	12.4	18.0	49.5	123.7	87.6	68.4	76.0	169.5	129.1	15.4	1.2	755.9



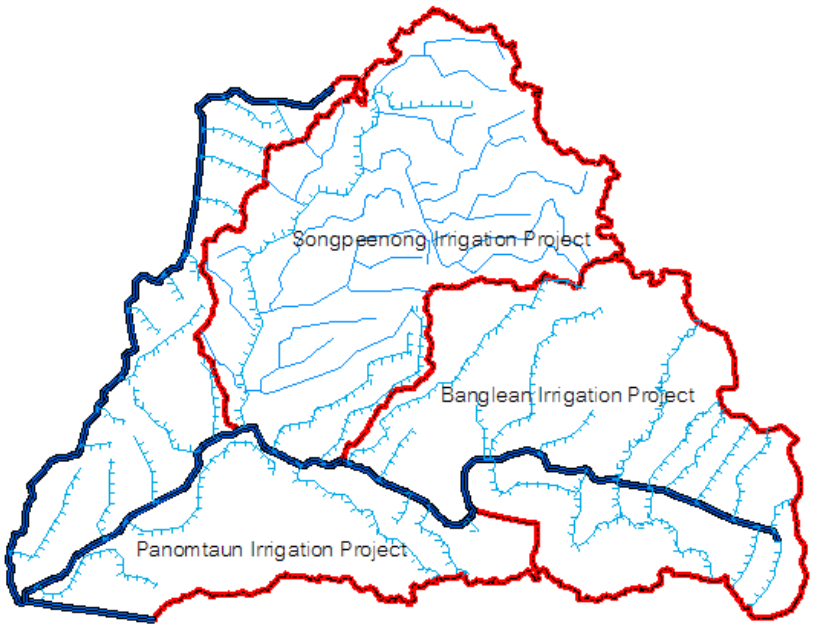
รูปที่ 3.1 ปริมาณฝนในเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L

3.1.3 แหล่งน้ำและระบบชลประทาน

คลองส่งน้ำสายใหญ่ 2 ซ้าย (คลองส่งน้ำ 2L) ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ รับน้ำจากการบังคับและผันน้ำ ที่ประตูระบายน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ (เขื่อนแม่กลอง) คลองส่งน้ำสายใหญ่ 2 ซ้าย โดยแหล่งน้ำต้นทุนของโครงการอยู่ที่เขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนศรีนครินทร์ มีปริมาณน้ำใช้การ 6,210 และ 10,581 ล้านลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 3.2) ส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทาน 797,944 ไร่ ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และนครปฐม ภายใต้การควบคุมและบริหารจัดการน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวนจำนวน 195,794 ไร่ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง 307,000 ไร่ และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน 295,200 ไร่ (รูปที่ 3.2) โดยมีการพัฒนาพื้นที่ชลประทานเป็นระบบชลประทานในไร่นา จำนวน 349,394 ไร่ รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำเก็บกักและประมาณน้ำใช้การของเขื่อนวชิราลงกรณ และเขื่อนศรีนครินทร์

อ่างเก็บน้ำ	ปริมาณน้ำเก็บกัก	ปริมาณน้ำใช้การ	ปริมาณน้ำไหลลงอ่าง
	(ล้านลูกบาศก์เมตร)	(ล้านลูกบาศก์เมตร)	(ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี)
เขื่อนวชิราลงกรณ	8,860	6,210	4,476
เขื่อนศรีนครินทร์	17,745	10,581	4,289



รูปที่ 3.2 ขอบเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

ตารางที่ 3.3 ประเภทของระบบชลประทานในคลองส่งน้ำ 2L

ประเภท	โครงการส่งน้ำฯ พนมทวน	โครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง	โครงการส่งน้ำฯ บางเลน	คลองส่งน้ำสายใหญ่ 2 ซ้าย
1. คันคูน้ำ	136,536	5,441	71,245	213,222
2. จัดรูปที่ดิน				
- Intensive	3,225			3,225
- Extensive		132,947		132,947
3. ไม่มีการพัฒนาระบบแปลงนา	56,033	168,612	223,955	448,600
รวมพื้นที่ชลประทาน	195,794	307,000	295,200	797,994

3.1.4 ระบบการปลูกพืช

ลักษณะดินในเขตคลองส่งน้ำ 2L ทางทิศตะวันตก ทิศใต้ และตอนกลางของคลองส่งน้ำ 2L มีลักษณะเป็นดินประเภทตะกอนทรายจนถึงดินร่วนปนทราย ส่วนทางตอนเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือจะเป็นทุ่งราบมีลักษณะดินเป็นดินเหนียว สำหรับทิศตะวันออก และตะวันออกเฉียงใต้จะเป็นที่ราบลุ่มน้ำท่วมขังลักษณะดินเป็นดินเหนียว

การใช้ที่ดินสำหรับการเพาะปลูกของคลองส่งน้ำ 2L ในเขตพื้นที่ชลประทาน 797,994 ไร่แบ่งเป็นพื้นที่นาข้าว 41.10 % ประมาณ 327,956 ไร่ ผลผลิตเฉลี่ยข้าวนาปีประมาณ 800 กิโลกรัม / ไร่ และข้าวนาปรังประมาณ 850 กิโลกรัม / ไร่ พื้นที่ปลูกอ้อยประมาณ 343,250 ไร่ (43.01% ของพื้นที่ชลประทาน) ผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 18,000 กิโลกรัม / ไร่ สำหรับพื้นที่ส่วนที่เหลือ 126,788 ไร่ (15.89 % ของพื้นที่ชลประทาน) เป็นพื้นที่ปลูกพืชผัก ไม้ผล บ่อปลา และบ่อกุ้ง (ตารางที่ 3.5) โดยมีปฏิทินการเพาะปลูกดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แผนการเพาะปลูกพืชในเขตพื้นที่ชลประทานของคลองส่งน้ำ 2L

ชนิดพืช	มค.	กพ.	มีค.	เมย	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน												
ข้าว												
อ้อย												
พืชไร่												
พืชผัก												
ผลไม้ และไม้ยืนต้น												
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง												
ข้าว												
อ้อย												
พืชไร่												
พืชผัก												
ผลไม้ และไม้ยืนต้น												
โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน												
ข้าว												
อ้อย												
พืชผัก												
ผลไม้ และไม้ยืนต้น												

ตารางที่ 3.5 ชนิดและพื้นที่เพาะปลูกในเขตพื้นที่ชลประทานของคลองส่งน้ำ 2L

โครงการส่งน้ำฯ	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)							
	ข้าว	อ้อย	พืชไร่	พืชผัก	ผลไม้ ไม้ยืนต้น	บ่อกุ้ง/ บ่อปลา	อื่น ๆ	รวม
พนมทวน	78,030	92,123	11,854	5,353	5,937	2,199	298	195,794
สองพี่น้อง	113,565	176,210	2,895	2,770	4,195	7,365	-	307,000
บางเลน	136,361	74,917	-	6,716	15,294	39,693	22,219	295,200
รวมพื้นที่ส่งน้ำของคลอง 2L	327,956	343,250	14,749	14,839	25,426	49,257	22,517	797,994

3.1.5 ความต้องการน้ำและปริมาณน้ำที่ส่ง

คลองส่งน้ำ 2L ส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทานจำนวน 797,994 ไร่ แบบตลอดเวลา ในปี พ.ศ. 2551 ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก 2,896 ล้านลูกบาศก์เมตร ในขณะที่พืชมีความต้องการน้ำรวมทั้งสิ้นในปี พ.ศ. 2551 เท่ากับ 1,495 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็นประสิทธิภาพการชลประทานรวมของคลองส่งน้ำ 2L เท่ากับ 51.6% โดยมีรายละเอียดความต้องการน้ำของพืช และปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกปี พ.ศ. 2551 แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ปริมาณความต้องการน้ำของพืชและปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา	ปริมาณน้ำ (ล้านลูกบาศก์เมตร)											
	มค.	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.
ปริมาณความต้องการน้ำของพืชปีพ.ศ. 2551 เท่ากับ 1,495 ล้านลูกบาศก์เมตร												
พนมทวน	0	78	79	88	72	43	28	67	44	7	15	0
สองพี่น้อง	38	16	18	48	91	63	60	37	87	43	32	1
บางเลน	45	30	77	50	31	11	44	21	30	10	49	42
รวมคลองส่งน้ำ 2L	83	124	174	186	194	117	132	125	161	60	96	43
ปริมาณน้ำที่ส่งเข้าให้พื้นที่เพาะปลูกปีพ.ศ. 2551 เท่ากับ 2,896 ล้านลูกบาศก์เมตร												
พนมทวน	82	121	146	142	101	42	89	110	131	131	60	62
สองพี่น้อง	89	83	88	85	103	93	67	45	71	62	59	66
บางเลน	54	75	75	78	59	47	75	71	62	55	56	61
รวมคลองส่งน้ำ 2L	225	279	309	305	263	182	231	226	264	248	175	189

3.2 แนวทางการบริหารงานส่งน้ำ

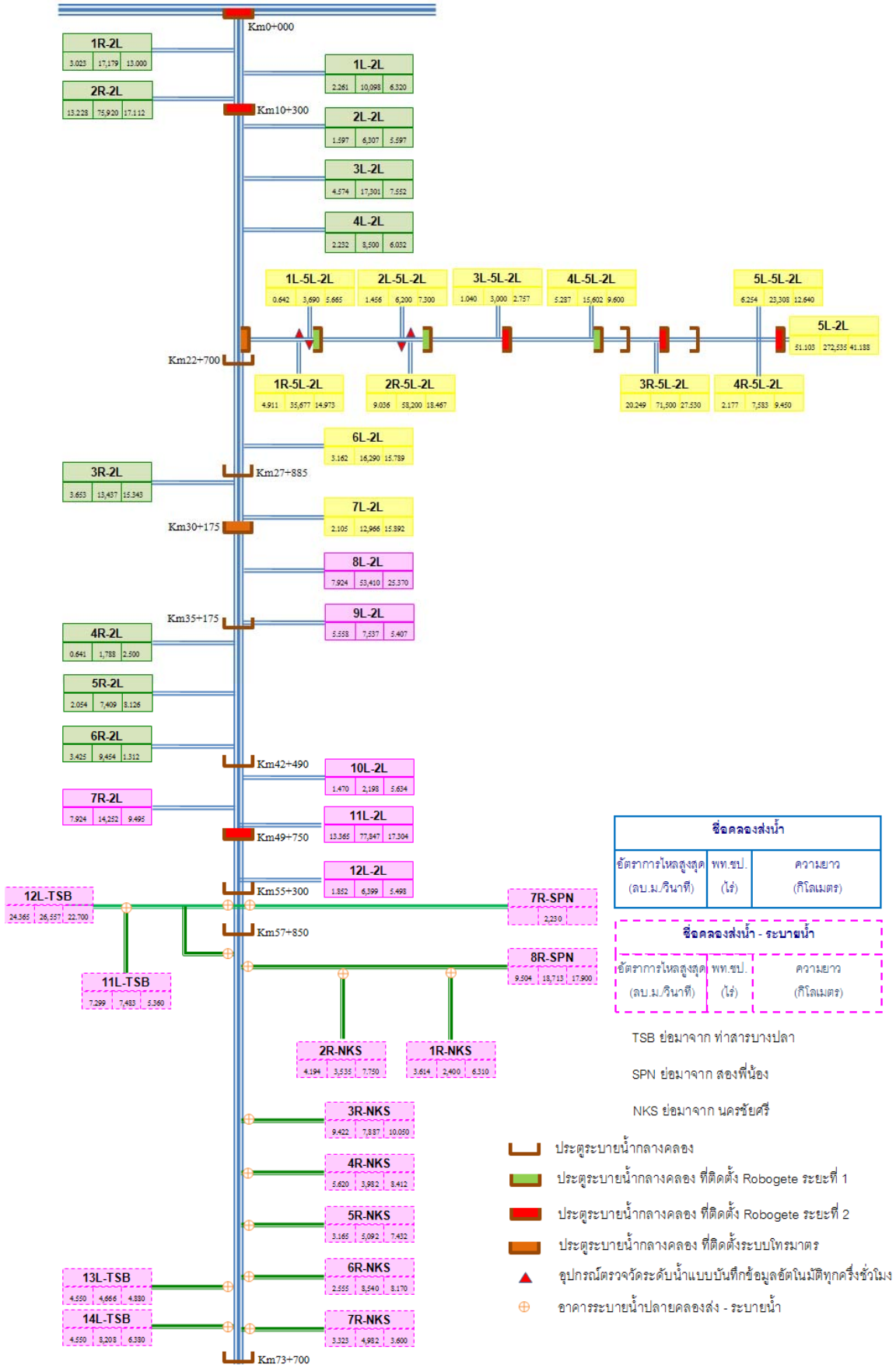
3.2.1 ระบบส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L

คลองส่งน้ำ 2L มีความยาวคลองทั้งสิ้น 73.700 กิโลเมตร มี ปตร.กลางคลองจำนวน 9 แห่ง เพื่อควบคุมน้ำส่งเข้าคลองส่งน้ำสายซอย 19 สาย คลองส่งน้ำสายแยกซอย สาย และคลองส่งน้ำ – ระบายน้ำ 10 สาย เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน จำนวน 975,976 ไร่ คิดเป็นพื้นที่ชลประทาน 797,994 ไร่ แบ่งพื้นที่บริหารการส่งน้ำออกเป็น 103 โซน และมีการจัดตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำเพื่อช่วยบริหารจัดการน้ำในระดับคูส่งน้ำจำนวน 1,639 กลุ่ม และมีการยกระดับขึ้นเป็นกลุ่มบริหารจำนวน 37 กลุ่ม รายละเอียดแสดงในตารางที่ 3.7

คลองส่งน้ำ 2L มีโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กลองทำหน้าที่ควบคุมเปิด – ปิด ประตูระบายน้ำปากคลองส่งน้ำ 2L เข้าสู่ระบบส่งน้ำ โดยโครงการส่งน้ำฯพนมทวน จะควบคุมบังคับ ปตร.กลางคลองส่งน้ำ 2L กม.10+300 เพื่อส่งน้ำเข้าสู่คลองส่งน้ำ 1R – 2L, 2R – 2L, 1L – 2L, 2L – 2L, 3L – 2L, 4L – 2L และระบายน้ำให้โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง ซึ่งโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องจะมีหน้าที่ควบคุมบังคับ ปตร. กลางคลอง 2L ที่กม. 22+700, 27+885 และ 30+175 เพื่อรับน้ำเข้าสู่คลองส่งน้ำ 5L – 2L, 6L – 2L และ 7L – 2L ส่วนโครงการส่งน้ำฯบางเลนรับน้ำจากคลองส่งน้ำ 2L ผ่าน ปตร.กลางคลอง 2L กม. 30+175 (โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องเป็นผู้ควบคุม) โดยโครงการส่งน้ำฯบางเลนมีหน้าที่ควบคุม ปตร.กลางคลอง 2L ที่กม. 42+490 เพื่อรับน้ำเข้าสู่พื้นที่โครงการฯ คลองส่งน้ำ 2L ในเขตพื้นที่โครงการประกอบด้วยปตร.กลางคลอง 4 ตัว คือ ที่กม.43+541, 49+750, 53+300, 57+850 และปตร.ปลายคลองอยู่ที่ กม.73+700 เพื่อควบคุมการระบายน้ำทิ้งลงแม่น้ำนครชัยศรี คลองส่งน้ำ 2L ทำหน้าที่ส่งน้ำให้คลองซอยทั้งฝั่งซ้ายและขวา ซึ่งประกอบด้วย 8L – 2L, 9L – 2L, 10L – 2L, 11L – 2L, 12L – 2L และ 7R – 2L เนื่องจากพื้นที่บริเวณท้ายคลองส่งน้ำ 2L เป็นพื้นที่ราบลุ่ม จึงได้มีการปรับปรุงคลองระบายน้ำให้สามารถทำหน้าที่ส่งน้ำได้ คลองดังกล่าวทำหน้าที่ 2 ประการคือทั้งส่งน้ำและระบายน้ำ จึงเรียกว่าคลองส่งและระบาย (คสร.) ซึ่งได้แก่ คสร.3R – NKS, 4R – NKS, 5R – NKS, 6R – NKS, 7R – NKS, 8R – SPN, 11L – TSB, 12L – TSB, 13L – TSB และ 14L – TSB (NKS หมายถึง แม่น้ำนครชัยศรี, TSB หมายถึง คลองท่าสาร – บางปลา, SPN หมายถึง แม่น้ำสองพี่น้อง) ดังแสดงในรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.7 รายละเอียดระบบคลองส่งน้ำและพื้นที่ชลประทานของคลองส่งน้ำ 2L

รายละเอียด	**โครงการส่งน้ำฯ พนมทวน**	**โครงการส่งน้ำฯ สองพี่น้อง**	**โครงการส่งน้ำฯ บางเลน**
พื้นที่รับผิดชอบ (โซน)	23	44	36
(ไร่)	226,976	380,000	369,000
พื้นที่ชลประทาน (ไร่)	195,794	307,000	295,200
คลองส่งน้ำสายใหญ่ 2L	Km 0+000 – Km 22+000	Km 22+000 – Km 30+175	Km 30+175 – Km 73+700
คลองส่งน้ำสายซอย	- 10 สาย - 82.894 กม.	- 3 สาย - 72.869 กม.	- 6 สาย - 68.708 กม.
คลองส่งและระบาย			- 10 สาย - 130.829 กม.
อาคารบังคับน้ำ			
- ปตร./ทรบ.	36 แห่ง	44 แห่ง	100 แห่ง
- อาคารทดน้ำ/อัดน้ำ	29 แห่ง	151 แห่ง	41 แห่ง
- อาคารทิ้งน้ำ	6 แห่ง		16 แห่ง
- ท่อส่งน้ำเข้านา	582 แห่ง	642 แห่ง	334 แห่ง
- ท่อรับน้ำ			285 แห่ง
กลุ่มผู้ใช้น้ำ			
- กลุ่มพื้นฐาน	582 กลุ่ม	642 กลุ่ม	152 กลุ่ม
- กลุ่มบริหาร	13 กลุ่ม	19 กลุ่ม	- กลุ่ม



รูปที่ 3.3 ระบบส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L

คลองส่งน้ำ 2L มีการติดตั้งระบบตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำแบบอัตโนมัติใน 3 ลักษณะ คือ

(1) ระบบโทรมาตร ติดตั้งที่ ปตร.กลางคลอง 2L กม.30+175 และ ปตร.ปากคลอง 5L – 2L ปัจจุบันไม่มีการรายงานข้อมูล

(2) ระบบคลองอัตโนมัติ มีการติดตั้ง Robogate ในคลอง 2L จำนวน 9 แห่ง คือ

a. ระยะที่ 1 ติดตั้งที่ ปตร.กลางคลองในคลอง 5L – 2L กม.3+650, 9+813 และ 20+300 ปัจจุบัน มีการรายงานข้อมูลเฉพาะสถานี กม.3+650 และ 20+300 เนื่องจากมีการปรับปรุงอุปกรณ์ที่ ปตร.กลางคลอง กม.9+813

b. ระยะที่ 2 ติดตั้งที่ ปตร.กลางคลองในคลอง 2L กม.0+000, 10+300, 49+750 ที่ปตร.กลางคลองในคลอง 5L – 2L กม.14+750, 26+401 และที่ ปตร.ปลายคลอง 5L – 2L กม.33+664 ปัจจุบันมีการรายงานข้อมูลครบทุกสถานี

(3) ระบบบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ เป็นการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำกับเครื่องบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ (Data logger) ที่กำหนดช่วงเวลาในการบันทึกทุก ๆ 30 นาที โดยทำการติดตั้งในคลอง 5L – 2L จำนวน 4 จุด คือ ด้านหน้าอาคารปากคลองซอย 1R – 5L – 2L, 1L – 5L – 2L, 2L – 5L – 2L และ 2R – 5L – 2L (ดังรูปที่ 3.4ส่วนรายละเอียด Sensor และ data logger แสดงในภาคผนวก ก)

(a) ระบบโทรมาตรในคลองส่งน้ำ 2L

(b) ระบบอัตโนมัติระยะที่ 1 ในคลองส่งน้ำ 2L

(c) ระบบอัตโนมัติระยะที่ 1 ในคลองส่งน้ำ 2L

(d) ระบบบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ ในคลองส่งน้ำ 2L

รูปที่ 3.4 ระบบตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำแบบอัตโนมัติ ในคลองส่งน้ำ 2L

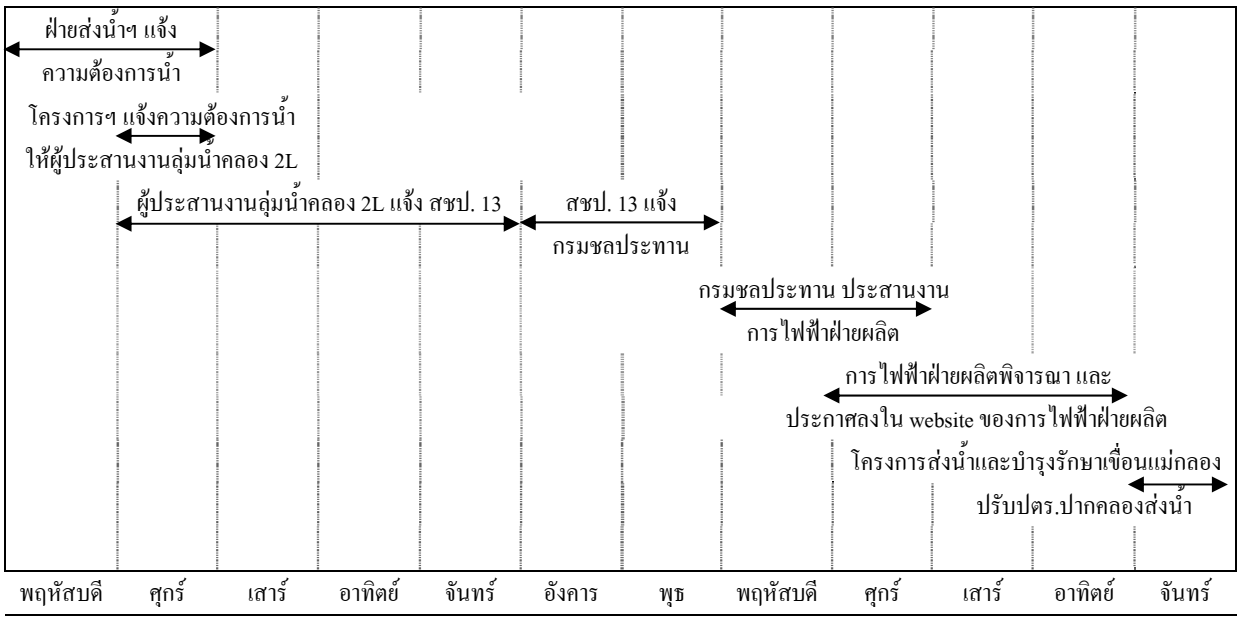
3.2.2 การจัดทำแผนการส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L

ระบบส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L เป็นแบบตลอดเวลา โดยมีโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กลองทำหน้าที่ควบคุมเปิด – ปิด ประตูระบายน้ำปากคลองส่งน้ำ 2L เข้าสู่พื้นที่ชลประทาน ซึ่งการควบคุมประตูระบายน้ำปากคลองส่งน้ำ 2L จะปฏิบัติตามแผนการส่งน้ำของผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L (สำนักชลประทานที่ 13 ได้แต่งตั้งให้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเป็นผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L) ซึ่งโครงการส่งน้ำฯพนมทวน และโครงการส่งน้ำฯบางเลน จะต้องส่งความต้องการน้ำให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L ล่วงหน้า 10 วันก่อนการส่งน้ำ ดังแสดงในปฏิทินกิจกรรมการจัดการน้ำรายสัปดาห์ (ตารางที่ 3.8)

ในกรณีฉุกเฉิน แผนการส่งน้ำสามารถปรับแก้ได้ตามสถานการณ์เช่น กรณีมีฝนตกหนัก ทางฝ่ายส่งน้ำฯ สามารถแจ้งโครงการฯเพื่อประสานงานในการปรับ ปตร.ปากคลอง 2L กับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กลอง ได้โดยตรง ซึ่งโครงการส่งน้ำฯเขื่อนแม่กลองจะดำเนินการปรับบานให้ในทันทีหรือขอปรับแผนการส่งน้ำในระหว่างสัปดาห์ โครงการฯสามารถขอปรับแผนการส่งน้ำได้ตลอดเวลา ตามความต้องการน้ำที่เปลี่ยนแปลงหรือตามการตกของฝน โดยทำการแจ้งความต้องการน้ำให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L เพื่อประสานกับโครงการส่งน้ำฯเขื่อนแม่กลองในการปรับ ปตร.ปากคลอง 2L ได้โดยตรงทางโทรศัพท์ ซึ่งโครงการส่งน้ำฯเขื่อนแม่กลองจะดำเนินการปรับบานให้วันละ 2 ครั้ง

สำหรับฤดูกาลส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 2L แบ่งออกเป็น 3 รูปแบบตามโครงการชลประทานที่ทำหน้าที่ควบคุมและบริหารจัดการระบบส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทาน โดยโครงการส่งน้ำฯพนมทวน แบ่งฤดูส่งน้ำออกเป็น 2 ฤดู ส่วนโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำฯบางเลนแบ่งฤดูส่งน้ำออกเป็น 3 ฤดู ดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.8 ปฏิทินกิจกรรมการจัดการน้ำรายสัปดาห์ของคลองส่งน้ำ 2 ซ้าย



1. ฝ่ายส่งน้ำและบำรุงรักษาแจ้งความต้องการน้ำในเขตพื้นที่ชลประทานที่รับผิดชอบให้ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานทราบ
2. ฝ่ายจัดสรรน้ำและปรับปรุงระบบชลประทานรวบรวมความต้องการน้ำของโครงการ และแจ้งให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L (โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง) ทราบ
3. ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L รวบรวมความต้องการน้ำของโครงการต่าง ๆ ในเขตพื้นที่ส่งน้ำของคลอง 2L และแจ้งความต้องการน้ำให้ส่วนจัดสรรน้ำ สำนักชลประทานที่ 13 ทราบ
4. สำนักชลประทานที่ 13 (ส่วนจัดสรรน้ำ) พิจารณาความต้องการน้ำของคลอง 2L ร่วมกับคลองสายอื่น ๆ (คลอง 1L, LMC, LMC (ท่าสาร – บางปลา), 1R, 2R และคลองประปา) และแจ้งความต้องการน้ำให้กรมชลประทาน (สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ) ทราบ
5. กรมชลประทาน พิจารณาและประสานงานกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพื่อระบายน้ำจากเขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนวชิราลงกรณ
6. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตพิจารณาจัดสรรน้ำให้กรมชลประทานและสำนักชลประทานที่ 13 โดยแจ้งผลการพิจารณาผ่าน website ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (http://ichpp.egat.co.th)
7. โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาเขื่อนแม่กลองปรับประตูระบายปากคลอง 2L พร้อมแจ้งให้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลนทราบ

ตารางที่ 3.9 ปฏิทินการส่งน้ำในฤดูส่งน้ำนาปี และนาปรัง ของคลองส่งน้ำ 2L

โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา	ฤดูส่งน้ำ	ระยะเวลาในการส่งน้ำ	
		เริ่มต้น	สิ้นสุด
โครงการฯพนมทวน	- ฤดูนาปี	กลางเดือนกรกฎาคม	ต้นเดือนธันวาคม
	- ฤดูนาปรัง	ต้นเดือนกุมภาพันธ์	กลางเดือนมิถุนายน
โครงการฯสองพี่น้อง	- ฤดูนาปรัง 1	ต้นเดือนพฤศจิกายน	กุมภาพันธ์
	- ฤดูนาปรัง 2	ต้นเดือนมีนาคม	มิถุนายน
	- ฤดูนาปี	ต้นเดือนกรกฎาคม	ตุลาคม
โครงการฯบางเลน	- ฤดูแล้ง	ต้นเดือนมกราคม	เมษายน
	- ฤดูฝน 1	ต้นเดือนพฤษภาคม	สิงหาคม
	- ฤดูฝน 2	ต้นกันยายน	ธันวาคม

3.3 ปัญหาอุปสรรคในการบริหารจัดการน้ำในคลองส่งน้ำ 2L

3.3.1 ปัญหาทั่วไปที่พบในคลองส่งน้ำ 2L

(1) อัตรากำลังไม่เพียงพอในการปฏิบัติงาน ปัจจุบันตำแหน่งพนักงานส่งน้ำ (ลูกจ้างประจำ) เมื่อเกษียณราชการจะถูกยุบตามมติคณะรัฐมนตรี ทำให้จำนวนพนักงานส่งน้ำลดลง ทางโครงการฯ ต้องแต่งตั้งลูกจ้างประจำตำแหน่งอื่น เช่น ผู้รักษาอาคารชลประทาน พนักงานรักษาคลอง หรือ อื่น ๆ ให้ทำหน้าที่พนักงานส่งน้ำ ซึ่งบุคคลเหล่านี้บางคนไม่มีประสบการณ์และมีคุณวุฒิไม่ตรง ประกอบกับมีอายุมากและขาดโอกาสการเข้ารับการอบรมทางด้านเทคนิคในการตรวจวัดน้ำ การส่งน้ำและบำรุงรักษา และต้องรับผิดชอบดูแลการส่งน้ำและบำรุงรักษาในพื้นที่ประมาณ 2 - 3 โซน/คน ปกติตามเกณฑ์ของกรมชลประทานพนักงานส่งน้ำ 1 คนจะดูแลพื้นที่ 1 โซน ส่งผลให้การปฏิบัติงานไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ ขาดความกระตือรือร้นและทัศนคติที่ดีในการบริหารงานส่งน้ำ

(2) ประตูระบายปากคลองซอย และประตูระบายปากคูส่งน้ำชำรุดเสียหาย หรือถูกลักขโมยมากกว่า 50% โดยสาเหตุของการลักขโมยบานประตูคือเพื่อนำเหล็กไปขาย ซึ่งมีปัญหามากในปี พ.ศ. 2550 และ พ.ศ. 2551 เหล็กบานประตูในคลองซอยถูกขโมยประมาณ 30 – 50 % ทำให้มีปัญหาในการควบคุมการส่งน้ำเข้าคลองซอย และคูส่งน้ำสายต่าง ๆ

(3) การซ่อมแซมและบำรุงรักษาคลองส่งน้ำและอาคารชลประทานในคลองส่งน้ำ 2L ทำได้ลำบาก เนื่องจากต้องส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกตลอดทั้งปี

(4) ขาดระบบการตรวจวัดน้ำในคลองส่งน้ำ 2L เนื่องจากประตูระบายน้ำกลางคลองส่งน้ำ 2L และประตูระบายปากคลองซอยส่วนใหญ่หรือเกือบทั้งหมดไม่ได้มีการ Calibrate ทำให้การคำนวณปริมาณน้ำที่ไหลผ่านประตูระบายน้ำกลางคลอง และส่งเข้าคลองซอยต่าง ๆ ไม่ถูกต้อง

(5) ปัญหาเรื่องการประสานงาน ในการปิด – เปิดบานประตูระบายกลางคลองส่งน้ำ 2L รวมถึงการรายงานข้อมูลในการปิด – เปิดบานประตูระบายน้ำกลางคลองให้ผู้ประสานงานลุ่มน้ำคลอง 2L รับทราบ

(6) ปัญหาตะกอน และวัชพืชน้ำ (สาหร่ายและผักสันตะวา) ในคลองส่งน้ำสายซอยที่อยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นปัญหาในเกือบทุกคลองซอย ทำให้ความสามารถในการส่งน้ำของคลองซอยลดลง 10 – 50% เนื่องจากมีตะกอนตกจมอยู่ที่ก้นคลอง และมีวัชพืชกีดขวางการไหลของน้ำ เพราะคลองซอยส่วนใหญ่ต้องส่งน้ำตลอดทั้งปีไม่มีช่วงหยุดพัก ประกอบกับงบประมาณในการกำจัดวัชพืชและขุดลอกคลองมีจำกัด

(7) ปัญหาเรื่องการระบายน้ำในบริเวณปลายแม่น้ำสองพี่น้อง ระหว่างจุดบรรจบของคลองจระเข้สามพันกับแม่น้ำสองพี่น้อง ถึงปากแม่น้ำสองพี่น้อง ซึ่งมีลักษณะเป็นคอขวดทำให้บริเวณดังกล่าวในช่วงฤดูน้ำ ซึ่งระดับน้ำในแม่น้ำสุพรรณมีระดับสูงทำให้น้ำจากแม่น้ำสองพี่น้องไม่สามารถระบายออกได้ ประกอบกับช่วงฝนตกหนักปริมาณน้ำท่าในแม่น้ำสองพี่น้องมีปริมาณมาก เพราะต้องต้องรับน้ำจากคลองจระเข้สามพัน ระบบระบายน้ำของโครงการส่งน้ำฯโพธิ์พระยา โครงการส่งน้ำฯพนมทวน โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง โครงการส่งน้ำฯบางเลน และโครงการชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตก (โครงการส่งน้ำเจ้าเจ็ดบางยี่หน และโครงการส่งน้ำฯพระยาบันลือ) ซึ่งจะสูบน้ำระบายลงแม่น้ำท่าจีน ทำให้พื้นที่สองฝั่งแม่น้ำสองพี่น้องบริเวณอำเภอสองพี่น้อง เกิดปัญหาน้ำท่วมเป็นประจำ ในปัจจุบันโครงการโพธิ์พระยาได้สร้างคันกั้นน้ำเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำจากแม่น้ำสองพี่น้องเข้าไปท่วมพื้นที่ ทำให้ปัญหาน้ำท่วมในแม่น้ำสองพี่น้องในส่วนของโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง และโครงการฯบางเลนมีความรุนแรงมากขึ้น โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องได้วางแผนของบประมาณเพื่อจัดสร้างคันกั้นน้ำในลักษณะเดียวกับโครงการส่งน้ำฯโพธิ์พระยาเพื่อป้องกันน้ำท่วมในเขตพื้นที่ของโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง นอกจากนี้โครงการส่งน้ำฯโพธิ์พระยามีแผนจะสร้างประตูระบายน้ำปากแม่น้ำสองพี่น้องเพื่อบรรเทาปัญหาน้ำท่วมดังกล่าว สำหรับในส่วนของโครงการส่งน้ำฯพนมทวนซึ่งเป็นโครงการต้นน้ำต้องเพิ่มความระมัดระวังในการระบายน้ำออกจากพื้นที่ เพื่อไม่ให้ส่งผลต่อน้ำท่วมในเขตพื้นที่ดังกล่าว

3.3.2 ปัญหาที่พบในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน

(1) กลุ่มผู้ใช้น้ำยังไม่มีกิจกรรมด้านการใช้น้ำ การส่งน้ำและบำรุงรักษา

(2) เจ้าหน้าที่มีจำนวนเพียงพอแต่การทำงานยังไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากบุคลากรในสนามส่วนใหญ่ขาดความรู้ ความเข้าใจ ประสบการณ์ ความกระตือรือร้นและทัศนคติที่ดีในการบริหารงานส่งน้ำ ประกอบกับผู้บังคับบัญชาระดับหัวหน้าฝ่ายส่งน้ำฯ ส่วนใหญ่ย้ายมาจากงานก่อสร้าง

(3) โครงการควบคุมน้ำเฉพาะคลองส่งน้ำสายใหญ่ 1L, 2L ส่วนใหญ่ไม่มีการควบคุมประตูระบายน้ำปากคลองซอย

(4) เกษตรกรด้านท้ายของคลองส่งน้ำ และคูส่งน้ำ มีปัญหาไม่ได้รับน้ำ ต้องสูบน้ำจากคลองระบายขึ้นมาใช้ ซึ่งประมาณว่า 10% ของพื้นที่ และบางพื้นที่เกษตรกรได้กลบคูน้ำเนื่องจากไม่เคยได้รับน้ำ

(5) ในอดีตคลอง 1L เคยประสบปัญหาความขัดแย้งอย่างรุนแรงในการใช้น้ำระหว่างนากุ้งและ นาข้าวที่อยู่บริเวณท้ายคลอง ทางจังหวัดและสำนักฯ 13 ต้องเข้ามาช่วยใกล่เกลี่ยแก้ปัญหา

3.3.3 ปัญหาที่พบในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

(1) อาคารควบคุมน้ำกลางคลองแบบ Duck–billed weir มีปัญหาถูกเกษตรกรท้ายน้ำทุบสันฝายหรือฐานฝายเพื่อให้น้ำสามารถระบายไปยังท้ายคลองได้มากขึ้น ปัญหาของการใช้ Duck-billed weir มักจะเกิดในช่วงฤดูแล้งซึ่งเป็นช่วงที่มีความต้องการใช้น้ำสูง ถ้าผู้ใช้น้ำด้านเหนือน้ำใช้น้ำโดยไม่คำนึงถึงผู้ที่อยู่ด้านท้ายน้ำ จะทำให้ผู้ที่อยู่ด้านท้ายฝายไม่ได้รับน้ำและเป็นสาเหตุที่มีการทุบสันฝายหรือฐานฝายตามที่กล่าวมาแล้ว ในทางทฤษฎี Duck-billed weir เป็นอาคารทดน้ำกลางคลองที่มีราคาถูก ไม่ต้องการการ Operate ซึ่งถือว่าเป็นข้อดี แต่ในช่วงที่มีความต้องการน้ำมากจำเป็นต้องมีระบบการแบ่งปันการใช้น้ำระหว่างผู้ที่อยู่เหนือน้ำ และท้ายน้ำ

(2) ปัญหาการชำรุดเสียหาย เป็นหลุมเป็นบ่อของถนนคันคลอง เนื่องจากน้ำล้นข้าม

(3) ระบบโทรมาตรที่ติดตั้งอยู่ในเขตโครงการฯ ขาดบุคคลากรที่มีความสามารถในการวิเคราะห์และนำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนการส่งน้ำ

(4) ปัญหาเรื่องคุณภาพน้ำบริเวณคลองระบายน้ำท้ายชุมชนอู่ทอง เนื่องจากชุมชนปล่อยน้ำลงคลองระบายน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียของชุมชน ซึ่งทางโครงการจะต้องคอยตรวจสอบเพื่อระบายเข้าคลองระบายเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำ

3.3.4 ปัญหาที่พบในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบางเลน

(1) ปัญหาเรื่องคุณภาพบริเวณคลองระบายน้ำท้ายชุมชนอู่ทอง เนื่องจากชุมชนปล่อยน้ำลงคลองระบายน้ำโดยไม่ผ่านการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสียของชุมชน

(2) พื้นที่ชลประทานของฝ่ายส่งน้ำที่ 3 และ 4 เป็นระบบส่งน้ำผ่านคลองธรรมชาติ ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งคลองส่งน้ำ และระบายน้ำทำให้มีการสูญเสียมาก

(3) ปัญหาเรื่องระดับน้ำในคลองส่งน้ำไม่ได้ระดับตามเป้าหมายที่กำหนด เนื่องจากการรับน้ำจากโครงการด้านเหนือน้ำพิจารณาที่อัตราการไหลผ่านประตูระบายกลางคลอง ไม่ได้พิจารณาจากระดับน้ำด้านท้ายของประตูระบายกลางคลอง

(4) เกษตรกรผู้ใช้น้ำในเขตพื้นที่ชลประทานมีความหลากหลายทั้งชนิดที่ปลูก และช่วงเวลาในการปลูกทำให้มีความต้องการใช้น้ำไม่ตรงกัน จึงเกิดปัญหาความขัดแย้งขึ้น

(5) เกษตรกรใช้น้ำฟุ่มเฟือย มีการลักลอบเปิดปิดบานของประตูระบายปากคลองซอยเอง

(6) ไม่สามารถจัดตั้งกลุ่มบริหารได้ เนื่องจากกลุ่มพื้นฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่ได้อยู่รวมตัวกันแต่กระจายกันทั่วพื้นที่โครงการฯ นอกจากนั้นเกษตรกรยังมีทางเลือกด้านแหล่งน้ำหลากหลายทำให้ไม่เกิดปัญหาขาดแคลนน้ำ จึงขาดแรงกระตุ้นให้รวมตัวกัน

(7) ประตูระบายน้ำปลายคลองถูกออกแบบให้รับน้ำทางเดียวคือด้านเหนืออาคาร แต่ในความเป็นจริงบางครั้งระดับน้ำด้านท้ายบานสูงกว่าด้านหน้าทำให้มีแรงดันจากด้านท้าย ส่งผลให้บานเกิดความเสียหายไม่สามารถเลื่อนขึ้นลงได้สะดวก

3.4 ผลการประเมินโครงการโดยวิธีการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process)

การประเมินผลอย่างรวดเร็ว เป็นเทคนิคการประเมินโครงการที่ใช้บุคคลที่มีความรู้ความสามารถในการประเมินผลงานของระบบชลประทานทั้งในส่วนของ การดำเนินงาน การใช้ทรัพยากรด้านต่าง ๆ การให้บริการ ผลผลิตและผลลัพธ์ของโครงการ โดยเข้าไปประเมินหรือประมวลผลโครงการทั้งในภาคสนามและสำนักงาน เพื่อหาค่าดัชนีที่สำคัญของโครงการอย่างรวดเร็ว ใช้ระยะเวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าข้อมูลที่ได้รับจากโครงการเป็นข้อมูลที่เชื่อถือได้ผ่านการตรวจสอบและแก้ไขจากเจ้าหน้าที่หรือผู้บริหารโครงการ (Burt, 2001)

สำหรับการประเมินแบบรวดเร็ว จะใช้โปรแกรม Microsoft Excel (Burt, 2001) เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินผล สามารถแบ่งผลการประเมินออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ดัชนีประเมินผลภายนอก (External Indicators) และ ดัชนีประเมินผลภายใน (Internal Indicators)

3.4.1 ขั้นตอน และวิธีประเมินโครงการแบบรวดเร็ว

การประเมินโครงการแบบรวดเร็วเป็นการประเมินโครงการโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานจากโครงการ และเข้าไปสัมภาษณ์ และเก็บรวบรวมข้อมูลในสนามเพื่อใช้เป็นข้อมูลเพิ่มเติมในการประเมิน โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังนี้

(1) รวบรวมข้อมูลพื้นฐานจากเจ้าหน้าที่ของโครงการชลประทาน ประกอบด้วย ข้อมูลพื้นที่ชลประทาน พื้นที่เพาะปลูก อัตราการไหลของน้ำเข้าสู่โครงการ สภาพภูมิประเทศ งบประมาณ จำนวนบุคลากร และลักษณะการจัดการองค์กรเบื้องต้น

(2) เมื่อออกสนาม ข้อมูลเบื้องต้นที่ได้รับจะถูกจัดการอย่างเป็นระบบ และผู้ประเมินจะเริ่มสอบถามข้อมูลที่ยังขาดอยู่จากเจ้าหน้าที่โครงการ รวมถึงบทบาทหน้าที่ความรับผิดของโครงการเพื่อเป็นแนวทางในการสอบถามข้อมูลในส่วนอื่น

(3) ออกตรวจสอบระบบคลองส่งน้ำ โดยการพูดคุยกับเจ้าหน้าที่สนามและเกษตรกรผู้ใช้น้ำพร้อมกับใช้การสังเกตและจดบันทึกชนิดและวิธีการควบคุมอาคาร

(4) สรุปข้อโต้แย้งเพื่อเป็นเกณฑ์ในการประเมินและกรอกคะแนน

(5) สรุปผลการประเมิน และตรวจสอบค่าที่ได้ประเมินให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริง ตลอดจนข้อมูลที่ขาดเพื่อให้ผลของการประเมินสามารถใช้เป็นเป็นตัวกำหนดการปรับปรุงการจัดการน้ำของโครงการต่อไป

สำหรับการประเมินโครงการแบบรวดเร็วจะใช้โปรแกรม Microsoft Excel เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมิน ซึ่งผู้ประเมินจะต้องกรอกข้อมูลและคะแนนต่าง ๆ ของโครงการลงใน Worksheets ให้ถูกต้องตามที่กำหนดประกอบด้วย 14 Worksheets ดังนี้

- Worksheets 1 – 3 เป็นการทำงานเกี่ยวกับการประเมินค่าตัวชี้วัดภายนอกของระบบชลประทาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับน้ำภายนอกระบบ

- Worksheets 4 เป็นสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ปรับแก้ค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูล ยิ่งถ้าค่าสัมประสิทธิ์ (Confidence Intervals, CI) มาก ความน่าเชื่อถือของข้อมูลก็จะลดน้อยลงไป

- Worksheet 5 – 11 เป็นการทำงานเกี่ยวกับการประเมินค่าตัวชี้วัดภายในของระบบชลประทาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับลักษณะการดำเนินงานของโครงการในปัจจุบัน องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำ

- Worksheet 12 – 14 เป็น worksheet ที่ใช้แสดงผลการสรุปข้อมูล และผลการคำนวณค่าดรรชนีต่าง ๆ ของระบบ

3.4.2 **ผลการประเมินโครงการอย่างรวดเร็วของคลองส่งน้ำ** 2L

(1) **ดัชนีประเมินผลภายนอก** (External Indicators)

ดัชนีประเมินผลภายนอกเป็นการเปรียบเทียบปัจจัยนำเข้าและผลผลิตของโครงการ เพื่อใช้อธิบายผลสัมฤทธิ์ในการดำเนินงานของโครงการ ซึ่งจะแสดงในรูปของประสิทธิภาพ เช่น ประสิทธิภาพที่เกี่ยวกับการใช้งบประมาณ ประสิทธิภาพการใช้น้ำ และประสิทธิภาพในการผลิต (Renault *et al.*, 2007) การปรับปรุงค่าของดัชนีชี้วัดภายนอกให้ดีขึ้น จะใช้ค่าดัชนีประเมินผลภายในซึ่งเป็นกระบวนการตรวจสอบการจัดการน้ำ มาประกอบเพื่อพิจารณาปรับปรุงและเพิ่มค่าดัชนีประเมินผลภายนอก

จากผลการประเมินโครงการอย่างรวดเร็วของคลองส่งน้ำ 2L ในส่วนของการเปรียบเทียบปัจจัยนำเข้าและผลผลิตของโครงการ แสดงในตารางที่ 3.10 และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีภายนอกต่าง ๆ พบว่า

- คลองส่งน้ำ 2L ทั้ง 3 ส่วน มีการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกน้อยกว่าค่าชลภาระที่ออกแบบไว้ (1.44 LPS/Ha) มีเพียงโครงการส่งน้ำฯพนมทวนซึ่งเป็นโครงการที่อยู่ตอนบนของคลองส่งน้ำมีการส่งน้ำเข้าพื้นที่ใกล้เคียงกับค่าชลภาระที่ออกแบบไว้ (1.38 LPS/Ha) ซึ่งมีสาเหตุมาจากระบบส่งน้ำของโครงการพนมทวนมีความยาวมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องซึ่งมีการส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูกเพียง 0.88 LPS/Ha เนื่องจากโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องรับน้ำจากคลองส่งน้ำ 2L เพียง 8.175 กิโลเมตร ขณะที่พื้นที่ส่งน้ำในคลองส่งน้ำ 2L ของโครงการส่งน้ำฯพนมทวนท้ายสุดอยู่ที่ กม.42+428

- คลองส่งน้ำ 2L มีอัตราส่วนการส่งน้ำสัมพัทธ์สำหรับพื้นที่เพาะปลูกในเขตชลประทานทั้ง 3 โครงการอยู่ระหว่าง 2.29 – 2.82 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่เพาะปลูกของคลองส่งน้ำ 2L มีปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่ได้มากถึง 2 – 3 เท่าของความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ ดังนั้นถ้ามีการบริหารจัดการระบบส่งน้ำที่เหมาะสม พื้นที่เพาะปลูกในคลองส่งน้ำ 2L ไม่ควรมีปัญหาการขาดแคลนน้ำ

- ประสิทธิภาพการชลประทานประจำปี ของโครงการส่งน้ำฯพนมทวน และโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ 42.73 และ 58.34% ตามลำดับ ส่วนโครงการส่งน้ำฯบางเลนมีค่าเท่ากับ 83.68% ซึ่งถือว่าดีมากเมื่อเทียบกับ 2 โครงการที่อยู่ด้านต้นคลอง ซึ่งแสดงว่าเกษตรกรที่อยู่ต้นคลองมีการใช้น้ำอย่างฟุ่มเฟือย ทำให้พื้นที่บริเวณปลายคลองได้รับน้ำในปริมาณที่จำกัด ซึ่งเกษตรกรได้แก้ปัญหาดังกล่าวโดยการใช้วิธีสูบน้ำจากระบบคลองระบายน้ำขึ้นมาใช้ ซึ่งจะเห็นได้จากค่าประสิทธิภาพการชลประทานระดับแปลงของโครงการส่งน้ำฯบางเลนมีค่าเท่ากับ 61.83% ซึ่งต่ำกว่าค่าประสิทธิภาพการชลประทานประจำปี

- เมื่อพิจารณาค่าดัชนีอัตราการไหลของน้ำในคลองจริงสัมพัทธ์ (RACF) พบว่าโครงการส่งน้ำฯสองพี่น้องมีการบริหารการส่งน้ำได้ดีกว่า โครงการส่งน้ำฯพนมทวน และบางเลน เนื่องจากมีการส่งน้ำเข้าสู่ระบบสูงสุดใกล้เคียงกับความต้องการใช้น้ำจริงมากที่สุด (RACF = 0.81) ในขณะที่โครงการส่งน้ำฯพนมทวน และบางเลนมีค่า RACF = 0.53 และ 0.55 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาค่าดัชนีความจุคลองรวมสัมพัทธ์ (RGCC) พบว่าคลองส่งน้ำ 2L ยังสามารถเพิ่มอัตราการส่งน้ำเข้าสู่ระบบได้อีกเกือบเท่าตัว

- สำหรับในส่วนของผลผลิตของโครงการพบว่า คลองส่งน้ำ 2L สร้างรายได้ให้เกษตรกรในพื้นที่ปีละประมาณ 16,754 ล้านบาท โดยพื้นที่ชลประทานในเขตโครงการส่งน้ำฯบางเลนมีรายได้สูงสุดถึงปีละ

6,645 ล้านบาท เนื่องจากมีการทำนากุ้งและเลี้ยงปลาจำนวนมาก ซึ่งให้ผลตอบแทนที่สูงกว่าการปลูกข้าวและอ้อย ซึ่งเป็นพืชหลักของพื้นที่ชลประทานในคลองส่งน้ำ 2L

ตารางที่ 3.10 ดัชนีภายนอกที่สำคัญของคลองส่งน้ำ 2L

รายการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา		
	พนมทวน	สองพี่น้อง	บางเลน
1. อัตราการนำเข้าน้ำชลประทานผิวดินสูงสุดเข้าสู่คลองสำหรับปีนี้ (LPS/Ha)	1.38	0.88	1.14
2. อัตราส่วนการส่งน้ำสัมพัทธ์ (Relative Water Supply, RWS) สำหรับพื้นที่เพาะปลูกในเขตชลประทาน	2.82	2.51	2.29
3. ประสิทธิภาพการชลประทานประจำปี (Command Area Irrigation Efficiency, %)	42.73	58.34	83.68
4. ประสิทธิภาพการชลประทานระดับแปลงที่คำนวณได้ (Field Irrigation Efficiency, %)	47.48	64.83	61.83
5. ความจุคลองรวมสัมพัทธ์ (Relative Gross Canal Capacity, RGCC)	0.41	0.62	0.42
6. อัตราการไหลของน้ำในคลองจริงสัมพัทธ์ (Relative Actual Canal Flow, RACF)	0.53	0.81	0.55
7. มูลค่าผลผลิตทางการเกษตรรายปีทั้งหมด (ล้านบาท)	4,735.5	5,373.5	6,645.0

(2) ดัชนีประเมินผลภายใน (Internal Indicators)

ดัชนีประเมินผลภายในเป็นดัชนีแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการส่งน้ำ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการส่งน้ำ ตลอดจนการบริหารจัดการคลองส่งน้ำ (Renault *et al*., 2007) ซึ่งจะทำให้ทราบถึง (1) ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำที่ระดับต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำ 3 ระดับ คือ ระดับคลองส่งน้ำสายใหญ่ ระดับคลองส่งน้ำสายซอย – แยกซอย และระดับคูน้ำ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าส่วนไหนของระบบชลประทานมีผลสัมฤทธิ์ต่ำ และจำเป็นต้องปรับปรุง และ (2) สมรรถนะของฮาร์ทแวร์และซอฟท์แวร์ในการบริหารงานส่งน้ำ ซึ่งได้แก่ประตูระบายกลางคลอง (Cross Regulator) ท่อระบายน้ำเข้าคลอง (Turnout หรือ Offtake) อ่างพักน้ำ (Regulating Reservoir) การสื่อสารและการคมนาคม (Communication) สภาพทั่วไปของระบบส่งน้ำ (General Condition) การบริหารงานส่งน้ำ (Operation) งบประมาณ (Budget) จำนวนและความสามารถของเจ้าหน้าที่ (Employee) และองค์กรผู้ใช้น้ำ (Water User Association) ซึ่งจะช่วยบอกว่า

ปัญหาอยู่ที่ฮาร์ทแวร์หรือซอฟท์แวร์ เพื่อจะได้หาวิธีการปรับปรุงได้อย่างถูกต้อง โดย RAP จะประเมินดัชนีภายในหลัก 39 ตัว ซึ่งประกอบด้วยดัชนีภายในย่อยจำนวน 122 ตัว ประเมินโดยการให้คะแนนระหว่าง 0 - 4 ตามความหมายดังนี้

ระดับคะแนน	ความหมาย
4	ดีมาก
3	ดี
2	พอใช้
1	แย่ และต้องปรับปรุง
0	แย่มาก และต้องปรับปรุง

ผลการประเมินดัชนีภายในหลัก 39 ดัชนี ดังแสดงในตารางที่ 3.11 สามารถสรุปผลการประเมินคลองส่งน้ำ 2L ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1คือ ระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมซึ่งมีผลต่อการส่งน้ำ (Service and social order) และ

กลุ่มที่ 2 คือสมรรถนะขององค์ประกอบในระบบชลประทาน (Irrigation system capability) การประเมินกลุ่มที่ 2 แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มย่อย คือ

- สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่
- สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอย
- สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกซอย
- ขีดความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำในการให้บริการส่งน้ำ

ตารางที่ 3.11 ดัชนีภายในหลักของคลองส่งน้ำ 2L

ดัชนี	ความหมาย	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา			คลองส่งน้ำ
		พนมทวน	สองพี่น้อง	บางเลน	2L
การบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมซึ่งมีผลต่อการส่งน้ำ (SERVICE and SOCIAL ORDER)					**1.54**
I-1	การบริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลง	0.73	1.64	0.73	1.03
I-2	การส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ให้แต่ละแปลงได้รับ	2.73	2.73	2.55	2.67
I-3	การบริการส่งน้ำจริงที่จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม	0.59	1.06	0.71	0.78
I-4	การบริการส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ที่จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม	1.41	1.65	0.94	1.33
I-5	การบริการส่งน้ำจริงของคลองสายใหญ่	1.78	2.11	2.39	2.09
I-6	การบริการส่งน้ำที่โครงการกำหนดไว้ของคลองสายใหญ่	2.94	3.67	3.00	3.20
I-7	ตัวชี้วัด - ลักษณะพฤติกรรมการปฏิบัติตามกติกา ตลอดระบบคลองที่บริหารโดยพนักงานที่ได้รับค่าจ้าง	1.25	1.75	1.13	1.38
สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่					**2.31**
I-8	ปตร.กลางคลอง ในคลองสายใหญ่ (Cross regulator)	1.93	2.64	2.14	2.24
I-9	ดัชนี Turnout คลองสายใหญ่	1.17	3.17	3.33	2.56
I-10	ดัชนีของอ่างพักน้ำ ในคลองสายใหญ่	0.00	0.00	0.00	0.00
I-11	การติดต่อสื่อสารและการคมนาคมในการดูแลคลองสายใหญ่	3.18	3.00	2.82	3.00
I-12	สภาพทั่วไปของคลองสายใหญ่	3.00	3.80	2.80	3.20
I-13	การควบคุมน้ำในคลองสายใหญ่ (Operation)	2.40	3.20	2.32	2.64

ตารางที่ 3.11 ดัชนีภายในหลักของคลองส่งน้ำ 2L (ต่อ)

ดัชนี	ความหมาย	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา			คลองส่งน้ำ
		พนมทวน	สองพี่น้อง	บางเลน	2L
สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอย					**1.93**
I-14	ปตร.กลางคลอง ในคลองซอย (Cross regulator)	0.64	1.86	1.21	1.24
I-15	ดัชนี Turnout คลองซอย	1.00	1.67	2.17	1.61
I-16	ดัชนีของอ่างพักน้ำ ในคลองซอย	0.00	1.83	0.00	0.61
I-17	การติดต่อสื่อสารและการคมนาคมในการดูแลคลองซอย	2.55	3.32	2.64	2.83
I-18	สภาพทั่วไปของคลองซอย	2.30	3.00	2.50	2.60
I-19	การควบคุมน้ำในคลองซอย (Operation)	1.88	2.40	1.74	2.01
สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกซอย					**1.53**
I-20	ปตร.กลางคลอง ในคลองแยกซอย (Cross regulator)	0.86	0.71	0.57	0.71
I-21	ดัชนี Turnout คลองแยกซอย	1.00	2.00	1.17	1.39
I-22	ดัชนีของอ่างพักน้ำ ในคลองแยกซอย	0.00	1.33	0.00	0.44
I-23	การติดต่อสื่อสารและการคมนาคมในการดูแลคลองแยกซอย	2.36	2.73	2.55	2.55
I-24	สภาพทั่วไปของคลองแยกซอย	2.00	2.20	2.20	2.13
I-25	การควบคุมน้ำในคลองแยกซอย (Operation)	1.26	1.32	1.12	1.23
งบประมาณ เจ้าหน้าที่ และ องค์กรผู้ใช้น้ำ					**1.35**
I-26	งบประมาณ (Budgets)	1.20	1.40	1.00	1.20
I-27	เจ้าหน้าที่ (Employees)	2.32	1.79	1.58	1.89
I-28	องค์กรผู้ใช้น้ำ	0.85	0.85	0.31	0.67
I-29	ประสิทธิภาพการใช้เจ้าหน้าที่	0.00	0.00	0.00	0.00
I-30	การใช้คอมพิวเตอร์ในงานธุรการ	2.80	3.50	3.00	3.10
I-31	การใช้คอมพิวเตอร์ในงานบริหารจัดการน้ำ	0.00	0.00	1.00	0.33

ตารางที่ 3.11 ดัชนีภายในหลักของคลองส่งน้ำ 2L (ต่อ)

ดัชนี	ความหมาย	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา			คลองส่งน้ำ
		พนมทวน	สองพี่น้อง	บางเลน	2L
ดัชนีที่ไม่ได้ถูกคำนวณมาก่อน					
I-32	ความสามารถในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกเพื่อสนับสนุนการชลประทานสมัยใหม่ (ให้น้ำระบบท่อภายใต้แรงดัน)	NA.	NA.	NA.	NA.
I-33	การเปลี่ยนแปลงที่จำเป็นเพื่อสนับสนุนการชลประทานสมัยใหม่(ให้น้ำระบบท่อภายใต้แรงดัน)	NA.	NA.	NA.	NA.
I-34	การรับและใช้ประโยชน์ของข้อมูลย้อนกลับ	NA.	NA.	NA.	NA.
ดัชนีพิเศษที่ไม่ได้ใช้ค่า 0-4					
I-35	ความหนาแน่นของ Turnouts	19.00	15.00	14.00	16.00
I-36	จำนวน Turnouts/Operator	3.84	3.14	NA.	NA.
I - 37	ความยุ่งเยิงในการควบคุมน้ำในคลองสายใหญ่	0.60	0.58	0.80	0.66
I - 38	ความยุ่งเยิงในการควบคุมน้ำในคลองซอย	0.42	0.64	0.75	0.60
I - 39	ความยุ่งเยิงในการควบคุมน้ำในระดับแปลงนา	0.27	0.60	0.29	0.38

หมายเหตุ : NA. หมายถึง ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินยังไม่สมบูรณ์จะรายงานผลในภายหลัง

ผลการประเมินระบบส่งน้ำคลอง 2L สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.12 ส่วนรายละเอียดผลการประเมินแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบดัชนีภายในตามรูปที่ 3.5 และ 3.6 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

(1) ระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมอยู่ในระดับต้องปรับปรุง โดยสิ่งที่ต้องพิจารณาปรับปรุงคือ การบริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลง การบริการส่งน้ำจริงและที่โครงการฯคาดหวัง ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม และพฤติกรรมการปฏิบัติตามกติกา ตลอดระบบคลองที่บริหารโดยพนักงานที่ได้รับค่าจ้างระบบการตรวจวัดน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.5 (a) และ (b) โดยมีสาเหตุมาจาก

- การไม่มีระบบตรวจวัดปริมาตรน้ำผ่านอาคารทั้งในระดับแปลงนา และจุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม
- ปัญหาการมีจำนวนแปลงเพาะปลูกท้ายจุดที่เจ้าหน้าที่ควบคุมมากเกินไป
- ปัญหาด้านการบริหารงานส่งน้ำในระดับแปลงนา และคูน้ำ ซึ่งยังมีปัญหาในเรื่องของความยืดหยุ่น ความน่าเชื่อถือ และความเป็นธรรมในการส่งน้ำ

(2) สมรรถนะขององค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำอยู่ในระดับต้องปรับปรุง ถึงพอใช้ โดยองค์ประกอบของระบบส่งน้ำที่ต้องพิจารณาปรับปรุงคือ ในส่วนของการให้บริการในระดับคลองซอย คลองแยกซอย และขีดความสามารถของระบบส่งน้ำด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำ โดยมีสาเหตุมาจาก

- ระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่ สายซอย และแยกซอย มีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำสูงกว่าระดับที่เหมาะสม
- ระบบการขอน้ำ และส่งน้ำยังไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพื้นที่เพาะปลูกจริง (รายสัปดาห์)
- การบริหารงานส่งน้ำในระดับคลองซอย และคลองแยกซอยยังตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลได้ล่าช้า ยกเว้นในคลอง 5L – 2L
- การบำรุงรักษา Turnout ของคลองซอย และคลองแยกซอย ตลอดจนสภาพทั่วไปของคลองแยกซอย ยังไม่ดีพอทำให้อาคารบางแห่งไม่สามารถส่งน้ำ หรือระบายน้ำของจากคลองได้เต็มศักยภาพที่กำหนดไว้
- การไม่มีอ่างพักน้ำ ในคลองระดับต่าง ๆ ทำให้ไม่มีแหล่งน้ำสำรองสำหรับส่งน้ำให้แก่ระบบในกรณีขาดแคลนน้ำต้นทุนชั่วคราว หรือรับน้ำจากระบบมาเก็บไว้ในกรณีที่มีการส่งน้ำเข้าสู่ระบบมากเกินความต้องการ
- ในระดับคลองซอย และคลองแยกซอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลองแยกซอย มีช่วงเวลาในการเข้าไปตรวจสอบสภาพคลอง และปัญหาในการส่งน้ำเพื่อรายงานให้โครงการทราบนานเกินไป ประมาณ 1–2 เดือน/ครั้ง
- ในระดับคลองซอย และคลองแยกซอย ไม่มีการตรวจวัดระดับน้ำ หรืออัตราการไหล ณ จุดที่มีน้ำไหลล้นหลัก ๆ และจุดสุดท้ายของคลอง
- โครงการได้รับการจัดสรรงบประมาณเพื่องานซ่อมแซมและบำรุงรักษาน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบส่งน้ำ
- กลุ่มผู้ใช้น้ำยังขาดความเข้มแข็งทั้งในด้านความร่วมมือ ระเบียบข้อบังคับ การเงิน และการเข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารงานส่งน้ำ

- ประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่สนามอยู่ในระดับต่ำ (หมายเหตุ RAP Sheets ประเมินประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานโดยใช้สัดส่วนของจำนวน Turnout ทั้งหมดหารด้วยจำนวนเจ้าหน้าที่ทั้งโครงการ แต่ในความเป็นจริงมีเฉพาะเจ้าหน้าที่สนามที่รับผิดชอบการปิดเปิด Turnout ซึ่งถ้าคำนวณจากเจ้าหน้าที่สนามโดยตรงประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่สนามจะอยู่ที่ระดับพอใช้ เกณฑ์การพิจารณาประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่สนามใน RAP ดังตารางข้างล่าง)

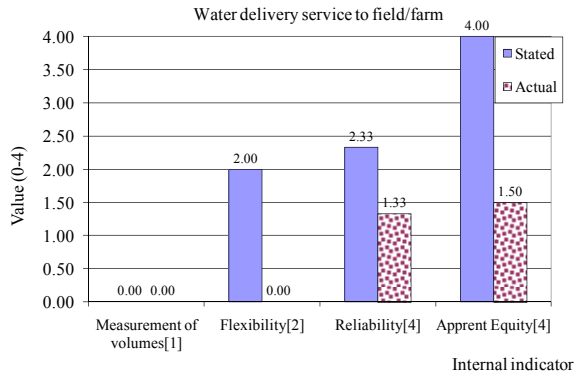
0 – 9	10 - 19	20 - 29	– 49	>49
แย่มากต้องปรับปรุง	แย่ต้องปรับปรุง	พอใช้	ดี	ดีเยี่ยม

- โครงการยังไม่มีการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการส่งน้ำ เนื่องมาจากขาดบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ และยังไม่เห็นความจำเป็นในการนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานควบคุมการส่งน้ำ

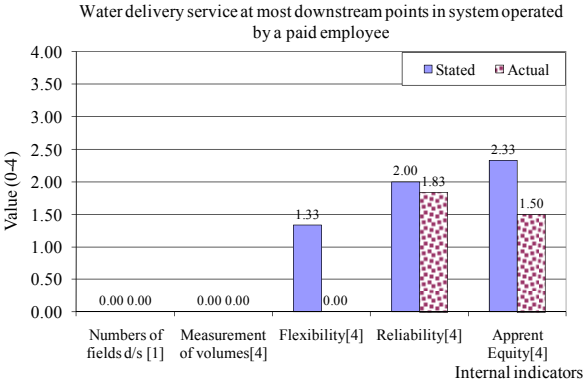
จากการเข้าไปประเมินโครงการฯ ทั้งในสำนักงานและภาคสนามยังพบองค์ประกอบที่ต้องปรับปรุงส่วนอื่นซึ่งส่งผลต่อระดับการให้บริการ และสมรรถนะในการปฏิบัติงานขององค์ประกอบในระบบส่งน้ำ เช่น ความถูกต้องในการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารที่ใช้ในปัจจุบัน และการกำหนดและมอบหมายหน้าที่ในการควบคุมการบริหารงานส่งน้ำในระดับต่าง ๆ เป็นต้น

ตารางที่ 3.12 ผลการประเมินดัชนีภายในของคลองส่งน้ำ 2L

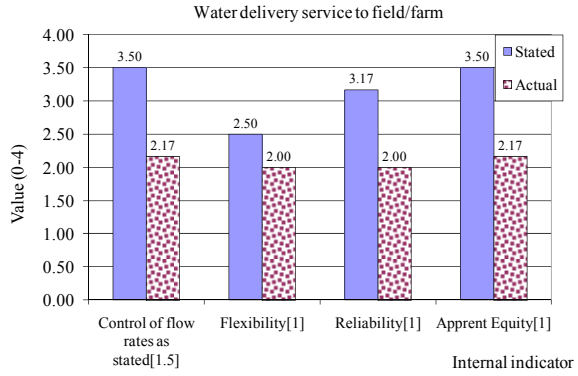
ดัชนีภายในของคลองส่งน้ำ 2L	ระดับคะแนน	ความหมาย
กลุ่มที่ 1		
ระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมซึ่งมีผลต่อการส่งน้ำ	1.54	ต้องปรับปรุง
กลุ่มที่ 2		
สมรรถนะของระบบชลประทาน		
- สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่	2.31	พอใช้
- สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอย	1.93	เกือบพอใช้และต้องปรับปรุง
- สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกซอย	1.53	ต้องปรับปรุง
- ขีดความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำในการให้บริการส่งน้ำ	1.35	ต้องปรังปรุง



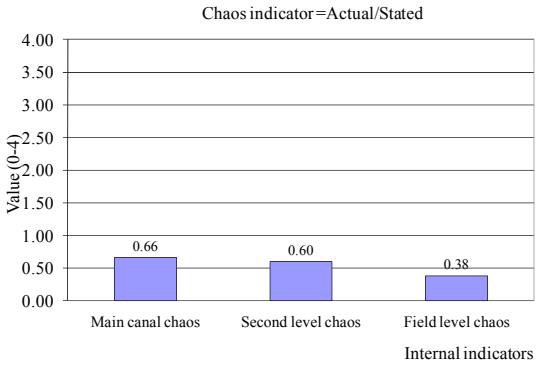
(a) ระดับการบริการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก



(b) ระดับการบริการส่งน้ำ ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม

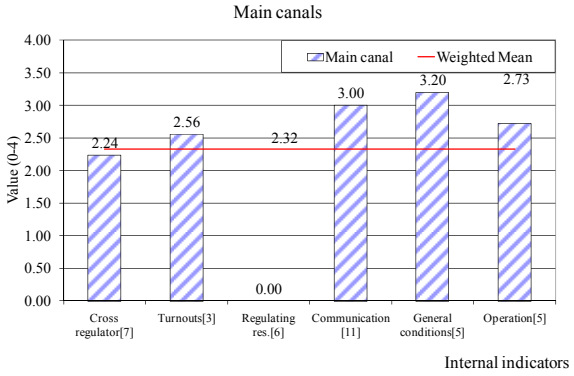


(c) ระดับการบริการส่งน้ำโดยคลองส่งน้ำสายใหญ่

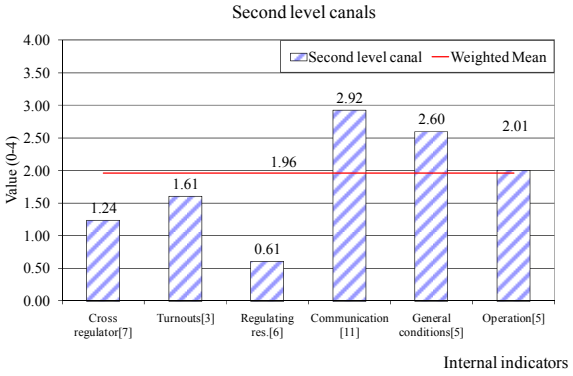


(d) ดัชนีแสดงผลการให้บริการจริงเปรียบเทียบกับเป้าหมาย

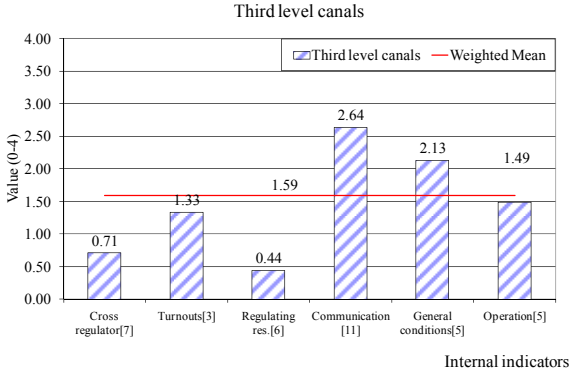
รูปที่ 3.5 ดัชนีแสดงระดับการบริการส่งน้ำและปัญหาด้านสังคมซึ่งมีผลต่อการส่งน้ำของคลอง 2L



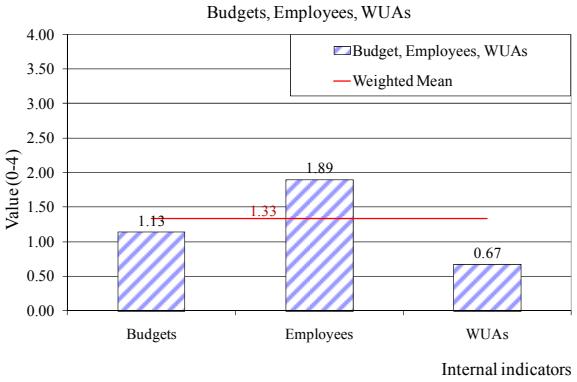
(a) สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายใหญ่



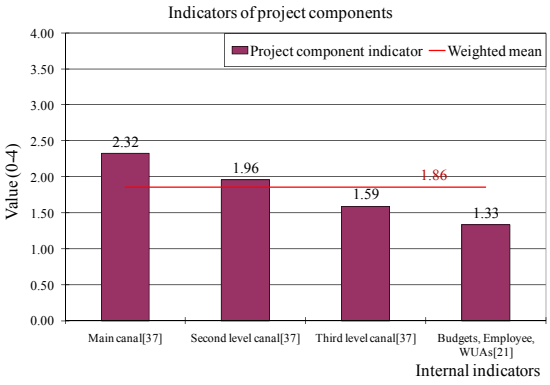
(b) สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายซอย



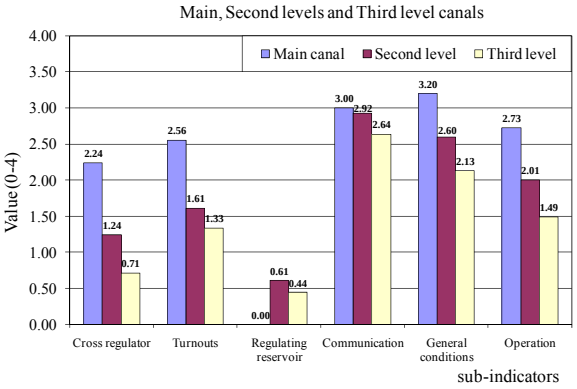
(c) สมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำสายแยกซอย



(d) ขีดความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่และองค์กรผู้ใช้น้ำในการให้บริการส่งน้ำ



(e) สรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของระบบคลองส่งน้ำ 2L ในภาพรวม



(f) การเปรียบเทียบสมรรถนะในการให้บริการส่งน้ำของคลองส่งน้ำระดับต่าง ๆ

รูปที่ 3.6 สมรรถนะขององค์ประกอบในระบบชลประทานของคลอง 2L

3.5 ผลการศึกษาคุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของระบบส่งน้ำที่จะนำมาใช้ประกอบการวางแผนบริหารคลองส่งน้ำ

คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารชลประทาน ที่ทำการศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการประกอบการวางแผนบริหารคลองส่งน้ำประกอบด้วย คุณสมบัติทั่วไปของอาคาร ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอาคาร และค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน (Structure sensitivity)

3.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของอาคารในคลองส่งน้ำ 2L

อาคารควบคุมน้ำของคลองส่งน้ำ 2L ที่ต้องใช้ในการวางแผนการส่งและควบคุมน้ำประกอบด้วย ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 2L ปตร./ทรบ. กลางคลองส่งน้ำ 11 แห่ง ทรบ.ปากคลองซอย 18 แห่ง ท่อรับน้ำเข้าคลองส่งน้ำ 4 แห่ง อาคารทิ้งน้ำ 2 แห่ง โรงสูบน้ำ 1 แห่ง และท่อส่งน้ำเข้านา 46 แห่ง (อยู่ในเขตโครงการส่งน้ำฯพนมทวน 25 แห่ง โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง 7 แห่ง และโครงการส่งน้ำฯบางเลน 14 แห่ง) มีคุณสมบัติทั่วไปของอาคาร ตามตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 อาคารควบคุมน้ำที่สำคัญของคลองส่งน้ำ 2L

ตำแหน่ง (กม.)	ชื่อ / ประเภทอาคาร	ขนาดอาคาร	หน่วยงานที่กำกับดูแล
0+020	ปตร.ปากคลอง	3 - □ 6.00 x 4.00 x 70.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯเขื่อนแม่กลอง
0+830	ท่อรับน้ำเข้าคลอง	2 - ϕ 0.80 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
0+877	ท่อรับน้ำเข้าคลอง	2 - ϕ 0.30 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
1+762	โรงสูบน้ำปากคลองส่งน้ำ 1R - 2L	ϕ 6 x 18"	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
8+344	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 1L - 2L	2 - ϕ 1.00 x 1.30 x 1.20 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
10+194	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 2R - 2L	3 - □ 2.15 x 2.00 x 10.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
10+300	ปตร.กลางคลอง	2 - □ 6.00 x 4.00 x 70.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
13+163	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 2L - 2L	1 - ϕ 1.00 x 1.20 x 1.20 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
18+761	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 3L - 2L	2 - ϕ 120 x 1.50 x 1.30 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
20+592	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 4L - 2L	2 - ϕ 1.00 x 1.30 x 1.20 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
22+592	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 5L - 2L	2 - □ 4.00 x 3.40 x 61.40 ม.	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง
22+592	อาคารทิ้งน้ำ (ฝั่งขวา)	1 - ϕ 2.00 x 2.0 x 13.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง
22+700	ปตร.กลางคลอง	2 - □ 6.00 x 4.00 x 70.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง
25+913	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 6L - 2L	2 - ϕ 1.00 x 16.40 ม.	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง

ตารางที่ 3.13 อาคารควบคุมน้ำที่สำคัญของคลองส่งน้ำ 2L

ตำแหน่ง (กม.)	ชื่อ / ประเภทอาคาร	ขนาดอาคาร	หน่วยงานที่กำกับดูแล
28+049	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 3R - 2L	1 - □ 1.75 x 1.50 x 12.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
30+107	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 7L - 2L	2 - ϕ 1.00 x 16.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง
30+175	ปตร.กลางคลอง	2 - □ 6.00 x 4.00 x 70.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง
32+386	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 8L - 2L	2 - □ 1.75 x 1.75 x 16.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
34+972	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 9L - 2L	1 - ϕ 1.00 x 10.30 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
35+000	ปตร.กลางคลอง	2 - □ 6.00 x 4.00 x 70.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
37+260	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 4R - 2L	1 - ϕ 1.00 x 13.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
39+057	ทรบ.ปากคลองส่งน้ำ 5R - 2L	1 - ϕ 1.00 x 14.30 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
42+428	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 6R - 2L	1 - □ 1.75 x 1.50 x 12.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
42+490	ปตร.กลางคลอง	2 - □ 5.00 x 4.00 x 70.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
43+514	(อาคารทดน้ำ)ท่อลอดทางหลวง	3 - □ 3.00 x 3.00 x 109 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
49+054	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 10L - 2L	1 - □ 1.00 x 1.00 x 16.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
49+444	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 7R - 2L	2 - □ 2.20 x 2.20 x 12.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
49+678	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 11L - 2L	2 - □ 2.20 x 2.20 x 17.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
49+750	ปตร.กลางคลอง	1 - □ 6.00 x 4.00 x 52.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
53+630	ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 12L - 2L	1 - □ 1.00 x 1.00 x 16.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
55+300	ปตร.กลางคลอง	1 - □ 6.00 x 4.00 x 70.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
57+370	อาคารทิ้งน้ำ	1 - □ 2.00 x 2.00 x 17.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
57+850	ปตร.กลางคลอง	1 - □ 6.00 x 4.00 x 47.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
60+980	ท่อรับน้ำ(ฝั่งขวา)	1 - ϕ 0.80*10.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
60+980	ท่อรับน้ำ(ฝั่งซ้าย)	1 - ϕ 0.80*12.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
60+990	ปตร.กลางคลอง	2 - □ 2.00 x 2.00 x 15.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
67+560	ปตร.กลางคลอง	2 - □ 2.00 x 2.00 x 15.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
73+700	ปตร.ปลายคลอง	2 - □ 2.00 x 2.00 x 15.00 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน
	ท่อส่งน้ำเข้านา (25 แห่ง)	1 - ϕ 0.60 ม.	โครงการส่งน้ำฯพนมทวน
	ท่อส่งน้ำเข้านา (7 แห่ง)	1 - ϕ 0.50 ม.	โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง
	ท่อส่งน้ำเข้านา (14 แห่ง)	1 - ϕ 0.40 ม.	โครงการส่งน้ำฯบางเลน

3.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลผ่านอาคารชลประทานต่าง ๆ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารจะเป็นค่าเฉพาะของอาคารแต่ละแห่ง หาได้จากสมการการไหลของน้ำผ่านอาคาร ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีตามลักษณะการไหลผ่านอาคาร (ฉลอง, 2531)

กรณีที่ 1 การไหลของน้ำผ่านอาคารเป็นแบบ Free flow

$$Q = CLGo\sqrt{2gy} \tag{3.1}$$

กรณีที่ 2 การไหลของน้ำผ่านอาคารเป็นแบบ Submerged flow

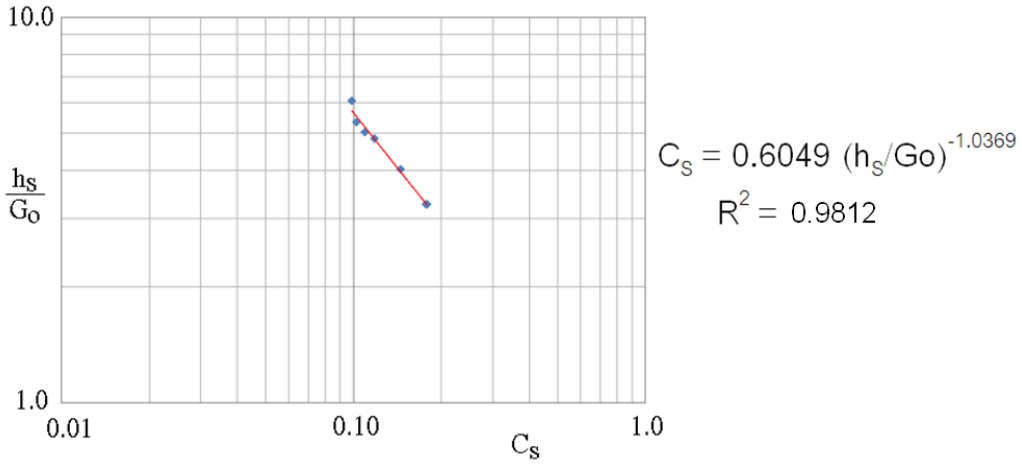
$$Q = C_S L h_s \sqrt{2gH} \tag{3.2}$$

โดยที่

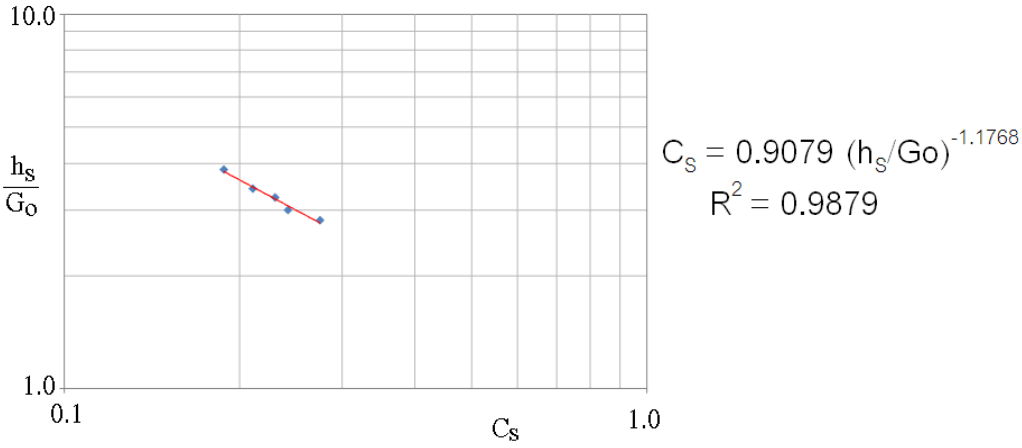
Q	คือ	ปริมาณน้ำไหลผ่านอาคาร, ลูกบาศก์เมตร / วินาที
C	คือ	สัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร กรณีการไหลเป็นแบบ Free flow
C_S	คือ	สัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร กรณีการไหลเป็นแบบ Submerged flow
L	คือ	ความกว้างของช่องประตูระบาย, เมตร
Go	คือ	ความสูงของการเปิดบานประตูอาคาร, เมตร
g	คือ	อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, 9.81 เมตร / วินาที^{2}
y	คือ	ความลึกของน้ำเหนือระดับธรณีประตู, เมตร
h_S	คือ	ผลต่างของระดับน้ำด้านท้ายน้ำกับระดับธรณีประตู, เมตร
H	คือ	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลผ่านอาคาร, เมตร

อาคารชลประทานในคลองส่งน้ำ 2L มีการสอบเทียบอาคารเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารจำนวน 3 อาคารได้แก่ ปตร.ปากคลอง 2L กม.0+000 ปตร.กลางคลอง 2L กม.10+300 และ ปตร.ปากคลองซอย 5L – 2L ดังแสดงในรูปที่ 3.7 สำหรับอาคารอื่นๆ ในคลอง 2L ที่ไม่ได้ทำการสอบเทียบ จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารที่ใช้ในการออกแบบคือ C = 0.60 และ C_S = 0.65

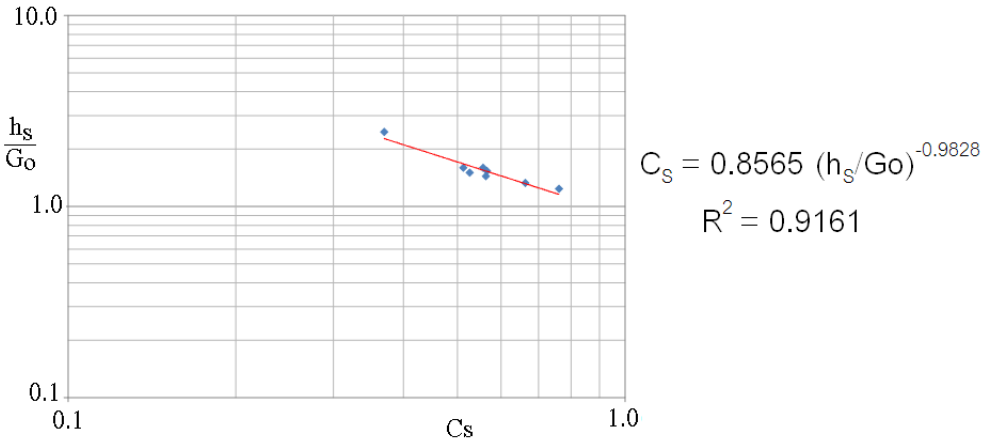
อาคารชลประทานในคลองส่งน้ำ 5L – 2L มีการสอบเทียบอาคารเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารจำนวน 15 อาคาร ดังแสดงในภาคผนวก ก



(a) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_S กับ h_S/Go ของ ปตร.ปากคลอง 2L



(b) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_S กับ h_S/Go ของ ปตร.กลางคลอง 2L กม.10+300



(c) ความสัมพันธ์ระหว่าง C_S กับ h_S/Go ของ ปตร.ปากคลองซอย 5L – 2L

รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่าง C_S กับ h_S/Go ของ ปตร.ในคลอง 2L และ ปากคลองซอย 5L – 2L

ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านอาคารแบบ Submerged Flow ที่มีการสอบเทียบทั้งหมด สรุปอยู่ในตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านอาคารแบบ Submerged Flow (C_s)

$$C_S = a\left(\frac{h_S}{G_o}\right)^b$$

อาคาร	ลักษณะบาน	a	b	R^2
ปตร.ปากคลอง 2L กม. 0+000	บานโค้ง 3 บาน	0.6049	-1.0369	0.98
ปตร.กลางคลอง 2L กม. 10+300	บานโค้ง 3 บาน	0.9079	-1.1768	0.99
ปตร.ปากคลอง 5L-2L กม. 0+020	บานโค้ง 2 บาน	0.8565	-0.9828	0.92
ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 3+650	บานโค้ง 2 บาน	0.9219	-1.3159	0.81
ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 9+813	บานโค้ง 1 บาน	0.6958	-0.4140	0.78
ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 14+750	บานโค้ง 1 บาน	0.6258	-1.1356	0.78
ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 20+300	บานโค้ง 1 บาน	1.0303	-1.3325	0.82
ปตร.กลางคลอง 5L-2L กม. 26+401	บานตรง 2 บาน	0.9038	-1.0043	0.94
ทรบ.กลางคลอง 5L-2L กม. 33+664	บานตรง 1 บาน	1.2309	-1.3243	0.80
ปตร.ปากคลอง 1L-5L-2L	บานตรง 1 บาน	0.4415	-1.3824	0.95
ปตร.ปากคลอง 2L-5L-2L	บานตรง 1 บาน	0.8284	-2.1419	0.90
ปตร.ปากคลอง 2R-5L-2L*	บานตรง 2 บาน	7136.19	-12.6675	0.93
ทรบ.ปากคลอง 3L-5L-2L	บานตรง 1 บาน	0.7132	-1.3297	0.79
ปตร.ปากคลอง 4L-5L-2L	บานตรง 1 บาน	0.7337	-1.4543	0.85
ทรบ.ปากคลอง 3R-5L-2L	บานตรง 3 บาน	0.7531	-1.2518	0.82
ทรบ.ปากคลอง 4R-5L-2L	บานตรง 2 บาน	0.7129	-1.9156	0.86
ปตร.ปากคลอง 5L-5L-2L	บานตรง 1 บาน	0.3923	-0.3728	0.81

* หมายเหตุ : ค่าสัมประสิทธิ์สูงผิดปกติ ต้องตรวจสอบใหม่

3.5.3 **ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน** (Structure Sensitivity)

ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน เป็นค่าดัชนีที่บอกความอ่อนไหวของอาคารชลประทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหล หรือระดับน้ำในคลองส่งน้ำ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการ

กำหนดช่วงเวลาที่เจ้าหน้าที่จะเข้าไปตรวจวัด และปรับบานของอาคารชลประทานเพื่อรักษาระดับน้ำ หรืออัตราการไหลให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด

ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน (Renault and Hemakumara, 1999) คือ อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตที่ออกจากระบบ (Output) ต่อการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้าของระบบ (Input) ผ่านอาคารชลประทาน ซึ่งเป็นได้ทั้งระดับน้ำหรือปริมาณน้ำ ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของอาคารชลประทานที่ทำการพิจารณา สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ ดังนี้

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{Variation in output}}{\text{Variation in input}} \tag{3.3}$$

ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามประเภทของอาคารชลประทานคือ ดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.ปากคลอง (Offtake sensitivity) และดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.กลางคลอง (Regulator sensitivity)

(1) ดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.ปากคลอง (Offtake Sensitivity)

ปตร.ปากคลอง (Offtake) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารเพื่อส่งน้ำเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำในระดับถัดไป หรือส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูก ให้อยู่ในอัตราการไหลที่กำหนด ในกรณีที่ระยะเปิดบานคงที่อัตราการไหลผ่านอาคารจะแปรผันตามกับระดับน้ำด้านหน้า ปตร.ปากคลอง ดังนั้นสามารถเขียนสมการดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.ปากคลอง (Renault et al, 2007) ตามสมการที่ 3.4 และ 3.5 โดยในตารางที่ 3.15 และ 3.16 แสดงค่าดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.ปากคลอง ของคลองส่งน้ำ 5L – 2L และคลองส่งน้ำ 2L

$$S_{\text{offtake}} = \frac{dq/q}{dH_E} = \frac{\alpha}{H_E} \tag{3.4}$$

$$H_E = (H_{US} - H_{DS})\left[1 + \frac{\alpha(H_{DS} - H_{Ref})}{\beta(H_{US} - H_{DS})}\right] \tag{3.5}$$

โดยที่

$S_{offtake}$ คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.ปากคลอง, เมตร$^{-1}$

dq/q คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลผ่าน ปตร.ปากคลอง

dH_E คือ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้า ปตร.ปากคลอง, เมตร

H_{US} คือ ระดับน้ำด้านหน้า ปตร.ปากคลอง, เมตร

H_{DS} คือ ระดับน้ำท้าย ปตร.ปากคลอง, เมตร

H_{Ref} คือ ระดับก้นคลองท้าย ปตร.ปากคลอง, เมตร

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังของสมการการไหลผ่านอาคารชลประทานมีค่าเท่ากับ 0.50

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์ยกกำลังของสมการการไหลแบบ Submerge flow ด้วยเงื่อนไขของการยกระดับของก้นคลองด้านท้ายอาคารมีค่าเท่ากับ 1.66

ตารางที่ 3.15 ดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.ปากคลอง ของคลองส่งน้ำ 5L - 2L

อาคาร	ที่ตั้ง	ระดับน้ำสูงสุด		ระดับก้น	H_E	$S_{offtake}$	
		เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	คลอง	(เมตร)	($เมตร^{-1}$)	
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

ตารางที่ 3.16 ดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.ปากคลอง ของคลองส่งน้ำ 2L

อาคาร	ที่ตั้ง	ระดับน้ำสูงสุด		ระดับก้น	H_E	$S_{offtake}$	
		เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	คลอง	(เมตร)	(เมตร$^{-1}$)	
1R - 2L	1+762			โรงสูบน้ำ			
1L - 2L	8+335	+18.720	+18.200	+16.900	1.69	0.55	ต่ำ
2R - 2L	10+194	+18.534	+16.323	+13.823	4.47	0.17	ต่ำ
2L - 2L	13+163	+17.737	+16.400	+15.300	2.33	0.30	ต่ำ
3L - 2L	18+761	+17.177	+16.500	+15.050	1.99	0.45	ต่ำ
4L - 2L	20+592	+17.005	+16.500	+15.350	1.54	0.59	ต่ำ
5L - 2L	22+592	+17.993	+16.000	+12.450	5.20	0.16	ต่ำ
6L - 2L	25+913	NA.	NA.	NA.	NA.	NA.	
3R - 2L	28+049	+14.735	+14.135	+12.535	2.05	0.46	ต่ำ
7L - 2L	30+107	NA.	NA.	NA.	NA.	NA.	
8L - 2L	32+386	NA.	NA.	NA.	NA.	NA.	
9L - 2L	34+972	NA.	NA.	NA.	NA.	NA.	
4R - 2L	37+260	+11.904	+11.700	+10.900	0.93	1.12	ปานกลาง
5R - 2L	39+057	+11.904	+11.408	+10.358	1.44	0.62	ต่ำ
6R - 2L	42+428	+11.310	+10.248	+10.248	1.06	0.47	ต่ำ
10L - 2L	49+054	NA.	NA.	NA.	NA.	NA.	
7R - 2L	49+444	NA.	NA.	NA.	NA.	NA.	
11L - 2L	49+678	NA.	NA.	NA.	NA.	NA.	

(2) **ดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.กลางคลอง** (Regulator Sensitivity)

อาคารบังคับน้ำประเภท ปตร.กลางคลอง (Regulator sensitivity) ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคาร ให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด ในกรณีที่ระยะเปิดบานคงที่ ระดับน้ำด้านหน้าอาคารจะแปรผันตามกับอัตราการไหลด้านหน้าอาคารบังคับน้ำ ดังนั้นสามารถเขียนสมการดัชนีความอ่อนไหวของปตร.กลางคลอง (Renault et al, 2007) ตามสมการที่ 3.6 โดยในตารางที่ 3.17 และ 3.18 แสดงค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารบังคับน้ำกลางคลองของคลองส่งน้ำ 5L – 2L และคลองส่งน้ำ 2L

$$S_{reg} = \frac{dH_E}{dQ/Q} = \frac{\alpha}{H_E} \tag{3.6}$$

โดยที่

S_{reg} คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.กลางคลอง, เมตร

dQ/Q คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลด้านหน้า ปตร.กลางคลอง

ตารางที่ 3.17 ดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.กลางคลอง ในคลองส่งน้ำ 5L – 2L

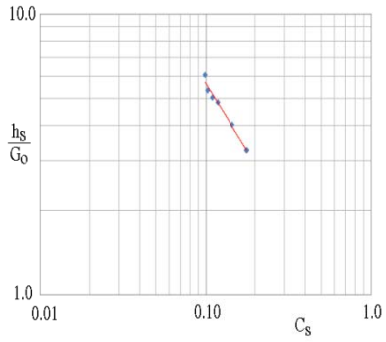
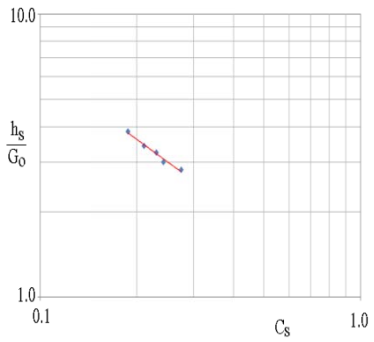
ที่ตั้ง	ระดับน้ำสูงสุด		ระดับก้นคลอง	H_E	S_{reg}	
	เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	5L – 2L	(เมตร)	(เมตร)	
0+020	+17.993	+16.000	+12.450	3.06	0.16	ต่ำ
3+650	+15.635	+14.835	+11.485	1.81	3.62	สูง
9+813	+14.219	+13.019	+9.969	2.12	4.24	สูง
14+750	+12.525	+11.525	+8.525	1.90	3.81	สูง
20+300	+10.960	+10.310	+7.510	1.49	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

ตารางที่ 3.18 ดัชนีความอ่อนไหวของ ปตร.กลางคลอง ในคลองส่งน้ำ 2L

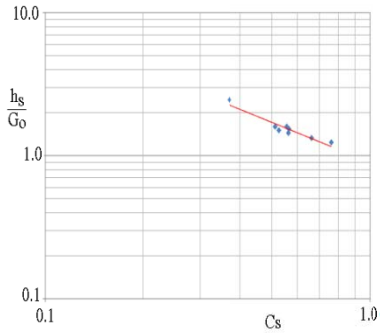
ที่ตั้ง	ระดับน้ำสูงสุด		ระดับก้นคลอง	H_E	S_{reg}	
	เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	2L	(เมตร)	(เมตร)	
0+000	+21.150	+19.500	+15.000	3.01	0.17	ต่ำ
10+300	+19.150	+17.600	+13.500	2.78	5.57	สูง
22+700	+17.483	+16.083	+11.533	2.77	5.54	สูง
27+855	+15.565	+14.965	+10.515	1.94	3.88	สูง
30+175	+15.335	+13.835	+9.535	2.80	5.59	สูง
35+175	+13.353	+12.657	+8.457	1.96	3.92	สูง
42+490	+11.904	+11.204	+7.254	1.89	3.78	สูง
49+750	+9.027	+8.227	+5.027	1.76	3.53	สูง
55+330	+7.172	+5.772	+2.672	2.33	4.67	สูง
57+850				NA.	NA.	NA.

ตัวอย่างคุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของ ปตร.ปากคลอง 2L ปตร.กลางคลอง 2L กม10+300 และปตร.ปากคลองซอย 5L - 2L สรุปอยู่ในตารางที่ 3.19 ส่วนอาคารชลประทานอื่น ๆ แสดงอยู่ในภาคผนวก ข

ตารางที่ 3.19 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L

อาคาร		คุณสมบัติ
ปตร.ปากคลอง 2L กม.0+000	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	3 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +21.150 ม.รทก.
		D/S +19.500 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+13.700 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S - ม.รทก.
		D/S +15.000 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerged flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 18 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.6050(H_S/G_o)^{-1.0369}$
		$R^2 = 0.9812$
	- สอบเทียบค่า Cs	10 มกราคม 2550
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.17 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ปตร.กลางคลอง 2L กม.10+300	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +19.150 ม.รทก.
		D/S +17.600 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+14.421 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +14.750 ม.รทก.
		D/S +13.500 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 12 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.9079(H_S/G_o)^{-1.1768}$
		$R^2 = 0.9879$
	- สอบเทียบค่า Cs	10 มกราคม 2550
	- ดัชนีความอ่อนไหว	5.57 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

ตารางที่ 3.19 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 5L – 2L	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 – 4.00 x 3.40 x 61.40
	- ระดับน้ำ	U/S +21.150 ม.รทก.
		D/S +19.500 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+13.693 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S - ม.รทก.
		D/S +15.000 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 8 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.856501(H_S/G_o)^{-0.9828}$
		$R^2 = 0.9161$
	- สอบเทียบค่า Cs	-
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.26 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)

3.6 การวิเคราะห์เป้าหมายในการส่งน้ำและกำหนด Tolerance

3.6.1 การกำหนดเป้าหมายในการส่งน้ำ

เป้าหมายในการส่งน้ำ หมายถึงการส่งน้ำหรือกระจายน้ำให้ผู้ใช้น้ำตามความต้องการของผู้ใช้น้ำหรือความต้องการน้ำของพืช (Renault *et al*, 2007) และเนื่องจากความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำและพืชอยู่ในรูปของปริมาณน้ำต่อช่วงเวลาที่ต้องการ ดังนั้นการกำหนดเป้าหมายในการส่งน้ำจึงหมายถึง การควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานไปให้แก่ผู้ใช้น้ำหรือพื้นที่เพาะปลูกได้ในอัตราที่กำหนด

จากเกณฑ์การให้คะแนนของการประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว (RAP) กำหนดให้การควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานในระดับ $\pm$10% อยู่ในเกณฑ์ที่พอใช้ (2) ถึงดี (3) ซึ่งสอดคล้องกับโครงการชลประทาน Karnataka ของประเทศอินเดีย ที่กำหนดการควบคุมของอัตราการไหลผ่านอาคารชลประทานในระดับต่าง ๆ ไว้ที่ $\pm$10% (Renault *et al*., 2007)

ดังนั้นเป้าหมายของการส่งน้ำในการศึกษาครั้งนี้ จะกำหนดให้การควบคุมอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารชลประทานในทุกระดับมีค่าเท่ากับ $\pm$10%

3.6.2 การกำหนด Tolerance ในการควบคุมการส่งน้ำ

การกำหนด Tolerance ในการควบคุมการส่งน้ำ หมายถึงการกำหนดระดับน้ำด้านหน้าของอาคารควบคุมที่ยอมให้คลาดเคลื่อนจากเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งระดับน้ำดังกล่าวจะไม่ส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารปากทางออกในระดับต่าง ๆ (ปตร./ทรบ.ปากคลอง และท่อส่งน้ำเข้านา) อยู่สูงหรือต่ำกว่าเป้าหมายในการส่งน้ำที่กำหนด ($\pm$10% ของอัตราการไหล)

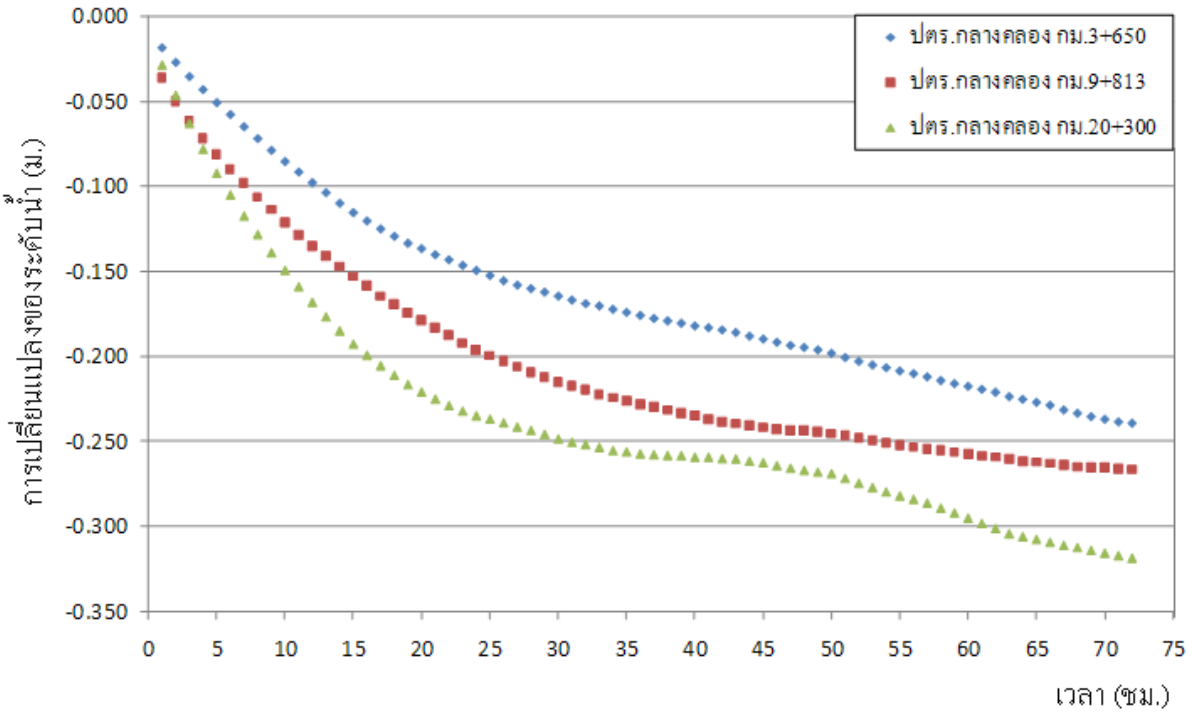
จากค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารปากคลองซอย (หัวข้อที่ 3.5.3) และเป้าหมายในการส่งน้ำที่กำหนด สามารถคำนวณหา Tolerance ของการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารปากคลองซอยแต่ละแห่งในคลอง 5L – 2L ได้ และนำมาใช้เป็นค่า Tolerance ของอาคารบังคับน้ำกลางคลอง 5L – 2L (เลือกใช้ค่า Tolerance ที่น้อยที่สุดในช่วงคลองที่อาคารบังคับน้ำทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำ) ตามตารางที่ 3.20

ตารางที่ 3.20 Tolerance ของการควบคุมระดับน้ำด้านหน้า ปตร.ปากคลอง คลอง 5L – 2L

อาคารบังคับน้ำ		ดัชนีความอ่อนไหว	เป้าหมายในการส่งน้ำ	Tolerance
กลางคลอง	ปากคลองซอย	m^{-1}	%	m
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

3.6.3 การกำหนดช่วงเวลาและความถี่ในการปรับบาน

ในการควบคุมระดับน้ำที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด หรืออยู่ในช่วงของ Tolerance ที่กำหนด (ตารางที่ 3.20) เจ้าหน้าที่โครงการหรือผู้ควบคุมอาคารชลประทานต้องเข้าไปทำการตรวจวัดระดับน้ำ และปรับอาคารชลประทานเพื่อรักษาระดับน้ำในคลอง แต่เนื่องจากเจ้าหน้าที่ 1 คน ต้องรับผิดชอบอาคารชลประทานหลายแห่ง ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดช่วงเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำ และปรับบานของอาคารชลประทานให้เหมาะสม โดยพิจารณาจาก ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 และเนื่องจากมีการตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำของคลอง 5L – 2L ทุกครึ่งชั่วโมงเพียง 3 อาคาร คือ ปตร.กลางคลอง กม.3+650 กม.9+813 และ กม.20+300 ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลของ ปตร.กลางคลอง กม.9+813 เป็นตัวแทนของ ปตร.กลางคลอง กม.14+750 และให้ข้อมูลของ ปตร.กลางคลองกม.20+300 เป็นตัวแทนของ ปตร.กลางคลอง กม.26+401 และกม.33+664 ซึ่งช่วงเวลาที่เหมาะสมที่เจ้าหน้าที่โครงการหรือผู้ควบคุมอาคารชลประทานจะเข้าไปตรวจวัดระดับน้ำ และปรับอาคารชลประทานแสดงไว้ในตารางที่ 3.21 และเพื่อความสะดวกในการปฏิบัติงานจึงกำหนดให้ทุกอาคารชลประทานในคลอง 5L – 2L มีช่วงเวลาในการตรวจ และปรับบานเท่ากันคือวันละ 2 ครั้ง เวลาประมาณ 08.30 น. และ 15.00 น. ของทุกวัน



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำต่อช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน

ตารางที่ 3.21 ช่วงเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำ และปรับบานของอาคารบังคับน้ำกลางคลอง

อาคารบังคับน้ำกลางคลอง	Tolerance	ความถี่ในการปรับบาน		ช่วงเวลาในการตรวจวัดระดับน้ำและปรับบานของอาคารบังคับน้ำกลางคลอง	
		ค่าที่อ่านได้	ค่าที่ใช้จริง		
	เมตร	ชั่วโมง / ครั้ง	ครั้ง / วัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
Km3+650	0.128	17	2	08.30 น.	15.00 น.
Km9+813	0.164	17	2	08.45 น.	15.15 น.
Km 14+750	0.196	24	2	09.00 น.	15.30 น.
Km 20+300	0.167	12	2	09.15 น.	15.45 น.
Km 26+401	0.313	68	2	09.30 น.	16.00 น.
Km 33+664	0.172	12	2	09.45 น.	16.15 น.

3.7 การกำหนดกลยุทธ์และจัดทำแผนปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ

จากผลการประเมินโครงการด้วย RAP การศึกษาคุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของระบบส่งน้ำ และการกำหนดเป้าหมายในการส่งน้ำ ตลอดจนการเข้าไปพบปะพูดคุยกับเจ้าหน้าที่ของโครงการทั้งในสำนักงานและภาคสนามเพื่อประเมินหาสิ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการบริหารงานส่งน้ำในคลองส่งน้ำ 2L ข้อมูลเหล่านี้ได้ถูกนำมาประกอบการกำหนดกลยุทธ์ในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ ซึ่งพบว่าการบริหารงานส่งน้ำควรปรับปรุงใน 2 ส่วนคือ ระดับการให้บริการ และองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำ

3.7.1 การกำหนดกลยุทธ์ในการปรับปรุงระดับการให้บริการ

จากผลการประเมินพบว่าการปรับปรุงระดับการให้บริการควรมุ่งเน้นไปในส่วนของการให้บริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลง และการให้บริการส่งน้ำจริง ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม โดยมีประเด็นปัญหา เป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงระดับการให้บริการแสดงในรูปที่ 3.9 และมีสิ่งที่ต้องปรับปรุงประกอบไปด้วย

(1) การวัดปริมาตรน้ำที่ส่งให้แปลงเพาะปลูก และคูน้ำ

สภาพปัจจุบันโครงการชลประทานไม่มีการวัดปริมาตรน้ำและอัตราการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูกและคูน้ำ เนื่องจากการวัดน้ำในระดับคูน้ำเป็นหน้าที่ของกลุ่มผู้ใช้น้ำซึ่งในปัจจุบัน กลุ่มผู้ใช้น้ำยังไม่มี

ศักยภาพและไม่เห็นความสำคัญในการวัดน้ำ ประกอบกับโครงการชลประทานยังไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสนับสนุนการดำเนินงานนี้อย่างเพียงพอ

(2) ความยืดหยุ่น (Flexibility) ในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง และคูน้ำ

โครงการชลประทานได้มีการกำหนดนโยบายให้มีการส่งน้ำให้แต่ละแปลง และ คูน้ำ เป็นแบบรอบเวร โดยผู้ใช้น้ำต้องแจ้งความต้องการน้ำให้โครงการทราบล่วงหน้าอย่างน้อย 1 สัปดาห์ และเมื่อกำหนดรอบเวรแล้วโครงการจะทำการแจ้งให้ผู้ใช้น้ำทราบก่อนการส่งน้ำจริงอย่างน้อย 2 วันทำการ แต่ในปัจจุบันทั้งทางโครงการชลประทานและกลุ่มผู้ใช้น้ำไม่มีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกอย่างจริงจัง เกษตรกรสามารถนำน้ำไปใช้ได้ตามความต้องการ เนื่องจากกลุ่มผู้ใช้น้ำขาดความเข้มแข็ง ประกอบกับน้ำต้นทุนของพื้นที่ศึกษามีปริมาณมากพอกับความต้องการของผู้ใช้น้ำ ทำให้เกษตรกรและเจ้าหน้าที่โครงการไม่เห็นความสำคัญในการนำนโยบายที่ทางโครงการกำหนดไว้มาปฏิบัติ

(3) ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง และคูน้ำ

เนื่องจากระบบส่งน้ำ 2L ในปัจจุบันไม่มีการวัดปริมาตรน้ำและอัตราการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูกและคูน้ำ ประกอบกับการไม่มีหลักเกณฑ์ในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกและคูน้ำ ทำให้ระบบส่งน้ำไม่สามารถส่งน้ำในปริมาณที่ถูกต้องทั้งในระดับคูน้ำ และแปลงเพาะปลูกได้ตลอดเวลา

(4) ความเป็นธรรม (Equity) ในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง และคูน้ำ

โครงการชลประทานได้กำหนดนโยบายให้ทุกพื้นที่ในโครงการได้รับการบริการส่งน้ำแบบเดียวกัน แต่สภาพปัจจุบันพบว่า ความเสมอภาคในการได้รับการบริการส่งน้ำอยู่ในระดับปานกลางทั้งในพื้นที่เดียวกันและต่างพื้นที่

(5) จำนวนแปลงท้ายน้ำ ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม

ในปัจจุบัน คูส่งน้ำจะส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกประมาณ 15 – 20 แปลง ทำให้การควบคุมการส่งน้ำทำได้ยาก ดังนั้นในอนาคตเมื่อกลุ่มผู้ใช้น้ำมีความเข้มแข็ง และเข้ามามีส่วนร่วมในการกระจายน้ำในระดับแปลงนา จะช่วยให้โครงการสามารถควบคุมการส่งน้ำให้กลุ่มผู้ใช้น้ำได้ง่ายขึ้น

			สภาพปัจจุบัน	เป้าหมาย	กลยุทธ์
ระดับการให้บริการ	การบริการส่งน้ำจริงให้แต่ละแปลง (1.03/11)	การวัดปริมาตรน้ำที่ส่งให้แต่ละแปลง (0.0 / 1)	ไม่มีการวัดปริมาตรน้ำและอัตราการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก	การวัดน้ำในระดับคูน้ำเป็นหน้าที่ของกลุ่มผู้ใช้น้ำซึ่งในปัจจุบัน กลุ่มผู้ใช้น้ำยังไม่มีศักยภาพและไม่เห็นความสำคัญในการวัดน้ำ ประกอบกับโครงการชลประทานยังไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสนับสนุนการดำเนินงานนี้อย่างเพียงพอ ดังนั้น การศึกษานี้จึงยังไม่สามารถกำหนดเป้าหมายการวัดปริมาตรน้ำที่ส่งให้แต่ละแปลง	การศึกษานี้มีระยะเวลาจำกัดจึงเน้นเฉพาะการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำในคลองเท่านั้น
		ความยืดหยุ่นในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง (0.0 / 2)	ไม่มีเกณฑ์ในการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก	กำหนดการส่งน้ำเป็นแบบรอบเวร โดยผู้ใช้น้ำต้องแจ้งความต้องการน้ำให้โครงการทราบล่วงหน้าอย่างน้อย 1 สัปดาห์ และเมื่อกำหนดรอบเวรแล้วโครงการจะต้องแจ้งให้ผู้ใช้น้ำทราบก่อนการส่งน้ำจริง	
		ความน่าเชื่อถือในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง (1.33 / 4)	ไม่ทราบปริมาตรน้ำที่ส่งในช่วงต้นคลองและปลายคลอง ความน่าเชื่อถือในการส่งน้ำประมาณ 70% สำหรับกลางคลองน้ำจะถูกส่งมาตามเวลาที่ต้องการ ในปริมาณที่ถูกต้อง	การศึกษาในครั้งนี้จะเน้นการบริหารงานส่งน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่	
		ความเสมอภาค/เป็นธรรมในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง (1.50 / 4)	ในช่วงต้นคลองและปลายคลองความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ปานกลางทั้งในพื้นที่ และต่างพื้นที่ ส่วนบริเวณกลางคลองทุกพื้นที่ได้รับน้ำเท่ากัน แต่ภายในพื้นที่เดียวกันได้รับน้ำไม่เป็นธรรม	ต้องมีระบบการตรวจวัด เพื่อตรวจสอบว่าการส่งน้ำมีความเป็นธรรมมากน้อยเท่าใด	
	การบริการส่งน้ำจริงที่จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม (0.78/17)	จำนวนแปลงท้ายน้ำจุดนี้ (0.0 / 1)	มีจำนวนแปลงมากกว่า 10 แปลง	ในอนาคตเมื่อกลุ่มผู้ใช้น้ำมีความเข้มแข็ง อาจเข้ามามีส่วนร่วมในการกระจายน้ำในระดับแปลงนา ซึ่งจะช่วยให้โครงการสามารถควบคุมการส่งน้ำให้กลุ่มผู้ใช้น้ำได้ง่ายขึ้น	
		การวัดปริมาตรน้ำที่ส่งให้แต่ละแปลง (0.0 / 4)	ไม่มีการวัดปริมาตรน้ำและอัตราการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก	การวัดน้ำในระดับคูน้ำเป็นหน้าที่ของกลุ่มผู้ใช้น้ำซึ่งในปัจจุบัน กลุ่มผู้ใช้น้ำยังไม่มีศักยภาพและไม่เห็นความสำคัญในการวัดน้ำ ประกอบกับโครงการชลประทานยังไม่มีเครื่องมือและอุปกรณ์ในการสนับสนุนการดำเนินงานนี้อย่างเพียงพอ ดังนั้น การศึกษานี้จึงยังไม่สามารถกำหนดเป้าหมายการวัดปริมาตรน้ำที่ส่งให้แต่ละแปลง	
		ความยืดหยุ่นในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง (0.0 / 4)	ไม่มีเกณฑ์ในการส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูก	กำหนดการส่งน้ำเป็นแบบรอบเวร โดยผู้ใช้น้ำต้องแจ้งความต้องการน้ำให้โครงการทราบล่วงหน้าอย่างน้อย 1 สัปดาห์ และเมื่อกำหนดรอบเวรแล้วโครงการจะต้องแจ้งให้ผู้ใช้น้ำทราบก่อนการส่งน้ำจริง	
		ความเสมอภาค/เป็นธรรมในการส่งน้ำให้แต่ละแปลง (1.50 / 4)	ในช่วงต้นคลองและปลายคลองความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ปานกลางทั้งในพื้นที่ และต่างพื้นที่ ส่วนบริเวณกลางคลองทุกพื้นที่ได้รับน้ำเท่ากัน แต่ภายในพื้นที่เดียวกันได้รับน้ำไม่เป็นธรรม	ต้องมีระบบการตรวจวัด เพื่อตรวจสอบว่าการส่งน้ำมีความเป็นธรรมมากน้อยเท่าใด	

รูปที่ 3.9 ประเด็นปัญหา เป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงระดับการให้บริการของระบบส่งน้ำ 2L

จากผลการประเมินระดับการให้บริการพบว่า ปัญหาต่าง ๆ จะเกิดขึ้นในระดับแปลงนา และคูน้ำตลอดจนกลุ่มผู้ใช้น้ำชลประทาน ซึ่งเป็นประเด็นที่มีความละเอียดอ่อน และซับซ้อนยากต่อการวิเคราะห์และหามาตรการที่เป็นนามธรรมในระยะเวลาอันสั้น ดังนั้นเนื่องจากข้อจำกัดด้านเวลาในการศึกษา จึงไม่มีการดำเนินการทดลองปรับปรุงการให้บริการในระดับนี้ แต่ควรได้มีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังต่อไปในอนาคต

3.7.2 การกำหนดกลยุทธ์ในการปรับปรุงองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำ

จากผลการประเมินพบว่าการปรับปรุงองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำ ควรปรับปรุงใน 4 องค์ประกอบหลักคือ คลองส่งน้ำสายใหญ่ คลองส่งน้ำสายซอย คลองส่งน้ำสายแยกซอย และงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำ โดยการปรับปรุงองค์ประกอบในระดับคลองแยกซอย จะมีแนวทางเดียวกับในระดับคลองซอย แต่เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของงบประมาณในการดำเนินงาน ระยะเวลาในการดำเนินงาน ทำให้ในการศึกษาครั้งนี้จะไม่ทำการทดลองปรับปรุงในระดับคลองแยกซอย สำหรับการปรับปรุงองค์ประกอบด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำ เป็นประเด็นที่มีความละเอียดอ่อน ซับซ้อน ยากต่อการวิเคราะห์ และหามาตรการที่เป็นนามธรรมในระยะเวลาอันสั้น จึงควรได้มีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังต่อไปในอนาคต ซึ่งประเด็นปัญหา เป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำทั้ง 4 องค์ประกอบหลักแสดงในรูปที่ 3.10 และสามารถสรุปกลยุทธ์ในการปรับปรุงองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำที่สามารถดำเนินการในการศึกษาครั้งนี้ ตามตารางที่ 3.22

			สภาพปัจจุบัน	เป้าหมาย	กลยุทธ์
	ประตูระบายน้ำกลางคลอง (2.24 / 7)	ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (1.0 / 3)	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่สูงกว่า 35% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายน้ำของ Turnout	2-ลดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่ให้อยู่ประมาณ 20 - 30% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายของ Turnout	- ชักชวนความเข้าใจกับโครงการเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมปตร.กลางคลองให้คอยตรวจวัดและปรับบานตามข้อกำหนดในหัวข้อ 3.6.3 ซึ่งกำหนดว่าจะต้องตรวจวัดและปรับบานอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง
คลองส่งน้ำสายใหญ่ (2.31 / 37)	ดัชนีอ่างพักน้ำ (0.0 / 6)	ไม่มีอ่างพักน้ำในคลองสายใหญ่ 2L	ไม่มีอ่างพักน้ำในคลอง 2L	ประเทศไทยยังไม่มีหลักเกณฑ์การออกแบบอ่างพักน้ำในระบบคลองส่งน้ำ เนื่องจากต้องเพิ่มค่าลงทุนในการจัดหาพื้นที่และสร้างอ่างพักน้ำ กรณีโครงการที่ดำเนินงานอยู่แล้วการสร้างอ่างพักน้ำใหม่เป็นเรื่องยุ่งยากต้องมีการเวนคืนที่ดินและลงทุนค่าก่อสร้าง ซึ่งมีราคาค่อนข้างแพง จำเป็นต้องมีการต้องมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ของแต่ละโครงการโดยเฉพาะ ดังนั้นการศึกษานี้จึงไม่นำประเด็นอ่างพักน้ำมาเป็นองค์ประกอบในการศึกษา	
	การควบคุมน้ำในคลอง (2.64 / 5)	ระบบการขอน้ำและส่งน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการน้ำที่แท้จริง (1.3 / 1)	มีการปรับปรุงตารางการส่งน้ำใหม่ทุกสัปดาห์ โดยเปลี่ยนแปลงตามความต้องการด้านท้ายน้ำ	2.7 - ดี มีขั้นตอนที่น่าเชื่อถือ มีการปรับปรุงข้อมูลใหม่อย่างน้อยหนึ่งครั้งทุกสองวัน และระบบส่งน้ำสามารถตอบสนองได้	- มีการพัฒนาระบบการขอน้ำแบบรายสัปดาห์ที่สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำจริงเป็นที่ยอมรับของโครงการและสามารถนำไปปฏิบัติได้

รูปที่ 3.10 ประเด็นปัญหา เป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงสมรรถนะของคลองส่งน้ำสายใหญ่ในระบบส่งน้ำ 2L

			สภาพปัจจุบัน	เป้าหมาย	กลยุทธ์
	ประตูระบายน้ำกลางคลอง (1.24 / 7)	ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (1.0 / 3)	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายซอยสูงกว่า 35% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายน้ำของ Turnout	2 - ลดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่ให้อยู่ประมาณ 20 - 30% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายของ Turnout	- ชักชวนความเข้าใจกับโครงการเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมปตร.กลางคลองให้คอยตรวจวัดและปรับบานตามข้อกำหนดในหัวข้อ 3.6.3 ซึ่งกำหนดว่าจะต้องตรวจวัดและปรับบานอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง
		ดัชนีระยะเวลาเดินทางของน้ำตลอดคลองซอย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้ำ (1.67 / 2)	ระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองซอย เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการส่งน้ำประมาณ 24 ชั่วโมง	3 - ระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองซอย เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการส่งน้ำประมาณ 12 - 18 ชั่วโมง	- ชักชวนความเข้าใจกับโครงการเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมปตร.กลางคลองให้คอยตรวจวัดและปรับบานตามข้อกำหนดใน หัวข้อ 3.6.3 ซึ่งกำหนดว่าจะต้องตรวจวัดและปรับบานอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง มีการตรวจวัด และวิเคราะห์ระยะเวลาการเดินทางของน้ำ และหามาตรการเพื่อลดระยะเวลา
	ดัชนี Turnout (1.61 / 3)	ระดับการบำรุงรักษา Turnout (1.67 / 1)	1 ส่วน 3 ของ Turnout ในคลองซอยมีอาคารเสียหายจำนวนมาก และบางส่วนเป็นอาคารสำคัญ อีก 2 ส่วนมีการบำรุงรักษาตามปกติเฉพาะส่วนที่สำคัญ มีอาคารเสียหายทั่วไปแต่ไม่มาก	- การบำรุงรักษา Turnout ขึ้นอยู่กับงบประมาณของโครงการและกลุ่มผู้ใช้น้ำซึ่งอยู่นอกเหนือประเด็นในการศึกษา	
		ความสามารถในการระบายน้ำของ Turnout ไปสู่คลองระดับถัดไป (1.33 / 1)	2 ส่วน 3 ของอาคารมีปัญหาในการระบายบ้างเล็กน้อย ส่วนที่เหลือมีปัญหาในการระบายมาก	- ความสามารถในการระบายน้ำขึ้นอยู่กับสมรรถนะของอาคารและคลองด้านท้ายน้ำ การเพิ่มความสามารถในการระบายน้ำขึ้นอยู่กับระดับการบำรุงรักษาอาคารและคลองด้านท้ายน้ำ คลองแยกซอยหลายคลองมีปัญหาวัชพืชน้ำซึ่งจำเป็นต้องมีการกำจัดเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการระบายน้ำของคลอง ทางโครงการได้พยายามกำจัดวัชพืชโดยการขุดลอกแต่ไม่สามารถกำจัดได้อย่างเบ็ดเสร็จ จึงควรมีการศึกษาวิจัยการกำจัดวัชพืชน้ำอย่างครบวงจรต่อไป ในการศึกษานี้จะมีการสุ่มตรวจวัดและวิเคราะห์ผลของวัชพืชน้ำต่อการไหล	
คลองส่งน้ำสายซอย (1.93 / 37)	ดัชนีอ่างพักน้ำ (0.61 / 6)	ไม่มีอ่างพักน้ำในคลองสายซอย ยกเว้นคลอง 6L - 2L	มีอ่างพักน้ำจำนวน 3 แห่ง ในคลอง 6L - 2L		
	การติดต่อสื่อสารและการควบคุมในการดูแลคลองซอย (2.83 / 11)	มีระบบตรวจวัดข้อมูล ณ จุดที่มีน้ำไหลสันหลัก รวมถึงจุดสุดท้ายของคลอง (0.50 / 1)	มีการตรวจวัดข้อมูลที่จุดสุดท้ายของคลองซอยเฉพาะคลอง 5L - 2L	2 - กำหนดให้มีการตรวจวัดข้อมูลด้านท้ายคลองวันละครั้ง และรายงานให้โครงการทราบทุกวัน	
	การควบคุมน้ำในคลอง (2.01 / 5)	ระบบการขอน้ำและส่งน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการน้ำที่แท้จริง (1.53 / 1)	มีการปรับปรุงตารางการส่งน้ำใหม่ทุกสัปดาห์ โดยเปลี่ยนแปลงตามความต้องการด้านท้ายน้ำ	2.7 - ดี มีขั้นตอนที่น่าเชื่อถือ มีการปรับปรุงข้อมูลใหม่อย่างน้อยหนึ่งครั้งทุกสองวัน และระบบส่งน้ำสามารถตอบสนองได้	- มีการพัฒนาระบบการขอน้ำแบบรายสัปดาห์ที่สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำจริง เป็นที่ยอมรับของโครงการและสามารถนำไปปฏิบัติได้
		มีการตรวจสอบสภาพคลองตลอดทั้งสาย และรายงานปัญหาให้สำนักงานหรือโครงการทราบ (0.43 / 1)	มีการตรวจสอบปัญหาคลองตลอดทั้งคลองและรายงานผลให้สำนักงานหรือโครงการทราบ 2 สัปดาห์ / ครั้ง	1.3 - มีการตรวจสอบปัญหาคลองตลอดทั้งคลองและรายงานผลให้สำนักงานหรือโครงการทราบสัปดาห์ละครั้ง	- ทดลองตรวจสอบปัญหาทั้งคลองเพื่อนำมาปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำสัปดาห์ละครั้งในช่วงหนึ่งฤดูกาลส่งน้ำ เพื่อดูว่าจะสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำได้หรือไม่

รูปที่ 3.10(ต่อ) ประเด็นปัญหา เป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงสมรรถนะของคลองส่งน้ำสายซอยในระบบส่งน้ำ 2L

			สภาพปัจจุบัน	เป้าหมาย	กลยุทธ์
	ประตูระบายน้ำกลางคลอง (0.71 / 7)	ระดับการบำรุงรักษา (1.33 / 1)	2 ส่วน 3 ของ ปตร.กลางคลองแยกซอยมีอาคารเสียหายจำนวนมาก และบางส่วนเป็นอาคารสำคัญ อีก 2 ส่วนมีการบำรุงรักษาตามปกติเฉพาะส่วนที่สำคัญ มีอาคารเสียหายทั่วไปแต่ไม่มาก		
		ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (0.0 / 3)	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองแยกซอยสูงกว่า 50% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายน้ำของ Turnout		
		ดัชนีระยะเวลาเดินทางของน้ำตลอดคลองซอย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้ำ (0.67 / 2)	ระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองแยกซอย เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการส่งน้ำประมาณ 48 ชั่วโมง		
	ดัชนี Turnout (1.33 / 3)	ระดับการบำรุงรักษา Turnout (1.33 / 1)	2 ส่วน 3 ของ Turnout ในคลองแยกซอยมีอาคารเสียหายจำนวนมาก และบางส่วนเป็นอาคารสำคัญ อีก 2 ส่วนมีการบำรุงรักษาตามปกติเฉพาะส่วนที่สำคัญ มีอาคารเสียหายทั่วไปแต่ไม่มาก		
		ความสามารถในการระบายน้ำของ Turnout ไปสู่คลองระดับถัดไป (1.0 / 1)	ครึ่งหนึ่งของอาคารมีปัญหาในการระบายมาก และอีกครึ่งหนึ่งมีปัญหาในการระบายบ้างเล็กน้อย		
	ดัชนีอ่างพักน้ำ (0.44 / 6)	ไม่มีอ่างพักน้ำในคลองสายซอย	มีอ่างพักน้ำจำนวน 3 แห่ง ในคลอง 1R - 5L - 2L		
คลองส่งน้ำสายแยกซอย (1.53 / 37)	การติดต่อสื่อสารและการควบคุมในการดูแลคลองซอย (2.55 / 11)	ความถี่ที่หัวหน้าออกตรวจคลอง และพูดคุยกับผู้ควบคุมอาคาร (0.67 / 1)	หัวหน้าออกตรวจคลองและพูดคุยกับผู้ควบคุมอาคารเดือนละครั้ง ในคลอง 5L - 2L ออกตรวจเดือนละ 2 ครั้ง		
		มีระบบตรวจวัดข้อมูล ณ จุดที่มีน้ำไหลล้นหลัก รวมถึงจุดสุดท้ายของคลอง (0.0 / 1)	ไม่มีการตรวจวัดข้อมูลที่จุดสุดท้ายของคลองแยกซอย		
	สภาพทั่วไป (2.13 / 5)	ระดับการบำรุงรักษาพื้นคลองและตลิ่งคลอง (1.33 / 1)	คลองอย่างน้อย 20% ทำงานด้อยประสิทธิภาพลง		
	การควบคุมน้ำในคลอง (1.23 / 5)	ความรวดเร็วของการควบคุมอาคารหัวงานเพื่อตอบสนองต่อรายงานข้อมูลจากสนาม (1.3 / 2)	อาคารหัวงานสามารถตอบสนองได้ภายใน 3 วัน		
		ระบบการขอน้ำและส่งน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการน้ำที่แท้จริง (1.1 / 1)	มีการปรับปรุงตารางการส่งน้ำใหม่ทุกสัปดาห์ โดยเปลี่ยนแปลงตามความต้องการด้านท้ายน้ำ แต่บางคลองมีการปรับปรุงตารางใหม่เดือนละครั้ง		
		มีการตรวจสอบสภาพคลองตลอดทั้งสาย และรายงานปัญหาให้สำนักงานหรือโครงการทราบ (0.0 / 1)	มีการตรวจสอบสภาพคลองตลอดทั้งสาย และรายงานปัญหาให้สำนักงานหรือโครงการทราบเดือนละครั้ง		

รูปที่ 3.10(ต่อ) ประเด็นปัญหา เป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงสมรรถนะของคลองส่งน้ำสายแยกซอยในระบบส่งน้ำ 2L

			สภาพปัจจุบัน	เป้าหมาย	กลยุทธ์
งบประมาณ เจ้าหน้าที่ องค์กรผู้ใช้น้ำ (1.35 / 21)	งบประมาณ (1.20 / 5)	% งบประมาณด้าน O&M ของโครงการ ที่ได้รับจากกลุ่มผู้ใช้น้ำ (0.0 / 2)	โครงการไม่ได้รับงบประมาณด้าน O&M จากกลุ่มผู้ใช้น้ำ	ปัจจุบันกลุ่มผู้ใช้น้ำมีการรวมตัวกันอย่างหลวม ๆ เพื่อร่วมกันขอใช้น้ำจากทางโครงการ ยังไม่การดำเนินการกิจกรรมอื่น ๆ และไม่มีการเก็บค่าธรรมเนียมจากสมาชิก และคาดว่าสถานการณ์นี้จะยังคงดำเนินต่อไป กรมชลประทานมีนโยบายให้เกษตรกรเข้ามามีส่วนร่วม แต่การดำเนินงานยังไม่เห็นผลสัมฤทธิ์ที่เป็นรูปธรรม จึงควรได้มีการวิจัยด้านการเก็บค่าธรรมเนียมการชลประทาน และการมีส่วนร่วม ด้าน O&M อย่างจริงจังต่อไป	
	เจ้าหน้าที่ (1.89 / 9.5)	ความสามารถของโครงการในการไล่เจ้าหน้าที่ออก เมื่อมีมูลความผิด (1.0 / 2)	การไล่พนักงานออกเกิดขึ้นยากมาก และไม่เกี่ยวกับความเกียจคร้าน การไล่พนักงานส่วนเกินออกทำได้ยากมาก	ประเด็นด้านการบริหารงานบุคคล เป็นประเด็นที่มีความละเอียดอ่อน และซับซ้อนยากต่อการวิเคราะห์และหามาตรการที่เป็นนามธรรมในระยะเวลาอันสั้น จึงควรได้มีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังต่อไปในอนาคต	
	องค์กรผู้ใช้น้ำ (0.67 / 6.5)	จำนวนเปอร์เซนต์ของผู้ใช้น้ำทั้งโครงการที่มีบทบาทและมีส่วนร่วม ต่อการส่งน้ำ (0.0 / 2.5)	ผู้ใช้น้ำเข้ามามีบทบาทและมีส่วนร่วมในการส่งน้ำประมาณ 3%	ปัจจุบันกลุ่มผู้ใช้น้ำมีการรวมตัวกันอย่างหลวม ๆ เพื่อร่วมกันขอใช้น้ำจากทางโครงการ ยังไม่การดำเนินการกิจกรรมอื่น ๆ และไม่มีการเก็บค่าธรรมเนียมจากสมาชิก และคาดว่าสถานการณ์นี้จะยังคงดำเนินต่อไป กรมชลประทานมีนโยบายให้เกษตรกรเข้ามามีส่วนร่วม แต่การดำเนินงานยังไม่เห็นผลสัมฤทธิ์ที่เป็นรูปธรรม จึงควรได้มีการวิจัยด้านการเก็บค่าธรรมเนียมการชลประทาน และการมีส่วนร่วม ด้าน O&M อย่างจริงจังต่อไป FAO ได้เสนอให้กรมชลประทานเสนอแก้พระราชบัญญัติการชลประทานหลวงปี 2485 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มผู้ใช้น้ำซึ่งกรมชลประทานอยู่ระหว่างการพิจารณาความเหมาะสมในการปรับแก้กฎหมายดังกล่าว (รายงานด้านกฎหมายของ FAO, 2551)	
		หลักเกณฑ์ด้านกฎหมายของกลุ่มผู้ใช้น้ำ (1.0 / 1)	รัฐบาลมีนโยบายเกี่ยวกับองค์กรผู้ใช้น้ำ แต่จากข้อเท็จจริงมีองค์กรอยู่น้อยมากที่มีอำนาจจริงจังเกี่ยวกับเรื่องน้ำ หลักๆแล้วองค์กรผู้ใช้น้ำถูกจัดตั้งขึ้นตามนโยบายของรัฐบาล		
		ความเข้มแข็งทางด้านการเงินของกลุ่มผู้ใช้น้ำ (0.0 / 1)	ไม่เพียงพออย่างมาก เงินทุนหรือการลงแรงใช้ได้เฉพาะงานที่สำคัญมากเท่านั้น เงินทุนมีไม่พอเพียงต่อการใช้บำรุงรักษาหรือจัดหาเครื่องมือที่จำเป็นทดแทนได้		
	การใช้คอมพิวเตอร์ในงานส่งน้ำ (0.33)	การประยุกต์ใช้ควมพิวเตอร์ในการบริหารงานส่งน้ำ (0.33)	ส่วนใหญ่ไม่มีการนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการบริหารงานส่งน้ำ มีเพียงคลอง 10L - 2L และ 11L - 2L มีการใช้คอมพิวเตอร์ในการคาดทำนายตัวแปรที่สำคัญของอาคาร	คอมพิวเตอร์มาใช้ในการคำนวณความต้องการน้ำ และติดตามผลการส่งน้ำของระบบโทรมาตร	

รูปที่ 3.10(ต่อ) ประเด็นปัญหา เป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงการบริหารงานด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่ และองค์กรผู้ใช้น้ำใน

ตารางที่ 3.22 กลยุทธ์ในการปรับปรุงองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำที่ดำเนินการในการศึกษา

องค์ประกอบ	สภาพปัจจุบัน	เป้าหมาย	กลยุทธ์
1. คลองส่งน้ำสายใหญ่			
1.1 ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าปตร.กลางคลอง	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่สูงกว่า 35% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายน้ำของ Turnout	ลดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่ให้อยู่ประมาณ 20 - 30% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายของ Turnout	ซักซ้อมความเข้าใจกับเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมปตร.กลางคลองให้คอยตรวจวัดและปรับบานตามข้อกำหนดในหัวข้อ 3.6.3 ซึ่งกำหนดว่าจะต้องตรวจวัดและปรับบานอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง
1.2 ระบบการขอน้ำและส่งน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับความต้องการน้ำที่แท้จริง	มีการปรับปรุงตารางการส่งน้ำใหม่ทุกสัปดาห์ โดยเปลี่ยนแปลงตามความต้องการด้านท้ายน้ำ	มีขั้นตอนที่น่าเชื่อถือ มีการปรับปรุงข้อมูลใหม่อย่างน้อยหนึ่งครั้งทุกสองวัน และระบบส่งน้ำสามารถตอบสนองได้	มีการพัฒนาระบบการขอน้ำแบบรายสัปดาห์ที่สอดคล้องกับความต้องการใช้น้ำจริง เป็นที่ยอมรับของโครงการและสามารถนำไปปฏิบัติได้
2. คลองซอย			
2.1 ดัชนีการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าปตร.กลางคลอง	การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่สูงกว่า 35% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายน้ำของ Turnout	ลดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลองสายใหญ่ให้อยู่ประมาณ 20 - 30% ของผลต่างของระดับน้ำด้านหน้า และด้านท้ายของ Turnout	ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 1.1
2.2 ดัชนีระยะเวลาเดินทางของน้ำตลอดคลองซอย เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการส่งน้ำ	ระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองซอย เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการส่งน้ำประมาณ 24 ชั่วโมง	ลดระยะเวลาการเดินทางของน้ำตลอดคลองซอย เมื่อมีการเปลี่ยนอัตราการส่งน้ำให้เหลือประมาณ 12 - 18 ชั่วโมง	ปฏิบัติร่วมกับข้อ 2.1 โดยเพิ่มการตรวจวัด และวิเคราะห์เวลาการเดินทางของน้ำ และหามาตรการเพื่อลดระยะเวลา
2.3 ระบบการขอน้ำและส่งน้ำ ซึ่ง	มีการปรับปรุงตารางการส่งน้ำใหม่ทุก	มีขั้นตอนที่น่าเชื่อถือ มีการปรับปรุงข้อมูลใหม่	มีการพัฒนาระบบการขอน้ำแบบรายสัปดาห์ที่สอดคล้อง

ตารางที่ 3.22 กลยุทธ์ในการปรับปรุงองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำที่ดำเนินการในการศึกษา

องค์ประกอบ	สภาพปัจจุบัน	เป้าหมาย	กลยุทธ์
สอดคล้องกับความต้องการน้ำที่แท้จริง	สัปดาห์ โดยเปลี่ยนแปลงตามความต้องการด้านท้ายน้ำ	อย่างน้อยหนึ่งครั้งทุกสองวัน และระบบส่งน้ำสามารถตอบสนองได้	กับความต้องการใช้น้ำจริงเป็นที่ยอมรับของโครงการและสามารถนำไปปฏิบัติได้
2.4 การตรวจสอบสภาพคลองตลอดทั้งสาย และรายงานปัญหาให้สำนักงานหรือโครงการทราบ	มีการตรวจสอบปัญหาคลองตลอดทั้งคลองและรายงานผลให้สำนักงานหรือโครงการทราบ 2 สัปดาห์ / ครั้ง	มีการตรวจสอบปัญหาคลองตลอดทั้งคลองและรายงานผลให้สำนักงานหรือโครงการทราบสัปดาห์ละครั้ง	ทดลองตรวจสอบปัญหาทั้งคลองเพื่อนำมาปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำสัปดาห์ละครั้งในหนึ่งฤดูกาล เพื่อดูว่าจะสามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำได้หรือไม่

3.7.3 แผนการปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L

จากการกำหนดเป้าหมาย และกลยุทธ์ในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L สามารถนำมาจัดทำเป็นแผนการดำเนินงานได้ดังนี้

(1) วิเคราะห์ความต้องการน้ำ

ปัจจุบันการวิเคราะห์ความต้องการน้ำคำนวณจากค่าชลภาระคูณพื้นที่เพาะปลูกของพืชแต่ละชนิด ส่งผลให้ความต้องการน้ำรายสัปดาห์ของแต่ละพื้นที่เพาะปลูกคงที่ตลอดฤดูกาลส่งน้ำ ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำจริง ที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการส่งน้ำตามอายุของพืชแต่ละชนิด และสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำการปรับปรุงการวิเคราะห์ความต้องการน้ำของพืช โดยคำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์พืช (Crop coefficient, Kc) ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (Potential evapotranspiration, ETo) และปริมาณฝนใช้การ (Effective rainfall, RE) ตามสมการที่ 3.7 และ 3.8

$$Q_R = ETc - RE \quad (3.7)$$

$$ETc = Kc \times ETo \quad (3.8)$$

โดยที่ Q_R คือ ความต้องการน้ำของพืช, มิลลิเมตร/สัปดาห์
ETc คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืช, มิลลิเมตร/สัปดาห์
Kc คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชรายสัปดาห์
ETo คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง, มิลลิเมตร / สัปดาห์
RE คือ ปริมาณฝนใช้การ, มิลลิเมตร/สัปดาห์

(2) **วิเคราะห์อัตราการสูญเสียน้ำ**

ในระบบส่งน้ำชลประทานมีสามารถแบ่งการสูญเสียน้ำออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

- การสูญเสียน้ำเนื่องจากการรั่วซึมในแปลงนา (Percolation) หมายถึง การสูญเสียน้ำโดยการซึมลึกลงไปในดินซึ่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ การหาอัตราการรั่วซึมน้ำในแปลงนาสามารถทำได้โดยใช้ถังกลมก้นเปิดตอกลึกลงไปให้เลยเขตรากพืชในแปลงนาที่ชุ่มน้ำ แล้ววัดอัตราการสูญเสียเป็นเวลาหลายสัปดาห์ ที่ปากถังจะต้องปิดสนิทเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 6 มม./สัปดาห์ (ประพันธ์, 2539)

-การสูญเสียน้ำระหว่างการส่งน้ำ เกิดจากการรั่วซึมของน้ำในคลองส่งน้ำ สามารถประเมินได้จากการตรวจวัดปริมาณน้ำที่จุดต้นทางและปลายทาง สำหรับคลอง 5L – 2L มีอัตราการสูญเสียน้ำระหว่างการส่งน้ำตามลักษณะคลอง ตามตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.23 อัตราการสูญเสียน้ำระหว่างการส่งน้ำ ตามลักษณะคลองในระบบส่งน้ำ 5L – 2L

ลักษณะคลอง	อัตราการไหลสูงสุด (cms)	อัตราการสูญเสียน้ำระหว่างการส่งน้ำ (%ของอัตราการไหลสูงสุดต่อกิโลเมตร)
คลองสายใหญ่ดาดคอนกรีต	20.249	0.44
คลองซอยดาดคอนกรีต	5.287	0.91
คลองซอยไม่ดาดคอนกรีต	2.954	2.35

ที่มา: ประพันธ์ (2539)

(3) **วิเคราะห์การรบกวนระบบ** (Perturbation)

ในระหว่างการบริหารงานส่งน้ำโดยทั่วไปจะมีการรบกวนระบบเกิดขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ไม่สามารถส่งน้ำได้ตามเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งการรบกวนระบบเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุทั้งควบคุมได้ และควบคุมไม่ได้ เช่น ความถูกต้องของปริมาณน้ำที่พืชต้องการและอัตราการไหลที่ส่งเข้าสู่ระบบ การควบคุมอาคารบังคับน้ำไม่ถูกต้องและไม่เป็นไปตามแผนการส่งน้ำ ปริมาณน้ำไหลล้นเข้าคลองส่งน้ำ หรือปริมาณฝนที่ตกลงในพื้นที่ส่งน้ำ เป็นต้น

ดังนั้นในการศึกษานี้จะทำการวิเคราะห์การรบกวนระบบ โดยคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลอง 5L – 2L ที่เกิดจากการรบกวนระบบล่วงหน้าเวลาระหว่างที่มีการควบคุมอาคารบังคับน้ำ ด้วยแบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasting perturbation model) ที่สร้างขึ้นจาก Stochastic model แบบ Autoregressive model ลำดับ 1 (AR (1)) โดยใช้ MATLAB เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง มีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 3.11 และประเมินหาค่า parameters ต่าง ๆ จากสมการ ซึ่งค่า parameters จะเปลี่ยนทุกครั้ง เนื่องจาก แบบจำลองจะทำการเก็บข้อมูล perturbations สะสมไปเรื่อย ๆ ทุกครั้งที่มีการวิเคราะห์

$$z_{t+1} = \phi_1 z_t \tag{3.9}$$

$$z_t = (x_t - \bar{x})/s^2 \tag{3.10}$$

$$\emptyset_1 = \frac{\sum_{t=1}^{N-1}(x_t - \bar{x}_t)(x_{t+1} - \bar{x}_{t+1})}{[\sum_{t=1}^{N-1}(x_t - \bar{x}_t)^2 \times \sum_{t=1}^{N-1}(x_{t+1} - \bar{x}_{t+1})^2]^{1/2}} \tag{3.11}$$

โดยที่

x_t คือ ผลการรบกวนระบบ ณ เวลา t ที่ด้านหน้า ปตร.กลางคลอง

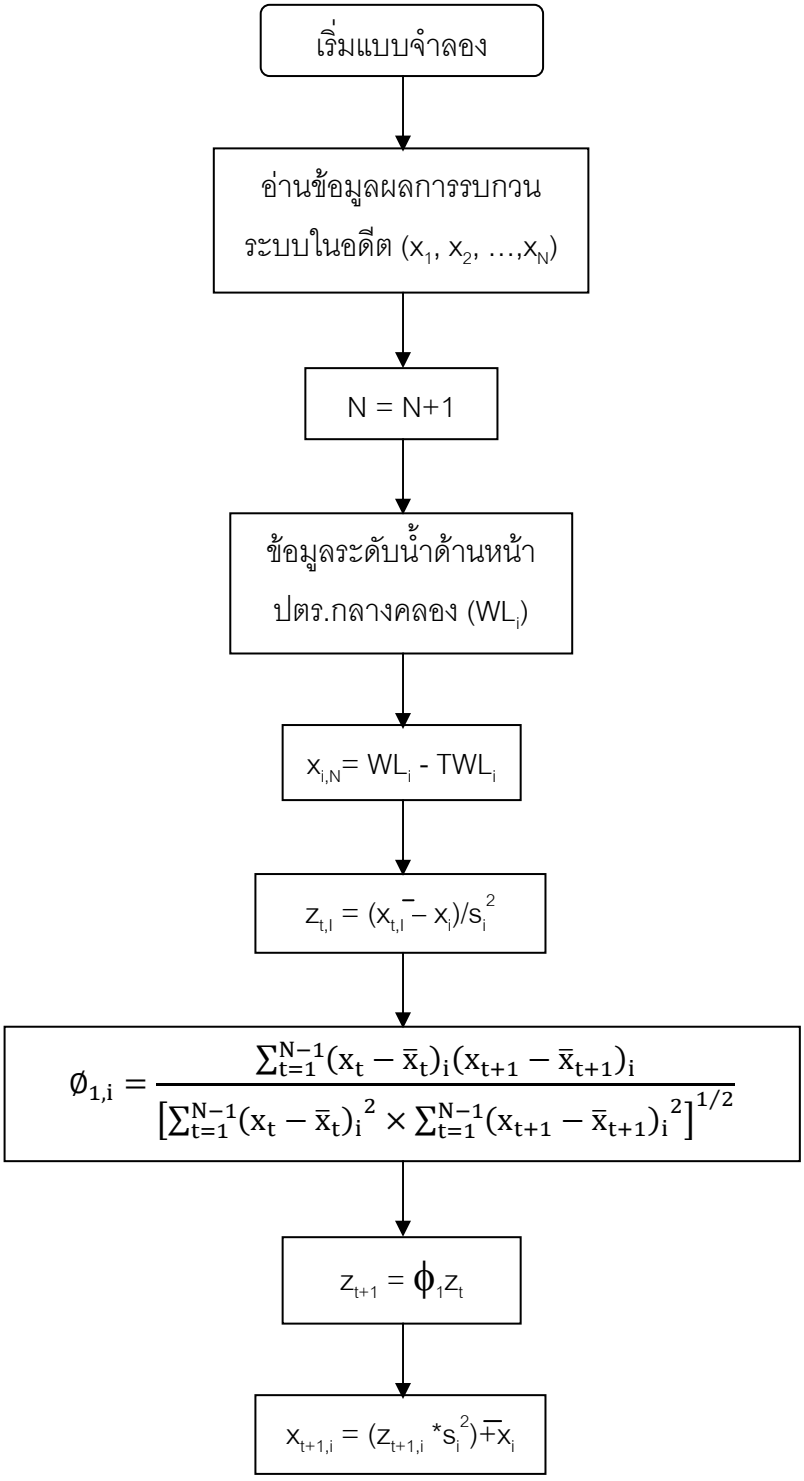
$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยผลการรบกวนระบบ ที่ด้านหน้า ปตร.กลางคลอง

s^2 คือ ความแปรปรวนของผลการรบกวนระบบ ที่ด้านหน้า ปตร.กลางคลอง

z_t คือ Standardization ของ x_t

ϕ_1 คือ ค่า parameter ของแบบจำลอง AR1

z_{t+1} คือ Standardization ของ x_{t+1}

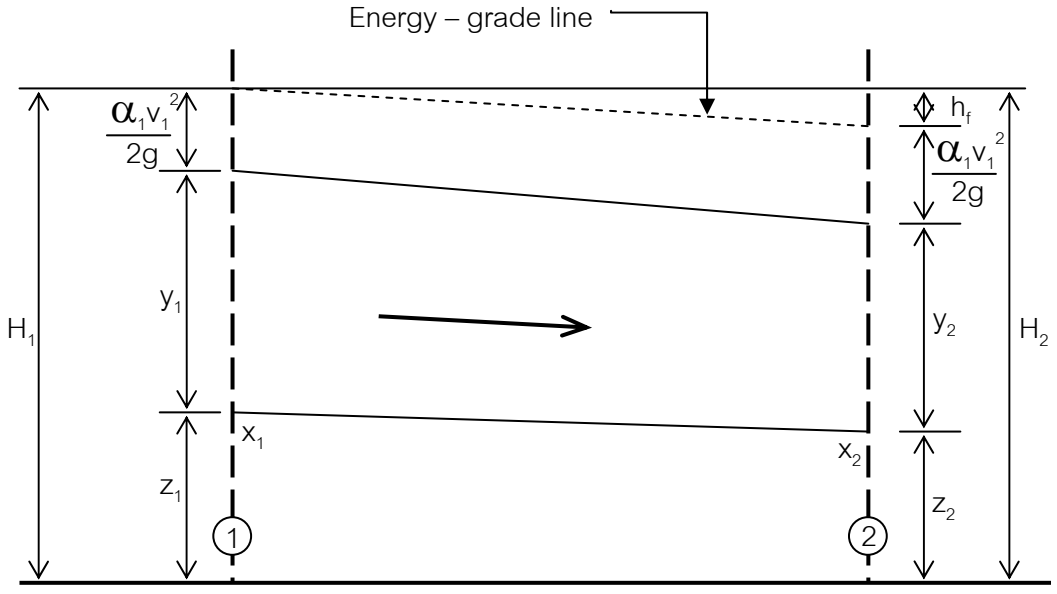


รูปที่ 3.11 แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองสำหรับคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasting perturbation model)

(4) วิเคราะห์หาระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำ

การวิเคราะห์หาระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการประมาณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรน้ำของแต่ละช่วงคลองจากเป้าหมาย ซึ่งจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการปรับอัตราการไหลเข้าสู่ระบบส่งน้ำ 5L – 2L ที่ปตร.ปากคลองส่งน้ำ โดยการวิเคราะห์หาระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของแต่ละช่วงคลองจะใช้ระเบียบวิธี Standard step method (Chaudhry, 1993) ในการวิเคราะห์

Standard step method เป็นระเบียบวิธีในการหาระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ จากระดับน้ำ ณ จุดควบคุมซึ่งอยู่ด้านท้ายน้ำของระดับน้ำที่ต้องการหา โดยอาศัยหลักการสมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหลตามรูปที่ 3.12 และสามารถเขียนในรูปของสมการได้ตามสมการที่ 3.12 – 3.20 และ สำหรับแบบจำลองสำหรับวิเคราะห์หาระดับน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (Water surface profile model) มีขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งใช้ MATLAB เป็นเครื่องมือในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 3.12 สมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหล

$$H_2 = H_1 - h_f \quad (3.12)$$

$$H = z + y + (\alpha v^2/2g) \quad (3.13)$$

$$h_f = (S_{f1} + S_{f2})(x_2 - x_1)/2 \quad (3.14)$$

$$S_f = n^2 v^2 / R^{4/3} \quad (3.15)$$

$$v = Q / A \quad (3.16)$$

$$R = A / P \quad (3.17)$$

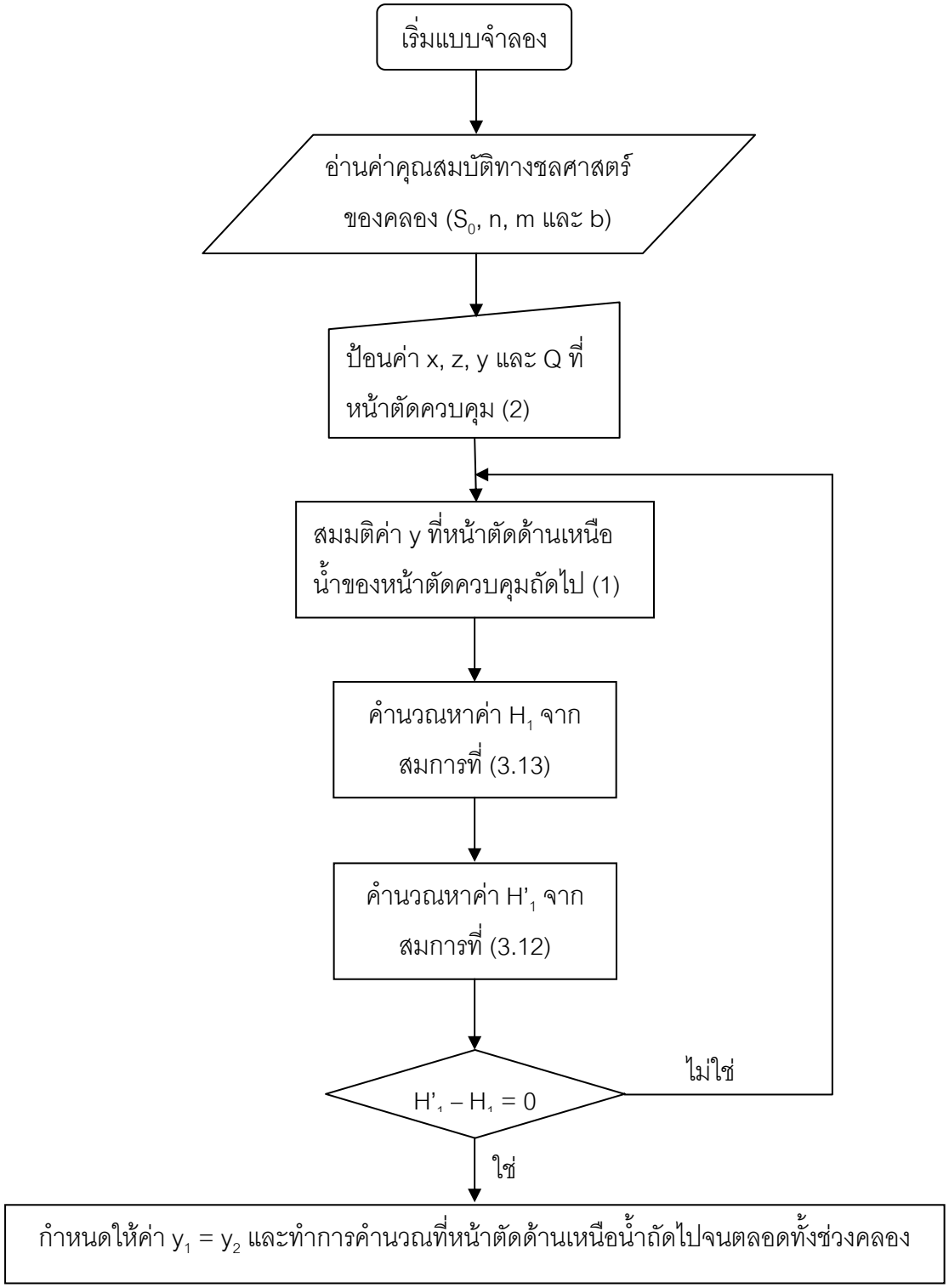
$$A = by + my^2 \quad (3.18)$$

$$P = b + 2\left(\sqrt{1+m^2}\right) y \quad (3.19)$$

$$z_1 = z_2 + S_0(x_2 - x_1) \quad (3.20)$$

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	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}



รูปที่ 3.13 แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water surface profile model)

(5) วิเคราะห์หาระยะยกบานของอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ 5L – 2L

ในปัจจุบันการคำนวณระยะยกบานของอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำจะเป็นการคำนวณแบบเฉพาะจุด โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำด้านเหนือน้ำ ท้ายน้ำ ระยะเปิดบาน และค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารในการคำนวณหาระยะยกบานของอาคารแต่ละแห่ง ซึ่งยังไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสมเมื่อนำมาใช้กับระบบส่งน้ำที่มีอาคารเชื่อมต่อกัน แต่เนื่องจากการคำนวณทั้งระบบส่งน้ำ ต้องใช้ความรู้และความเชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ซึ่งโครงการชลประทานยังขาดบุคลากรในด้านนี้ ทำให้จำเป็นต้องใช้การคำนวณแบบเฉพาะจุด

สำหรับในการศึกษานี้จะทำการคำนวณระยะยกบานของ ปตร.กลางคลอง 5L – 2L พร้อมกันทุกช่วงคลองตลอดคลอง 5L – 2L ด้วยสมการการไหลแบบ Unsteady flow ของ St. Venant equation ในรูปของแบบจำลอง Dynamic wave model ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial (A+A_0)}{\partial t}-q=0 \tag{3.21}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial \left(\beta Q^2/A\right)}{\partial x}+gA\left(\frac{\partial h}{\partial x}+S_f+S_e\right)-\beta q v_x+W_f B=0 \tag{3.22}$$

$$\begin{aligned}&\theta\left(Q_{i+1}^{j+1}-Q_i^{j+1}-\Delta x_i \overline{q}_i^{\,j+1}\right)+(1-\theta)\left(Q_{i+1}^{j}-Q_i^{j}-\Delta x_i \overline{q}_i^{\,j}\right)+\\&\frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j}\left[\left(A+A_0\right)_i^{j+1}+\left(A+A_0\right)_{i+1}^{j+1}-\left(A+A_0\right)_i^{j}-\left(A+A_0\right)_{i+1}^{j}\right]=0\end{aligned} \tag{3.23}$$

$$\begin{aligned}&\frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j}\left(Q_i^{j+1}+Q_{i+1}^{j+1}-Q_i^{j}-Q_{i+1}^{j}\right)+\theta\left[\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)_{i+1}^{j+1}-\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)_{i}^{j+1}+g\overline{A}_i^{\,j+1}\left(h_{i+1}^{j+1}-h_i^{j+1}+\left(\overline{S}_f\right)_i^{j+1}\Delta x_i\right)\right]\\&+(1-\theta)\left[\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)_{i+1}^{j}-\left(\frac{\beta Q^2}{A}\right)_{i}^{j}+g\overline{A}_i^{\,j}\left(h_{i+1}^{j}-h_i^{j}+\left(\overline{S}_f\right)_i^{j}\Delta x_i\right)\right]=0\end{aligned} \tag{3.24}$$

$$\frac{\partial C}{\partial h_i}=\frac{\Delta x_i}{4\Delta t_j}\left[\left(B+b\right)+\left(B_0+b\right)\right]_i^{j+1} \tag{3.25}$$

$$\frac{\partial C}{\partial h_{i+1}}=\frac{\Delta x_i}{4\Delta t_j}\left[\left(B+b\right)+\left(B_0+b\right)\right]_{i+1}^{j+1} \tag{3.26}$$

$$\frac{\partial C}{\partial Q_i} = \frac{\partial}{\partial Q_i}\theta\left(Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}\right) = -\theta \tag{3.27}$$

$$\frac{\partial C}{\partial Q_{i+1}} = \theta \tag{3.28}$$

$$\frac{\partial M}{\partial h_i} = \theta\left[\left(\frac{\beta Q^2}{A^2}\right)_i^{j+1}\frac{1}{2}(B+b)_i^{j+1} + g\overline{A}_i^{j+1}\left[-1+\left(\frac{\partial\left(\overline{S}_f\right)_i^{j+1}}{\partial h_i}\right)\Delta x_i\right] + \frac{g(B+b)}{4}\left(h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + \left(\overline{S}_f\right)_i^{j+1}\Delta x_i\right)\right] \tag{3.29}$$

$$\frac{\partial M}{\partial h_{i+1}} = \theta\left[-\left(\frac{\beta Q^2}{A^2}\right)_{i+1}^{j+1}\frac{1}{2}(B+b)_{i+1}^{j+1} + g\overline{A}_i^{j+1}\left[1+\left(\frac{\partial\left(\overline{S}_f\right)_i^{j+1}}{\partial h_{i+1}}\right)\Delta x_i\right] + \frac{g(B+b)_{i+1}^{j+1}}{4}\left(h_{i+1}^{j+1} - h_i^{j+1} + \left(\overline{S}_f\right)_i^{j+1}\Delta x_i\right)\right] \tag{3.30}$$

$$\frac{\partial M}{\partial Q_i} = \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} + \theta\left\{-\left(\frac{2\beta Q}{A}\right)_i^{j+1} + g\overline{A}_i^{j+1}\frac{\partial\left(\overline{S}_f\right)_i^{j+1}}{\partial Q_i}\Delta x_i\right\} \tag{3.31}$$

$$\frac{\partial M}{\partial Q_{i+1}} = \frac{\Delta x_i}{2\Delta t_j} + \theta\left\{\left(\frac{2\beta Q}{A}\right)_{i+1}^{j+1} + g\overline{A}_i^{j+1}\frac{\partial\left(\overline{S}_f\right)_i^{j+1}}{\partial Q_{i+1}}\Delta x_i\right\} \tag{3.32}$$

$$\frac{\partial \overline{S}f}{\partial h_i} = 2\left(\overline{S}f\right)_i\left[\frac{1}{3}\left(\frac{1}{\overline{P}_i}\right)\frac{\partial(P_i)}{\partial h_i} + \frac{-5(B+b)_i}{12}\left(\frac{1}{\overline{A}_i}\right) + \left(\frac{1}{\overline{n}_i}\right)\frac{\partial \overline{n}_i}{\partial h_i}\right] \tag{3.33}$$

$$\frac{\partial \overline{S}f}{\partial h_{i+1}} = 2\left(\overline{S}f\right)_i\left[\frac{1}{3}\left(\frac{1}{\overline{P}_i}\right)\frac{\partial(P_{i+1})}{\partial h_{i+1}} + \frac{-5(B+b)_{i+1}}{12}\left(\frac{1}{\overline{A}_i}\right) + \left(\frac{1}{\overline{n}_i}\right)\frac{\partial \overline{n}_i}{\partial h_{i+1}}\right] \tag{3.34}$$

$$\frac{\partial \overline{S}f}{\partial Q_i} = \left(\overline{S}_f\right)_i\left[\left(\frac{1}{\overline{Q}_i}\right) + \left(\frac{1}{\overline{n}_i}\right)\frac{\partial n_i}{\partial Q_i}\right] \tag{3.35}$$

$$\frac{\partial \overline{S}f}{\partial Q_{i+1}} = \left(\overline{S}_f\right)_i\left[\left(\frac{1}{\overline{Q}_i}\right) + \left(\frac{1}{\overline{n}_i}\right)\frac{\partial n_{i+1}}{\partial Q_{i+1}}\right] \tag{3.36}$$

โดยที่

Q คือ อัตราการไหลของน้ำ, ม.^{3}/วินาที

x คือ ระยะทางตามแนวยาวของคลอง, ม.

t คือ เวลา, วินาที

A คือ พื้นที่ของหน้าตัดการไหล, ม.^{2}

A_0 คือ พื้นที่ของหน้าตัดการไหล ณ เวลาเริ่มต้น, ม.^{2}

q คือ อัตราการไหลของน้ำด้านข้างคลองต่อความยาว (Lateral flow), ม.^{3}/วินาที/ม.

B คือ ความกว้างของผิวน้ำ, ม.

h คือ ระดับผิวน้ำ, ม.รทก.

v_x คือ ความเร็วของ q ในทิศทางตามแนวคลอง, ม./วินาที

S_f คือ ความลาดชันของ Energy grade line (Friction slope)

S_e คือ eddy loss slope

W_f คือ แรงเฉือนที่เกิดจากอิทธิพลของกระแสลม

β คือ สัมประสิทธิ์ปรับแก้ของโมเมนตัม

θ คือ สัมประสิทธิ์ถ่วงน้ำหนักของแกนเวลา ในระเบียบวิธี Implicit finite - difference

ซึ่งการวิเคราะห์หาระยะยกบานของแบบจำลองการไหลของน้ำในคลอง (Unsteady flow model) จะใช้ MATLAB เป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลอง มีขั้นตอนการทำงานแสดงในรูปที่ 3.14 โดยจะใช้วิธีกำหนดและปรับแก้ระยะยกบานที่ ปตร.กลางคลองแต่ละแห่ง แล้วแปลงค่าระยะยกบานให้เป็นอัตราการไหลผ่านอาคาร เพื่อนำมาใช้เป็นเงื่อนไขด้านท้ายน้ำ (RDB) ของแต่ละช่วงคลอง จากนั้นใช้ระเบียบวิธี Newton – Raphson เพื่อหาคำตอบของสมการที่อยู่ในรูปของ f(x) = 0 เมื่อ x = (Q_1, h_1, Q_2, h_2, …, Q_N, h_N) ซึ่งจะได้สมการ ดังนี้

$$\left[\mathrm{J(x)^k}\right]\left[\Delta \mathrm{x^k}\right] = \left[-\mathrm{R(x)^k}\right] \tag{3.37}$$

$$\frac{\partial \mathrm{UB}}{\partial \mathrm{h_1}}\mathrm{dh_1} + \frac{\partial \mathrm{UB}}{\partial \mathrm{Q_1}}\mathrm{dQ_1} = -\mathrm{RUB^k}$$

$$\frac{\partial \mathrm{C_i}}{\partial \mathrm{h_i}}\mathrm{dh_i} + \frac{\partial \mathrm{C_i}}{\partial \mathrm{Q_i}}\mathrm{dQ_i} + \frac{\partial \mathrm{C_i}}{\partial \mathrm{h_{i+1}}}\mathrm{dh_{i+1}} + \frac{\partial \mathrm{C_{i+1}}}{\partial \mathrm{Q_{i+1}}}\mathrm{dQ_{i+1}} = -\mathrm{RC_i^k} \tag{3.38}$$

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

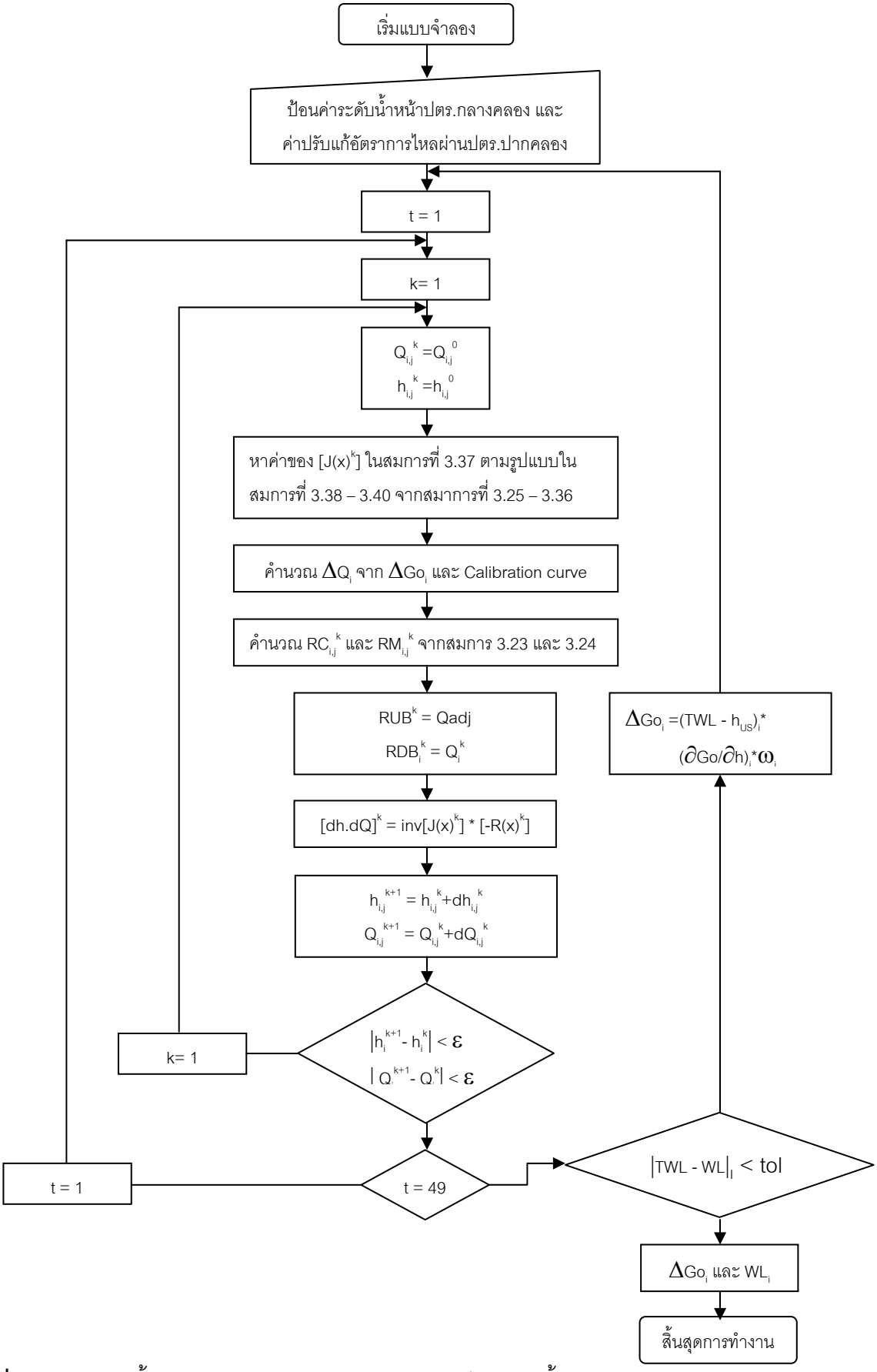
$$\frac{\partial \mathrm{DB}}{\partial \mathrm{h_1}}\mathrm{dh_1} + \frac{\partial \mathrm{DB}}{\partial \mathrm{Q_1}}\mathrm{dQ_1} = -\mathrm{RDB^k}$$

$$\frac{\partial \mathrm{UB}}{\partial \mathrm{h_1}} = 0\,;\ \frac{\partial \mathrm{UB}}{\partial \mathrm{Q_1}} = 1 \qquad (3.39)$$

$$\frac{\partial \mathrm{DB}}{\partial \mathrm{h_N}} = -\frac{Q_{k+1} - Q_k}{h_{k+1} - h_k}\ ;\ \frac{\partial \mathrm{DB}}{\partial \mathrm{Q_N}} = 1 \qquad (3.40)$$

เมื่อ i = 1, 2, …, N-1

N = จำนวนหน้าตัดการไหลในแต่ละช่วงคลอง



รูปที่ 3.14 แผนผังขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการไหลของน้ำในคลอง (Unsteady flow model)

(6) กำหนดแนวทางการบริหารงานส่งน้ำในภาคสนามจากขั้นตอน (1) – (5)

การกำหนดแนวทางการบริหารงานส่งน้ำในภาคสนามคือ การกำหนดตารางการส่งน้ำรายสัปดาห์และรายวัน

- ตารางการส่งน้ำรายสัปดาห์จะได้จากผลการวิเคราะห์ความต้องการน้ำ (ขั้นตอนที่ 1) และอัตราการสูญเสียน้ำในระบบส่งน้ำ (ขั้นตอนที่ 2)

- ตารางการส่งน้ำรายวันจะได้จากผลการวิเคราะห์ระยะยกบานของอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ 5L – 2L (ขั้นตอนที่ 3) โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำในแต่ละช่วงคลอง ระยะยกบานของอาคารบังคับน้ำแต่ละแห่งที่ได้จากระบบโทรมาตร/การตรวจวัดด้วยมือ และผลการคาดการณ์การรบกวนระบบที่จะเกิดขึ้นในช่วงเวลาต่อไป เพื่อกำหนดระยะยกบานที่เหมาะสมของอาคารชลประทานแต่ละแห่งในระบบส่งน้ำ 5L – 2L

(7) ทดสอบแนวทางการบริหารงานส่งน้ำในขั้นตอนที่ 5 ในระบบส่งน้ำ 5L – 2L

เป็นขั้นตอนที่นำเอาตารางการส่งน้ำรายสัปดาห์และรายวันที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 ไปปฏิบัติจริงในสนาม โดยวางแผนและออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลนำไปวิเคราะห์หาผลสัมฤทธิ์ของการบริหารงานส่งน้ำ ในรูปของผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำ และผลลัพธ์ในการบริหารงานส่งน้ำ (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อที่ 3.8.3) ตลอดจนปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการปฏิบัติ

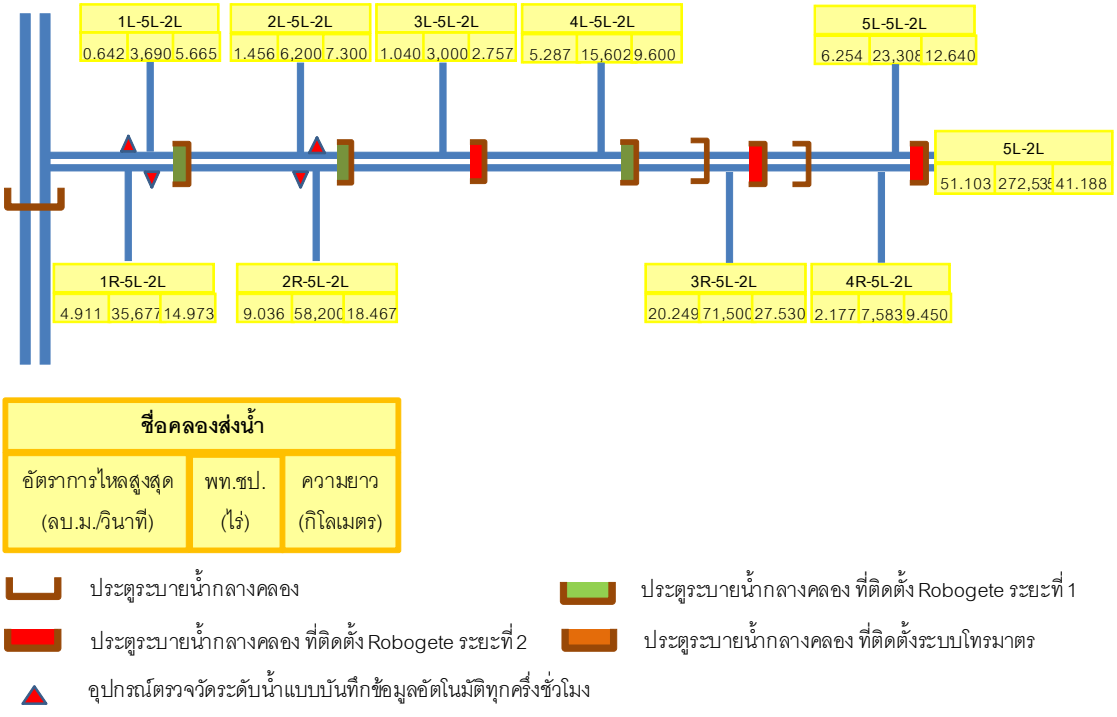
3.8 การเลือกพื้นที่ทดลองและแผนการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ

3.8.1 พื้นที่ทดลอง

การเลือกพื้นที่เพื่อทดลองส่งน้ำตามแผนบริหารงานส่งน้ำที่แนะนำ ต้องพิจารณาเลือกพื้นที่ในระบบส่งน้ำ 2L ที่มีความพร้อมในด้านของบุคลากร อุปกรณ์และเครื่องมือในการบริหารงานส่งน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบตรวจวัดข้อมูลที่มีความแม่นยำ และมีระบบการบันทึกข้อมูลที่ถูกต้อง นอกจากนั้นอาคารชลประทานต่าง ๆ ในคลองต้องอยู่ในสภาพที่ดี สามารถใช้งานได้ และมีอุปสรรคในการทดลองน้อยที่สุด ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกระบบส่งน้ำคลอง 5L – 2L ในเขตพื้นที่รับผิดชอบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง เป็นพื้นที่สำหรับทดลองส่งน้ำตามแผนการบริหารงานส่งน้ำที่แนะนำ เนื่องจากเป็นระบบส่งน้ำที่มีการติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติ และระบบโทรมาตรที่ ปตร.กลางคลองสำคัญ ๆ ทุกจุด มีการติดตั้งระบบ

ตรวจวัดระดับน้ำแบบบันทึกข้อมูลอัตโนมัติด้านหน้าอาคารปากคลองซอย 4 แห่ง นอกจากนั้นอาคารปากคลองซอยส่วนใหญ่ในคลอง 5L – 2L สามารถควบคุมได้สะดวก มีเพียงคลอง 1R – 5L – 2L ที่ไม่มีบานบังคับน้ำ โดยมีรายละเอียดของพื้นที่ทดลอง ดังนี้

คลอง 5L – 2L เป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องมีความยาวประมาณ 41.188 กิโลเมตร ประกอบด้วยคลองซอยจำนวน 9 สาย ส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทานจำนวน 272,538 ไร่ มีปตร.ปากคลอง 1 แห่ง (ติดตั้งระบบโทรมาตร) อาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองจำนวน 7 แห่ง (ติดตั้งประตูยนต์ 5 แห่ง) และปตร.ปลายคลอง 1 แห่ง (ติดตั้งประตูยนต์) สามารถตรวจวัด และรายงานข้อมูลระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ท้ายน้ำ และระยะเปิดบานของอาคารบังคับน้ำทุกครึ่งชั่วโมง นอกจากนั้นยังได้มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดและบันทึกระดับน้ำแบบอัตโนมัติทุกครึ่งชั่วโมงในคลอง 5L – 2L อีกจำนวน 4 จุด บริเวณด้านหน้าอาคารปากคลองซอย 1R – 5L – 2L, 1L – 5L – 2L, 2L – 5L – 2L และ 2R – 5L – 2L ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนผังระบบส่งน้ำคลอง 5L – 2L

3.8.2 ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L ในสภาพปัจจุบัน

ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารการส่งน้ำของคลอง 5L – 2L สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ และผลสัมฤทธิ์ด้านผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

(1) ผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ (Water Control Performance)

การประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ เป็นการทดสอบความสามารถด้านการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายน้ำกลางคลองให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด ของการบริหารการส่งน้ำ (Clemmens *et al*., 1998) ด้วยค่าดัชนี 4 ตัว ได้แก่ Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE), Root Mean Square Error (RMSE, m.) และ Reliability of Water Level Control (RWLC) ดังสมการ 3.41-3.44 ผลการประเมินแสดงดังตารางที่ 3.24 และ 3.25

$$\mathrm{MAE} = \frac{\mathrm{Max}\left(\left|\mathrm{Y_t} - \mathrm{Y_{target}}\right|\right)}{\mathrm{Y_{target}}} \tag{3.41}$$

$$\mathrm{IAE} = \frac{\frac{\Delta t}{T}\sum_{t=0}^{T}\left|\mathrm{Y_t} - \mathrm{Y_{target}}\right|}{\mathrm{Y_{target}}} \tag{3.42}$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N}\frac{\left(\mathrm{Y_i} - \mathrm{Y_{target}}\right)^2}{N}} \tag{3.43}$$

$$\mathrm{RWLC} = \left(1 - \frac{\mathrm{NWL_{droped}}}{\mathrm{NWL_{measured}}}\right) \tag{3.44}$$

โดยที่ MAE คือ Maximum Absolute Error (เมตร/เมตร)

IAE คือ Integrated Absolute Error (เมตร/เมตร)

RMSE คือ Root mean square error (เมตร)

RWLC คือ Reliability of Water Level Control

Y_t คือ ระดับน้ำ ณ เวลา t (เมตร)

Y_{target} คือ ระดับน้ำเป้าหมาย (เมตร)

Y_i คือ ระดับน้ำที่วัดครั้งที่ I (เมตร)

Δt คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการควบคุม (นาที)

T คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบ (นาที)

N คือ จำนวนครั้งที่วัดระดับน้ำ

NWL_{droped} คือ จำนวนครั้งที่ระดับน้ำมีค่าต่ำกว่าเป้าหมาย มากกว่าค่า Tolerance ที่กำหนด ในการศึกษานี้กำหนดให้ค่า Tolerance คือระดับน้ำที่เบี่ยงเบนจากค่าเป้าหมายแล้ว มีผลทำให้อัตราการไหลของน้ำเข้าคลองซอยเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm$10%

$NWL_{measured}$ คือ จำนวนครั้งที่วัดระดับน้ำ

ตารางที่ 3.24 ผลการประเมินค่าดัชนี MAE และ IAE ของการบริหารการส่งน้ำคลอง 5L – 2L

ช่วงเวลาในการประเมิน	ช่วงคลองที่ 1 (Km.0+000-3+650)		ช่วงคลองที่ 2 (Km.3+650-9+813)		ช่วงคลองที่ 3 (Km.9+813-20+300)		5L-2L	
	MAE	IAE	MAE	IAE	MAE	IAE	MAE	IAE
6 มีค. – 18 มิย.50	0.34	0.26	0.27	0.15	0.34	0.15	0.34	0.18
3 กค. – 29 ตค.50	0.18	0.07	0.26	0.13	0.38	0.13	0.38	0.11
1 พย.50 – 27 กพ.51	0.16	0.05	0.20	0.11	0.30	0.13	0.30	0.10
6 มีค. – 18 มิย.51	0.10	0.03	0.08	0.02	0.20	0.12	0.20	0.06
3 กค. – 22 ตค.51	o.23	0.09	0.24	0.12	0.53	0.22	0.53	0.14

ที่มา: อุรินทร์และคณะ (2552)

ตารางที่ 3.25 ผลการประเมินค่าดัชนี RMSE และ RWLC ของการบริหารการส่งน้ำคลอง 5L – 2L

ช่วงเวลาในการประเมิน	ช่วงคลองที่ 1 (Km.0+000-3+650)		ช่วงคลองที่ 2 (Km.3+650-9+813)		ช่วงคลองที่ 3 (Km.9+813-20+300)		5L-2L	
	RMSE(m)	RWLC	RMSE(m)	RWLC	RMSE(m)	RWLC	RMSE(m)	RWLC
6 มีค. – 18 มิย.50	0.86	0.95	0.54	0.00	0.41	0.22	0.67	0.00
3 กค. – 29 ตค.50	0.29	0.23	0.49	0.10	0.40	0.78	0.40	0.05
1 พย.50 – 27 กพ.51	0.22	0.38	0.40	0.13	0.37	0.81	0.36	0.12
6 มีค. – 18 มิย.51	0.15	0.87	0.11	0.88	0.31	0.99	0.22	0.83
3 กค. – 22 ตค.51	0.36	0.10	0.47	0.04	0.63	0.82	0.47	0.03

ที่มา: อุรินทร์และคณะ (2552)

(2) ผลสัมฤทธิ์ด้านผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output Performance)

การประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านผลลัพธ์ในการส่งน้ำ เป็นความทดสอบความสามารถในการตอบสนองความต้องการน้ำของเกษตรกรของการบริหารการส่งน้ำ ด้วยค่าดัชนี 3 ตัว ได้แก่ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA) ประสิทธิภาพชลประทาน (Efficiency Indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ) ดังสมการที่ 3.45 - 3.47 (Molden and Gate, 1990) ผลการประเมินแสดงตามตารางที่ 3.26

$$PA = \frac{1}{T}\sum_{T}\left(\frac{1}{N}\sum_{N} p_A\right) \tag{3.45}$$

$$p_A = \frac{Q_D}{Q_R}$$

$$p_A = 1.0 \;\; ; \; Q_D > Q_R$$

$$PE = \frac{1}{T}\sum_{T}\left(\frac{1}{N}\sum_{N} p_E\right) \tag{3.46}$$

$$p_E = \frac{Q_R}{Q_D}$$

$$p_E = 1.0 \;\; ; \; Q_R > Q_D$$

$$PEQ = \frac{1}{T}\sum_{T} CV_t\left(\frac{Q_D}{Q_R}\right) \tag{3.47}$$

โดยที่

PA คือ ค่าดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator)

PE คือ ค่าดัชนีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ (Efficiency Indicator)

PEQ คือ ค่าดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator)

Q_D คือ ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)

Q_R คือ ปริมาณความต้องการน้ำ (ลูกบาศก์เมตร / วินาที)

$CV_t(Q_D/Q_R)$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variance) ของอัตราส่วน Q_D ต่อ Q_R ในช่วงคลองต่างๆ ในสัปดาห์ที่ t

N คือ จำนวนช่วงคลอง

T คือ จำนวนสัปดาห์ที่ส่งน้ำ

ตารางที่ 3.26 ผลการประเมินค่าดัชนี PA, PE และ PEQ ของการบริหารการส่งน้ำคลอง 5L – 2L

ช่วงเวลาในการประเมิน	ช่วงคลองที่ 1 (Km.0+000-3+650)		ช่วงคลองที่ 2 (Km.3+650-9+813)		ช่วงคลองที่ 3 (Km.9+813-20+300)		5L-2L		
	PA	PE	PA	PE	PA	PE	PA	PE	PEQ
6 มีค. – 18 มิย.50	0.70	0.70	0.62	0.80	0.91	0.40	0.74	0.63	0.77
3 กค. – 29 ตค.50	0.94	0.61	0.88	0.53	0.47	0.82	0.76	0.60	0.67
1 พย.50 – 27 กพ.51	0.99	0.21	1.00	0.18	0.72	0.52	0.90	0.29	0.53
6 มีค. – 18 มิย.51	0.91	0.46	0.76	0.70	0.75	0.53	0.81	0.56	0.63
3 กค. – 22 ตค.51	1.00	0.18	0.98	0.36	0.49	0.79	0.82	0.50	0.89

ที่มา: อุรินทร์และคณะ (2553)

ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำ (Water Level Control Performance) และผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output Performance) ในสภาพปัจจุบันได้ โดยใช้ข้อมูลช่วงฤดูแล้ง 2550-ฤดูฝน 2551 พบว่าผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L มีค่าความผิดพลาดในรูปของ RMSE ระหว่าง 0.22-0.67 เมตร หรือในรูปของ MAE ระหว่าง 0.20-0.53 และผลลัพธ์ในการส่งน้ำในรูปของดัชนีความเพียงพอ (PA) ดัชนีประสิทธิภาพ (PE) และดัชนีความเป็นธรรม (PEQ) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.74-0.90, 0.29-0.63 และ 0.53-0.89 ตามลำดับ ผลการประเมินพบว่าจำเป็นต้องหาแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำของคลอง 5L-2L ต่อไป

3.8.3 การดำเนินงานปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำคลอง 5L – 2L

การดำเนินงานปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำ ใช้ระบบส่งน้ำคลอง 5L – 2L เป็นพื้นที่ในการทดลอง โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน 3 ขั้นตอน ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความต้องการน้ำชลประทาน สร้างแบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำของคลองส่งน้ำ และทดสอบ/สรุปผลการบริหารงานส่งน้ำตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น ซึ่งมีแผนการดำเนินงานสำหรับการศึกษา ตามตารางที่ 3.27

(1) การวิเคราะห์ความต้องการน้ำชลประทาน

ความต้องการน้ำชลประทาน หมายถึง ปริมาณน้ำชลประทานที่ต้องส่งเข้าสู่ระบบคลองส่งน้ำไปยังพื้นที่เพาะปลูก เพื่อตอบสนองต่อความต้องการน้ำของพืช ซึ่งในระบบคลองส่งน้ำโดยทั่วไปแล้วความ

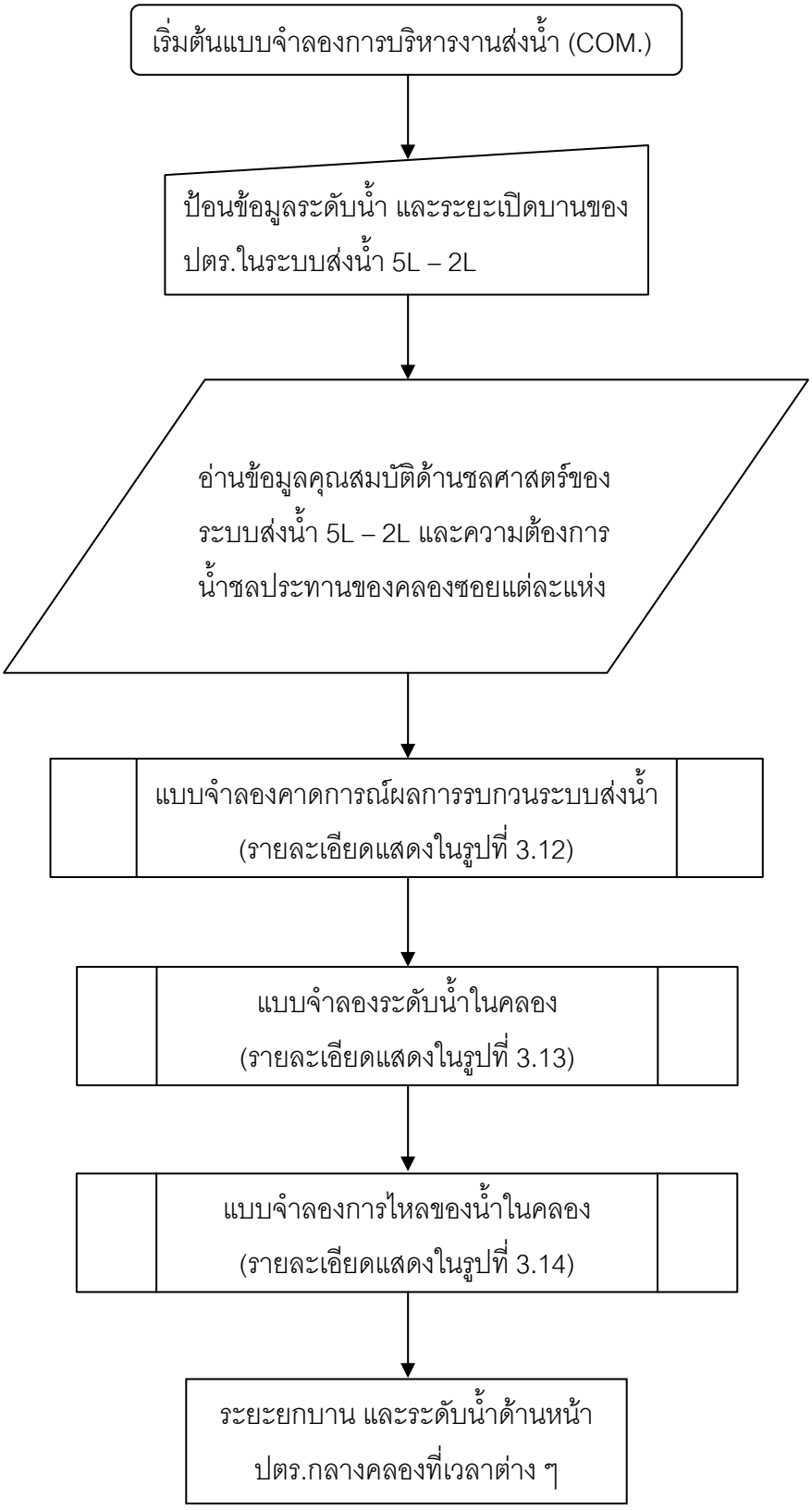
ต้องการน้ำชลประทานจะมีค่าสูงกว่าความต้องการน้ำของพืชเสมอ เนื่องจากการส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำจะมีการสูญเสียน้ำเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ดังนั้นการวิเคราะห์ความต้องการน้ำชลประทานจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์ความต้องการน้ำของพืช และการวิเคราะห์อัตราการสูญเสียน้ำในระบบคลองส่งน้ำ (รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.7.3)

(2) การพัฒนาแบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำของคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model)

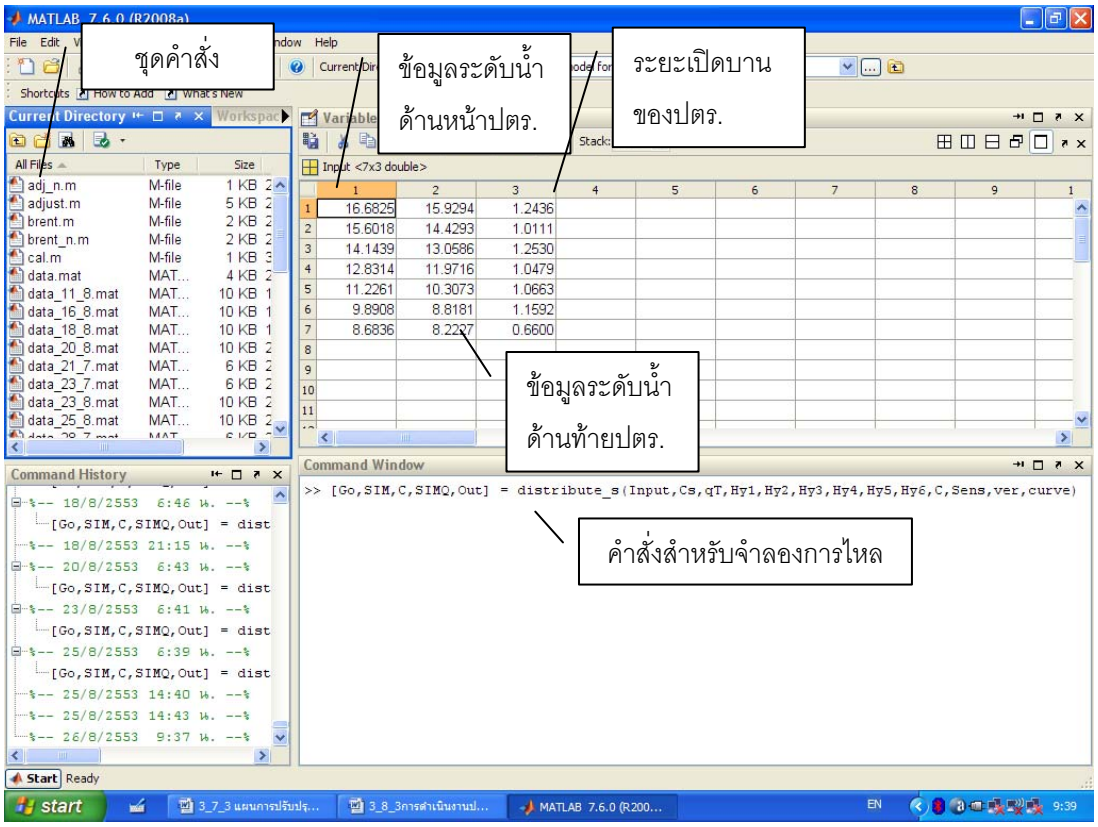
แบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำของคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้จำลองการไหลของน้ำตามเงื่อนไขการปรับบานของอาคารบังคับน้ำกลางคลอง (Cross regulators) เพื่อให้ได้ระดับน้ำด้านหน้าอาคารบังคับน้ำกลางคลองอยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด (Target Water Level, TWL) โดยมีกระบวนการทำงานของแบบจำลองแสดงในรูปที่ 3.15 และมีหน้ากากการป้อนข้อมูล คำสั่งสำหรับจำลองการไหล และผลลัพธ์ของการจำลองการไหลแสดงในรูปที่ 3.16 ซึ่งภายใน COM จะแบ่งออกเป็น 3 แบบจำลองย่อย (Module) ได้แก่ แบบจำลองสำหรับการคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasting perturbation model) แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water surface profile model) และแบบจำลองการไหลของน้ำในคลอง (Unsteady flow model) รายละเอียดอยู่ในหัวข้อ 3.7.3

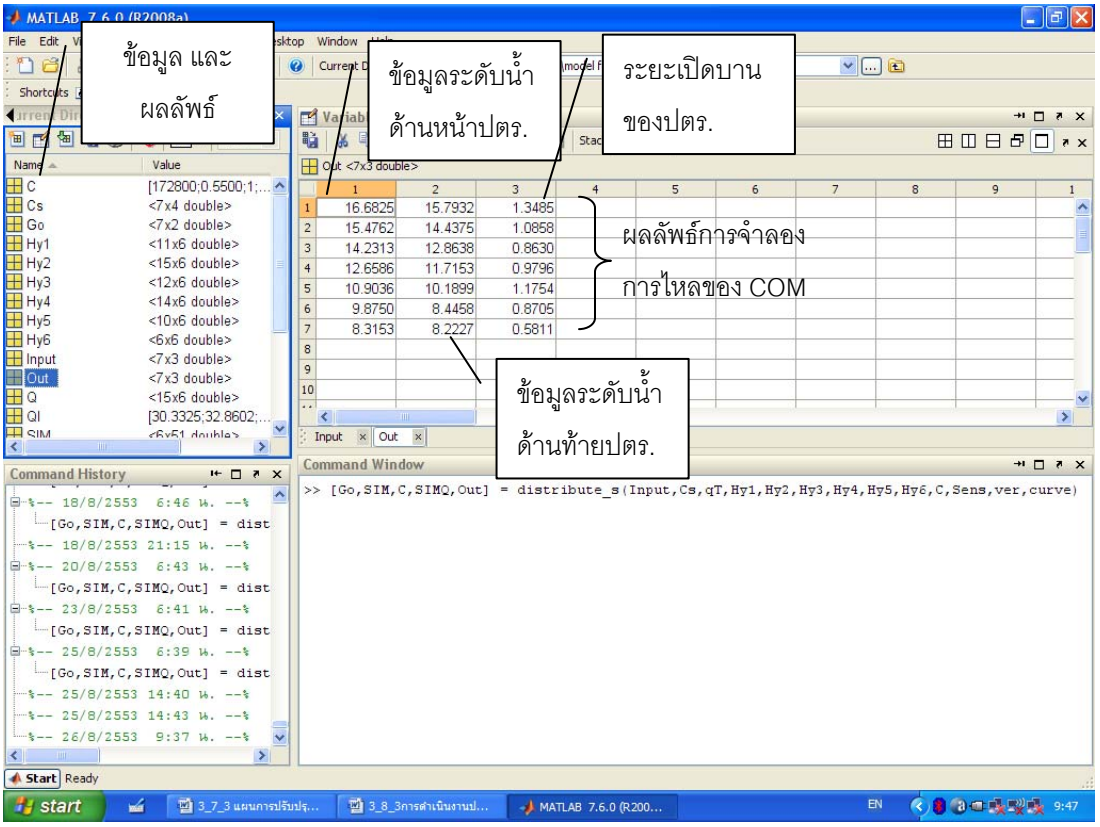
ตารางที่ 3.27 แผนการดำเนินงานปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำคลอง 5L – 2L

ขั้นตอนการดำเนินงาน	กพ.	มีค.	เมย.	พค.	มิย.	กค.	สค.	กย.	ตค.	พย.	ธค.	มค.
1. วิเคราะห์ความต้องการน้ำชลประทาน												
- วิเคราะห์ความต้องการน้ำของพืช												
- วิเคราะห์อัตราการสูญเสียน้ำ												
2. การสร้างแบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำของคลองส่งน้ำ												
- สร้างแบบจำลองสำหรับคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ												
- สร้างแบบจำลองระดับน้ำในคลอง												
- สร้างแบบจำลองการไหลของน้ำในคลอง												
3. ทดสอบและสรุปผลการบริหารงานส่งน้ำตามแบบจำลองที่สร้างขึ้น												



รูปที่ 3.15 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำของคลองส่งน้ำ





รูปที่ 3.16 หน้ากากการป้อนข้อมูล คำสั่ง และผลลัพธ์ของการจำลองการไหลของแบบจำลอง COM

(3) การทดสอบการบริหารงานส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM

การทดสอบผลการบริหารงานส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้น จะทำการทดสอบ 2 ลักษณะคือ (1) การทดสอบความแม่นยำในการคำนวณระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM และ (2) การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการบริหารงานส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM กับการบริหารงานส่งน้ำของโครงการในปัจจุบัน (Existing operation) และการบริหารงานส่งน้ำโดยใช้ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation Model, CAS)

การทดสอบความแม่นยำของระดับน้ำที่คำนวณด้วยแบบจำลอง COM จะใช้ Nash-Sutcliffe efficiency หรือ NSE (วราวุธ, 2553) เพื่อประเมินความสามารถของแบบจำลอง COM ในการทำนายระดับน้ำที่ด้านหน้า ปตร.กลางคลองในระบบส่งน้ำ 5L – 2L

ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำ จะใช้ค่าดัชนี 2 กลุ่ม คือ (1) ดัชนีการควบคุมระดับน้ำ (Water Level Control) จำนวน 4 ตัวได้แก่ Maximum Absolute Error (MAE,%), Integrated Absolute Error (IAE,%), Root Mean Square Error (RMSE, m.) และ Reliability of Water Level Control (RWLC,%) (อุรินทร์ และคณะ, 2552) และ (2) ดัชนีแสดงผลลัพธ์ (Output) ในการส่งน้ำ จำนวน 3 ตัว ได้แก่ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA) ประสิทธิภาพชลประทาน (Efficiency Indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ) (อุรินทร์ และคณะ, 2553)

การทดลองจะทำการแบ่งออกเป็น 5 สิ่งทดลอง (Treatments) โดยในแต่ละสิ่งทดลองจะกำหนดให้มี 5 ซ้ำ (1 ซ้ำ เท่ากับ 1 สัปดาห์) แผนการทดลองแสดงอยู่ในตารางที่ 3.28

Treatment#1 (Existing operation)	หมายถึง การบริหารงานส่งน้ำตามวิธีการควบคุมน้ำที่โครงการใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ การปรับบานอาคารควบคุมของคลอง 5L – 2L สัปดาห์ละ 1 ครั้ง แต่สามารถปรับระหว่างสัปดาห์ได้ตามความจำเป็น
Treatment#2 (COM_NF_3/Week)	หมายถึง การบริหารงานส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM (แบบไม่มีการพยากรณ์ Perturbation) ช่วยคำนวณระยะยกบาน และกำหนดความถี่ในการปรับบานเท่ากับ 3 ครั้ง/สัปดาห์ (วันจันทร์ พุธ และศุกร์)
Treatment#3 (COM_2/Day)	หมายถึง การบริหารงานส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM (แบบมีการพยากรณ์ Perturbation) ช่วยคำนวณระยะยกบาน และกำหนดความถี่ในการ

	ปรับบานเท่ากับ 2 ครั้ง / วัน (07.30 และ 15.30 น.)
Treatment#4 (COM_Day)	หมายถึง การบริหารงานส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM (แบบมีการพยากรณ์ Perturbation) ช่วยคำนวณระยะยกบาน และกำหนดความถี่ในการปรับบานเท่ากับ 1 ครั้ง / วัน (07.30 น.)
Treatment#5 (CAS)	หมายถึง การบริหารงานส่งน้ำโดยใช้ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ในการควบคุมการส่งน้ำ

ตารางที่ 3.28 แผนการทดลองงานปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำคลอง 5L – 2L

	31 พค.53 – 4 กค.53	19 กค.53 – 29 สค.53	30 สค.53 – 3 ตค.53	4 ตค.53 – 11 พย.53	11 เมย.54 – 15 พค.54
Treatment#1 (Existing operation)					
Treatment#2 (COM_NF_3/Week)					
Treatment#3 (COM_ 2/Day)					
Treatment#4 (COM_Day)					
Treatment#5 (CAS)					

หมายเหตุ - วันที่ 5 - 18 กรกฎาคม 2553 ปิดน้ำในคลอง 2L เพื่อซ่อมแซมบานของ ปตร.กลางคลอง กม. 10+300

- วันที่ 9 – 15 สิงหาคม 2553 ปิดน้ำในคลอง 2L เนื่องจากอุบัติเหตุรถยนต์ตกลงในคลอง 2L
- วันที่ 15 พฤศจิกายน 2553 – 15 มกราคม 2554 ปิดน้ำในคลอง 2L ตามนโยบายปรับลดพื้นที่ทำนาปรับครั้งที่ 2 ของกระทรวงเกษตรฯ และเพื่อตัดวงจรเพลี้ยกระโดด
- วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2554 – 10 เมษายน 2554 ติดตั้งระบบคลองอัตโนมัติ และทดสอบระบบ

3.9 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การบริหารงานส่งน้ำของคลอง 5L – 2L

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การบริหารงานส่งน้ำของคลอง 5L – 2L จะทำการเปรียบเทียบทั้งในส่วนของการควบคุมระดับน้ำ (Water Level Control) และผลลัพธ์ (Output Performance) ในการส่งน้ำ

ระหว่างวิธีการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำทั้ง 4 วิธี (รายละเอียดในหัวข้อ 3.8.3) กับวิธีการบริหารงานส่งน้ำในปัจจุบัน โดยใช้ข้อมูลระดับน้ำของช่วงคลองต่าง ๆ สำหรับเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำ และใช้ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยและความต้องการน้ำที่แปลงเพาะปลูก สำหรับเปรียบเทียบผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

จากการทดลองวิธีบริหารคลองส่งน้ำตามแผนการทดลองดังตารางที่ 3.28 ได้ผลการทดลองแสดงในรูปของระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลองของ 5 ช่วงคลอง คือ ช่วงคลองที่ 1 (กม.0+020 - 3+650) ช่วงคลองที่ 2 (กม.3+650 - 9+813) ช่วงคลองที่ 3 (กม.9+813 – 14+750) ช่วงคลองที่ 4 (กม.14+750 – 20+300) และช่วงคลองที่ 5 (กม.20+300 – 26+410) ดังแสดงในรูปที่ 3.17 – 3.21 ซึ่งสามารถอธิบายผลการบริหารคลองส่งน้ำตามวิธีต่าง ๆ แยกเป็นรายช่วงคลองได้ ดังนี้

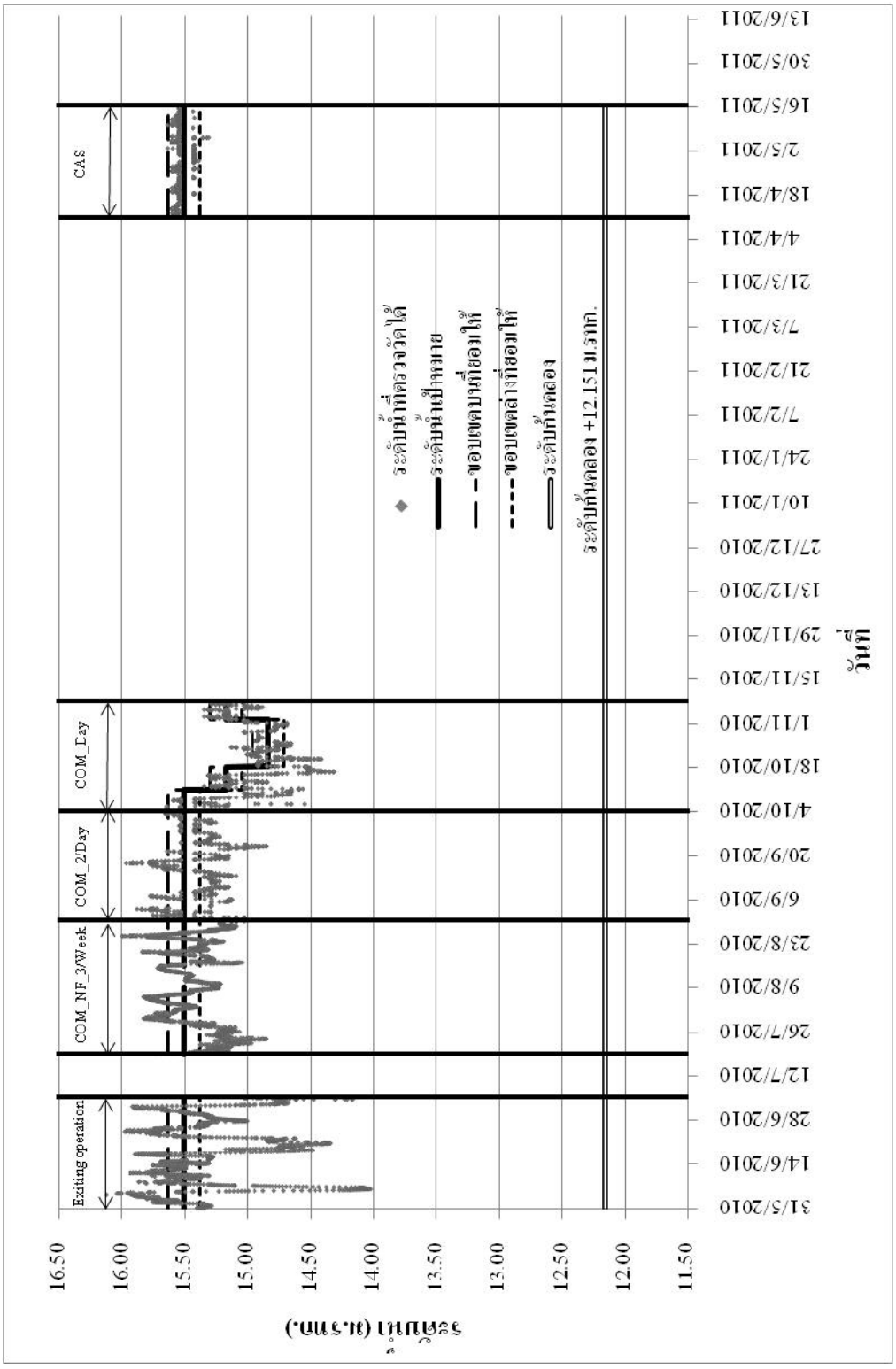
(1) ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 1 (ระหว่างกม.0+020 – 3+650) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลอง กม.3+650 เป็นตัวแทนของระดับน้ำในช่วงคลองที่ 1 วิธีบริหารคลองส่งน้ำแบบ Existing operation ระดับน้ำหน้า ปตร.กลางคลองมีความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมายมากกว่าทุกวิธี และความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่จะเป็นไปในทิศทางต่ำกว่าระดับเป้าหมาย วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด ในภาพรวมวิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีกว่า Existing operation ตามลำดับ ความถี่ในการปรับบานมีผลต่อการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L ดังรูปตามรูปที่ 3.17

(2) ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 2 (ระหว่างกม.3+650 – 9+813) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลอง กม.9+813 เป็นตัวแทนระดับน้ำในช่วงคลองที่ 2 ซึ่งผลการควบคุมระดับน้ำมีลักษณะไม่ต่างจากช่วงคลองที่ 1 คือวิธีบริหารคลองส่งน้ำแบบ Existing operation ระดับน้ำหน้า ปตร. กลางคลอง มีความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมายมากกว่าทุก และความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่จะเป็นไปในทิศทางต่ำกว่าระดับเป้าหมาย วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด ในภาพรวมวิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีกว่า Existing operation ความถี่ในการปรับบานความถี่ในการปรับบานมีผลต่อการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L ดังรูปตามรูปที่ 3.18

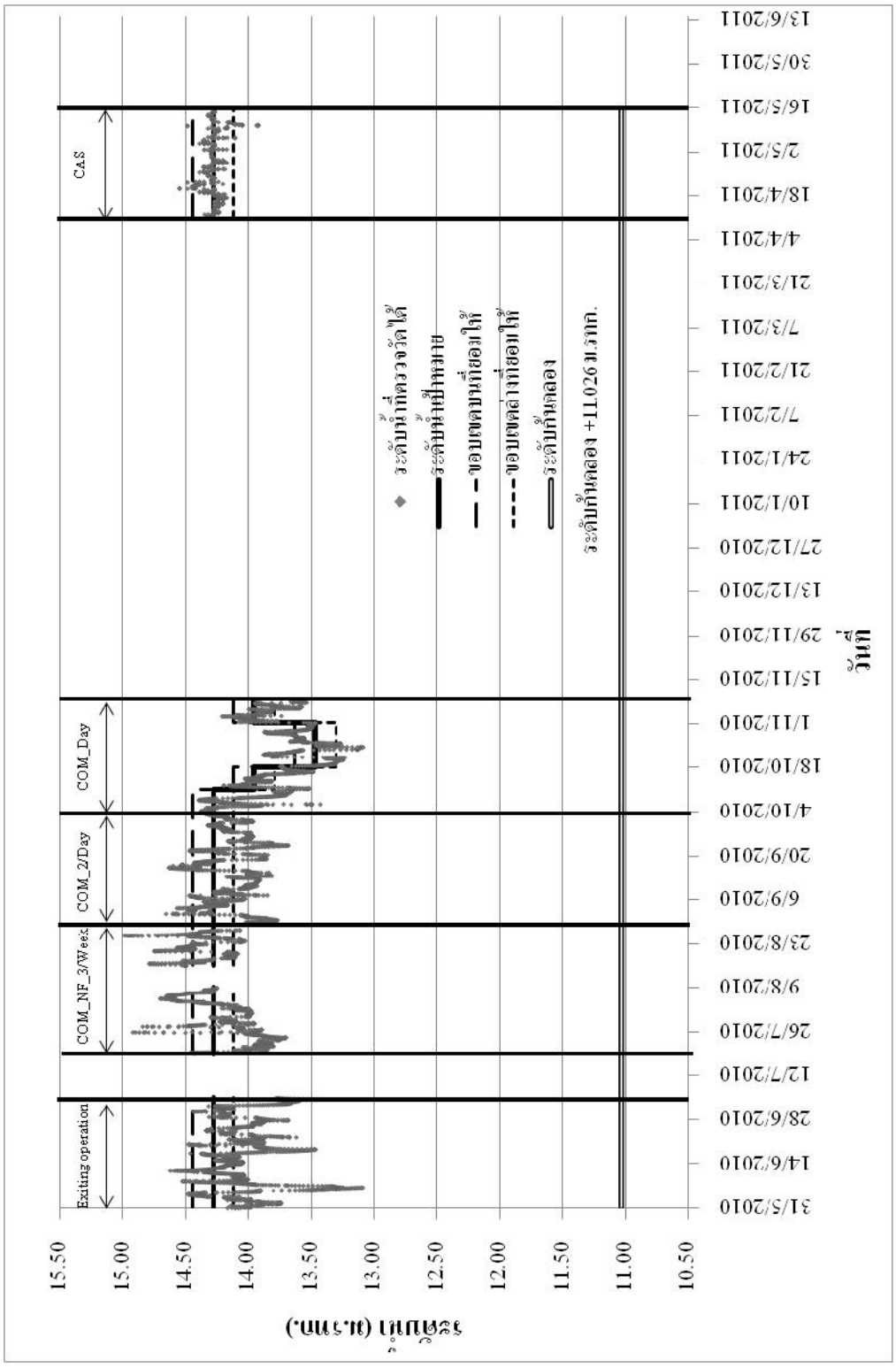
(3) ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 3 (ระหว่างกม.9+813 – 14+750) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลอง กม.14+750 เป็นตัวแทนระดับน้ำในช่วงคลองที่ 3 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด วิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบปกติของโครงการฯ (Existing operation) มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ที่ 3.19 สาเหตุที่ผลการควบคุมระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM ให้ผลไม่แตกต่างจาก Existing operation เนื่องจากเกษตรกรทั้งด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำเข้ามาแทรกแซงการส่งน้ำ โดยทำการปรับบานบังคับน้ำของอาคารควบคุมในช่วงคลองนี้ ด้วยตนเองโดยไม่มีการแจ้งให้เจ้าหน้าที่ทราบ

(4) ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 4 (ระหว่างกม.14+750 – 20+300) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลอง กม.20+300 เป็นตัวแทนระดับน้ำในช่วงคลองที่ 4 วิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด สำหรับวิธีการบริหารคลองส่งน้ำที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบปกติของโครงการฯ (Existing operation) มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.20 สาเหตุที่ผลการควบคุมระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM ให้ผลไม่แตกต่างจาก Existing operation เป็นผลมาจากการที่เกษตรกรเข้าไปปรับบานบังคับน้ำของ ปตร.กลางคลอง กม. 14+750 ด้วยตนเองโดยไม่มีการแจ้งให้เจ้าหน้าที่ทราบ

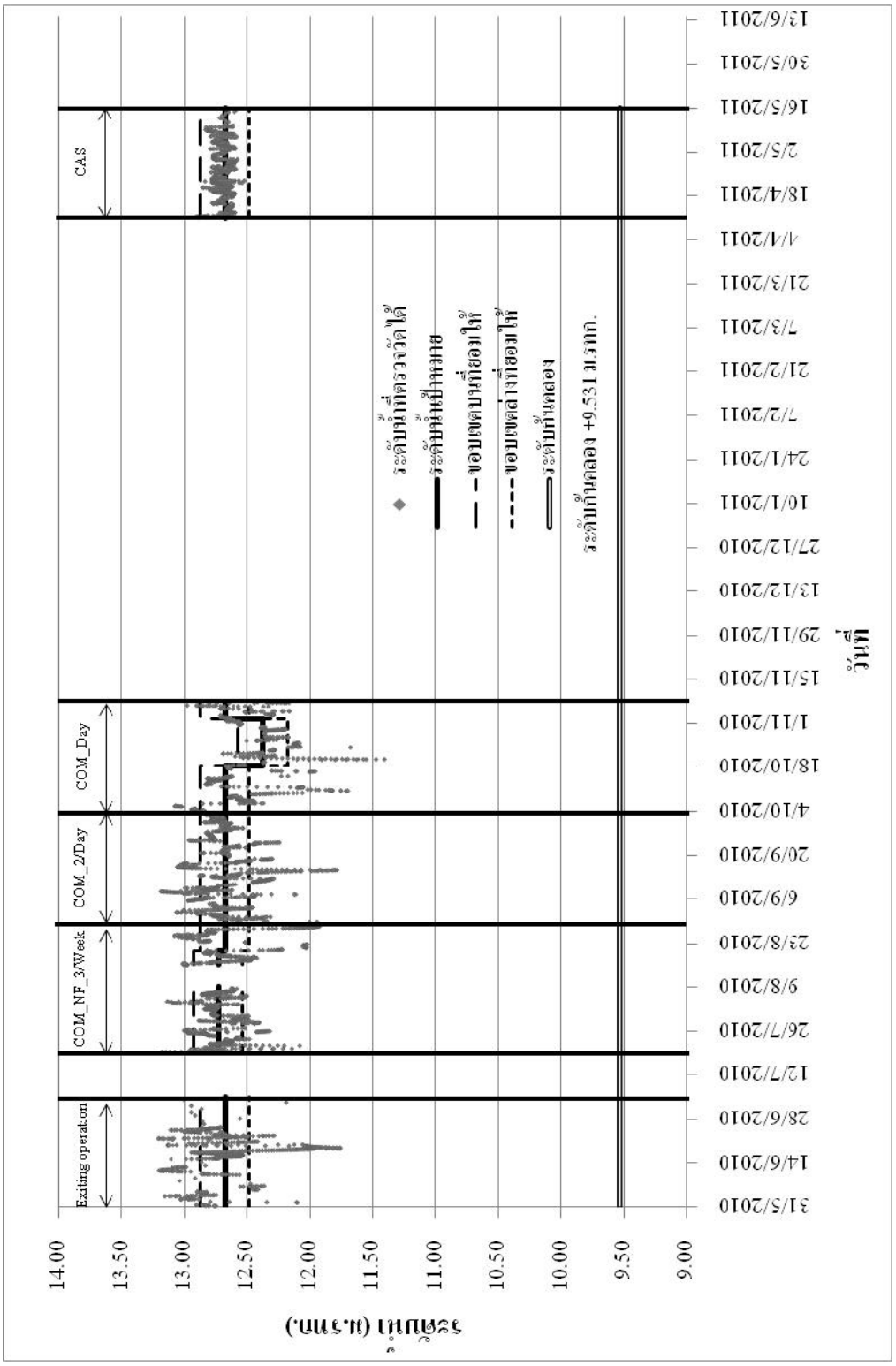
(5) ระดับน้ำในช่วงคลองที่ 5 (ระหว่างกม.20+300 – 26+401) ใช้ระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลอง กม.26+401 เป็นตัวแทนระดับน้ำในช่วงคลองที่ 5 ซึ่งผลการควบคุมระดับน้ำมีลักษณะไม่ต่างจากช่วงคลองที่ 1และ 2 นั่นคือวิธีบริหารคลองส่งน้ำแบบ Existing operation มีความคลาดเคลื่อนจากเป้าหมายมากกว่าทุกวิธี โดยความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่จะเป็นไปในทิศทางต่ำกว่าระดับเป้าหมาย โดยวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีที่สุด ในภาพรวมวิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น (COM_2/Day, COM_Day และ COM_NF_3/Week) สามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ใกล้เป้าหมายได้ดีกว่า Existing operation ความถี่ในการปรับบานความถี่ในการปรับบานมีผลต่อการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L ดังรูปที่ 3.21 หมายเหตุ การบริหารงานส่งน้ำของช่วงคลองที่ 5 ต่างจากช่วงคลองอื่น คือ โครงการมีนโยบายการควบคุมระดับน้ำเป้าหมายให้เปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ เช่น อาจปรับลดน้ำระดับน้ำเป้าหมายเพื่อป้องกันน้ำท่วม หรือเพื่อทำการซ่อมแซมอาคารชลประทาน เป็นต้น



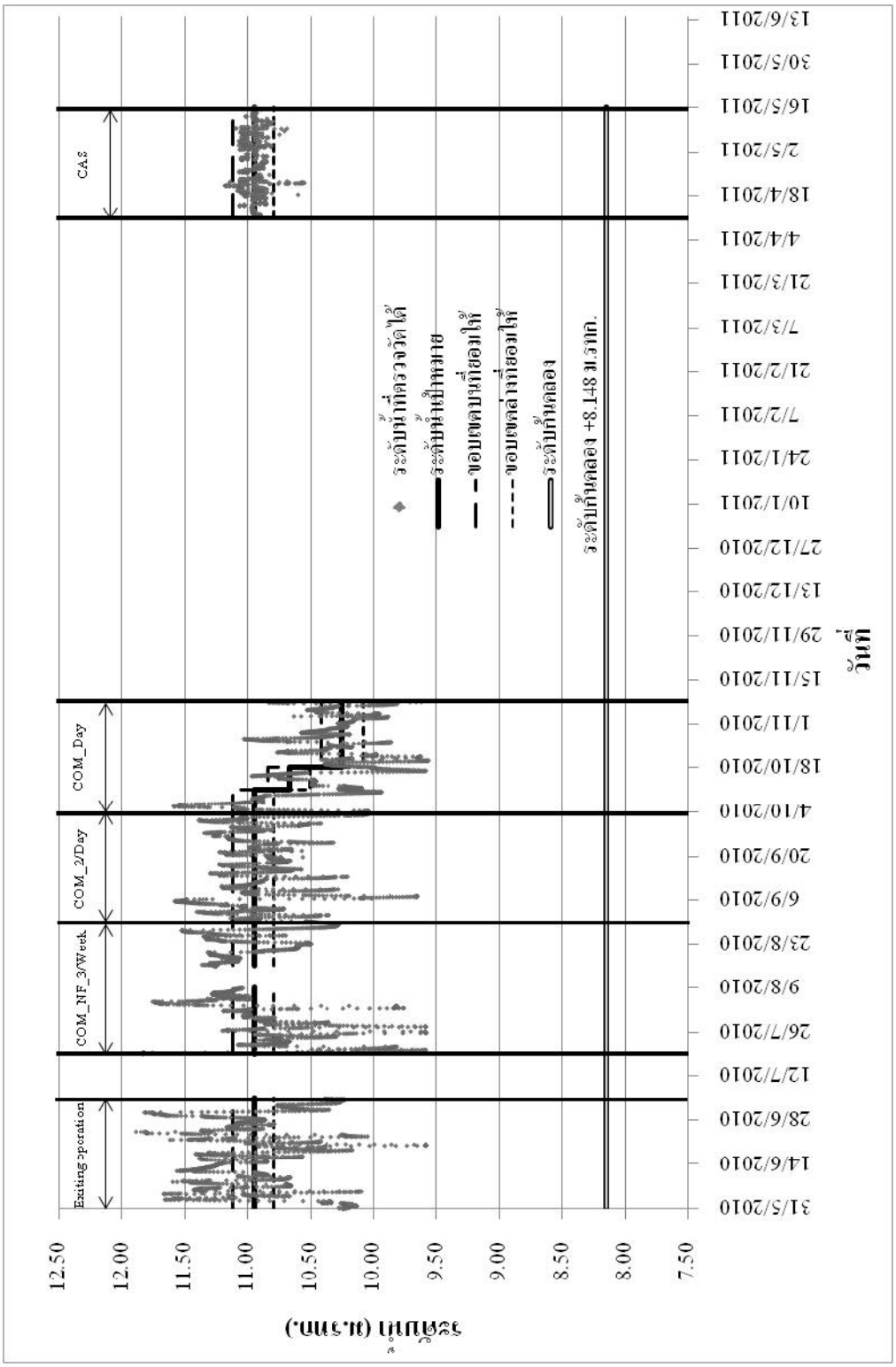
รูปที่ 3.17 ระดับน้ำด้านหน้า ป/ตร.กลางคลอง 5L – 2L กม.3+650 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554



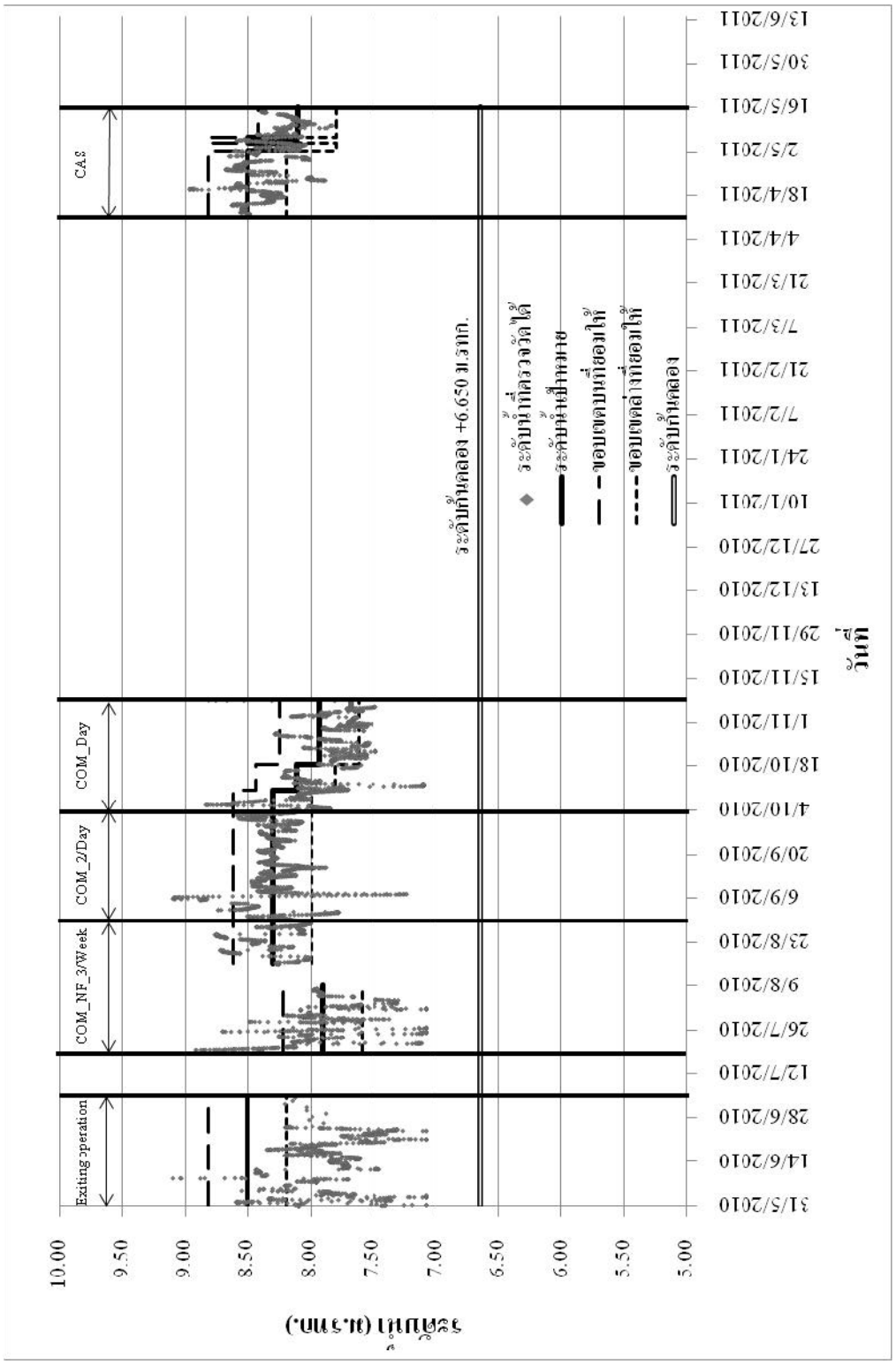
รูปที่ 3.18 ระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลอง 5L – 2L กม.9+813 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554



รูปที่ 3.19 ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.14+750 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554



รูปที่ 3.20 ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.20+300 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554



รูปที่ 3.21 ระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง 5L – 2L กม.26+401 ระหว่างวันที่ 31 พฤษภาคม 2553 – 15 พฤษภาคม 2554

จากผลการทดสอบวิธีการบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 5 วิธี สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยและความต้องการน้ำที่แปลงเพาะปลูก ของทั้ง 5 ช่วงคลอง และสามารถอธิบายผลการส่งน้ำของวิธีต่าง ๆ แยกเป็นรายช่วงคลองได้ ดังนี้

รูปที่ 3.22 แสดงข้อมูลการส่งน้ำในช่วงคลองที่ 1 ซึ่งพบว่าผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ส่ง และความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันมาก ดังนั้นในช่วงคลองที่ 1 ดังนั้นตามหลักแล้วน่าจะเกิดปัญหาเรื่องการบริหารจัดการน้ำในคลองซอย แต่ในทางปฏิบัติช่วงคลองที่ 1 เกษตรกรทุกรายได้รับน้ำอย่างทั่วถึงเนื่องจากในช่วงคลองนี้มีอ่างพักน้ำไว้ในคลองซอย 3 แห่ง ซึ่งใช้เป็นแหล่งสำรองน้ำทั้งในกรณีน้ำมากเกินความต้องการและการขาดแคลนน้ำได้อย่างดี

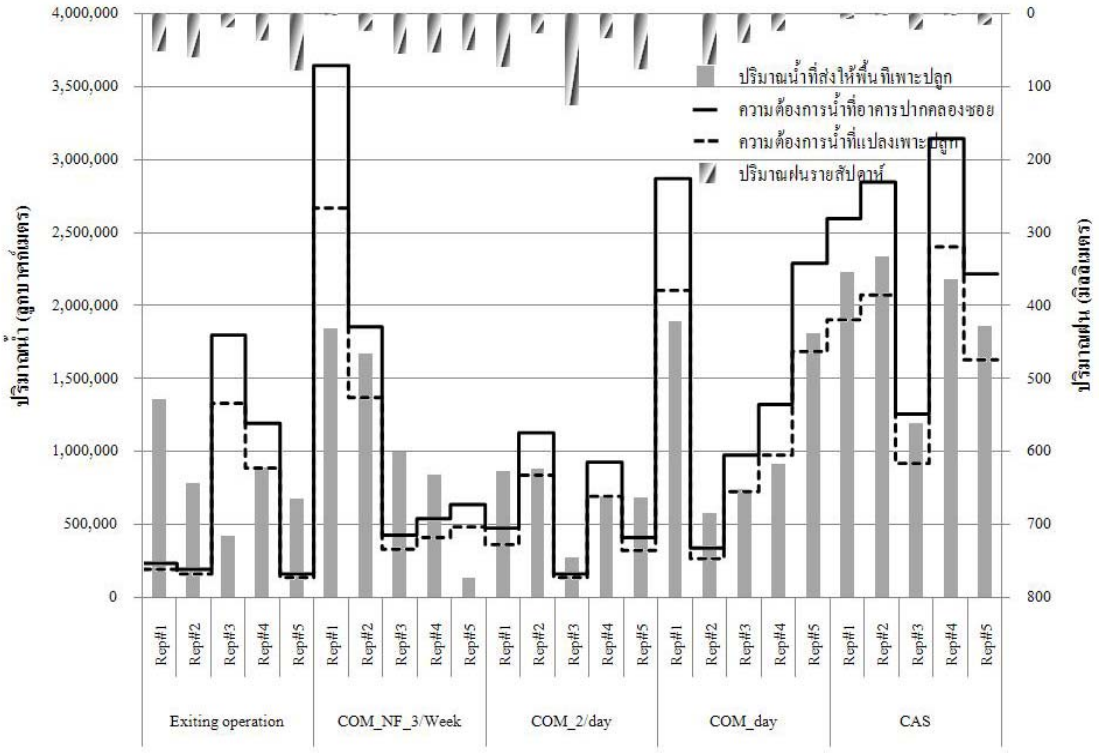
รูปที่ 3.23 แสดงข้อมูลการส่งน้ำในช่วงคลองที่ 2 ซึ่งพบว่าผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ส่ง และความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ใกล้เคียงกับในช่วงคลองที่ 1 แต่เนื่องจากในช่วงคลองที่ 2 ไม่มีอ่างพักน้ำดังนั้นจึงมีการปรับบานที่อาคารปากคลองซอยถี่กว่าในช่วงคลองที่ 1 ทำให้ผลต่างระหว่างผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ส่ง และความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยน้อยกว่าในช่วงคลองที่ 1

รูปที่ 3.24 แสดงข้อมูลการส่งน้ำในช่วงคลองที่ 3 ซึ่งพบว่าปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกสูงกว่าความต้องการน้ำค่อนข้างมาก เนื่องจากในช่วงคลองที่ 3 อาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยชำรุดไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารได้ ดังนั้นอัตราการไหลผ่านอาคารจึงค่อนข้างคงที่ การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในคลอง 5L-2L ด้านหน้าอาคาร

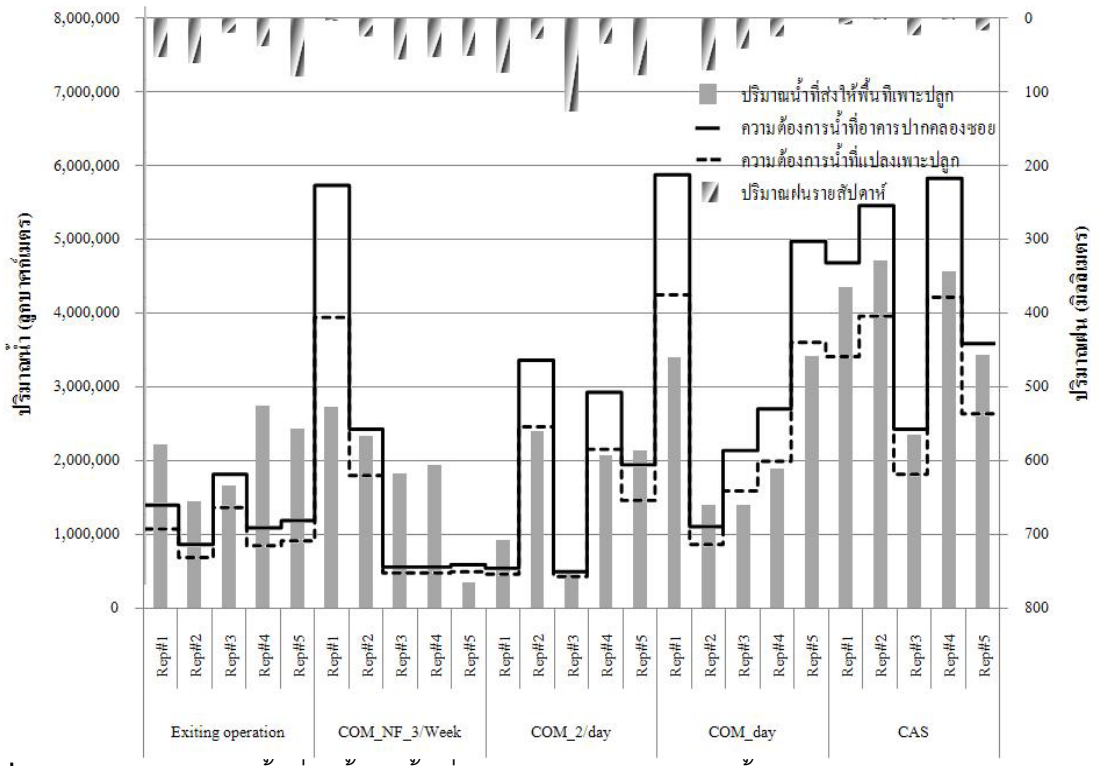
รูปที่ 3.25 แสดงข้อมูลการส่งน้ำในช่วงคลองที่ 4 ซึ่งพบว่าผลต่างระหว่างปริมาณน้ำที่ส่ง และความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยในแต่ละสัปดาห์มีความแตกต่างกันไม่มาก เนื่องจากในช่วงคลองที่ 4 เจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารปากคลองซอยจะทำการปรับอัตราการไหลผ่านอาคารทุกวันตอนเช้า ตามผลการส่งน้ำในแต่ละวัน ดังนั้นในช่วงคลองที่ 4 ปริมาณน้ำที่ส่งให้พื้นที่เพาะปลูกจะสอดคล้องกับความต้องการน้ำจริงมากที่สุด

รูปที่ 3.26 แสดงข้อมูลการส่งน้ำในช่วงคลองที่ 5 ซึ่งพบว่าในช่วงระหว่างวันที่ 4 ตุลาคม 2553 (Rep#1; COM_Day) – วันที่ 7 พฤศจิกายน 2553 (Rep#5; COM_Day) ช่วงคลองที่ 5 ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกน้อยกว่าความต้องการน้ำที่อาคารปากคลองซอยในแต่ละสัปดาห์ตลอด เนื่องจากพื้นที่เพาะปลูกบริเวณปลายคลองซอยในช่วงคลองที่ 5 (3R – 5L – 2L) และพื้นที่เพาะปลูกด้านท้ายช่วงคลองที่ 5 เกิด

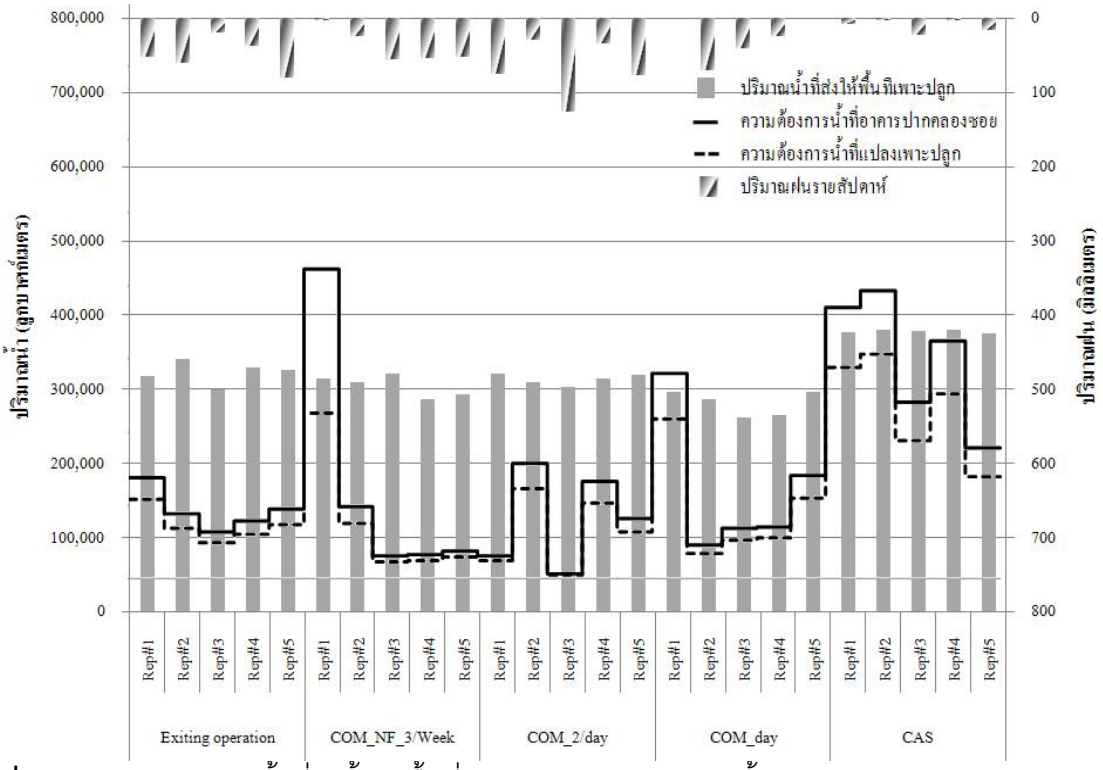
ปัญหาน้ำท่วมขังเป็นบริเวณกว้าง และไม่สามารถระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้ เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวเป็นแอ่งกระทะประกอบกับระดับน้ำในคลองระบายน้ำสูงมาก จึงต้องมีการปรับลดอัตราการไหลในช่วงคลองที่ 5 ลงเพื่อลดปริมาณน้ำที่เข้าไปสะสมในบริเวณดังกล่าว



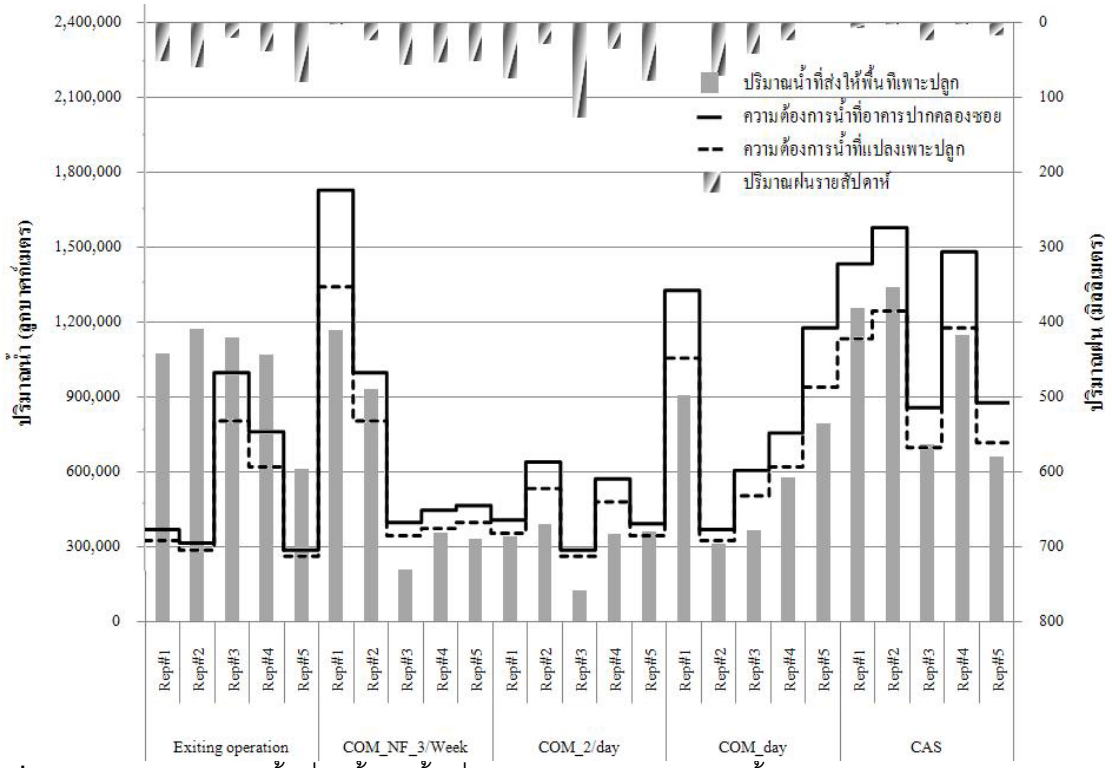
รูปที่ 3.22 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 1



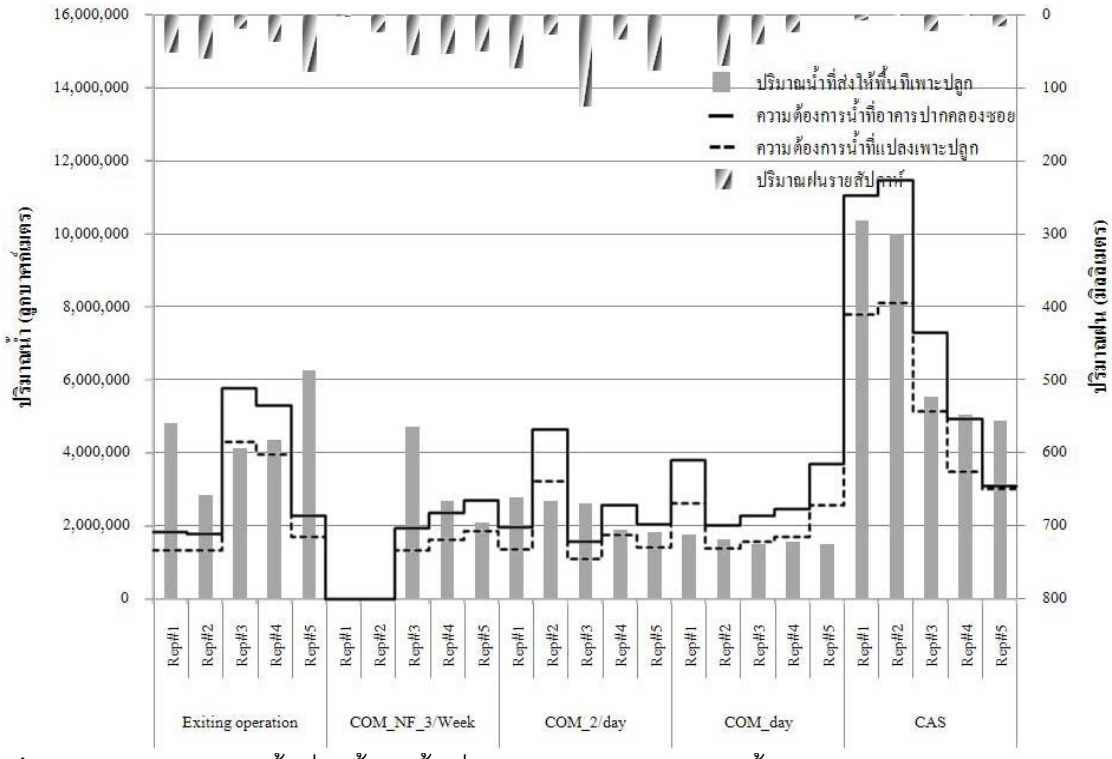
รูปที่ 3.23 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 2



รูปที่ 3.24 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 3



รูปที่ 3.25 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 4



รูปที่ 3.26 ข้อมูลปริมาณน้ำที่ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก ความต้องการน้ำ ณ จุดต่าง ๆ และปริมาณฝนรายสัปดาห์ในช่วงคลองที่ 5

3.9.1 **ผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำในคลอง** 5L – 2L

การประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำต่าง ๆ จะใช้ดัชนีประเมินผลสัมฤทธิ์ด้านการควบคุมระดับน้ำจำนวน 3 ดัชนี ประกอบด้วย ดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (Maximum Absolute Error, MAE) ดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Integrated Absolute Error, IAE) และดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ (Reliability of Water Level Control, RWLC) โดยการนิยามความหมายค่าดัชนีจากเกณฑ์การประเมินโดย RAP (Burt, 2001; วราวุธ, 2550) เพื่อให้ผลการประเมินเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และสะดวกในการพิจารณาผลการประเมิน

(1) **ดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด** (Maximum Absolute Error, MAE)

ค่าดัชนี MAE บอกถึงความคลาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำจากเป้าหมายสูงสุด ทั้งสูงกว่า และต่ำกว่าเป้าหมาย ต่อความลึกของน้ำในคลองที่กำหนด ดังสมการ ค่าดัชนี MAE แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ดี พอใช้ และต้องปรับปรุง เกณฑ์การแปลความหมายจากค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE) กำหนดจากเกณฑ์การควบคุมระดับน้ำในคลอง และคุณสมบัติของคลองส่งน้ำ ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลอง	ความสามารถในการควบคุมระดับน้ำ
อยู่ระหว่างระดับน้ำใช้การในคลองซอย-ระดับน้ำสูงสุดในคลองสายใหญ่ (สามารถควบคุมการส่งน้ำเข้าคลองซอยได้ดี)	ดี
อยู่ระหว่างระดับธรณีปากคลองซอย-ระดับตลิ่งของคลองสายใหญ่ (ยังสามารถส่งน้ำเข้าคลองซอยได้)	พอใช้
ต่ำกว่าระดับธรณีปากคลองซอย หรือสูงกว่าระดับตลิ่งของคลองสายใหญ่ (ไม่สามารถส่งน้ำเข้าคลองซอยได้)	ต้องปรับปรุง

เนื่องจากแต่ละช่วงคลองมีคุณสมบัติของอาคาร และเป้าหมายในการควบคุมระดับน้ำที่แตกต่างกัน ทำให้เกณฑ์การกำหนดความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE) แตกต่างกันไปตามช่วงคลอง ดังตารางที่ 3.29

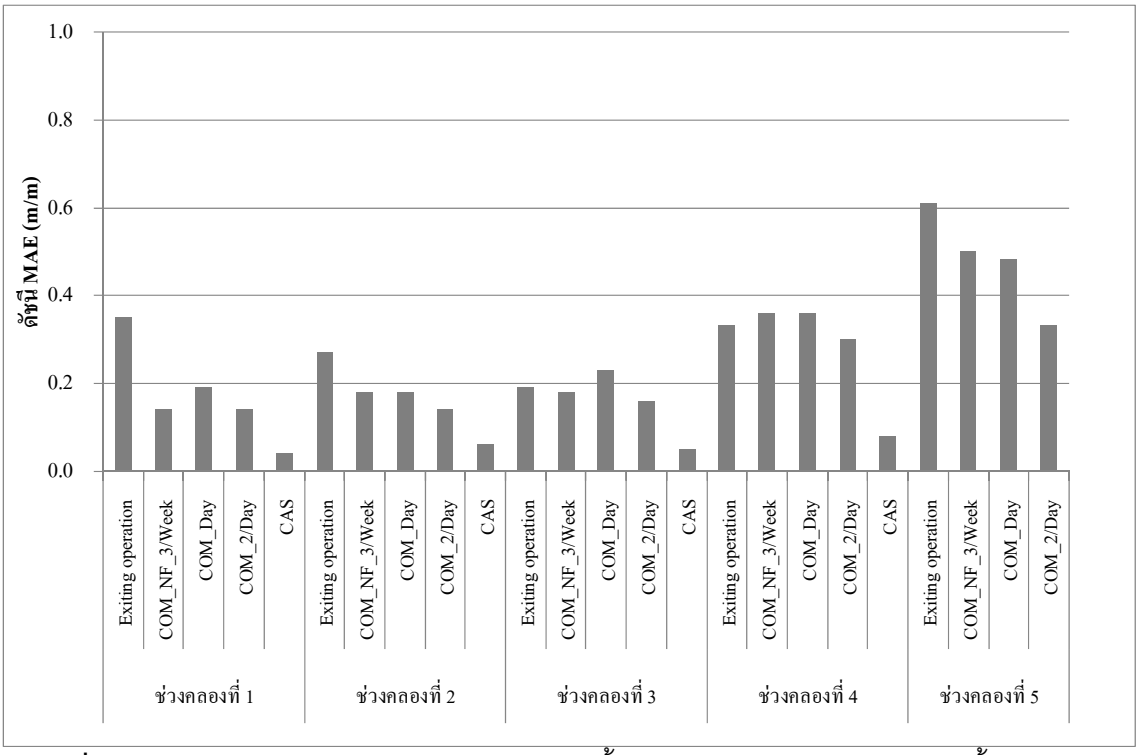
ตารางที่ 3.29 ความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุด (MAE)

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 – 0.42	≥ 0.41
ช่วงคลองที่ 3	≤ 0.17	0.20 – 0.42	≥ 0.38
ช่วงคลองที่ 4	≤ 0.18	0.20 – 0.42	≥ 0.41
ช่วงคลองที่ 5	≤ 0.25	0.20 – 0.42	≥ 0.58

จากผลการประเมินตามตารางที่ 3.30 และรูปที่ 3.27 พบว่า ค่าดัชนี MAE ของคลอง 5L – 2L ที่ใช้วิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) มีค่า MAE เท่ากับ 0.10 เมตร/เมตร อยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำด้วยวิธีอื่น ๆ ให้ค่าดัชนี MAE ระหว่าง 0.21-0.35 ซึ่งว่าอยู่ในเกณฑ์พอใช้ นอกจากนี้ยังพบว่าค่า MAE เพิ่มขึ้นจากช่วงคลองเหนือน้ำไปยังช่วงคลองท้ายน้ำ เนื่องจากระดับน้ำในช่วงคลองท้ายน้ำจะได้รับผลกระทบจากการปรับบาน ปตร. กลางคลอง ที่อยู่ด้านเหนือน้ำ เพื่อรักษาระดับน้ำในช่วงคลองนั้น ๆ

ตารางที่ 3.30 ค่าดัชนี MAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี MAE (m/m)						
	ช่วงคลอง					5L – 2L	ความหมาย
	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



รูปที่ 3.27 ดัชนี MAE ตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

(2) **ดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย** (Integrated Absolute Error, IAE)

ค่าดัชนี IAE บอกถึงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการควบคุมระดับน้ำจากเป้าหมาย ทั้งสูงกว่าและต่ำกว่าเป้าหมาย ต่อความลึกของน้ำในคลองที่กำหนด ค่าดัชนี IAE แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ดี พอใช้ และต้องปรับปรุง เกณฑ์การแปลความหมายจากค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE) พัฒนาจากเกณฑ์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำตามที่เสนอแนะไว้ใน Rapid Appraisal Process (RAP) ดังสมการที่ 3.48

$$\text{อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ} = \frac{\text{การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลองในคลองสายใหญ่}}{\text{ผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและท้ายน้ำของอาคารปากคลองซอย}} \qquad 3.48$$

โดยกำหนดเกณฑ์การพิจารณา ดังนี้

อัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำ
<0.20	ดี
0.20-0.50	พอใช้
>0.5	ต้องปรับปรุง

จากอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่กำหนด จะสามารถกำหนดเกณฑ์ของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE) ซึ่งแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติของอาคารในแต่ละช่วงคลอง ดังตารางที่ 3.31

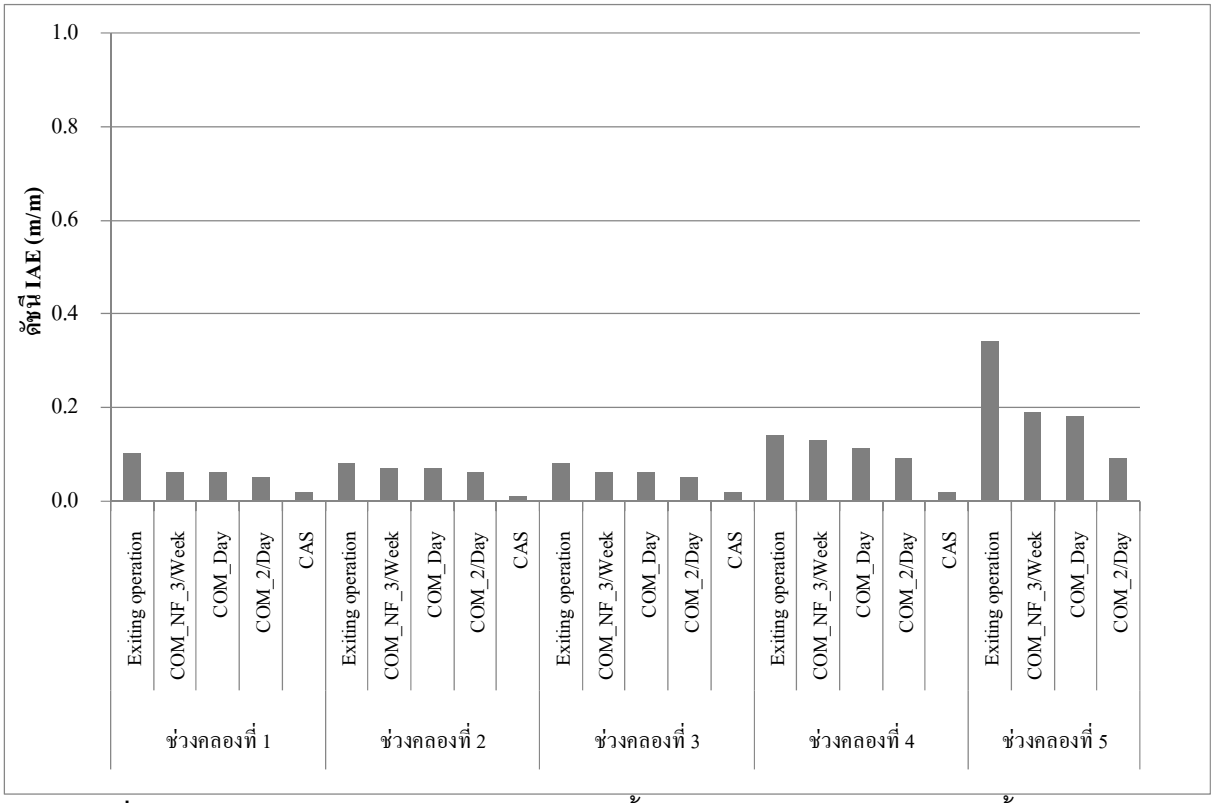
ตารางที่ 3.31 ความหมายของค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (IAE)

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

จากผลการประเมินตามตารางที่ 3.32 และรูปที่ 3.28 พบว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ที่ให้ค่าดัชนี IAE ของคลอง 5L – 2L อยู่ในเกณฑ์ดี (IEA = 0.03 เมตร/เมตร) วิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์ทั้ง 3 แบบ คือ COM_NF_3/Week, COM_Day และ COM_2/Day ให้ค่า IAE ระหว่าง 0.07-0.10 เมตร/เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำตามปกติของโครงการ (Existing operation) ซึ่งให้ค่าดัชนี IAE เท่ากับ 0.15 เมตร/เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง ระบบคลองอัตโนมัติสามารถลดความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยรายสัปดาห์ได้ถึง 0.12 เมตร/เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีบริหารคลองส่งน้ำตามปกติ

ตารางที่ 3.32 ค่าดัชนี IAE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี IAE (m/m)						
	ช่วงคลอง					5L – 2L	ความหมาย
	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



รูปที่ 3.28 ดัชนี IAE ตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

(3) **ดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ** (Reliability of Water Level Control, RWLC)

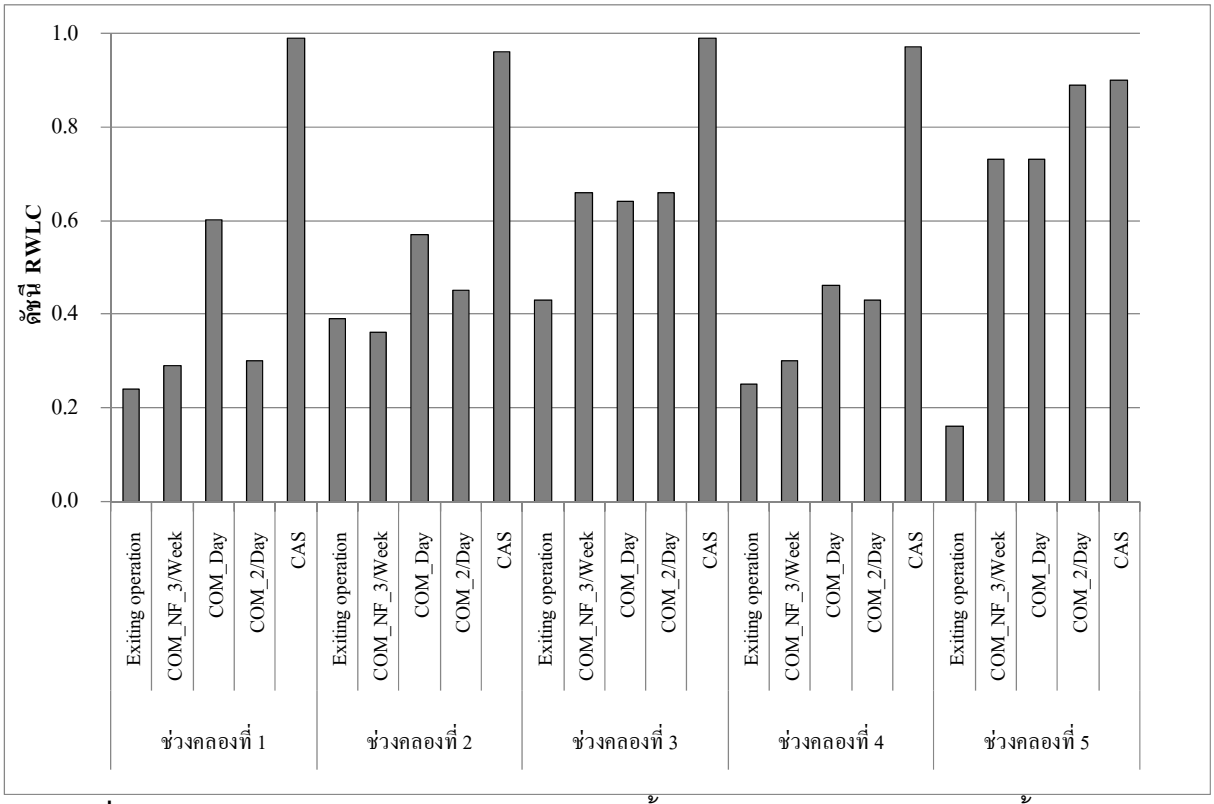
ค่าดัชนี RWLC บอกถึงความสามารถในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในเป้าหมาย โดยกำหนดช่วงควบคุม (Tolerance) ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองสายใหญ่จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเข้าคลองซอยไม่เกิน $\pm$10% เกณฑ์การแปลความหมายจากค่าดัชนีความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ กำหนดตามแนวทางการควบคุมการส่งน้ำที่กำหนดไว้ใน Rapid Appraisal Process (RAP) ดังนี้

ความสามารถในการควบคุมระดับน้ำให้อยู่ในเป้าหมาย	ความน่าเชื่อถือของการควบคุมระดับน้ำ
มากกว่าร้อยละ 80	ดี
อยู่ระหว่างร้อยละ 51-79	พอใช้
น้อยกว่าร้อยละ 50	ต้องปรับปรุง

ผลการคำนวณค่าดัชนี RWLC แสดงในตารางที่ 3.33

ตารางที่ 3.33 ค่าดัชนี RWLC ±10%qของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L-2L

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี RWLC ±10%q (%)						
	ช่วงคลอง					5L – 2L	ความหมาย
	1	2	3	4	5		
Existing operation	0.24	0.39	0.43	0.25	0.16	0.29	ต้องปรับปรุง
COM_NF_3/Week	0.29	0.36	0.66	0.30	0.73	0.47	ต้องปรับปรุง
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



รูปที่ 3.29 ดัชนี RWLC ตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

จากผลการประเมินตามตารางที่ 3.33 รูปที่ 3.29 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ 5L-2L โดยใช้ระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) ให้ค่าดัชนี RWLC เท่ากับ 0.96 แสดงว่า CAS มีความน่าเชื่อถือในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าคลองซอยให้เปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±10% อยู่ในเกณฑ์ดี วิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลองคอมพิวเตอร์แบบ COM_Day และแบบ COM_2Day ให้ค่าดัชนี RWLC ระหว่าง 0.55-

0.60 แสดงว่ามีความน่าเชื่อถือในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าคลองซอยอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ส่วนวิธีการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้ COM_NF_3/Week และวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบปกติของโครงการ (Existing operation) ให้ค่าดัชนี RWLC ระหว่าง 0.29-0.47 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง

3.9.2 ผลลัพธ์ในการบริหารงานส่งน้ำของระบบคลอง 5L – 2L

การประเมินผลลัพธ์ (Output Performance) ในการส่งน้ำของคลอง 5L-2L โดยวิธีการบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 5 วิธี ตามที่กล่าวมาแล้ว ได้ใช้ดัชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ 3 ดัชนี คือ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA) ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทาน (Efficiency Indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ) โดยใช้แนวทางการประเมินที่เสนอแนะโดย Molden and Gate (1990) ดังนี้

ตารางที่ 3.34 เกณฑ์การจำแนกค่าดัชนีผลลัพธ์ในการส่งน้ำ

ดัชนี	การจำแนกผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Performance Class)		
	ดี (Good)	พอใช้ (Fair)	ต้องปรับปรุง (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	0.90 – 1.00	0.75 – 0.89	<0.75

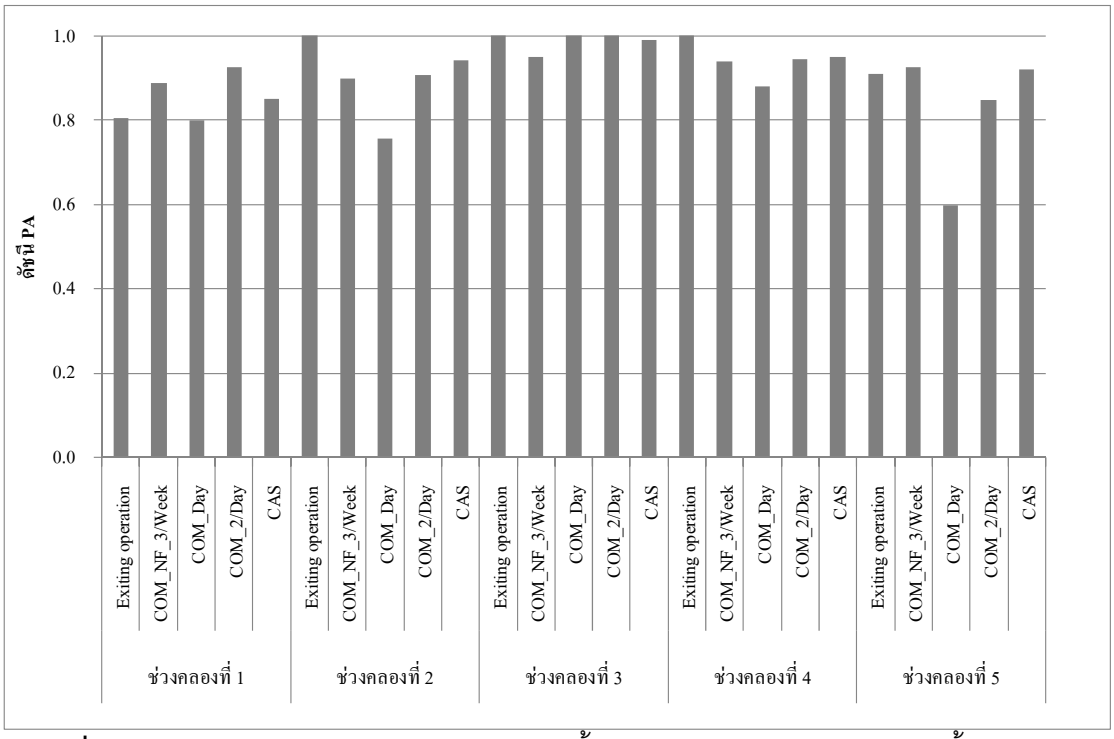
ที่มา: ปรับปรุงจาก Molden and Gate (1990)

(1) ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA)

ดัชนีความเพียงพอ (PA) เป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงสมรรถนะในการส่งน้ำของระบบส่งน้ำในการตอบสนองต่อความต้องการน้ำของพืช ถ้าค่าดัชนีความเพียงพอมีค่ามากกว่า 0.90 แสดงว่าระบบส่งน้ำมีความสามารถในการส่งน้ำตอบสนองความต้องการน้ำของพืชอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ถ้า PA ต่ำกว่า 0.80 แสดงว่าต้องปรับปรุงวิธีการส่งน้ำ ผลการคำนวณค่าดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำทั้ง 5 แบบที่ทดสอบแสดงในตารางที่ 3.35 และรูปที่ 3.30

ตารางที่ 3.35 ค่าดัชนี PA ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L-2L

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี PA						
	ช่วงคลอง					5L – 2L	ความหมาย
	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



รูปที่ 3.30 ดัชนี PA ตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

จากผลการประเมินตามตารางที่ 3.35 รูปที่ 3.30 พบว่า วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ CAS, COM_2/Day, COM_NF_3/Week และ Existing operation ให้ค่าดัชนี PA ของคลอง 5L – 2L มากกว่า 0.90 ซึ่งแสดงว่าความเพียงพอในการส่งน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนวิธี COM_Day ให้ค่าดัชนี PA เท่ากับ 0.81 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงคลองที่ 5 ค่า PA ของวิธี COM_Day มีค่าเพียง 0.60 เนื่องจากในช่วงที่ทดสอบวิธีการบริหารคลองแบบ COM_Day พื้นที่เพาะปลูกบริเวณปลายคลองซอย

ในช่วงคลองที่ 5 (3R – 5L – 2L) และพื้นที่เพาะปลูกด้านท้ายช่วงคลองที่ 5 เกิดน้ำท่วมขังเป็นบริเวณกว้าง และไม่สามารถระบายน้ำออกจากพื้นที่ได้ เนื่องจากพื้นที่บริเวณดังกล่าวเป็นแอ่งกระทะประกอบกับระดับน้ำคลองระบายน้ำสูงมาก จึงต้องมีการปรับลดอัตราการไหลในช่วงคลองที่ 5 ลงเพื่อลดปริมาณน้ำที่เข้าไปสะสมในบริเวณดังกล่าว และมีผลทำให้ดัชนีความเพียงพอในการส่งน้ำของวิธี COM_Day ต่ากว่าวิธีอื่น

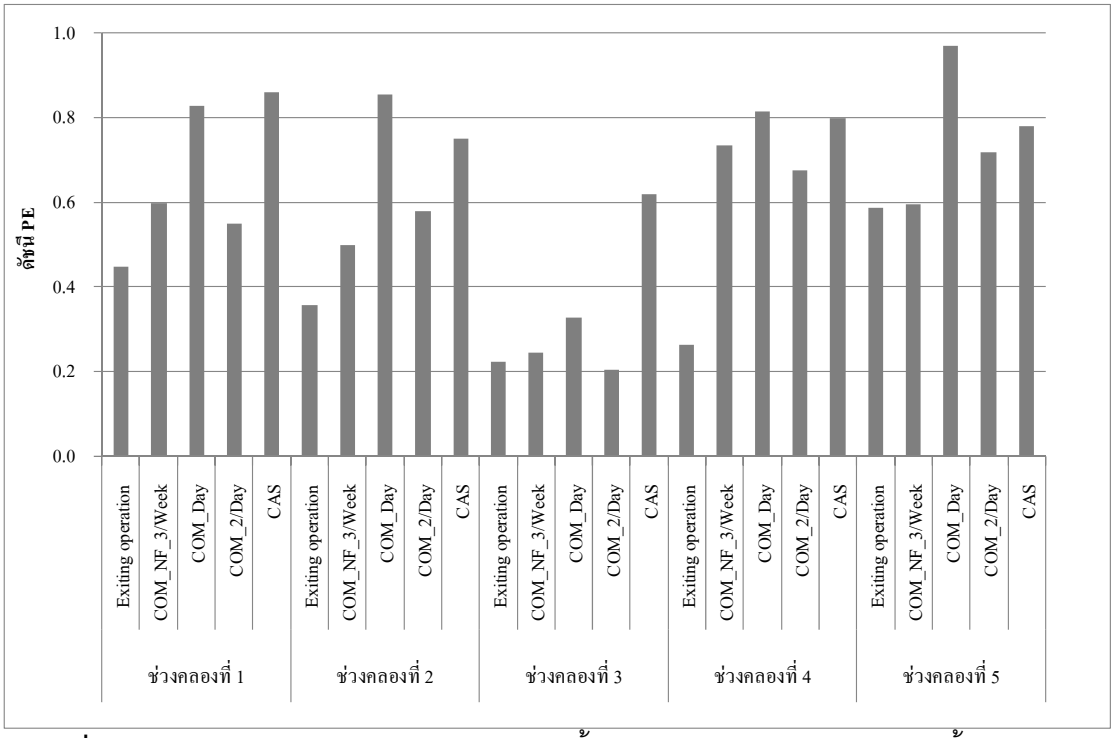
(2) **ดัชนีประสิทธิภาพ** (Efficiency Indicator, PE)

ดัชนีประสิทธิภาพ (PE) เป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงความมีประสิทธิภาพการทำงานของระบบส่งน้ำ ตามเกณฑ์ที่ Molden and Gate (1990) เสนอไว้ ถ้าค่าดัชนี PE มากกว่า 0.85 แสดงว่าประสิทธิภาพของการบริหารคลองอยู่ในเกณฑ์ดี หรือเกิดการสูญเสียน้ำน้อย ถ้า PE ต่ำกว่า 0.70 แสดงว่ามีการสูญเสียน้ำมาก ต้องปรับปรุงวิธีการบริหารคลองส่งน้ำ

ค่าดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลอง 5L-2L ทั้ง 5 วิธีที่ทดลอง แสดงอยู่ในตารางที่ 3.36 และรูปที่ 3.31 ซึ่งพบว่าไม่มีวิธีไหนอยู่ที่ดัชนีประสิทธิภาพการบริหารคลองส่งน้ำอยู่ในเกณฑ์ดีเลย วิธี CAS และวิธี COM_Day มีค่า PE เท่ากับ 0.74 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ขณะที่วิธีอื่น คือ COM_2/Day, COM_NF_3/Week และวิธี Existing operation ดัชนีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 0.38-0.54 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง การที่วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day ให้ค่าดัชนี PE สูงกว่า วิธี COM_2/Day เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวโครงการมีนโยบายปรับลดน้ำเข้าสู่ระบบคลอง 5L-2L เพื่อลดปริมาณน้ำที่อาจไหลออกจากระบบคลองส่งน้ำไปเติมในพื้นที่น้ำท่วมขัง และเมื่อเปรียบเทียบค่า PE ในแต่ละช่วงคลองพบว่าช่วงคลองที่ 3 มีค่าดัชนี PE ต่ำที่สุด เนื่องจากช่วงคลองดังกล่าวไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารปากคลองซอยได้

ตารางที่ 3.36 ค่าดัชนี PE ของวิธีการบริหารคลองส่งน้ำในระบบคลองส่งน้ำ 5L-2L

วิธีการบริหารคลองส่งน้ำ	ค่าดัชนี PE						
	ช่วงคลอง					5L – 2L	ความหมาย
	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



รูปที่ 3.31 ดัชนี PE ตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

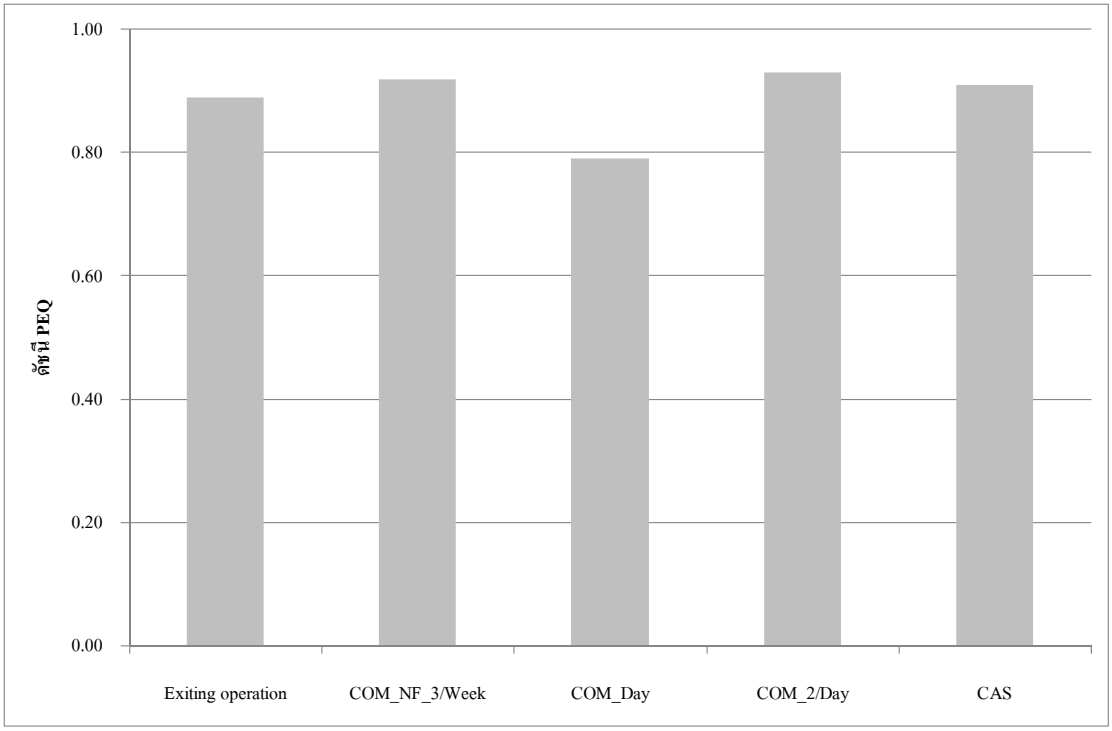
(3) **ดัชนีความเป็นธรรม** (Equity Indicator, PEQ)

ดัชนีความเป็นธรรม (PEQ) เป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงสมรรถนะในการกระจายน้ำจากคลอง 5L-2L เข้าสู่ระบบคลองซอยอย่างทั่วถึงและเป็นธรรม ถ้าค่า PEQ มากกว่า 0.90 แสดงว่าผลลัพธ์ในการบริหารคลองส่งน้ำมีความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี ถ้า PEQ ต่ำกว่า 0.75 แสดงว่าการส่งน้ำยังไม่เป็นธรรม ต้องปรับปรุง

ผลการประเมินค่า PEQ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.37 และรูปที่ 3.32 พบว่าวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ CAS, COM_2/Day และ COM_NF_3/Week มีค่า PEQ อยู่ระหว่าง 0.91-0.93 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนวิธี COM_Day และ Existing operation มีค่า PEQ ระหว่าง 0.79-0.89 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ การที่วิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบ COM_Day ให้ค่าดัชนี PEQ ต่ำกว่าวิธีอื่น เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวโครงการมีนโยบายเก็บกักน้ำไว้ในช่วงคลองที่ 1 – 3 และปรับลดน้ำในช่วงคลองที่ 4 และ 5 เพื่อแก้ไขปัญหาน้ำท่วมขังในพื้นที่

ตารางที่ 3.37 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



รูปที่ 3.32 ดัชนี PA ตามวิธีการบริหารคลองส่งน้ำแบบต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ 5L – 2L

4. สรุปและเสนอแนะ

โครงการวิจัยการประเมินและการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำของโครงการขนาดใหญ่ ได้เลือกคลอง 2L ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ฝั่งซ้ายสายที่ 2 ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่เป็นพื้นที่ศึกษา คลอง 2L เป็นคลองขนาดใหญ่ มีขนาดความจุ 121.3 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ยาว 73.9 กิโลเมตร ทำหน้าที่ส่งน้ำให้โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา 3 โครงการ คือโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน สองพี่น้อง และบางเลน ซึ่งมีพื้นที่ชลประทานรวม 797,994 ไร่ พืชหลักในทั้ง 3 โครงการคือข้าวและอ้อย มีบ่อเลี้ยงปลาและกุ้งกระจายในในทั้ง 3 โครงการ การประเมินผลสัมฤทธิ์ใช้วิธีการประเมินผลอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP) ที่พัฒนาโดย FAO (Burt, 2001) ผลการประเมินการส่งน้ำในปี พ.ศ. 2552 ด้วย RAP อยู่ในรูปของดัชนีภายนอกและดัชนีภายใน ดัชนีภายนอกแสดงให้เห็นว่าขนาดความจุคลอง 2L ซึ่งออกแบบโดยใช้ค่าชลภาระ 0.23 ลิตร/วินาที/ไร่ ยังเพียงพอที่จะส่งน้ำได้ตามความต้องการ ประสิทธิภาพการชลประทานของโครงการพนมทวน สองพี่น้องและบางเลน เท่ากับ 43% 58% และ 84% ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการชลประทานที่สูงผิดปกติของโครงการบางเลนอาจไม่ได้เกิดจากการบริหารการส่งน้ำที่มีประสิทธิภาพ แต่อาจเป็นเพราะได้รับน้ำไม่พอ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบเห็นทั่วไปที่โครงการชลประทานที่อยู่ท้ายน้ำมักได้รับน้ำน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ประกอบกับประสิทธิภาพการชลประทานระดับแปลงเพาะปลูกของโครงการบางเลนมีค่าเพียง 62% ต่ำกว่าประสิทธิภาพการชลประทานโครงการ ซึ่งแสดงว่าเกษตรกรผู้ใช้น้ำมีการสูบน้ำจากคลองระบายขึ้นมาใช้กรณีที่ได้รับน้ำไม่พอ ซึ่งตรงกับข้อเท็จจริงที่โครงการบางเลนได้ออกแบบคลองส่งน้ำบริเวณตอนล่างของโครงการ ให้ทำหน้าที่ทั้งส่งน้ำและระบายน้ำไปพร้อมกัน ผู้ใช้น้ำต้องสูบน้ำขึ้นมาใช้ในการเพาะปลูก เนื่องจากไม่สามารถส่งเข้าพื้นที่ได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกได้ ในสภาพปัจจุบันโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ ส่งน้ำเข้าสู่คลอง 2L ประมาณ 2-3 เท่าของความต้องการน้ำชลประทานสุทธิ แสดงให้เห็นว่า ถ้ามีการบริหารจัดการน้ำที่ดี ไม่ควรมีปัญหาการขาดแคลนน้ำในคลอง 2L ผลผลิตของทั้ง 3 โครงการมีมูลค่ารวมถึง 16,754 ล้านบาท หรือคิดเป็น 20,995 บาท/ไร่ ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งโครงการบางเลน มีมูลค่าผลผลิตสูงกว่าโครงการอื่นเนื่องจากมีพื้นที่บ่อปลาและกุ้งมากกว่าโครงการอื่น ดัชนีภายนอกดังกล่าวชี้ให้เห็นปัญหาในการส่งน้ำของคลอง 2L แต่ไม่ได้บอกสาเหตุและแนวทางการแก้ไขปัญหา จึงต้องวิเคราะห์ดัชนีภายใน เพื่อจะได้ทราบสาเหตุของปัญหาและสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้ ผลการวิเคราะห์ดัชนีภายในหลัก 39 ดัชนีและดัชนีภายในรอง 122 ดัชนี พบว่าระดับการบริการส่งน้ำจริงยังต่างจากระดับบริการส่งน้ำเป้าหมาย และควรต้องมีการปรับปรุง เนื่องจากการบริการส่งน้ำยังมีปัญหาด้านความยืดหยุ่น ความน่าเชื่อถือ และความเป็นธรรม โดยเฉพาะในระดับแปลงเพาะปลูก และที่จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม สมรรถนะในการส่งน้ำของคลองซอยและคลองแยกซอยยังอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ขีดความสามารถด้านงบประมาณ เจ้าหน้าที่และองค์กรผู้ใช้น้ำยังอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุงเช่นกัน

ในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของระบบส่งน้ำของคลอง 2L และ 5L-2L พบว่าไม่มีอาคารวัดน้ำโดยตรง และอาคารควบคุมน้ำส่วนใหญ่ไม่ได้มีการสอบเทียบ (Calibration) จึงได้ทำการสอบเทียบอาคารที่สำคัญในคลอง 2L และ 5L-2L จำนวน 17 อาคาร เพื่อใช้เป็นอาคารควบคุมและวัดน้ำไปในตัว สำหรับงานวิจัยนี้ อาคารควบคุมน้ำปากคลอง (Offtake Structure) ส่วนใหญ่เป็นอาคารควบคุมน้ำแบบ Submerged Orifice มีค่าความอ่อนไหว (Sensitivity) อยู่ระหว่าง 0.16-1.12 ซึ่งถือว่าอยู่เป็นอาคารที่มีค่าความอ่อนไหวอยู่ในเกณฑ์ต่ำ-ปานกลาง แต่ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ต่ำ ซึ่งถือว่าเป็นข้อดีของระบบ ส่วนอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Cross Regulator) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอาคารควบคุมน้ำแบบ Submerged Orifice เช่นกัน แต่มีค่าความอ่อนไหวระหว่าง 0.16-5.57 ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เป็นอาคารที่มีความอ่อนไหวสูง ซึ่งทำให้ยากต่อการควบคุมระดับน้ำในคลองให้เป็นไปตามเป้าหมาย จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดช่วงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำจากเป้าหมายที่ยอมให้ (Tolerance) ในการควบคุมน้ำระดับน้ำในคลอง เพื่อให้อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารปากคลองซอยผิดพลาดในเกณฑ์ $\pm$ 10% และผลจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำใน 5L-2L พบว่า ถ้าต้องการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าคลองให้มีความผิดพลาดไม่เกิน $\pm$10% จำเป็นต้องมีการตรวจวัดและปรับบาน ปตร. กลางคลองวันละ 2 ครั้ง จึงจะสามารถควบคุมระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำเข้าคลองให้เป็นไปตามเป้าหมายได้

ผลการประเมินผลสัมฤทธิ์และการวิเคราะห์ปัญหาในการส่งน้ำในคลอง 2L สามารถนำมากำหนดแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของคลองขนาดใหญ่เบื้องต้นได้ 2 แนวทาง คือ (1) การปรับปรุงระดับการให้บริการส่งน้ำ และ (2) การปรับปรุงองค์ประกอบในการบริหารงานส่งน้ำ และได้เลือกคลอง 5L-2L ซึ่งเป็นคลองซอยขนาดใหญ่ความจุ 51.103 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ยาว 41.188 กม. ส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจำนวน 272,538 ไร่ ซึ่งอยู่บริเวณตอนกลางของคลอง 2L เป็นพื้นที่ทดลอง ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำ(Water Level Control Performance) และผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (Output Performance) ในสภาพปัจจุบันได้ พบว่า ผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L ระหว่าง ฤดูแล้ง 2550-ฤดูฝน 2551 มีค่าความผิดพลาดในรูปของ RMSE ระหว่าง 0.22-0.67 เมตร หรือในรูปของ MAE ระหว่าง 0.20-0.53 และผลลัพธ์ในการส่งน้ำ ในรูปของดัชนีความเพียงพอ (PA) ดัชนีประสิทธิภาพ (PE) และดัชนีความเป็นธรรม(PEQ) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.74-0.90, 0.29-0.63 และ 0.53-0.89 ตามลำดับ ผลการประเมินพบว่าจำเป็นต้องหาแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำของคลอง 5L-2L ต่อไป

การทดลองเปรียบเทียบแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำในคลอง 5L-2L จำนวน 5 แนวทาง หรือ 5 สิ่งทดลอง (Treatments) คือ (1) Existing operation ปรับบานตามปกติตามแนวทางที่โครงการปฏิบัติอยู่ โดยการปรับบานสัปดาห์ละครั้ง (2) COM_NF_3/Week ใช้แบบจำลองการบริหารงานส่งน้ำของ

คลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) และปรับบาน 3 ครั้ง/สัปดาห์ (3) COM_2/Day ใช้แบบจำลอง COM ในการควบคุมการส่งน้ำและปรับบานเท่ากับ 2 ครั้ง/วัน (4) COM_Day ใช้แบบจำลอง COM ในการควบคุมการส่งน้ำและปรับบานเท่ากับ 1 ครั้ง/วัน (5) CAS ใช้ระบบคลองอัตโนมัติ(Canal Automation System, CAS) ในการควบคุมการส่งน้ำ ทำการทดลอง Treatment ละ 5 สัปดาห์ ระหว่าง 31 พฤษภาคม 2553-15 พฤษภาคม 2554 และประเมินผลการส่งน้ำโดยใช้ ดัชนีแสดงผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำ จำนวน 4 ดัชนี คือ Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE)และ Reliability of Water Level Control (RWLC) และ (2) ดัชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ 3 ดัชนี คือ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy Indicator, PA) ดัชนีประสิทธิภาพชลประทาน (Efficiency Indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity Indicator, PEQ)

ผลการทดลองแนวทางการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ 5 แนวทาง ดังกล่าวข้างต้น พบว่าระบบคลองอัตโนมัติ (CAS) มีสามารถควบคุมระดับน้ำในคลอง 5L-2L อยู่ในเกณฑ์ดี ค่าดัชนี MAE, IAE และ RWLC มีค่าเท่ากับ 0.10, 0.03 และ 0.95 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ดัชนีแสดงว่า CAS มีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี ขณะที่การควบคุมการส่งน้ำด้วยคนโดยใช้แบบจำลอง COM พบว่าผลการควบคุมระดับน้ำในช่วงคลองต่างๆ ของคลอง 5L – 2L ตามเกณฑ์ของดัชนี MAE และ IAE อยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ดัชนี RWCL แสดงว่าต้องปรับปรุง และการควบคุมการส่งน้ำตามที่โครงการปฏิบัติอยู่ตามปกติ (Existing operation) ดัชนีส่วนใหญ่แสดงว่าอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง ยกเว้น MAE แสดงว่าพอใช้

การประเมินผลลัพธ์ (Output Performance) ในการส่งน้ำของคลอง 5L-2L โดยใช้ดัชนีความเพียงพอ (PA) ประสิทธิภาพชลประทาน (PE) และดัชนีความเป็นธรรม (PEQ) พบว่าการใช้แบบจำลอง COM ช่วยในการคำนวณการปรับบาน แล้วแจ้งให้พนักงานส่งน้ำปรับบานด้วยมือ ดัชนีความเพียงพอ PA มีค่าระหว่าง 0.81-0.92 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้-ดี แต่ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ดี ดัชนีประสิทธิภาพ PE มีค่าระหว่าง 0.53-0.76 อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง-พอใช้ และดัชนี PEQมีค่าระหว่าง 0.79-0.93 อยู่ในเกณฑ์พอใช้-ดี แต่ส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์ดี ขณะที่การควบคุมการส่งน้ำตามที่โครงการปฏิบัติอยู่ตามปกติ (Existing operation) PA เท่ากับ 0.94 อยู่ในเกณฑ์ดี PE เท่ากับ 0.38 อยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง และดัชนี PEQ เท่ากับ 0.89 อยู่ในเกณฑ์พอใช้ ผลลัพธ์ของการควบคุมการส่งน้ำด้วย CAS เกือบทุกดัชนีแสดงว่าอยู่ในเกณฑ์ดี ยกเว้นดัชนีประสิทธิภาพ PE เท่ากับ 0.76 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ก็ถือว่าสูงกว่าการบริหารคลองส่งน้ำโดย Existing operation เท่าตัว การที่ดัชนีประสิทธิภาพของวิธี CAS และการบริหารคลองส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM ช่วย ยังอยู่ในเกณฑ์พอใช้ ไม่ถึงขั้นดี เนื่องจากเหตุผลที่สำคัญ 2 ประการคือ (1) ประตูระบายปากคลองซอยบางแห่งชำรุด ต้องเปิดค้างไว้ทำให้ไม่สามารถควบคุมการไหลของน้ำเข้าคลองได้ และมีผลทำให้มีการสูญเสียน้ำ และ (2) เกณฑ์ดัชนีประสิทธิภาพของ Molden and Gate(1990)

กำหนดว่า PE สูงกว่า 0.85 จึงจะอยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งถือว่าสูงมากสำหรับการบริหารงานส่งน้ำในประเทศไทย โครงการชลประทานต่างๆ มีค่าประสิทธิภาพต่ำกว่า 0.85 ส่วนผลการควบคุมการส่งน้ำโดยใช้แบบจำลอง COM มีแนวโน้มให้ผลการควบคุมที่ดีกว่าการควบคุมการส่งน้ำตามที่โครงการปฏิบัติอยู่ (Existing Operation) แต่เนื่องจากการทดลองการควบคุมการส่งน้ำของแต่ Treatment มีปัจจัยอื่นที่ควบคุมไม่ได้เข้ามารบกวน ทำให้ผลลัพธ์ในการควบคุมการส่งน้ำในบางช่วงคลองและบางช่วงเวลาออกมาไม่ดีเท่าที่ควร จึงต้องมีการวิจัยหาวิธีการปรับปรุงแนวทางการควบคุมการส่งน้ำในคลอง 5L-2L และทดสอบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมการส่งน้ำต่อไปในอนาคต

5. เอกสารอ้างอิง

ฉลอง เกิดพิทักษ์. 2531. การจัดการน้ำในลุ่มน้ำของประเทศไทย. บริษัท โอเชี่ยน บลูพริ้นท์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ประพันธ์ สพเสถียร. 2539. การประเมินผลการใช้งานระบบจัดสรรน้ำและติดตามผลสำหรับโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วราวุธ วุฒิวณิชย์และวิชญ์ ศรีวงษา. 2547. การพัฒนาระบบวัดระดับน้ำและควบคุมการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำในคลองชลประทานระยะไกล, วิศวกรรมสาร มก.(53):1-11

วราวุธ วุฒิวณิชย์ และ วิชญ์ ศรีวงษา. 2548. ระบบคลองอัตโนมัติ, วันชูชาติ สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์. 4 มกราคม 2548. น. 61-70.

วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2550). คู่มือการประเมินผลโครงการชลประทานอย่างรวดเร็วฉบับภาษาไทย (RAP Manual-Thai Version) แปลและเรียบเรียงจาก “Rapid Appraisal Process (RAP) and Benchmarking : Explanation and Tools by Burt, C.M. (2001), Irrigation Training and Research Center (ITRC), California Polytechnic State University (CalPoly), San Luis Obispo, California, USA”. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 68 น.

อุรินทร์ โสตรโยม, วราวุธ วุฒิวณิชย์ และ วิชญ์ ศรีวงษา. 2552. การประเมินผลสัมฤทธิ์สนการควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ, น. 159 – 160. ใน การประชุมวิชาการของ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน ครั้งที่ 6 (สาขาวิศวกรรมศาสตร์). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

_____. 2553. การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ, 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. 48 p.

Burt, C.M. and S.W Styles. (1999). Modern Water Control and Management Practices in Irrigation-Impact on Performance, IPTRID-World Bank-FAO. 244 p.

Clemmens, A.J. and J.A. Replogle (1987). Delivery System Schedules and Required Capacities, in Zimbelman, D.D.(ed.)-Planning, Operation, Rehabilitation and Automation of Irrigation

Water Delivery Systems, Proc. of a Symposium Sponsored by the Irrigation and Drainage Division of the ASCE. Portland, USA. July 28–30. p18–34.

Clemmens. A.J., T.F. Kacerek, B. Grawitz and W. Schuurmans. 1998. Test case for canal control algorithms. J.Irrig.Drain.Eng., 124(1): 23 – 30.

Food and Agriculture Organization. 2008. Modernization Strategy for Irrigation Management in ALMATTI LIFT SYSTEMS –KJBNL KARNATAKA – INDIA.

Molden, D.J. and T.K.Gates (1990). Performance Measures for Evaluation of Irrigation-Water Delivery Systems. ASCE J. Irrig. Drain. Eng.116(6). p. 804–823.

Plusquellec,H., Burt,C.M. and H.W. Wolter. (1994). Modern Water Control in Irrigation-Concepts, Issues and Applications, Technical Report No.246, World Bank. 110 p.

Renault, D. (1999). Offtake Sensitivity, Operation Effectiveness and Performance of Irrigation Systems. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE. 125(3).

Renault, D and H.M. Hemakumara. 1999. Irrigation offtake sensitivity. J.Irrig.Drain.Eng., 125(3): 131 - 136

Renault, D.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. 23 p.

Renault, D., Makin, I.W. and G.G.A. Godaliyadda (1999). Volume Controlled Strategy for operation of Irrigation System with Variable Inflows, In: Proc. ASCE & USCID Workshop on Modernization of Irrigation Water Delivery Systems. Phoenix, USA.

Renault, D., Facon, T. and R. Wahaj. (2007). Modernizing the Irrigation Management – MASSCOTE Approach. Irrigation and Drainage Paper No.63., FAO, Rome. 207 p.

Small, L.E. and M. Svendsen. (1992). A Framework for Assessing Irrigation Performance. IFPRI Working Papers on Irrigation Performance No. 1. International Food Policy Research Institute, Washington, DC, August. 24 p.

http://www.rid.go.th/document/stat.htm

ภาคผนวก

ก. ผลการสอบเทียบอาคาร

ข. คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L และ 5L-2L

ค. บทความที่ตีพิมพ์ในวารสารและที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

ง. รางวัลเกี่ยวกับงานวิจัยที่ได้รับ

ภาคผนวก ก
ผลการสอบเทียบอาคาร

ตารางภาคผนวกที่ ก-1 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.ปากคลอง 5L - 2L กม. 0+020

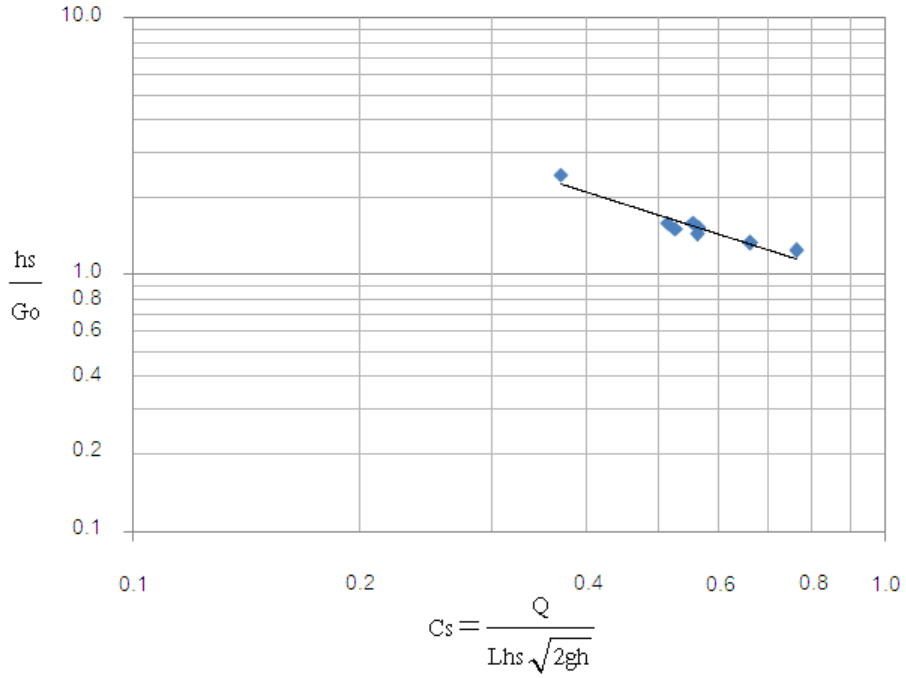
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.ปากคลอง กม. 0+020

จำนวนบาน 2 บาน (โค้ง) **ความกว้างบาน** 4 เมตร / บาน

ระดับธรณี +13.693 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+16.44	+15.45	0.99	4.407	1.757	1.10	1.597	34.465	0.556
+16.55	+15.50	1.05	4.539	1.807	1.20	1.506	34.534	0.526
+16.30	+15.68	0.62	3.488	1.987	1.60	1.242	42.216	0.761
+16.67	+15.93	0.74	3.810	2.237	1.40	1.598	34.960	0.513
+16.53	+15.57	0.96	4.340	1.877	1.30	1.444	36.666	0.563
+16.02	+15.23	0.79	3.937	1.537	1.00	1.537	27.364	0.565
+16.50	+15.69	0.81	3.987	1.997	1.50	1.331	42.185	0.662
+17.15	+15.90	1.25	4.952	2.207	0.90	2.452	32.321	0.370



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.8565\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-0.9828}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-2 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.กลางคลอง 5L - 2L กม. 3+650

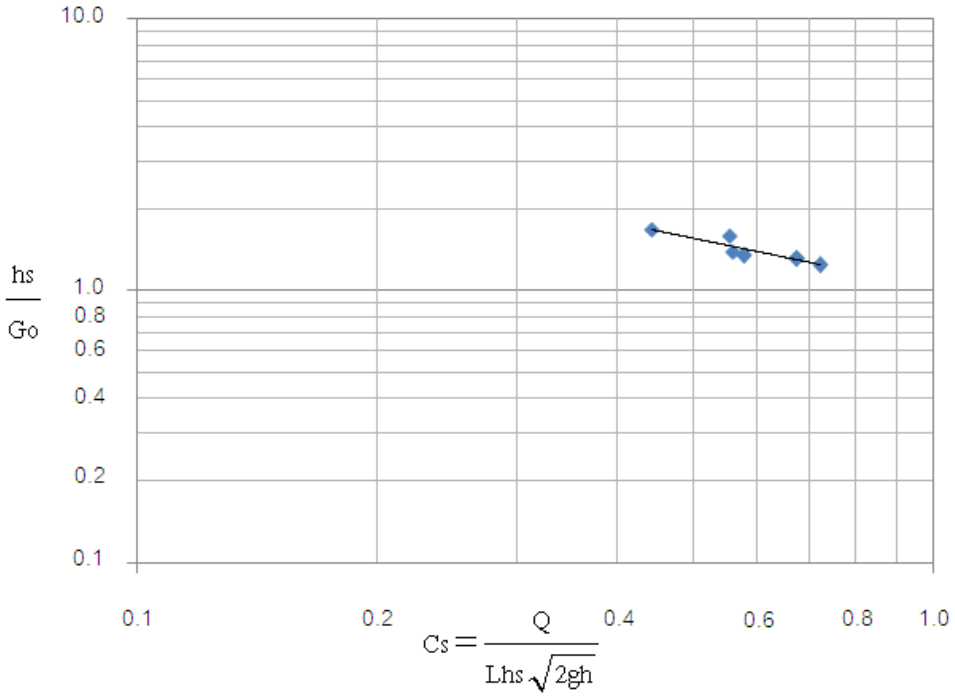
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.กลางคลอง กม. 3+650

จำนวนบาน 2 บาน (โค้ง) **ความกว้างบาน** 4 เมตร / บาน

ระดับธรณี +12.535 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+15.00	+14.29	0.71	3.732	1.755	1.30	1.350	30.268	0.578
+15.17	+14.65	0.52	3.194	2.115	1.70	1.244	38.957	0.721
+15.45	+14.93	0.52	3.194	2.395	1.50	1.597	33.973	0.555
+15.14	+14.48	0.66	3.598	1.945	1.40	1.389	31.337	0.560
+15.19	+14.63	0.56	3.315	2.095	1.60	1.309	37.497	0.675
+15.17	+14.21	0.96	4.340	1.675	1.00	1.675	25.770	0.443



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.9219\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.3159}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-3 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.กลางคลอง 5L - 2L กม. 9+813

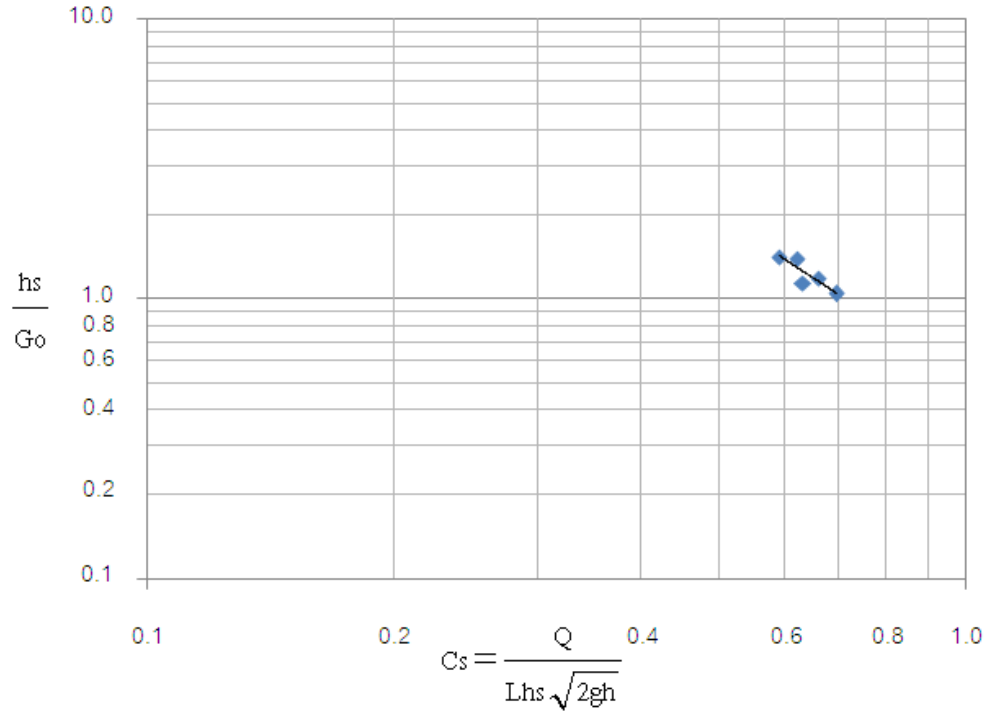
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.กลางคลอง กม. 9+813

จำนวนบาน 1 บาน (ใต้ง) **ความกว้างบาน** 5 เมตร / บาน

ระดับธรณี +11.119 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+13.94	+12.78	1.16	4.771	1.661	1.40	1.186	26.189	0.661
+14.21	+13.00	1.21	4.872	1.881	1.80	1.045	31.836	0.695
+14.46	+13.35	1.11	4.667	2.231	1.60	1.394	32.348	0.621
+14.11	+12.83	1.28	5.011	1.711	1.50	1.141	27.126	0.633
+13.86	+12.67	1.19	4.832	1.551	1.10	1.410	22.171	0.592



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.6958\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-0.4140}$

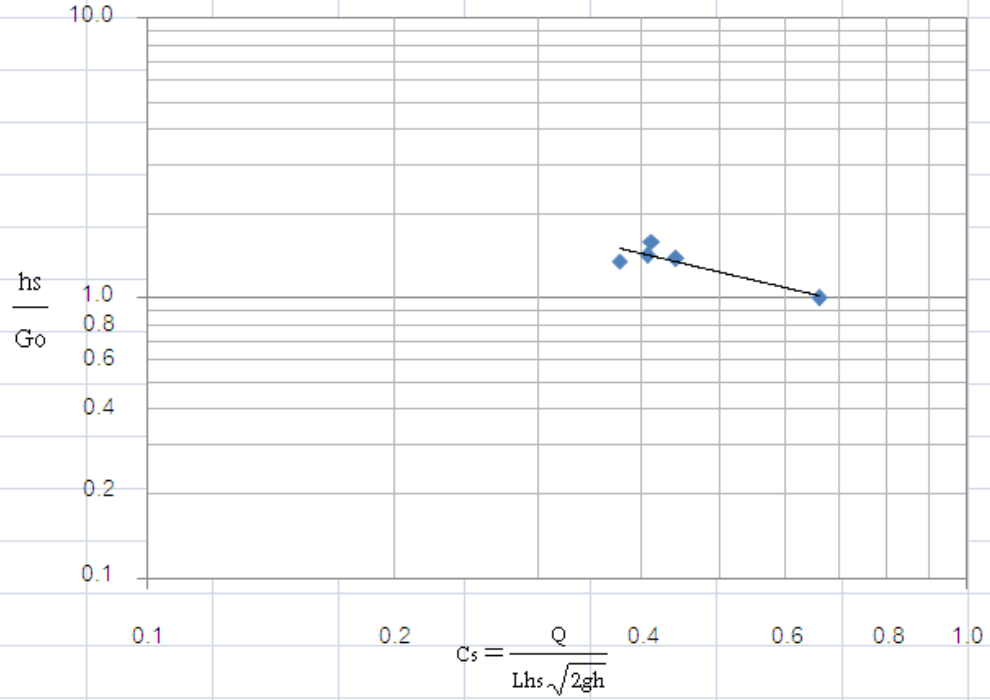
5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-4 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.กลางคลอง 5L - 2L กม. 14+750

โครงการ	โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง		**ชื่ออาคาร**	ปตร.กลางคลอง กม. 14+750	
จำนวนบาน	1	บาน (ใต้ง)	**ความกว้างบาน**	5	เมตร / บาน
ระดับธรณี	+9.425	ม. (รทก.)			
หมายเหตุ					

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+11.74	+10.83	1.40	5.241	1.405	1.40	1.004	24.360	0.662
+12.50	+11.66	1.50	5.425	2.235	1.40	1.596	25.002	0.412
+12.63	+11.86	1.90	6.106	2.435	1.80	1.353	28.058	0.377
+12.97	+11.84	1.70	5.775	2.415	1.70	1.421	28.390	0.407
+12.32	+11.50	1.30	5.050	2.075	1.50	1.383	23.145	0.442



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1	หาค่าการเปิดบาน (Go)
2	คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู
3	หาค่า hs / Go
4	ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 1.0303\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.3325}$
5	หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ
6	คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-5 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.กลางคลอง 5L - 2L กม. 20+300

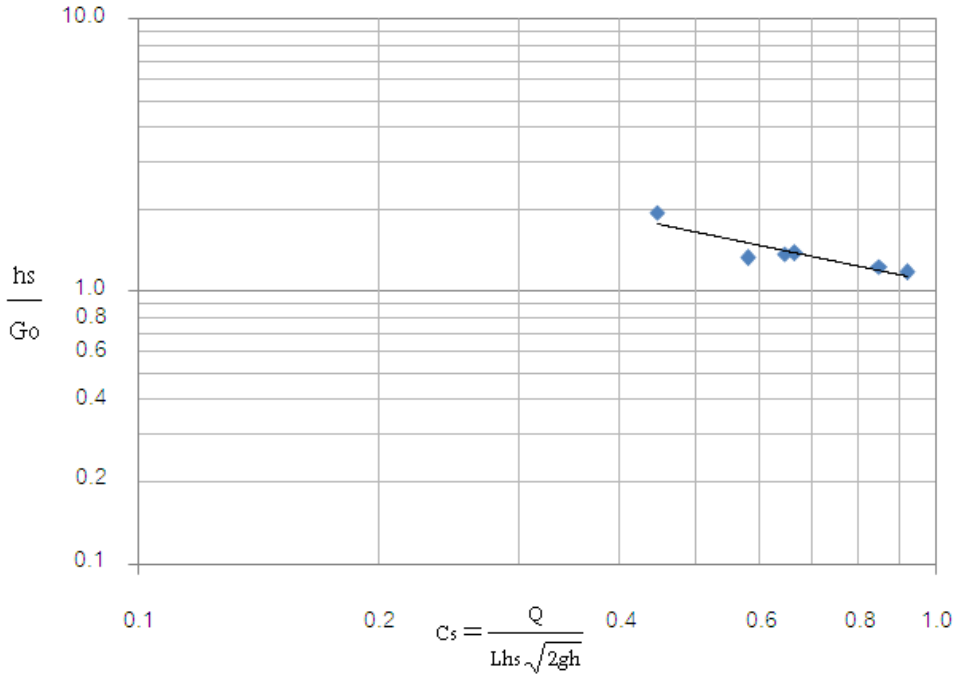
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.กลางคลอง กม. 20+300

จำนวนบาน 1 บาน (โค้ง) **ความกว้างบาน** 5 เมตร / บาน

ระดับธรณี +7.860 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+10.59	+10.06	0.53	3.225	2.200	1.60	1.375	22.930	0.646
+10.73	+10.33	0.40	2.801	2.470	2.00	1.235	29.360	0.849
+10.34	+9.98	0.36	2.658	2.120	1.80	1.178	25.926	0.920
+10.75	+10.21	0.54	3.255	2.350	1.70	1.382	25.429	0.665
+10.44	+9.85	0.59	3.402	1.990	1.50	1.327	19.643	0.580
+10.98	+10.20	0.78	3.912	2.340	1.20	1.950	20.427	0.446



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 1.0303\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.3325}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-6 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.กลางคลอง 5L - 2L กม. 26+401

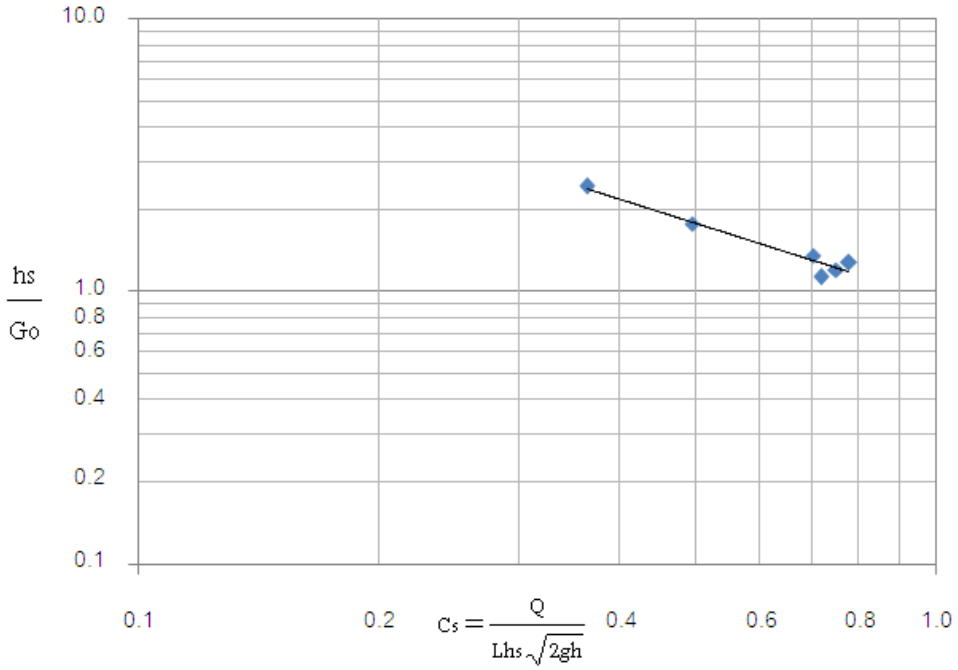
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.กลางคลอง กม. 26+401

จำนวนบาน 2 ช่อง **ความกว้างบาน** 2.2 เมตร / บาน

ระดับธรณี +5.600 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+8.07	+8.00	0.07	1.172	2.400	2.00	1.200	9.275	0.749
+8.15	+8.00	0.15	1.716	2.400	1.35	1.778	8.947	0.494
+8.05	+7.79	0.26	2.259	2.190	0.90	2.433	7.945	0.365
+8.11	+8.03	0.08	1.253	2.430	1.90	1.279	10.413	0.777
+7.83	+7.78	0.05	0.990	2.180	1.60	1.363	6.663	0.701
+7.93	+7.86	0.07	1.172	2.260	2.00	1.130	8.352	0.717



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.9038\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.0043}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-7 ผลการสอบเทียบอาคาร ท่อลอดถนนอาคารอัดน้ำกลางคลอง 5L - 2L กม. 33+664

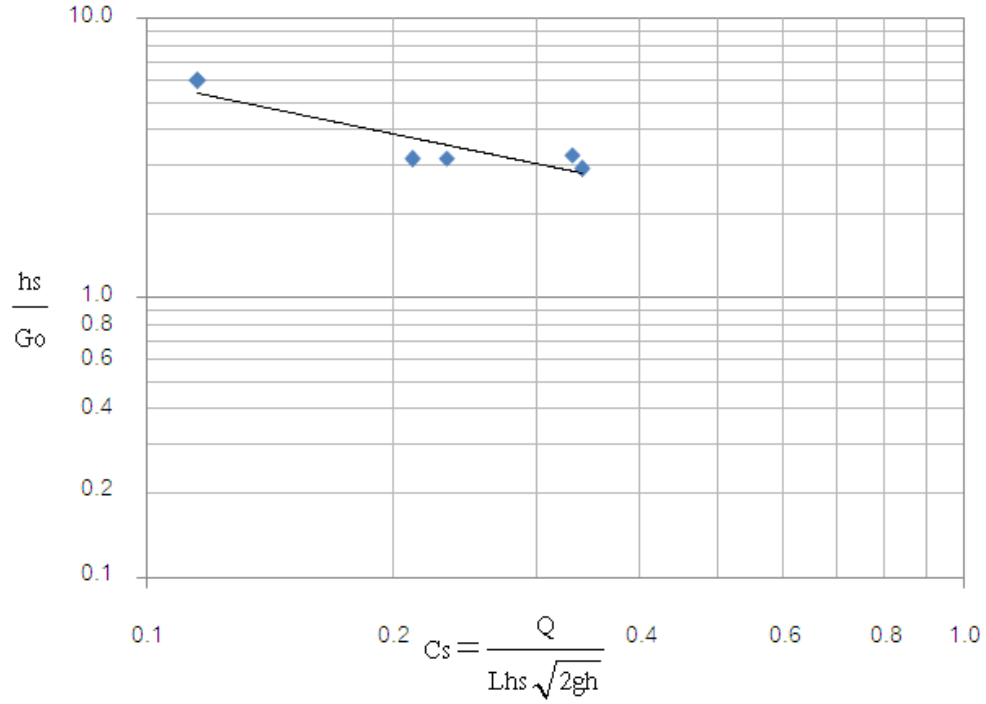
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ท่อลอดถนนอาคารอัดน้ำ กม. 33+664

จำนวนบาน 1 ช่อง **ความกว้างบาน** 1 เมตร / บาน

ระดับธรณี +4.450 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+6.08	+5.72	0.36	2.658	1.270	0.40	3.175	0.784	0.232
+6.19	+5.90	0.29	2.385	1.450	0.50	2.900	1.180	0.341
+6.12	+5.75	0.37	2.694	1.300	0.40	3.250	1.160	0.331
+6.04	+5.71	0.33	2.545	1.260	0.40	3.150	0.677	0.211
+6.05	+5.65	0.40	2.801	1.200	0.20	6.000	0.388	0.115



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 1.2309\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.3243}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-8 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.ปากคลอง 1L - 5L - 2L

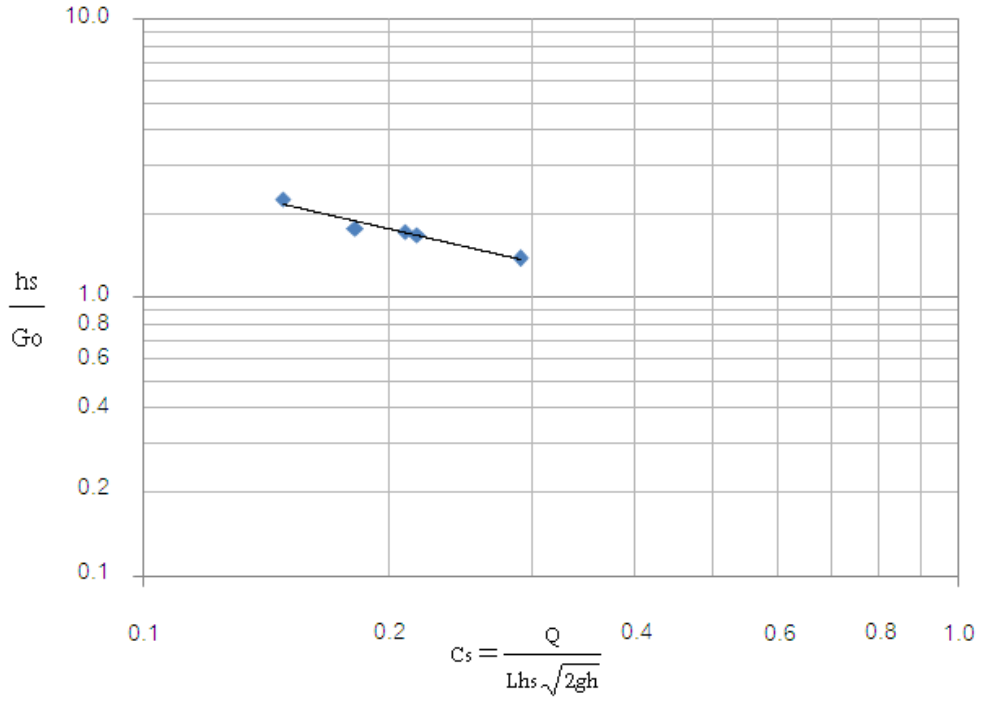
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.ปากคลอง 1L - 5L - 2L

จำนวนบาน 1 บาน (ตรง) **ความกว้างบาน** 0.9 เมตร / บาน

ระดับธรณี +14.296 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+15.494	+15.140	0.35	2.638	0.844	0.50	1.687	0.434	0.217
+15.550	+15.162	0.39	2.759	0.866	0.50	1.731	0.450	0.210
+15.633	+15.128	0.50	3.146	0.832	0.60	1.387	0.683	0.290
+15.416	+14.907	0.51	3.163	0.611	0.27	2.261	0.258	0.148
+15.317	+14.918	0.40	2.798	0.622	0.35	1.776	0.285	0.182



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.4415\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.3824}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-9 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.ปากคลอง 2L - 5L - 2L

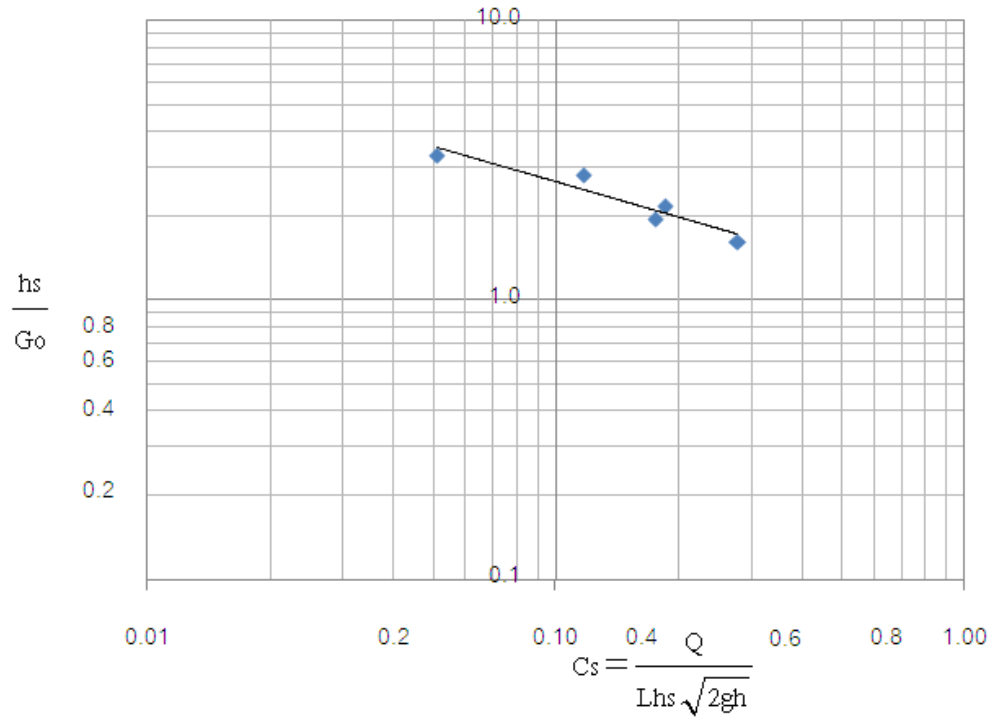
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.ปากคลอง 2L - 5L - 2L

จำนวนบาน 1 บาน (ตรง) **ความกว้างบาน** 1.5 เมตร / บาน

ระดับธรณี +12.527 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+13.65	+13.37	0.29	2.378	0.840	0.30	2.798	0.352	0.117
+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	0.70	1.611	1.080	0.279



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.8284\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-2.1419}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-10 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.ปากคลอง 2R - 5L - 2L

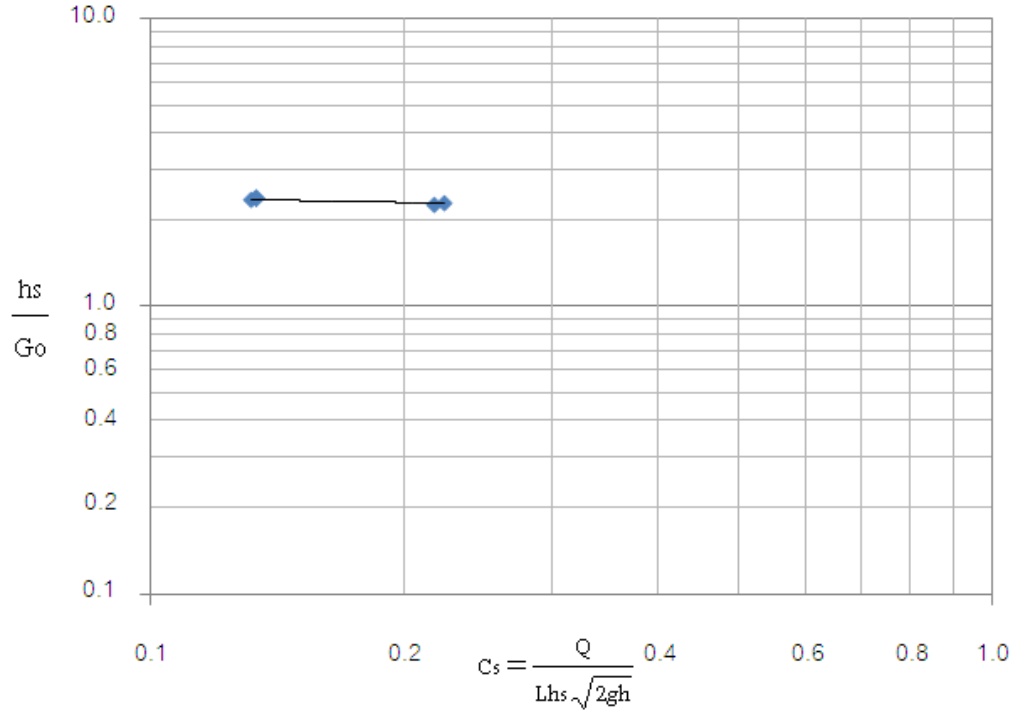
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.ปากคลอง 2R - 5L - 2L

จำนวนบาน 2 บาน (ตรง) **ความกว้างบาน** 2 เมตร / บาน

ระดับธรณี +11.950 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+14.021	+13.606	0.41	2.853	1.656	0.71	2.349	2.489	0.132
+13.927	+13.562	0.37	2.676	1.612	0.68	2.370	2.307	0.134
+14.121	+13.817	0.30	2.442	1.867	0.83	2.263	3.957	0.217
+14.060	+13.811	0.25	2.208	1.861	0.82	2.284	3.665	0.223



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 7136.1932\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-12.6675}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-11 ผลการสอบเทียบอาคาร ทรบ.ปากคลอง 3L - 5L - 2L

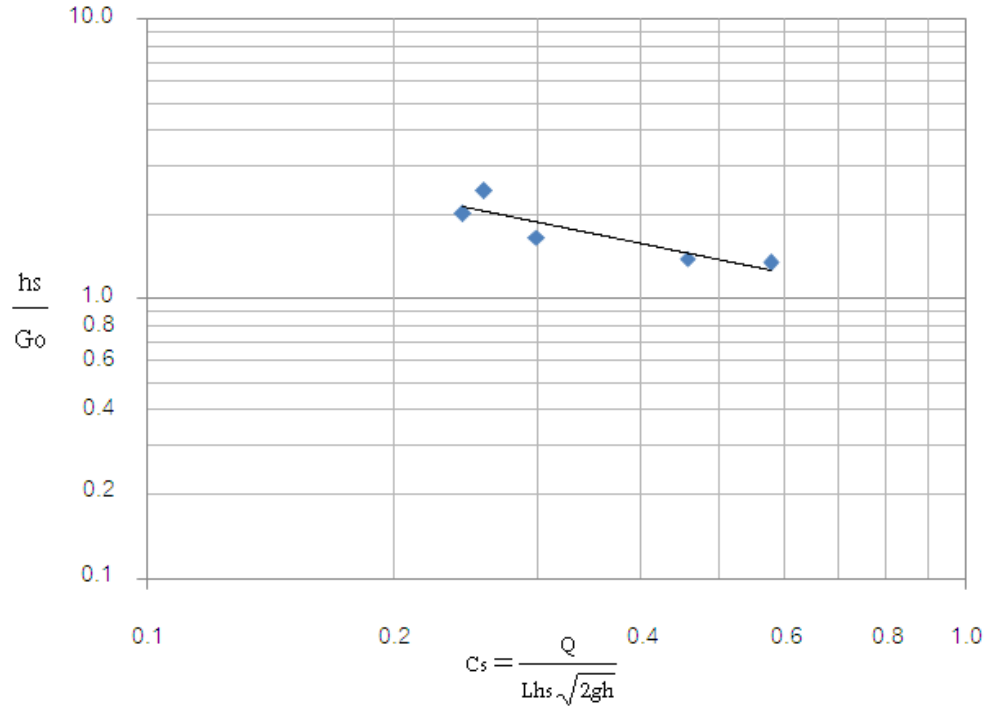
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ทรบ.ปากคลองซอย 3L-5L-2L

จำนวนบาน 1 บาน (ตรง) **ความกว้างบาน** 1.2 เมตร / บาน

ระดับธรณี +10.960 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+12.633	+12.180	0.45	2.983	1.220	0.50	2.440	1.126	0.258
+11.751	+11.633	0.12	1.525	0.673	0.50	1.346	0.711	0.578
+12.561	+12.170	0.39	2.771	1.210	0.60	2.017	0.977	0.243
+12.356	+12.120	0.24	2.152	1.160	0.70	1.657	0.895	0.299
+12.706	+12.210	0.50	3.118	1.250	0.90	1.389	2.136	0.457



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.7132\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.3297}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-12 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.ปากคลอง 4L - 5L - 2L

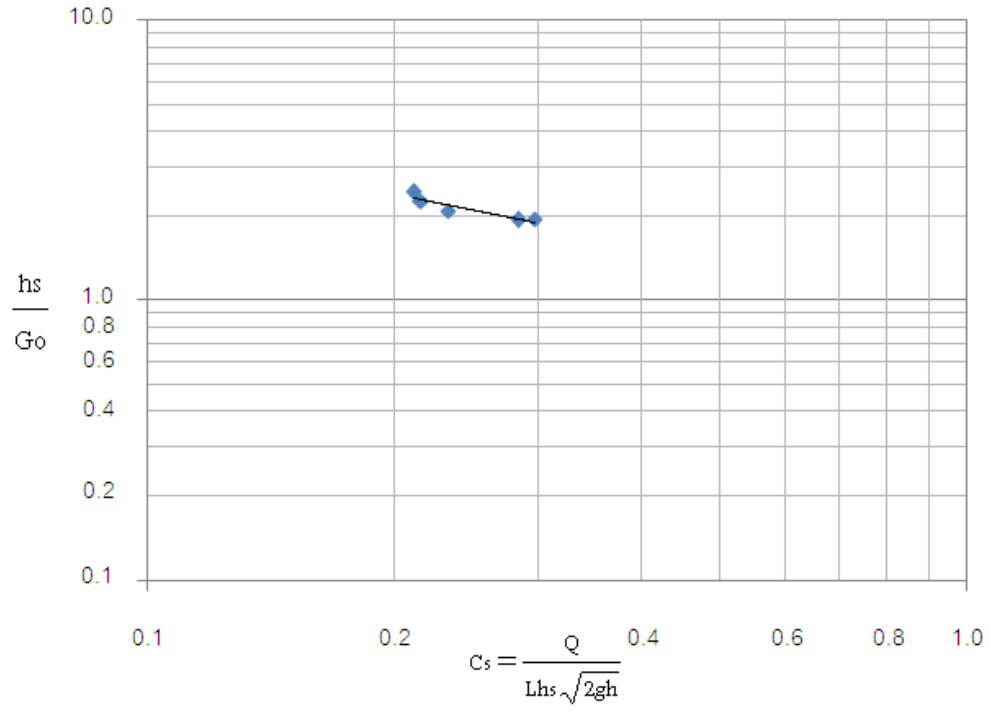
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.ปากคลองซอย 4L-5L-2L

จำนวนบาน 1 บาน (ตรง) **ความกว้างบาน** 1.75 เมตร / บาน

ระดับธรณี +8.675 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+10.987	+10.048	0.94	4.292	1.373	0.66	2.080	2.401	0.233
+11.142	+10.253	0.89	4.176	1.578	0.81	1.948	3.421	0.297
+10.771	+10.009	0.76	3.865	1.334	0.69	1.934	2.555	0.283
+11.004	+10.031	0.97	4.367	1.356	0.60	2.261	2.234	0.216
+11.264	+10.065	1.20	4.851	1.390	0.57	2.438	2.490	0.211



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.7337\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.4543}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-13 ผลการสอบเทียบอาคาร ทรบ.ปากคลอง 3R - 5L - 2L

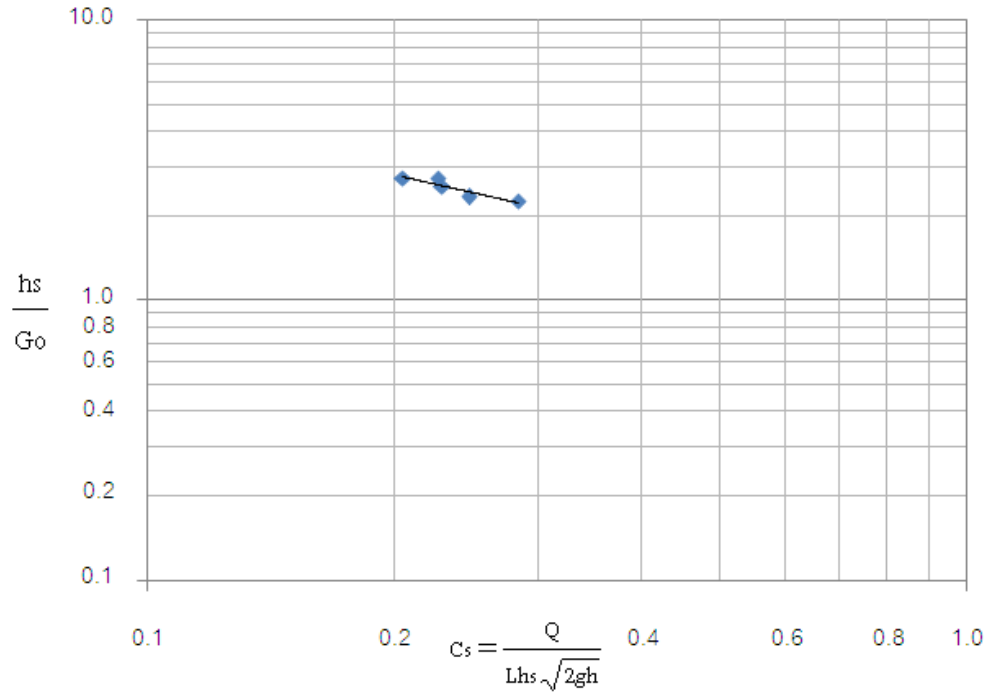
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.ปากคลองซอย 3R-5L-2L

จำนวนบาน 3 บาน (ตรง) **ความกว้างบาน** 2 เมตร / บาน

ระดับธรณี +5.609 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+7.986	+7.527	0.46	3.002	1.918	0.70	2.740	7.823	0.226
+7.587	+7.311	0.28	2.328	1.702	0.75	2.269	6.736	0.283
+8.059	+7.649	0.41	2.834	2.040	0.80	2.550	7.938	0.229
+7.892	+7.599	0.29	2.397	1.990	0.85	2.342	7.077	0.247
+7.548	+7.389	0.16	1.766	1.780	0.65	2.738	3.867	0.205



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.7531\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.2518}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-14 ผลการสอบเทียบอาคาร ทรบ.ปากคลอง 4R - 5L - 2L

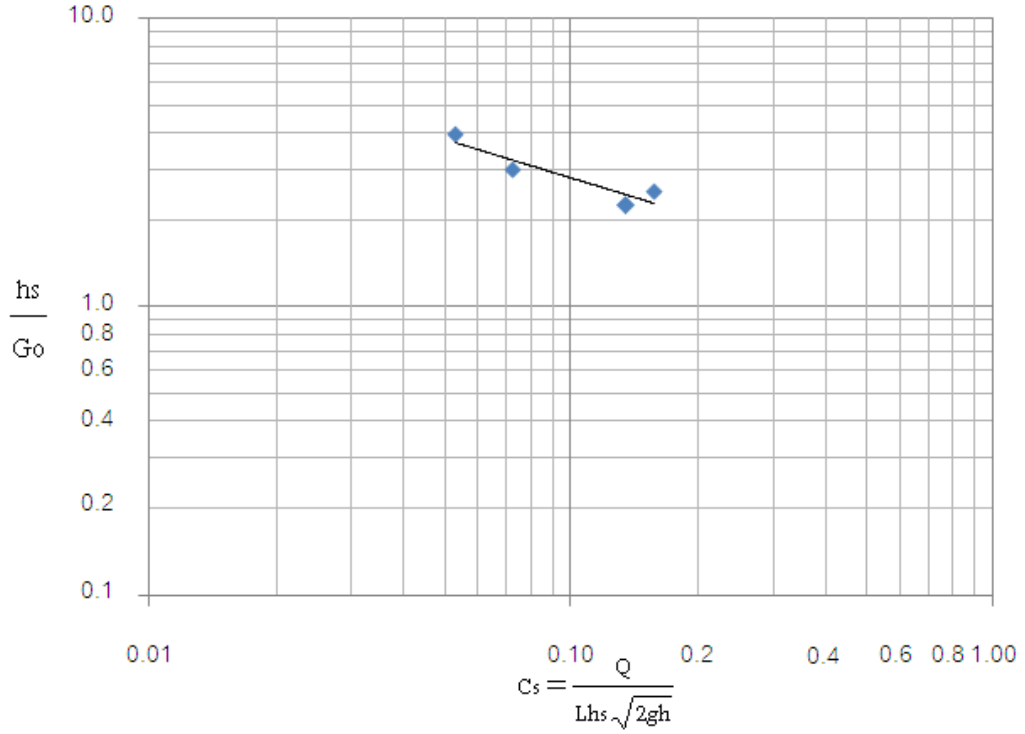
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ทรบ.ปากคลองซอย 4R-5L-2L

จำนวนบาน 2 บาน (ท่อ) **ความกว้างบาน** 1 เมตร / บาน

ระดับธรณี +4.226 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+5.827	+5.382	0.45	2.956	1.156	0.46	2.513	1.071	0.157
+6.388	+5.682	0.71	3.722	1.456	0.65	2.248	1.466	0.135
+6.227	+5.604	0.62	3.496	1.378	0.46	2.996	0.698	0.072
+6.210	+5.654	0.56	3.304	1.428	0.36	3.966	0.502	0.053



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.7129\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-1.9156}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ตารางภาคผนวกที่ ก-15 ผลการสอบเทียบอาคาร ปตร.ปากคลอง 5L - 5L - 2L

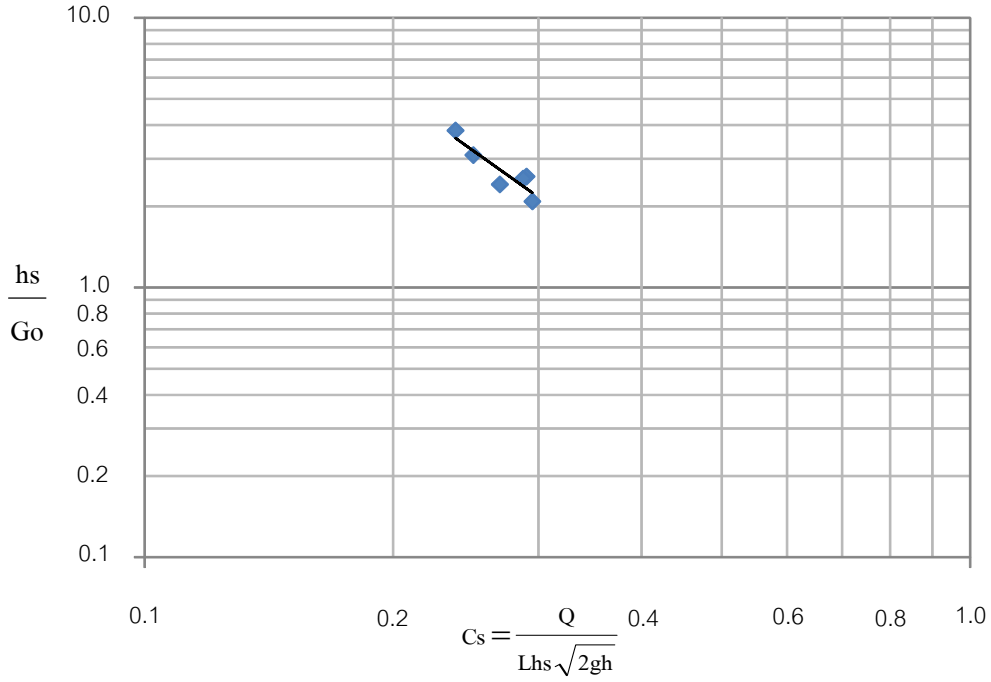
โครงการ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง **ชื่ออาคาร** ปตร.ปากคลองซอย 5L-5L-2L

จำนวนบาน 1 บาน (ตรง) **ความกว้างบาน** 2 เมตร / บาน

ระดับธรณี +3.750 ม. (รทก.)

หมายเหตุ

ระดับน้ำ - ม.(รทก.)		h	$\sqrt{2gh}$	hs	Go	hs / Go	Q	Cs
เหนือน้ำ	ท้ายน้ำ	เมตร						
+6.145	+5.279	0.87	4.122	1.529	0.40	3.822	3.000	0.238
+6.350	+5.556	0.79	3.946	1.806	0.70	2.580	4.137	0.290
+5.962	+5.318	0.64	3.554	1.568	0.65	2.412	3.002	0.269
+5.945	+5.334	0.61	3.461	1.584	0.76	2.085	3.233	0.295
+6.306	+5.423	0.88	4.161	1.673	0.54	3.098	3.482	0.250
+6.134	+5.523	0.61	3.461	1.773	0.70	2.533	3.529	0.287



ข้อแนะนำในการใช้สูตร

1 หาค่าการเปิดบาน (Go)

2 คำนวณค่า hs = ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ - ระดับธรณีประตู

3 หาค่า hs / Go

4 ใช้ค่า hs / Go ที่คำนวณได้หาค่า Cs จากกราฟ หรือ คำนวณจากสมการ $Cs = 0.3923\left(\frac{hs}{Go}\right)^{-0.3728}$

5 หาค่า h = ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ - ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ

6 คำนวณค่า $Q = CsLhs\sqrt{2gh}$

ภาคผนวก ข
คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L และ 5L-2L

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง กม.0+000	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	3 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +21.150 ม.รทก.
		D/S +19.500 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+13.700 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S ม.รทก.
		D/S +15.000 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 18 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.6050(H_S/G_o)^{-1.037}$
		$R^2 = 0.9812$
	สอบเทียบค่า Cs	10 มกราคม 2550
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.17 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.10+300	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +19.150 ม.รทก.
		D/S +17.600 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+14.421 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +14.750 ม.รทก.
		D/S +13.500 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 12 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.9079(H_S/G_o)^{-1.1768}$
		$R^2 = 0.9879$
	สอบเทียบค่า Cs	10 มกราคม 2550
	- ดัชนีความอ่อนไหว	5.57 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.กลางคลอง กม.22+700	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +17.483 ม.รทก.
		D/S +16.083 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +12.783 ม.รทก.
		D/S +11.533 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 12 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	5.54 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(High sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.27+855	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 4.00 x 3.40 x 65.65
	- ระดับน้ำ	U/S +15.565 ม.รทก.
		D/S +14.965 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +11.115 ม.รทก.
		D/S +10.515 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 8 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	3.88 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.กลางคลอง กม.30+175	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +15.335 ม.รทก.
		D/S +13.835 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +10.935 ม.รทก.
		D/S +9.535 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 12 \times H_s \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	5.59 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(High sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.35+000	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +13.353 ม.รทก.
		D/S +12.657 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +9.153 ม.รทก.
		D/S +8.457 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 12 \times H_s \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	3.92 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.กลางคลอง กม.42+490	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 5.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +11.904 ม.รทก.
		D/S +11.204 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +7.804 ม.รทก.
		D/S +7.254 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 10 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	3.78 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(High sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.49+750	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	1 - 6.00 x 4.00 x 52.00
	- ระดับน้ำ	U/S +9.027 ม.รทก.
		D/S +8.227 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +5.077 ม.รทก.
		D/S +5.027 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 6 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	3.53 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.กลางคลอง กม.55+330	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	1 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +7.179 ม.รทก.
		D/S +5.772 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +3.972 ม.รทก.
		D/S +2.672 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 6 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	4.63 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(High sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.57+850	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	1 - 6.00 x 4.00 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S ม.รทก.
		D/S ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S ม.รทก.
		D/S ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Free flow
	- สูตรการไหล	$Q = C \times 6 \times G_O \times \sqrt{2gY}$
		$C = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	
	ต่ออัตราการไหล	

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.กลางคลอง กม.73+700	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 - 2.00 x 2.00 x 15.00
	- ระดับน้ำ	U/S ม.รทก.
		D/S ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S ม.รทก.
		D/S ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 4 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.26 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 1L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 - 1.00 x 1.30 x 1.20
	- ระดับน้ำ	U/S +18.720 ม.รทก.
		D/S +18.200 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +14.320 ม.รทก.
		D/S +16.900 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 2 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.55 m
	ต่ออัตราการไหล	(Low sensitivity)

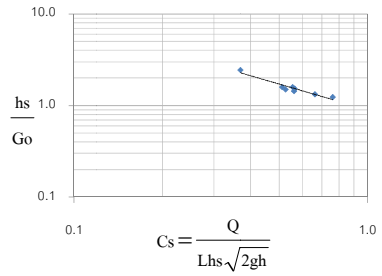
ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 2R – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	3 – 2.15 x 2.00 x 10.00
	- ระดับน้ำ	U/S +18.534 ม.รทก.
		D/S +16.323 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +14.434 ม.รทก.
		D/S +13.823 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 6.45 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.17 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 2L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 – 1.00 x 1.20 x 1.20
	- ระดับน้ำ	U/S +17.737 ม.รทก.
		D/S +16.400 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +13.637 ม.รทก.
		D/S +15.300 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.30 m^{-1}
	ต่ออัตราการไหล	(Low sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ทรบ.ปากคลอง 3L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 1.20 x 1.50 x 1.30
	- ระดับน้ำ	U/S +17.177 ม.รทก.
		D/S +16.500 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +13.077 ม.รทก.
		D/S +15.050 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 2.4 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.45 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 4L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 1.00 x 1.30 x 1.20
	- ระดับน้ำ	U/S +17.005 ม.รทก.
		D/S +16.500 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +13.005 ม.รทก.
		D/S +15.350 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 2.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.59 m^{-1}
	ต่ออัตราการไหล	(Low sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 5L – 2L	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 4.00 x 3.40 x 61.40
	- ระดับน้ำ	U/S +17.993 ม.รทก.
		D/S +16.000 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+13.693 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +13.293 ม.รทก.
		D/S +12.450 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 8 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.856501(H_S/G_o)^{-0.9828}$
		$R^2 = 0.9161$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.16 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 6L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 1.00 x 16.40
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 2.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	m^{-1}
	ต่ออัตราการไหล	

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 3R – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 – 1.75 x 1.50 x 12.00
	- ระดับน้ำ	U/S +14.735 ม.รทก.
		D/S +14.135 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +10.335 ม.รทก.
		D/S +12.535 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1.75 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.46 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 7L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 1.00 x 16.00
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 2.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	m^{-1}
	ต่ออัตราการไหล	

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 8L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 1.75 x 1.75 x 16.00
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 3.5 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว ต่ออัตราการไหล	m^{-1}
ทรบ.ปากคลอง 9L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 1.00 x 10.30
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 2.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว ต่ออัตราการไหล	m^{-1}

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ทรบ.ปากคลอง 4R – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 – 1.00 x 13.00
	- ระดับน้ำ	U/S +11.904 ม.รทก.
		D/S +11.700 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +7.704 ม.รทก.
		D/S +10.900 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	1.12 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Medium sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 5R – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 – 1.00 x 14.30
	- ระดับน้ำ	U/S +11.904 ม.รทก.
		D/S +11.408 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +7.704 ม.รทก.
		D/S +10.358 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.62 m^{-1}
	ต่ออัตราการไหล	(Low sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 6R – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 – 1.75 x 1.50 x 12.00
	- ระดับน้ำ	U/S +11.310 ม.รทก.
		D/S +10.248 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +7.210 ม.รทก.
		D/S +10.248 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1.75 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.47 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ปตร.ปากคลอง 10L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 – 1.00 x 1.00 x 16.00
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	m^{-1}
	ต่ออัตราการไหล	

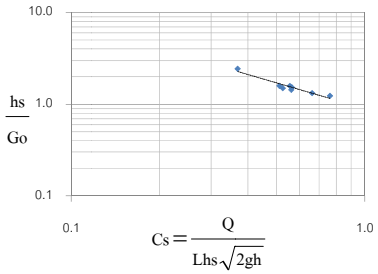
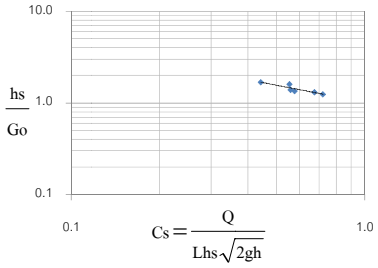
ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 7R – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 2.20 x 2.20 x 12.00
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 4.4 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว ต่ออัตราการไหล	m^{-1}
ปตร.ปากคลอง 11L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 – 2.20 x 2.20 x 17.00
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 4.4 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว ต่ออัตราการไหล	m^{-1}

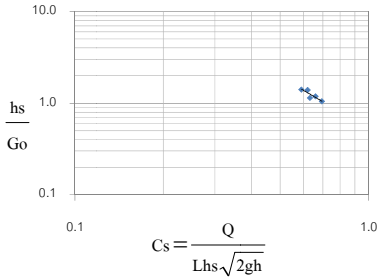
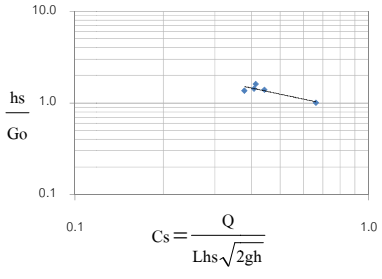
ตารางภาคผนวก ข-1 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 12L – 2L 	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 – 1.00 x 1.00 x 16.00
	- ระดับน้ำ	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+ ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S + ม.รทก.
		D/S + ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1.0 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว ต่ออัตราการไหล	m^{-1}

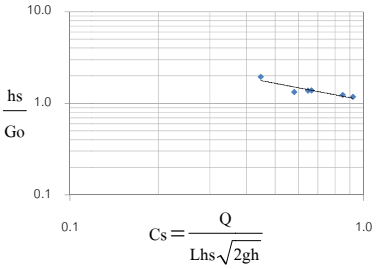
ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง กม.0+020	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 4.00 x 3.40 x 61.40
	- ระดับน้ำ	U/S +17.993 ม.รทก.
		D/S +16.000 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+13.693 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +13.293 ม.รทก.
		D/S +12.450 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 8 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.856501(H_S/G_o)^{-0.9828}$ $R^2 = 0.9161$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.16 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.3+650	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	2 - 4.00 x 3.40 x 65.65
	- ระดับน้ำ	U/S +15.635 ม.รทก.
		D/S +14.835 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+12.535 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +12.285 ม.รทก.
		D/S +11.485 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 8 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.9219(H_S/G_o)^{-1.3159}$ $R^2 = 0.8087$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	3.62 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

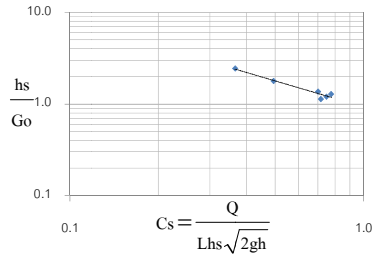
ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.กลางคลอง กม.9+813	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	1 - 5.00 x 3.40 x 70.00
	- ระดับน้ำ	U/S +14.219 ม.รทก.
		D/S +13.019 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+11.119 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +10.969 ม.รทก.
		D/S +9.969 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 5 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.6958(H_S/G_o)^{-0.414}$ $R^2 = 0.7792$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	4.24 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.14+750	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	1 - 5.00 x 3.40 x 66.20
	- ระดับน้ำ	U/S +12.525 ม.รทก.
		D/S +11.525 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+9.425 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +9.475 ม.รทก.
		D/S +8.525 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 5 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.6258(H_S/G_o)^{-1.1356}$ $R^2 = 0.7753$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	3.81 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

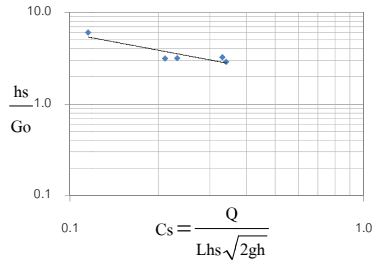
ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.กลางคลอง กม.20+300	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	1 - 5.00 x 3.40 x 58.55
	- ระดับน้ำ	U/S +10.960 ม.รทก.
		D/S +10.310 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+7.860 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +8.160 ม.รทก.
		D/S +7.510 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 5 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S}}$
		$C_S = 1.0303(H_S/G_o)^{-1.3325}$
		$R^2 = 0.8186$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	2.99 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.24+500	- ชนิดของบาน	บานโค้ง
	- ขนาด	1 - 4.00 x 3.40 x 69.65
	- ระดับน้ำ	U/S +9.890 ม.รทก.
		D/S +8.540 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+6.790 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +7.090 ม.รทก.
		D/S +5.740 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Free flow
	- สูตรการไหล	$Q = C \times 4 \times G_o \times \sqrt{2gY}$
		$C = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	2.70 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

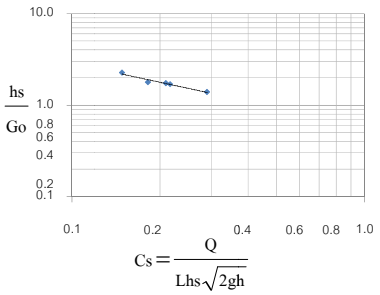
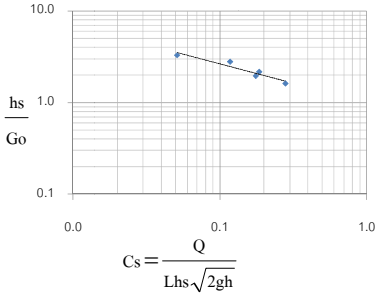
ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ทรบ.กลางคลองกม.26+401	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 - 2.20 x 2.25 x 10.00
	- ระดับน้ำ	U/S +8.350 ม.รทก.
		D/S +8.150 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+5.600 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +6.500 ม.รทก.
		D/S +6.300 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 4.4 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.9038(H_S/G_o)^{-1.0043}$
		$R^2 = 0.9442$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	1.51 m
	ต่ออัตราการไหล	(Medium sensitivity)
ปตร.กลางคลอง กม.27+936	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	2 - 1.65 x 1.50 x 20.00
	- ระดับน้ำ	U/S +7.996 ม.รทก.
		D/S +6.673 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+5.946 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +6.146 ม.รทก.
		D/S +4.823 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 3.3 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.65$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	3.62 m
	ต่ออัตราการไหล	(High sensitivity)

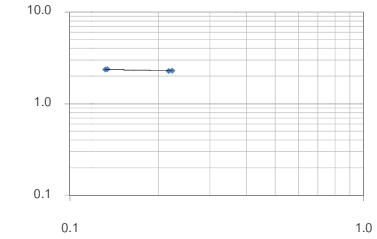
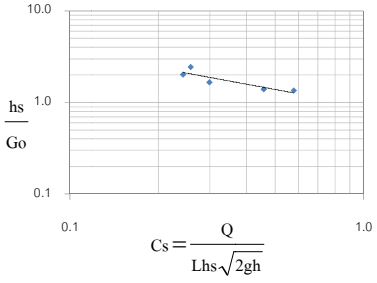
ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ท่อลอดถนนทดน้ำ กม.33+664	- ชนิดของบาน	บานตรง
	- ขนาด	1 - 1.00 x 9.50
	- ระดับน้ำ	U/S +6.100 ม.รทก.
		D/S +5.605 ม.รทก.
	- ระดับธรณี	+4.450 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +5.050 ม.รทก.
		D/S +4.555 ม.รทก.
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 1 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 1.2309(H_S/G_o)^{-1.3243}$
		$R^2 = 0.7980$
	สอบเทียบค่า Cs	5 มกราคม 2553
	- ดัชนีความอ่อนไหว	1.62 m
	ต่ออัตราการไหล	(Medium sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 1R – 5L – 2L	- ชนิดของบาน	บานตรง
กม. 3+056	- ขนาด	3 - Ø1.20 x 14.00
	- ระดับน้ำ (FSL)	U/S +15.694 ม.รทก. (5L – 2L)
		D/S +15.314 ม.รทก. (1R – 5L – 2L)
	- ระดับธรณี	+13.664 ม.รทก.
	- ระดับก้นคลอง	U/S +12.114 ม.รทก. (5L – 2L)
		D/S +13.664 ม.รทก. (1R – 5L – 2L)
	- ลักษณะการไหล	Submerge flow
	- สูตรการไหล	$Q = C_s \times 4.5 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$
		$C_S = 0.60$
	สอบเทียบค่า Cs	ออกแบบ
	- ดัชนีความอ่อนไหว	0.57 m^{-1}
	ต่อระดับน้ำ	(Low sensitivity)

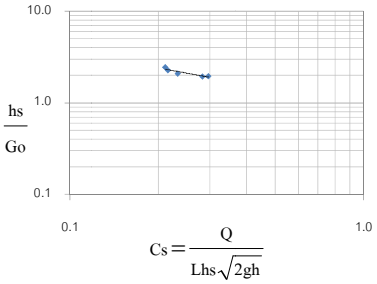
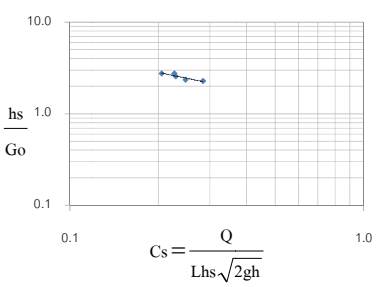
ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ทรบ.ปากคลอง 1L – 5L – 2L กม. 3+545  	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 1 - Ø0.80 x 10.30 U/S +15.646 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +15.245 ม.รทก. (1L – 5L – 2L) +14.296 ม.รทก. U/S +12.245 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +14.446 ม.รทก. (1L – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 0.9 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S}}$ $C_S = 0.4415(H_S/G_o)^{-1.3824}$ $R^2 = 0.9535$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.78 m^{-1} (Low sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 2L – 5L – 2L กม. 8+254  	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 1 - Ø1.20 x 12.30 U/S +14.375 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +13.877 ม.รทก. (2L – 5L – 2L) +12.527 ม.รทก. U/S +11.025 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +12.827 ม.รทก. (2L – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 1.5 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.8284(H_S/G_o)^{-2.1419}$ $R^2 = 0.9043$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.61 m^{-1} (Low sensitivity)

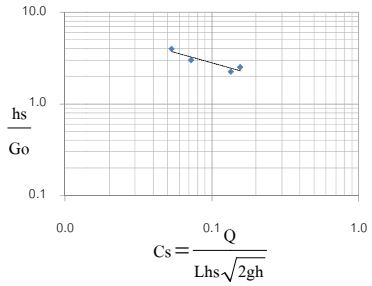
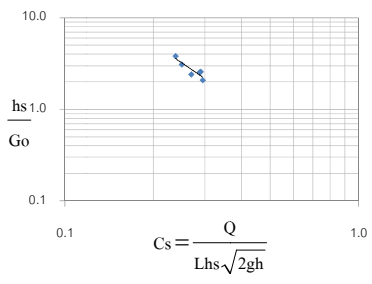
ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 2R – 5L – 2L กม. 9+186  	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 2 - □2.00 x 1.75 x 14.00 U/S +14.281 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +13.850 ม.รทก. (2R – 5L – 2L) +11.950 ม.รทก. U/S +11.031 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +12.100 ม.รทก. (2R – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 4 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 7136.1932(H_S/G_o)^{-12.6675}$ $R^2 = 0.9229$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.52 m^{-1} (Low sensitivity)
ทรบ.ปากคลอง 3L – 5L – 2L กม. 14+477  	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 1 - Ø0.80 x 10.30 U/S +12.555 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +11.755 ม.รทก. (3L – 5L – 2L) +10.960 ม.รทก. U/S +9.505 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +10.805 ม.รทก. (3L – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 1.2 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.7132(H_S/G_o)^{-1.3297}$ $R^2 = 0.7859$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.46 m^{-1} (Low sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ปตร.ปากคลอง 4L – 5L – 2L กม. 20+152 	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 1 - □1.75 x 1.75 x 10.00 U/S +10.975 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +10.627 ม.รทก. (4L – 5L – 2L) +8.675 ม.รทก. U/S +7.975 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +9.027 ม.รทก. (4L – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 1.75 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D//S})}$ $C_S = 0.7337(H_S/G_o)^{-1.4543}$ $R^2 = 0.8484$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.60 m^{-1} (Low sensitivity)
ปตร.ปากคลอง 3R – 5L – 2L กม. 26+162 	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 3 - □2.00 x 2.00 x 13.00 U/S +8.074 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +8.059 ม.รทก. (3R – 5L – 2L) +5.609 ม.รทก. U/S +5.574 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +5.609 ม.รทก. (3R – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 6 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.7531(H_S/G_o)^{-1.2518}$ $R^2 = 0.8221$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.32 m^{-1} (Low sensitivity)

ตารางภาคผนวก ข-2 คุณสมบัติและลักษณะด้านชลศาสตร์ของอาคารในคลอง 5L – 2L (ต่อ)

อาคาร	คุณสมบัติ	
ทรบ.ปากคลอง 4R – 5L – 2L กม. 30+900  	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 2 - Ø1.00 x 11.30 U/S +6.376 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +5.822 ม.รทก. (4R – 5L – 2L) +4.226 ม.รทก. U/S +4.526 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +4.522 ม.รทก. (4R – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 2 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.7129(H_S/G_o)^{-1.9156}$ $R^2 = 0.8587$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.53 m^{-1} (Low sensitivity)
ปตร.ปากคลอง 5L – 5L – 2L กม. 32+900  	- ชนิดของบาน - ขนาด - ระดับน้ำ (FSL) - ระดับธรณี - ระดับก้นคลอง - ลักษณะการไหล - สูตรการไหล สอบเทียบค่า Cs - ดัชนีความอ่อนไหว ต่อระดับน้ำ	บานตรง 1 - □2.00 x 2.00 x 11.00 U/S +6.172 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +5.900 ม.รทก. (5L – 5L – 2L) +3.750 ม.รทก. U/S +4.572 ม.รทก. (5L – 2L) D/S +3.950 ม.รทก. (5L – 5L – 2L) Submerge flow $Q = C_s \times 2 \times H_S \times \sqrt{2g(H_{U/S} - H_{D/S})}$ $C_S = 0.3923(H_S/G_o)^{-0.3728}$ $R^2 = 0.8133$ 10 กุมภาพันธ์ 2553 0.58 m^{-1} (Low sensitivity)

ภาคผนวก ค

บทความที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

1. อุรินทร์ โสตยม วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2552. การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 สาขาวิศวกรรมศาสตร์. 8 ธันวาคม. น. 639-646.

2. อุรินทร์ โสตยม วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2553. การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 สาขาวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์. 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น. 1-9.

3. อุรินทร์ โสตยม และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2554. การใช้วิธีการประเมินผลโครงการอย่างรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่. วิทยาสารกำแพงแสน ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 2554. น. 41-52.

การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6

การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ

Performance Assessment of Canal Automation System

อุรินทร์ โสตรโยม[1] วราวุธ วุฒิวณิชย์[1] และวิชญ์ ศรีวงษา[2]

Urin Soteyome[1], Varawoot Vudhivanich[1] and Vich Sriwongsa[2]

บทคัดย่อ

ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System, CAS) ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อควบคุมการส่งน้ำในคลองส่งน้ำ 5L - 2L ของระบบส่งน้ำแม่กลองใหญ่แบบอัตโนมัติ ซึ่งในการทดสอบผลสัมฤทธิ์การควบคุมการส่งน้ำด้วยประตูยนต์ (Robogate) ของระบบคลองอัตโนมัติ จะใช้ดรรชนี Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE), Root Mean Square Error (RMSE) และ Reliability of Water Level Control (RWLC) เป็นเครื่องมือในการทดสอบ ซึ่งค่าดรรชนีแสดงผลการส่งน้ำสำหรับช่วงที่ให้ Robogate ควบคุมการส่งน้ำแบบอัตโนมัติ คือ MAE = 19.54%, IAE = 5.89%, RMSE = 0.22 เมตร และ RWLC = 82.96% ซึ่งดีกว่าดรรชนีที่คำนวณสำหรับช่วงที่ควบคุมการส่งน้ำด้วยมือทั้งในเรื่องของค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย และค่าความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ตลอดจนการรักษาระดับน้ำไม่ให้ต่ำกว่าระดับเป้าหมาย

คำสำคัญ : ระบบคลองอัตโนมัติ ประตูยนต์ ผลสัมฤทธิ์การควบคุมการส่งน้ำ

ABSTRACT

Canal Automation System (CAS) was developed to control water delivery in 5L – 2L canal automatically. The indicators including Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE), Root Mean Square Error (RMSE) and Reliability of Water Level Control (RWLC) are used for assessing the water delivery performance controlled by Robogate of CAS. The performance indicators of water control when Robogate operated in automatic mode are MAE = 19.54%, IAE = 5.89%, RMSE = 0.22 m. and RWLC = 82.96% showing the better water level control performance than when Robogate operated in manual mode on both the maximum error, average error, variance of errors and the ability to control of water level above the target.

Keywords : Canal Automation System, Robogate, Performance of control system

E-mail : urinsoteyome@hotmail.com

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ. นครปฐม 74130
Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 74310

[2] สถาบันพัฒนาการชลประทาน สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน จ. นนทบุรี 11120
Irrigation Development Institute, Royal Irrigation Department, Nonthaburi 11120

คำนำ

ระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการตรวจวัดระดับน้ำ และควบคุมการเปิด – ปิดประตูระบายน้ำแบบอัตโนมัติ โดยพัฒนาประตูยนต์ (Robogate) ให้ควบคุมระดับน้ำในคลองชลประทานในโหมดควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) และทำงานร่วมกับระบบ SCADA ซึ่งทำงานในโหมดควบคุมท้ายน้ำ (Downstream Control) เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนบุคลากรด้านการส่งน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพ ประสิทธิผลในการควบคุมการส่งน้ำในโครงการชลประทาน ซึ่งระบบดังกล่าวได้ติดตั้งและใช้งานที่คลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องตั้งแต่เดือนธันวาคม 2550 เป็นต้นมา และจากรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์ของโครงการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ ยังพบว่าระบบคลองอัตโนมัติสามารถช่วยเพิ่มค่าดรรชนีความเพียงพอ และความเป็นธรรมในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก (วราวุธ และคณะ, 2552)

การควบคุมระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่จะส่งผลโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพ ประสิทธิผลในการส่งน้ำชลประทานเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองซอย หรืออัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารทางออก (Offtake) จากคลองส่งน้ำในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ซึ่งเรียกว่าความอ่อนไหวของอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ (Structure Sensitivity) (Renault *et al.*, 2007)

ดังนั้นการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการดำเนินงานของระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจะประเมินผลสัมฤทธิ์ในด้านการควบคุมระบบส่งน้ำ (Clemmens *et al.*, 1998) เพื่อทดสอบความสามารถในการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายน้ำกลางคลองให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด โดยทำการเปรียบเทียบผลการควบคุมระบบส่งน้ำระหว่างฤดูกาลส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง และเปรียบเทียบผลการควบคุมระบบส่งน้ำระหว่าง Robogate กับอุปกรณ์ควบคุมของระบบควบคุมคลองอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้นในอดีต (Wahlin and Clemmens, 2002)

อุปกรณ์และวิธีการ

การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการดำเนินงานด้านการควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจะใช้ดรรชนีการควบคุมระบบส่งน้ำ (Canal System Control Indicators) เป็นเครื่องมือในการประเมินผลสัมฤทธิ์

1. ดรรชนีการควบคุมระบบส่งน้ำ (Canal System Control Indicators)

ดรรชนีการควบคุมระบบส่งน้ำ เป็นค่าดรรชนีที่แสดงถึงผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบในมุมมองของเจ้าหน้าที่ / พนักงานส่งน้ำ ประกอบด้วย Maximum Absolute Error (MAE,%) แสดงถึงความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการควบคุมระดับน้ำของระบบส่งน้ำตลอดฤดูกาลส่งน้ำ โดยแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของระดับน้ำเป้าหมาย (Target Water Level) สำหรับ Integrated Absolute Error (IAE,%) แสดงถึงความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการควบคุมระดับน้ำของระบบส่งน้ำตลอดฤดูกาลส่งน้ำ โดยแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์ของระดับน้ำเป้าหมาย (Clemmens *et al.*, 1998 ,Clemmens *et al.*, 2005, Malaterre and Rodellar, Bautista and Clemmens, 2005) ในขณะที่ Root Mean Square Error (RMSE,m.) แสดงถึงความแปรปรวนในการควบคุมระดับน้ำของระบบส่งน้ำตลอดฤดูกาลส่งน้ำ

โดยบอกเป็นความคลาดเคลื่อนจากระดับน้ำเป้าหมาย (เมตร) และ Reliability of Water Level Control (RWLC,%) แสดงถึงความสามารถในการควบคุมระดับน้ำไม่ให้ต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมาย โดยบอกเป็นร้อยละของจำนวนครั้งที่สามารถควบคุมระดับน้ำไม่ให้ต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด ตลอดฤดูกาลส่งน้ำ (วราวุธ และคณะ, 2552) ดังแสดงในสมการ (1) – (4)

$$MAE = 100 \times \frac{\text{Max}(|WL - TWL|)}{TWL} \quad (1)$$

$$IAE = 100 \times \frac{\frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}|WL - TWL|}{TWL} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{T}(WL - TWL)^2}{Nmeasured}} \quad (3)$$

$$RWLC = 100 \times \left(1 - \frac{NWLdroped}{NWLmeasured}\right) \quad (4)$$

โดยที่ WL คือ ระดับน้ำที่เวลา t (เมตร)

TWL คือ ระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด (เมตร)

t คือ จำนวนครั้งที่ตรวจวัดตลอดฤดูกาลส่งน้ำมีค่า 1, 2, ..., T

NWLdroped คือ จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย (ครั้ง)

NWLmeasured คือ จำนวนครั้งที่ตรวจวัด (ครั้ง)

2. ระบบคลองอัตโนมัติโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง (วราวุธ และคณะ, 2552) ถูกออกแบบโดยใช้ระบบ Low Cost SCADA (Sohag and Mahessar, 2004) และระบบประตูยนต์ ให้ทำงานร่วมกันในลักษณะ Plug and Play (วิชญ์, 2551) หลักการทำงานของระบบคลองอัตโนมัติ คือประตูยนต์ทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit, RTU) สำหรับตรวจวัดระดับน้ำด้านหน้า – ท้าย ประตูระบายน้ำกลางคลอง และควบคุมการเปิด – ปิด บานของประตูระบายน้ำกลางคลองที่ กม.3+650, 9+813 และ 20+300 เพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายน้ำกลางคลองทั้ง 3 แห่งให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายแบบอัตโนมัติ พร้อมรายงานข้อมูลเข้าสู่หัวงานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องซึ่งเป็นสถานีแม่ข่าย (Master Station) เพื่อควบคุม ประตูระบายน้ำปากคลองส่งน้ำ 5L – 2L ให้ส่งน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำโดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบปริมาตรน้ำคงที่ (Constant Volume) ดังแสดงใน Figure 1 และ 2 (วิชญ์ และวราวุธ, 2550)

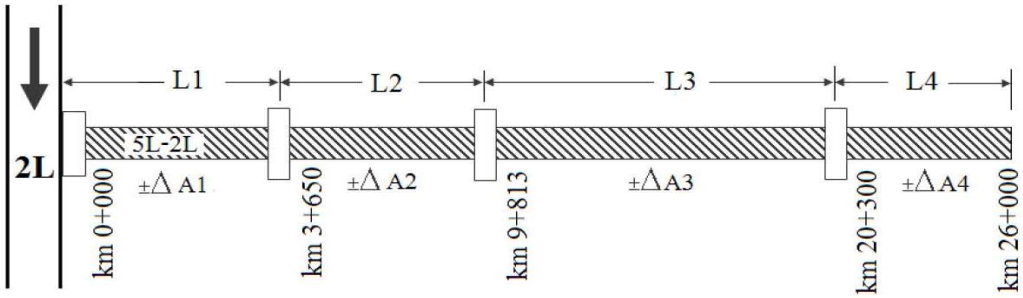


Figure 1 Canal system and cross - regulators of 5L – 2L canal

Figure 2 Robogate at Cross- regulator

3. วิธีการประเมินผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ

การประเมินผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติในโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องทำการประเมินได้ 2 วิธีคือ

1) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำระหว่างฤดูกาลส่งน้ำ 5 ฤดูของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ได้แก่ Dry Season 2/50 (6 มี.ค. – 18 มิ.ย. 50), Wet Season 50 (3 ก.ค. – 29 ต.ค.50), Dry Season 1/51 (1 พ.ย. 50 – 27 ก.พ. 51), Dry Season 2/51 (6 มี.ค. – 18 มิ.ย. 51) และ Wet Season 51 (3 ก.ค. – 29 ต.ค. 51) โดย Dry Season 2/51 ใช้ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System) ซึ่งใช้ประตูยนต์ในการควบคุมระบบส่งน้ำ ส่วนอีก 4 ฤดูใช้การควบคุมด้วยมือ (Local Manual Control) และใช้ระบบโทรมาตรในการตรวจวัดและส่งข้อมูล โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ช่วงคลอง คือ ช่วงคลองที่ 1 ระหว่าง กม. 0+020 – กม. 3+650 ช่วงคลองที่ 2 ระหว่าง กม. 3+650 – กม. 9+813 และช่วงคลองที่ 3 ระหว่าง กม. 9+813 – กม. 20+300

2) เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำด้วยประตูยนต์ (Robogate) ของระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง กับอุปกรณ์ควบคุมของระบบคลองส่งน้ำแบบอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้น

ในอดีต ซึ่งได้มีการประเมินผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของอุปกรณ์ควบคุมดังกล่าวในคลองจำลองของ ASCE (American Society of Civil Engineers) (Wahlin and Clemmens, 2002)

ผลการประเมินและวิจารณ์

1. ผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

การประเมินผลสัมฤทธิ์ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ด้านการควบคุมระบบส่งน้ำใช้ค่าดรรชนี 4 ตัวในการประเมิน ได้แก่ Maximum Absolute Error (MAE), Integrated Absolute Error (IAE), Root Mean Square Error (RMSE) และ Reliability of Water Level Control indicator (RWLC) ดังแสดงในTable 1 และ 2

จากผลการประเมินการควบคุมระบบส่งน้ำของระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง พบว่า

1) ระบบคลองอัตโนมัติ ให้ค่าดรรชนี MAE เท่ากับ 19.54% หรือระดับน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากระดับเป้าหมายเท่ากับ ± 0.50 – 0.70 เมตร จากระดับความลึกเป้าหมาย 2.5 – 3.5 เมตร ซึ่งน้อยกว่าการควบคุมด้วยมือที่สามารถควบคุมระดับน้ำให้มีความคลาดเคลื่อนจากระดับเป้าหมายดีที่สุดของทุกฤดูส่งน้ำ อยู่ที่ ± 0.80 – 1.00 เมตร (นาปรัง 1/51: MAE = 30.10%) และค่าดรรชนี MAE ของระบบคลองอัตโนมัติ สูงที่สุดเกิดขึ้นในช่วงคลองที่ 3 เนื่องจากประตูยนต์แต่ละแห่งจะทำหน้าที่รักษาระดับน้ำด้านหน้าและส่งการรบกวนระบบ (Perturbation) ไปยังด้านท้ายน้ำ ส่งผลให้ช่วงคลองที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงคลองสุดท้ายของระบบส่งน้ำ 5L – 2L และเป็นช่วงคลองที่สะสมผลลัพธ์ในการรักษาระดับน้ำของช่วงคลองที่ 1 และ 2 มีค่าดรรชนี MAE สูงที่สุด

2) ระบบคลองอัตโนมัติ ให้ค่าดรรชนี IAE เท่ากับ 5.89% หรือมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากระดับเป้าหมายเท่ากับ ± 0.15 – 0.20 เมตร ขณะที่การควบคุมด้วยมือสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำเฉลี่ยได้น้อยที่สุดเท่ากับ ±0.25 – 0.35 เมตร (Dry Season 1/51: IAE = 9.56%) แสดงว่าระบบคลองอัตโนมัติมีความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำให้ลดลง และเมื่อพิจาณาเฉพาะระบบคลองอัตโนมัติ พบว่าในช่วงคลองที่ 3 ให้ค่าดรรชนี IAE สูงที่สุด (IAE = 12.25%) โดยมีสาเหตุเหมือนข้อ 1)

3) ระบบคลองอัตโนมัติ ให้ค่าดรรชนี RMSE เท่ากับ 0.22 เมตร ในขณะที่การควบคุมด้วยมือให้ค่าดรรชนี RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.36 เมตรใน Dry Season 1/51 และให้ค่าดรรชนี RMSE สูงสุดเท่ากับ 0.67 เมตร ใน Dry Season 2/50 แสดงว่าระบบคลองอัตโนมัติสามารถลดความแปรปรวนของระดับน้ำจาก 0.67 เมตร ลงเหลือเพียง 0.22 เมตร และเมื่อพิจารณาเฉพาะระบบคลองอัตโนมัติ พบว่าช่วงคลองที่ 2 สามารถควบคุมความแปรปรวนของระดับน้ำได้ดีที่สุด เนื่องจากในช่วงคลองที่ 2 มีการใช้ประโยชน์ที่ดินใกล้เคียงกันส่งผลให้การรบกวนระบบเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

4) ระบบคลองอัตโนมัติ ให้ค่าดรรชนี RWLC เท่ากับ 82.96% แสดงให้เห็นว่าระบบคลองอัตโนมัติมีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำไม่ให้ต่ำกว่าระดับเป้าหมายได้ถึง 133,862 นาที จากช่วงเวลาในการส่งน้ำ 161,280 นาที (105 วัน) ในขณะที่ระบบควบคุมด้วยมือมีความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำดีที่สุดใน Dry Season 1/51 โดยให้ค่าดรรชนี RWLC = 12.47% และเมื่อพิจาณาเฉพาะระบบคลองอัตโนมัติ พบว่าในช่วงคลองที่

3 ให้ค่าดรรชนี RWLC สูงที่สุดเท่ากับ 99.09% แสดงให้เห็นว่าในช่วงคลองที่ 3 ซึ่งมีความสามารถในรักษาระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายต่ำที่สุด (ค่าดรรชนี MAE และ IAE สูงกว่าทุกช่วงคลอง) ซึ่งเป็นผลมาจากการรบกวนระบบในด้านบวก หมายความว่าระดับน้ำในช่วงคลองที่ 3 โดยส่วนใหญ่จะสูงกว่าระดับเป้าหมาย

Table 1 Comparison of MAE and IAE for 5L-2L canal operating under automatic water level control mode and manual mode.

Season	Reach 1 (Km.0+000-3+650)		Reach 2 (Km.3+650-9+813)		Reach 3 (Km.9+813-20+300)		5L-2L	
	MAE (%)	IAE (%)	MAE (%)	IAE (%)	MAE (%)	IAE (%)	MAE (%)	IAE (%)
Dry Season 2/50	33.89	26.02	27.19	14.62	33.55	14.59	33.89	18.36
Wet Season 50	18.13	7.40	26.22	12.54	38.00	13.18	38.00	10.78
Dry Season 1/51	16.25	5.48	20.36	10.67	30.10	12.68	30.10	9.56
Dry Season 2/51	10.10	3.21	7.67	2.46	19.54	12.25	19.54	5.89
Wet Season 51	23.02	9.33	23.97	12.41	53.37	22.09	53.37	14.10

Table 2 Comparison of RMSE and RWLC for 5L-2L canal operating under automatic water level control mode and manual mode.

Season	Reach 1		Reach 2		Reach 3		5L-2L	
	RMSE (m)	RWLC (%)	RMSE (m)	RWLC (%)	RMSE (m)	RWLC (%)	RMSE (m)	RWLC (%)
Dry Season 2/50	0.86	94.70	0.54	0.00	0.41	21.68	0.67	0.00
Wet Season 50	0.29	23.42	0.49	9.59	0.40	78.15	0.40	4.74
Dry Season 1/51	0.22	38.18	0.40	13.29	0.37	81.08	0.36	12.47
Dry Season 2/51	0.15	86.90	0.11	87.56	0.31	99.09	0.22	82.96
Wet Season 51	0.36	9.52	0.47	4.49	0.63	81.67	0.47	2.64

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำด้วยระบบอัตโนมัติของประตูยนต์กับอุปกรณ์ควบคุมระบบคลองอัตโนมัติแบบต่าง ๆ

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติที่ใช้ประตูยนต์ (Robogate) เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา กับอุปกรณ์ควบคุมระบบคลองอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้นในอดีตที่ประเมินผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำในคลองจำลองของ ASCE ซึ่งประกอบ 8 ช่วงคลอง และมีการติดตั้งระบบควบคุมแบบอัตโนมัติเฉพาะจุด (Local Automatic Control) ตลอดทั้งคลอง โดยประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำใน 1 วัน (Wahlin and Clemmens, 2002) ดังแสดงในTable 3

Table 3 MAE and IAE for automatic canal control systems

อุปกรณ์ควบคุม	MAE		IAE	
	Maximum (%)	Average (%)	Maximum (%)	Average (%)
PI	25.8	7.2	4.6	1.45
PI w / Dec I	19.7	4.9	5.4	1.25
PI w / Dec II	22.7	6.9	5.2	1.55
PI w / Dec I&II	18.9	4.6	4.1	1.15
CARRD	30.3	15	14.0	4.4
Robogate	19.54	12.4	12.3	6.0

Reference: Wahlin and Clemmens (2002)

จากผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของประตูยนต์กับวิธีการควบคุมระบบคลองอัตโนมัติชนิดอื่น ๆ พบว่า

1) ประตูยนต์ ให้ค่าดรรชนี MAE สูงสุดเท่ากับ 19.5% ซึ่งต่ำกว่าระบบควบคุมชนิดอื่น ยกเว้นการควบคุมด้วย PIw / Dec I&II (PI controller, both Decoupler I and Decoupler II are combined) แสดงว่า ประตูยนต์ มีสมรรถนะในการควบคุมความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำจากระดับเป้าหมายได้ดี แต่กลับให้ค่าดรรชนี MAE เฉลี่ยเท่ากับ 12.4% ซึ่งสูงกว่าระบบควบคุมชนิดอื่น เป็นผลมาจากการประเมินผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของประตูยนต์ ใช้ช่วงเวลาในการประเมิน 105 วัน ในพื้นที่ส่งน้ำจริง (272,535 ไร่) ในขณะที่อุปกรณ์ควบคุมชนิดอื่นใช้ช่วงเวลาในการประเมินเพียง 1 วัน ในระบบส่งน้ำจำลองของ ASCE ส่งผลให้ระบบส่งน้ำที่ ประตูยนต์ ควบคุมอยู่มีการรบกวนระบบที่ไม่สามารถคาดการณ์ได้ (Perturbation) สูงกว่า

2) ประตูยนต์ ให้ค่าดรรชนี IAE สูงสุดเท่ากับ 12.3% และเฉลี่ยเท่ากับ 6.0% ซึ่งสูงกว่าระบบควบคุมชนิดอื่น โดยมีสาเหตุเหมือนข้อ 1) นอกจากนั้นยังพบว่าค่าดรรชนี IAE ที่ให้ค่าสูงอยู่ในช่วงคลองที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงคลองสุดท้ายของระบบส่งน้ำซึ่งได้รับผลจากการปรับบานของช่วงคลองที่ 1 และ 2 แต่เมื่อพิจารณาค่าดรรชนี IAE ในช่วงคลองที่ 1 และ 2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 3.21% และ 2.46% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเทียบกับค่าดรรชนี IAE ของระบบการควบคุมชนิดอื่น

สรุปผลและเสนอแนะ

การทดสอบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ ที่พัฒนา ประตูยนต์ ขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุม ให้ค่าดรรชนี MAE = 19.54%, IAE = 5.89%, RMSE = 0.22 เมตร และ RWLC = 82.96% และผลจากการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำระหว่าง ประตูยนต์ กับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติชนิดต่าง ๆ ของระบบคลองอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้นในอดีตที่ใช้คลองจำลองของ ASCE ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า ประตูยนต์ให้ค่าดรรชนี MAE สูงสุดต่ำกว่าค่าเฉลี่ย แต่ให้ค่าเฉลี่ยของดรรชนี MAE สูงกว่าค่าเฉลี่ย และให้ค่าดรรชนี IAE สูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของดรรชนี

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นำระบบคลองอัตโนมัติ ซึ่งใช้ ประตูยนต์ ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำในคลองชลประทาน ไปใช้ในการควบคุมระบบส่งน้ำในคลองในสภาพจริงได้ และเพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำ ควรพิจารณานำเอาระบบ Computerized Centralized Control (CCC) ซึ่งมีคอมพิวเตอร์ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ควบคุม (Operation Center) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากระบบโทรมาตรต่างๆ เก็บบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล (Database) มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถพยากรณ์ (Forecast) และจำลอง (Simulate) สถานการณ์ล่วงหน้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจและสั่งการควบคุม ประตูระบายปากคลอง และกลางคลอง ระยะไกลแบบอัตโนมัติ ร่วมกับคุณสมบัติด้านชลศาสตร์ของอาคารควบคุม เช่น ความอ่อนไหวของอาคารปากทางออก (Offtake Sensitivity) และความอ่อนไหวของอาคารควบคุม (Regulator Sensitivity) มาประกอบในการควบคุมระบบส่งน้ำ ซึ่งจะช่วยให้ระบบส่งน้ำสามารถตอบสนองต่อความต้องการน้ำที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาปกติ หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ในช่วงเวลาวิกฤติได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

วราวุธ วุฒิวณิชย์, นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์, กิติตพงษ์ เจาจารึก, ธนา ชีพสมทรง และวิชญ์ ศรีวงษา. 2552. **การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์.**

วิชญ์ ศรีวงษา. 2551. **การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติต้นทุนต่ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชญ์ ศรีวงษา และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2550. การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้องระยะที่ 1. **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่** 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Bautista, E. and A.J. Clemmens. 2005. Volume compensation method for routing irrigation canal demand changes. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** 131 (6): 494 – 503.

Clemmens, A.J., 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.

_____, 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.

Malaterre, P.O. and J. Rodellar. 1997. **Multivariable Predictive Control of Irrigation Canals. Design and evaluation on a 2-pool model.** International workshop on regulation of irrigation canals. Marrakech, Morocco.

Renault, D.,T. Facon and R. Wahaj. 2007. **Modernizing the Irrigation Management -MASSCOTE Approach.** Irrigation and Drainage Paper. FAO. No.63.

Sohag, M.A. and A.A. Mahessar. 2004. **Telemetry System in the Irrigation Network.** Sindh Irrigation Drainage Authority, Hyderabad, Pakistan.

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.

การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ

Output performance assessment of Canal Automation System

อุรินทร์ โสตรโยม[1] วราวุธ วุฒิวณิชย์[1] วิชญ์ ศรีวงษา[2]

Urin Soteyome[1], Varawoot Vudhivanich[1] and Vich Sriwongsa[2]

บทคัดย่อ

ระบบคลองอัตโนมัติ (Canal Automation System, CAS) ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อควบคุมการส่งน้ำแบบอัตโนมัติและเพิ่มประสิทธิภาพ – ประสิทธิผลในการควบคุมการส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 5L - 2L โดยใช้ดัชนีแสดงผลการส่งน้ำ (Output performance) ซึ่งประกอบด้วย ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy indicator, PA) ประสิทธิภาพ (Efficiency indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity indicator, PEQ) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำแบบรายสัปดาห์ทั้งในระบบอัตโนมัติและระบบที่ควบคุมด้วยมือ จากผลการประเมินพบว่า คลองส่งน้ำ 5L – 2L ที่ส่งน้ำในระบบอัตโนมัติมีค่าดัชนี PA = 0.81, PE = 0.56 และ PEQ = 0.63 ขณะที่การส่งน้ำที่ควบคุมด้วยมือมีค่าดัชนี PA = 0.78, PE = 0.51 และ PEQ = 0.72 ซึ่งหมายความว่าระบบอัตโนมัติ สามารถส่งและควบคุมน้ำได้เพียงพอกับความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ประสิทธิภาพการชลประทานและความเป็นธรรมยังต่ำกว่าเกณฑ์ของ Molden and Gate(1990) และต้องมีการปรับปรุง ในขณะที่ระบบที่ควบคุมด้วยมือต้องปรับปรุงสมรรถนะในการส่งและควบคุมน้ำทั้งในด้านความเพียงพอ ประสิทธิภาพการชลประทาน และความเป็นธรรม

Abstract

Canal Automation System (CAS) was developed to control water delivery automatically and improve output of water delivery performance in 5L–2L canal. The indicators comprising Adequacy indicator (PA), Efficiency indicator (PE) and Equity indicator (PEQ) were used for assessing the output performance of CAS on weekly basis both for automatic and manual systems. The output performance indicators when CAS operated in an automatic mode were PA = 0.81, PE = 0.56 and PEQ = 0.63, and in a manual mode were PA = 0.78, PE = 0.51 and PEQ = 0.72. The results showed that the adequacy of water delivery when canal operated in the automatic mode was fair but the efficiency and equity were poor according to the criteria of Molden and Gate (1990) and an improvement is needed while the performance of the manual operation as indicated by adequacy, efficiency and equity indicators were poor and an improvement of manual operation are needed.

Keyword: Canal Automation System, Output performance

Email: urinsoteyome@hotmail.com

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 74130

[1] Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 74310

[2] สถาบันพัฒนาการชลประทาน สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน นนทบุรี 11120

[2] Irrigation Development Institute, Royal Irrigation Department, Nonthaburi 11120

คำนำ

ระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องถูกพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการตรวจวัดระดับน้ำ และควบคุมการเปิด – ปิดประตูระบายน้ำแบบอัตโนมัติ ในการควบคุมระดับน้ำในคลองชลประทานในโหมดควบคุมเหนือน้ำ (Upstream Control) และทำงานร่วมกับระบบ SCADA ซึ่งทำงานในโหมดควบคุมท้ายน้ำ (Downstream Control) เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนบุคคลากรด้านการส่งน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพ-ประสิทธิผลในการควบคุมการส่งน้ำในโครงการชลประทาน ซึ่งระบบดังกล่าวได้ติดตั้งและใช้งานที่คลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องตั้งแต่เดือนธันวาคม 2550 เป็นต้นมา และสามารถควบคุมระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายได้ดีกว่าการควบคุมระบบส่งน้ำด้วยมืออย่างเห็นได้ชัด นอกจากนั้นยังพบว่าระบบอัตโนมัติสามารถช่วยเพิ่มค่าดัชนีความเพียงพอ และความเป็นธรรมในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกเมื่อพิจารณาเป็นรายฤดูกาลส่งน้ำ (วราวุธ และคณะ, 2552)

การควบคุมระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่จะส่งผลโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพ – ประสิทธิผลในการส่งน้ำชลประทาน เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองส่งน้ำสายใหญ่จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารทางออก (Offtake) จากคลองส่งน้ำในทิศทางเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ซึ่งเรียกว่าความอ่อนไหวของอาคารชลประทานในระบบส่งน้ำ (Structure sensitivity) (Renault et al., 2007)

ดังนั้นในการศึกษาเพื่อทดสอบประสิทธิผลหรือผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ จะใช้ดัชนีแสดงผลการส่งน้ำ (Output performance) 3 ตัว คือ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy indicator) ดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency indicator) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity indicator) เป็นเครื่องมือในการทดสอบผลลัพธ์ในการส่งน้ำแบบรายสัปดาห์ของแต่ละฤดูกาลส่งน้ำ (Molden and Gates, 1990) เช่น การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำของ The Menemen Left Bank Irrigation System ของประเทศตุรกี ในปีค.ศ. 1999 และ 2000 (Unal *et al.*, 2004)

อุปกรณ์และวิธีการ

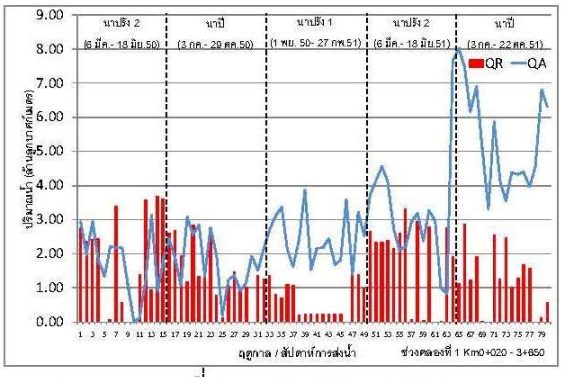
1. ดัชนีแสดงผลการส่งน้ำ (Output Performance Indicator)

การทดสอบประสิทธิผลหรือผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ จะใช้ดัชนีแสดงผลการส่งน้ำ 3 ตัว คือ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy indicator, PA) ประสิทธิภาพ (Efficiency indicator, PE) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity indicator, PEQ) เป็นเครื่องมือในการทดสอบ (Bos, 1997, Svendsen *et al.*, 2001, Unal *et al.*, 2004) ซึ่งการประเมินค่าดัชนีจะพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความต้องการน้ำของพืช (Q_R) กับปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ (Q_A) ดังแสดงในภาพที่ 1 และ Molden and Gates (1990) ได้เสนอแนะเกณฑ์ในการพิจารณาคุณภาพการส่งน้ำออกเป็น 3 ระดับ คือระดับดี (Good) ระดับพอใช้ (Fair) และระดับไม่ดี (Poor) ดังตารางที่ 1

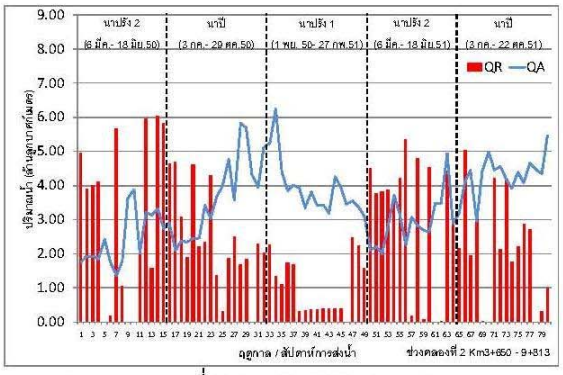
ตารางที่ 1 เกณฑ์ในการแบ่งคุณภาพการส่งน้ำ

ดัชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำ	คุณภาพในการส่งน้ำ (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

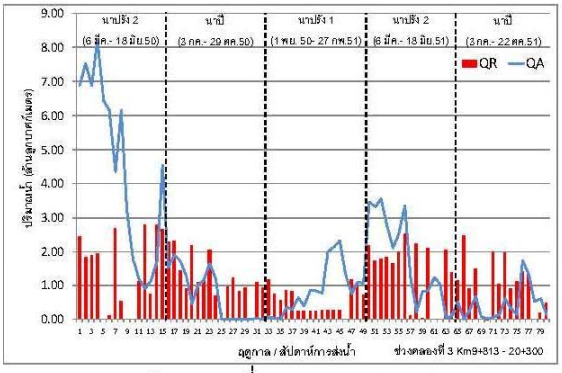
ที่มา : Molden and Gate (1990)



a) ช่วงคลองที่ 1 Km 0+000 – 3+650



b) ช่วงคลองที่ 2 Km 3+650 – 9+813



c) ช่วงคลองที่ 3 Km 9+813 – 20+300

ภาพที่ 1 ข้อมูลปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ (Q_A) กับปริมาณความต้องการน้ำของพืช (Q_R)

1.1 ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy indicator, PA)

ดัชนีความเพียงพอเป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงสมรรถนะในการส่งน้ำของระบบส่งน้ำในการตอบสนองต่อความต้องการน้ำของพืช โดยค่าดัชนีความเพียงพอมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 1 แสดงว่าระบบส่งน้ำสามารถส่งน้ำได้ตามความต้องการน้ำของพืชตลอดเวลาในช่วงฤดูกาลส่งน้ำที่พิจารณา คำนวณจากสูตรดังต่อไปนี้

$$PA_{t,n} = (Q_A/Q_R)_{t,n} \quad (1)$$

$$PA_{t,n} = 1.0 \; ; \; Q_A > Q_R \quad (2)$$

$$PA = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} PA_{t,n}\right) \quad (3)$$

$$Q_A = \frac{Q'_A \times Ec}{100} \quad (4)$$

1.2 ประสิทธิภาพ (Efficiency indicator, PE)

ประสิทธิภาพเป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงสมรรถนะในการทำงานของระบบส่งน้ำ โดยค่าดัชนีประสิทธิภาพมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงระบบส่งน้ำสามารถส่งน้ำให้แปลงเพาะปลูกโดยไม่มีการสูญเสียน้ำในระหว่างการส่งน้ำตลอดเวลาในช่วงฤดูกาลส่งน้ำที่พิจารณา คำนวณจากสูตร ดังต่อไปนี้

$$PE_{t,n} = (Q_R/Q_A)_{t,n} \quad (5)$$

$$PE_{t,n} = 1.0 \; ; \; Q_R > Q_A \quad (6)$$

$$PE = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T}\left(\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} PE_{t,n}\right) \quad (7)$$

1.3 ดัชนีความเป็นธรรม (Equity indicator, PEQ)

ดัชนีความเป็นธรรมเป็นค่าดัชนีที่แสดงถึงสมรรถนะในการกระจายน้ำเข้าสู่แปลงเพาะปลูกของระบบส่งน้ำอย่างเป็นธรรมในทุกแปลงของทุกช่วงคลองในระบบส่งน้ำที่พิจารณา โดยค่าดัชนีความเป็นธรรมมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 ซึ่งหมายถึงทุกช่วงคลองในระบบส่งน้ำได้รับน้ำอย่างเท่าเทียมและเป็นธรรมตลอดเวลาในช่วงฤดูกาลส่งน้ำที่พิจารณา คำนวณจากสูตร ดังต่อไปนี้

$$PEQ = \frac{1}{T}\sum_{t=1}^{T} CV_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n} \quad (8)$$

$$CV_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n} = \frac{SD_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n}}{Mean_t\left(\frac{Q_A}{Q_R}\right)_{t,n}} \quad (9)$$

โดยที่

PA คือ ดัชนีความเพียงพอรวมของระบบส่งน้ำตลอดฤดูกาล มีค่า 0 – 1

PE คือ ดัชนีประสิทธิภาพรวมของระบบส่งน้ำตลอดฤดูกาล มีค่า 0 – 1

PEQ คือ ดัชนีความเป็นธรรมในการส่งน้ำของระบบคลองส่งน้ำตลอดฤดูการส่งน้ำ มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 0

$PA_{t,n}$ คือ ดัชนีความเพียงพอของปริมาณน้ำที่ส่งให้ช่วงคลองที่ n ในสัปดาห์ส่งน้ำ t มีค่า 0 – 1

$PE_{t,n}$ คือ ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทานของช่วงคลองที่ n ในสัปดาห์ส่งน้ำ t มีค่า 0 – 1

$(Q_A)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกในช่วงคลองที่ n ได้รับ ในสัปดาห์ส่งน้ำ t มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

$(Q'_A)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่ส่งให้ช่วงคลองที่ n ในสัปดาห์ส่งน้ำ t มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

$(Q_R)_{t,n}$ คือ ปริมาณน้ำที่พืชในช่วงคลองที่ n ต้องการ ในสัปดาห์ส่งน้ำ t มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

Ec คือ ประสิทธิภาพการส่งน้ำ (ช่วงคลองที่ 1 = 68.77% ช่วงคลองที่ 2 = 65.85 และช่วงคลองที่ 3 = 70.42)

CV_t ( ) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (coefficient of variance) ในสัปดาห์ส่งน้ำ t ของอัตราส่วนปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ ต่อปริมาณน้ำที่พืชต้องการในช่วงคลองต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ

SD_t ( ) คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในสัปดาห์ส่งน้ำ t ของอัตราส่วนปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับต่อปริมาณน้ำที่พืชต้องการในช่วงคลองต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ

$Mean_t$( ) คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต ในสัปดาห์ส่งน้ำ t ของอัตราส่วนปริมาณน้ำที่พื้นที่เพาะปลูกได้รับ ต่อปริมาณน้ำที่พืชต้องการในช่วงคลองต่าง ๆ ของระบบคลองส่งน้ำ

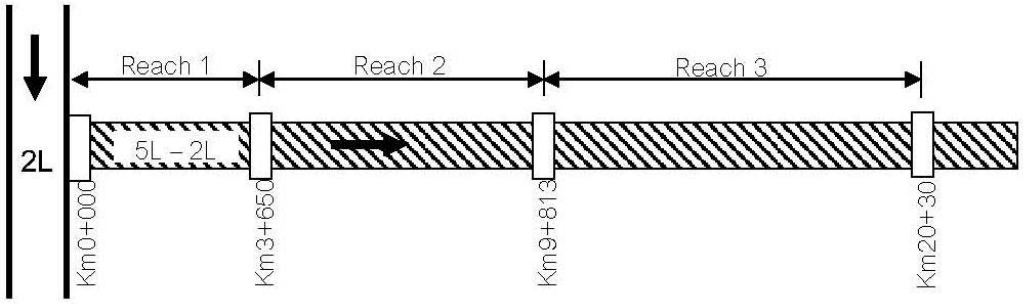
n คือ จำนวนช่วงคลองในระบบส่งน้ำมีค่า 1, 2, …, N

t คือ จำนวนฤดูกาลส่งน้ำที่พิจารณามีค่า 1, 2, …, T

2. ระบบคลองอัตโนมัติโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ระบบคลองอัตโนมัติโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง (วราวุธ และคณะ, 2552) ถูกออกแบบโดยใช้ระบบ Low Cost SCADA (Sohag and Mahessar, 2004) และระบบประตูยนต์ ให้ทำงานร่วมกันในลักษณะ plug and play (วิชญ์, 2551)

หลักการทำงานของระบบคลองอัตโนมัติ คือประตูยนต์ทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย (Remote Terminal Unit, RTU) สำหรับตรวจวัดระดับน้ำด้านหน้า – ท้าย ปตร.กลางคลอง และควบคุมการเปิด – ปิด บานของปตร. กลางคลองที่ กม.3+650, 9+813 และ 20+300 เพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าปตร.กลางคลองทั้ง 3 แห่งให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายแบบอัตโนมัติ พร้อมรายงานข้อมูลเข้าสู่หัวงานของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องซึ่งเป็นสถานีแม่ข่าย (Master station) เพื่อควบคุม ปตร.ปากคลองส่งน้ำ 5L – 2L ให้ส่งน้ำเข้าสู่ระบบส่งน้ำโดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบปริมาตรน้ำคงที่ (Constant volume) ดังแสดงในภาพที่ 2 และ 3 (วิชญ์ และวราวุธ, 2550)



ภาพที่ 2 ระบบคลองส่งน้ำ 5L-2L และอาคารควบคุมน้ำหลัก

ภาพที่ 3 ลักษณะการติดตั้งประตูยนต์และอุปกรณ์ประกอบที่สถานีลูกข่ายโดยทั่วไป

3. วิธีการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ

การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติที่ติดตั้งในคลองส่งน้ำ 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจะประเมิน โดยการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำระหว่างฤดูกาลส่งน้ำ 5 ฤดู (ตารางที่ 2) ใน 3 ช่วงคลอง (ภาพที่ 2) และทำการประเมินเป็นรายสัปดาห์ของแต่ละฤดูกาลส่งน้ำ

ตารางที่ 2 ช่วงเวลาและโหมดควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ

ฤดูกาล	ช่วงเวลา	ระบบควบคุม
นาปรัง 2 (50)	6 มีนาคม 2550 - 18 มิถุนายน 2550	ระบบควบคุมด้วยมือ
นาปี (50)	3 กรกฎาคม 2550 - 29 ตุลาคม 2550	ระบบควบคุมด้วยมือ
นาปรัง 1 (50/51)	1 พฤศจิกายน 2550- 27 กุมภาพันธ์ 2551	ระบบควบคุมด้วยมือ
นาปรัง 2 (51)	6 มีนาคม 2551 - 18 มิถุนายน 2551	ระบบควบคุมอัตโนมัติ
นาปี (51)	3 กรกฎาคม 2551 - 22 ตุลาคม 2551	ระบบควบคุมด้วยมือ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติที่ติดตั้งในคลองส่งน้ำ 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ด้วยค่าดัชนีแสดงผลการส่งน้ำ 3 ตัว คือ ดัชนีความเพียงพอ (Adequacy indicator) ดัชนีประสิทธิภาพ (Efficiency indicator) และดัชนีความเป็นธรรม (Equity indicator) แบบรายสัปดาห์ใน 5 ฤดูกาลส่งน้ำแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ดัชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำของคลองส่งน้ำ 5L – 2L ที่ประเมินแบบรายสัปดาห์

ฤดูกาล	ช่วงคลองที่ 1		ช่วงคลองที่ 2		ช่วงคลองที่ 3		ระบบส่งน้ำ 5L-2L		
	PA	PE	PA	PE	PA	PE	PA	PE	PEQ
นาปรัง 2 (50)	0.70	0.70	0.62	0.80	0.91	0.40	0.74	0.63	0.77
นาปี (50)	0.94	0.61	0.88	0.53	0.47	0.82	0.76	0.60	0.67
นาปรัง 1 (50/51)	0.99	0.21	1.00	0.18	0.72	0.52	0.90	0.29	0.53
นาปรัง 2 (51)	0.91	0.46	0.76	0.70	0.75	0.53	0.81	0.56	0.63
นาปี (51)	1.00	0.18	0.98	0.36	0.49	0.79	0.82	0.50	0.89

จากผลการคำนวณดัชนีแสดงผลการส่งน้ำ (Output performance indicators) ในตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า ตามเกณฑ์ของ Moden and Gate (1990) ในภาพรวมคลอง 5L-2L สามารถส่งและควบคุมน้ำได้เพียงพอกับความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง (PA มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.78) แต่ประสิทธิภาพการชลประทานยังอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง (PE มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51) และความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง (PEQ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.72) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระบบการควบคุมน้ำระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบควบคุมด้วยมือ พบว่าช่วงที่ส่งและควบคุมน้ำในระบบอัตโนมัติความเพียงพออยู่ในเกณฑ์พอใช้ (PA = 0.81) ส่วนความเป็นธรรมและประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุง (PE = 0.56, PEQ = 0.63) ถือว่าคุณภาพการส่งและควบคุมน้ำในภาพรวมระดับสัปดาห์ไม่แตกต่างจากระบบที่ควบคุมด้วยมืออย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับดัชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำที่พิจารณาเป็นรายฤดูกาลส่งน้ำ (วราวุธ และคณะ, 2552) พบว่าช่วงที่ส่งและควบคุมน้ำในระบบอัตโนมัติความเพียงพอและความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ประสิทธิภาพยังต้อง

ปรับปรุง ถือว่าคุณภาพการส่งและควบคุมน้ำในภาพรวมไม่แตกต่างจากระบบที่ควบคุมด้วยมือในช่วงฤดูแล้ง แต่ดีกว่าการส่งและควบคุมน้ำในระบบที่ควบคุมด้วยมือในช่วงนาปี

ดัชนีแสดงผลลัพธ์ในการส่งน้ำสะท้อนความจริงที่ว่าช่วงคลองต้นน้ำได้รับน้ำมาก และไม่เกิดการขาดน้ำ แต่ประสิทธิภาพจะต่ำ ซึ่งมีผลกระทบต่อความเพียงพอในการได้รับน้ำของช่วงคลองท้ายน้ำ

สรุป

การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำรายสัปดาห์ของระบบคลองอัตโนมัติในโหมดอัตโนมัติ ที่ใช้ควบคุมการส่งน้ำในคลองส่งน้ำ 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องให้ค่าดัชนีแสดงผลการส่งน้ำ PA = 0.81, PE = 0.56 และ PEQ = 0.63 หมายความว่าระบบคลองอัตโนมัติในโหมดอัตโนมัติ สามารถส่งและควบคุมน้ำได้เพียงพอกับความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำอยู่ในเกณฑ์พอใช้ แต่ต้องปรับปรุงผลการส่งน้ำในด้านประสิทธิภาพการชลประทาน และความเป็นธรรม ในขณะที่การควบคุมด้วยมือให้ค่าดัชนีแสดงผลการส่งน้ำในด้านของความเพียงพอ ประสิทธิภาพชลประทาน และความเป็นธรรมใกล้เคียงกับการควบคุมในโหมดอัตโนมัติ (PA = 0.78, PE = 0.51 และ PEQ = 0.72) เนื่องจากระบบคลองอัตโนมัติถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด และทดแทนอัตรากำลังเจ้าหน้าที่ควบคุมอาคารที่ถูกลดจำนวนลงเป็นจำนวนมากตามนโยบายภาครัฐ จากรายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการการพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ พบว่าระบบอัตโนมัติสามารถลดความคลาดเคลื่อนในการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าประตูระบายกลางคลองลงเท่าตัว โดยเฉลี่ยค่า RMSE (Root Mean Square Error) ลดลงจากมากกว่า 0.50 เมตร เหลือเพียง 0.25 เมตร (วราวุธ และคณะ, 2552)

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบคลองอัตโนมัติ ยังต้องปรับปรุงในส่วนของผลลัพธ์ในการส่งน้ำ (การควบคุมและส่งน้ำเข้าพื้นที่เพาะปลูกเพื่อตอบสนองต่อความต้องการน้ำของเกษตรกร) โดยพิจารณานำเอาระบบ Computerized Centralized Control (CCC) ซึ่งมีคอมพิวเตอร์ติดตั้งอยู่ที่ศูนย์ควบคุม (Operation Center) ทำหน้าที่รับข้อมูลจากระบบโทรมาตรต่างๆ เก็บบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล (Data Base) มีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถพยากรณ์ (Forecast) และจำลอง (Simulate) สถานการณ์ล่วงหน้า สำหรับใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจและสั่งการควบคุม ประตูระบายปากคลอง และกลางคลอง ในระยะไกลแบบอัตโนมัติ ร่วมกับคุณสมบัติด้านชลศาสตร์ของอาคารควบคุม เช่น ความอ่อนไหวของอาคารปากทางออก (Offtake Sensitivity) และความอ่อนไหวของอาคารควบคุม (Regulator Sensitivity) มาประกอบในการควบคุมระบบส่งน้ำ ซึ่งจะช่วยให้ระบบส่งน้ำสามารถตอบสนองต่อความต้องการน้ำที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาปกติ หรือเหตุการณ์ต่าง ๆ ในช่วงเวลาวิกฤติได้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

วราวุธ วุฒิวณิชย์, นิมิตร เฉิดฉันท์พิพัฒน์, กิติตพงษ์ เจาจารึก, ธนา ชีพสมทรง และวิชญ์ ศรีวงษา. 2552. **รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์: การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ.**

วิชญ์ ศรีวงษา. 2551. **การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติต้นทุนต่ำ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

_____ และ วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2550. การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติสองพี่น้องระยะที่ 1. **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่** 4. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Bos, M.G., 1997. Performance indicators for irrigation and drainage. **Irrigation and Drainage System.** 11, 137 – 199

Molden, D.J. and T.K. Gates. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation – water – delivery systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering.** 116(6), 804 – 823.

Renault, D.,T. Facon and R. Wahaj. 2007. **Modernizing the Irrigation Management -MASSCOTE Approach.** Irrigation and Drainage Paper No.63., FAO, Rome. 207.

Sohag, M.A. and A.A. Mahessar. 2004. **Telemetry System in the Irrigation Network.** Sindh Irrigation Drainage Authority, Hyderabad, Pakistan.

Svendsen, M., D.H. Murray – Rust, N. Harmancioglu, N. Alpaslan., 2001. Governin closing basins: the case of the Gediz River in Turkey. 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, 183 - 214

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.

Kamphaengsean Acad. J. Vol. 9, No. 1, 2011, Pages 41 - 52 วิทยาสารกำแพงแสน ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 2554

การใช้วิธีประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

Application of Rapid Appraisal Process to the Analysis of Strategies for Improving Operation of Canal system 2L in the Greater Mae Klong Irrigation Project

อุรินทร์ โสตรโยม[1] และวราวุธ วุฒิวณิชย์[1]*

Urin Soteyome[1] and Varawoot Vudhivanich[1]*

ABSTRACT

In order to set canal system as Service Oriented Management (SOM) and to be efficient, Rapid Appraisal Process (RAP) technique was used to analyze strategies for improving its operation. External indicators were used to examine water use efficiency in canal system. Internal indicators were used to solve fine problems and set improved target.

The Operation management of 2L canal system was evaluated during January 2008 – December 2008. It was found that the available water of 2L canal system was 2.5 times that of crop requirement. The irrigation efficiency was 61%. Nevertheless, there were some problems of operation service, including appurtenance capacity in lateral and tertiary canal and ditch. These problems were solved by improving operation service and appurtenance capacity in 4 following respects. (1) Development of the instrument for weekly estimation of crop water requirement. (2) Setting of rotating water allocation. (3) Addition of SCADA system at 2L Tail regulator and training staff for 2L canal system controlled by SCADA and (4) Calibration of discharge coefficient of both 2R - 2L and 11L – 2L head regulators and Tail regulators.

Key words: Rapid appraisal process, Improving operation of canal system, The Greater Mae Klong Irrigation Project.

บทคัดย่อ

การวิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ ด้วยเทคนิคการประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP) จะใช้ดัชนีภายนอกสำหรับตรวจสอบประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรน้ำของระบบส่งน้ำ และใช้ดัชนีภายในสำหรับระบุปัญหาและกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุง เพื่อให้ระบบส่งน้ำมีประสิทธิภาพในการส่งน้ำ และมีลักษณะการบริหารงานแบบ Service Oriented Management (SOM) ที่กำหนดให้

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 0-3435 - 1897, Fax. 0 - 3435 – 1404, E-mail address: urinsoteyome@hotmail.com

โครงการชลประทานเป็นผู้ให้บริการ และเกษตรกรเป็นลูกค้าผู้มารับบริการ ซึ่งจากผลการประเมินการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ข้าย ระหว่างเดือนมกราคม 2551 – เดือนธันวาคม 2551 พบว่า ระบบส่งน้ำ 2 ข้ายมีทรัพยากรน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้สูงกว่าความต้องการน้ำของพืชประมาณ 2.5 เท่า มีประสิทธิภาพชลประทานทั้งระบบ 61% แต่ระบบส่งน้ำยังมีปัญหาในส่วนของการให้บริการส่งน้ำในระดับคลองซอย คลองแยกซอย และคูน้ำ ตลอดจนสมรรถนะขององค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำในระดับคลองซอย และคลองแยกซอย ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุงระบบส่งน้ำ ประกอบด้วย (1) พัฒนาเครื่องมือสำหรับประเมินความต้องการน้ำของพืชแบบรายสัปดาห์ (2) การกำหนดวิธีการส่งน้ำเป็นแบบรอบเวร (3) อบรมให้ความรู้ เกี่ยวกับการนำระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระบบส่งน้ำ 2 ข้าย และติดตั้งระบบ SCADA เพิ่มเติมที่ ปตร.ปลายคลอง 2 ข้าย และ (4) สอบเทียบสัมประสิทธิ์การไหลของ ปตร.ปากคลองซอย 2R – 2L ปตร.ปากคลองซอย 11L – 2L และปตร.กลางคลองในคลองซอย 2R – 2L และ 11L - 2L

คำสำคัญ: การประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว การปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

คำนำ

ประเทศไทยได้ดำเนินการพัฒนาการชลประทานอย่างจริงจังมานานกว่าศตวรรษ นับตั้งแต่ตั้งกรมชลประทานมาตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2445 ปัจจุบันมีโครงการชลประทานขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก กว่าหมื่นโครงการ สามารถส่งน้ำเพื่อการเพาะปลูกในพื้นที่ถึง 23.6 ล้านไร่ หรือประมาณ 20% ของพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศ (http://www.rid.go.th/document/stat.htm) โครงการชลประทานเกือบทั้งหมดส่งน้ำโดยแรงโน้มถ่วงของโลกด้วยระบบคลองส่งน้ำชลประทาน มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการชลประทานของประเทศไทยเท่ากับ 43% และค่ามาตรฐานนิยมอยู่ระหว่าง 40-50% บางโครงการมีค่าประสิทธิภาพการชลประทานต่ำกว่า 10% (วราวุธ, 2548)

การประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP) เป็นเทคนิคสำหรับประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบส่งน้ำ (Burt, 2001) ซึ่งได้มีการนำมาใช้ประเมินโครงการชลประทานต่าง ๆ ในประเทศไทยมากมายอาทิเช่น โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาน้ำบาดาล (กรมชลประทาน, 2546) โครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำพระปรง (อุรินทร์ และวราวุธ, 2551) โครงการชลประทานเพชรบุรี โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาบรม-ธาตุ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาห้วยโมง โครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำห้วยสามพาด และโครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำห้วยไฟ (Vudhivanich, 2007) เพื่อประเมินหาสภาพการดำเนินงานในปัจจุบันและปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบส่งน้ำ สำหรับกำหนดเป้าหมายและแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำให้มีลักษณะการให้บริการแบบ Service Oriented Management (SOM) (Renault *et al.*, 2007) ซึ่งมีหลักการที่สำคัญคือโครงการชลประทาน จะมีลักษณะเป็นผู้ให้บริการ (Service Provider) ทำหน้าที่ศึกษาความต้องการน้ำของผู้ใช้น้ำ และพยายามบริหารงานส่งน้ำอย่างมืออาชีพเพื่อให้ผู้ใช้น้ำได้รับความพึงพอใจ โดยผู้ใช้น้ำเปรียบเสมือนลูกค้า (Client) มีหน้าที่ต้องคอยสื่อสารกับทางโครงการถึงความต้องการของตนเอง และช่วยสนับสนุนโครงการในรูปของการให้ความช่วยเหลือหรือจ่ายค่าบริการ เพื่อให้โครงการมีเงินทุนสำหรับปรับปรุงการบริการให้ดียิ่ง ๆ ขึ้น ตลอดจนการเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทาน (Irrigation Efficiency) ความน่าเชื่อถือ(Reliability) ความเป็นธรรม (Equity) และความคล่องตัว (Flexibility)ในการส่งน้ำ ซึ่งจะทำให้เกษตรกรสามารถวางแผนการเพาะปลูกได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการของตลาดและศักยภาพของตนเอง โดยไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับเรื่องน้ำชลประทาน

อันจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการเพิ่มผลผลิต และรายได้ของเกษตรกร และมีผลต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจ และสังคมของประเทศต่อไปในอนาคต

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลสัมฤทธิ์ในการส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้ายในปี พ.ศ. 2551 ด้วย RAP เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดเป้าหมาย และแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้ายในลักษณะของ Service Oriented Management (SOM) เพื่อให้ระบบส่งน้ำ 2 ซ้ายมีประสิทธิภาพการชลประทาน ความน่าเชื่อถือ ความเป็นธรรม และความคล่องตัวในการส่งน้ำ เพิ่มขึ้น

ระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย

ระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ มีความยาวคลองทั้งสิ้น 73.700 กิโลเมตร รับน้ำจากการบังคับและผันน้ำ ที่ประตูระบายน้ำเขื่อนแม่กลอง มีประตูระบายน้ำ (ปตร.) กลางคลองจำนวน 9 แห่ง สำหรับควบคุมบังคับน้ำส่งเข้าคลองซอย 19 สาย คลองส่งน้ำแยกซอย 52 สาย และคลองส่งน้ำ – ระบายน้ำ 17 สาย เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่ชลประทาน 797,944 ไร่ ในเขตจังหวัดกาญจนบุรี สุพรรณบุรี และนครปฐม ซึ่งอยู่ภายใต้การบริหารจัดการน้ำของโครงการส่งน้ำฯพนมทวน โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำฯบางเลน (Figure 1)

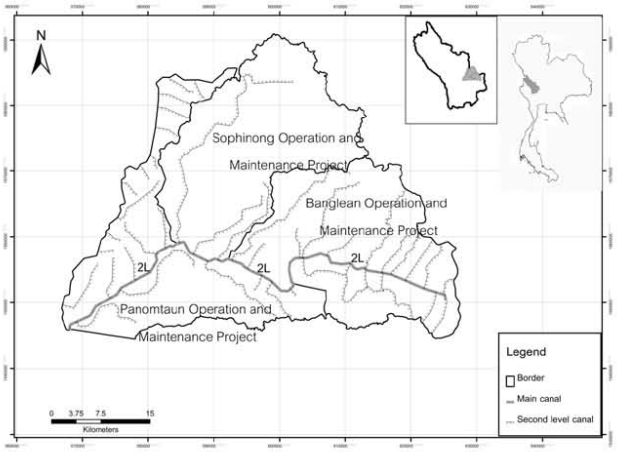


Figure 1 Location and canal operation system of 2L canal system

ในปี พ.ศ. 2551 ระบบส่งน้ำสายใหญ่ 2 ซ้าย แบ่งพื้นที่บริหารการส่งน้ำออกเป็น 103 โซน มีการจัดตั้งกลุ่มผู้ใช้น้ำเพื่อช่วยบริหารจัดการน้ำในระดับคูส่งน้ำจำนวน 1,639 กลุ่ม และได้มีการยกระดับขึ้นเป็นกลุ่มบริหารจำนวน 37 กลุ่ม ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูก 1,205,591 ไร่ ตามปฏิทินการเพาะปลูกใน Table 1 คิดเป็นความต้องการน้ำชลประทาน 1,495 ล้านลูกบาศก์เมตร ได้รับการจัดสรรงบประมาณจากส่วนกลาง 160,603,848 บาท และใช้อัตรากำลังในการปฏิบัติงานส่งน้ำ 135 คน ในการบริหารงานส่งน้ำจำนวน 2,658 ล้านลูกบาศก์เมตรจากประตูระบายน้ำเขื่อนแม่กลองเข้าสู่พื้นที่เพาะปลูก

Table 1 Cropping pattern of 2L canal system

Type	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Panomtaun Operation and Maintenance Project												
Rice												
Sugarcane												
Farm crops												
Vegetables												
Tree												
Songphinong Operation and Maintenance Project												
Rice												
Sugarcane												
Farm crops												
Vegetables												
Tree												
Banglean Operation and Maintenance Project												
Rice												
Sugarcane												
Vegetables												
Tree												

อุปกรณ์และวิธีการ

การวิเคราะห์หาแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ (1) ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำ (2) วิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบส่งน้ำ (3) กำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ และ (4) กำหนดแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ระหว่างเดือนมกราคม 2551 – ธันวาคม 2551

ประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำ

การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำด้วย RAP (Burt, 2001) เป็นการประเมินประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรน้ำของระบบส่งน้ำ จุดอ่อนของระบบส่งน้ำทั้งด้านการปฏิบัติการ (การให้บริการส่งน้ำ) และการบริหารจัดการทรัพยากร (สมรรถนะขององค์ประกอบของระบบส่งน้ำ) รวมถึงแนวทางการดำเนินงานที่สำคัญที่จะช่วยเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของโครงการชลประทาน ในรูปของดัชนีภายนอกและดัชนีภายใน (External Indicators and Internal Indicators)

วิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบส่งน้ำ

การวิเคราะห์หาสภาพปัญหาในระบบส่งน้ำว่าอยู่ที่ส่วนใดของระบบ และมีสาเหตุจากอะไร จะใช้ดัชนีภายในของ RAP ซึ่งประกอบด้วย ดัชนีภายใน 6 กลุ่ม แบ่งออกเป็นดัชนีภายในหลัก 39 ตัว และดัชนีภายในย่อย 122 ตัว ดังแสดงใน Table 2 เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยใช้ดัชนีภายในหลักสำหรับบอกลักษณะ

ของปัญหา และใช้ดัชนีภายในย่อยสำหรับบอกสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น ซึ่งแบ่งเกณฑ์ในการให้คะแนนของดัชนีภายในเป็น 5 ระดับระหว่าง 0 – 4 (0 หมายถึง ไม่ดี และ 4 หมายถึงดีมาก)

กำหนดเป้าหมาย และแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ

การกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ จะพิจารณายกระดับผลการประเมินจากระดับไม่ดี หรือต้องปรับปรุง (ค่าดัชนี < 2) ให้อยู่ที่ระดับพอใช้เป็นอย่างน้อย (ค่าดัชนี ≥ 2) สำหรับแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ จะพิจารณาจากเกณฑ์การให้คะแนนของ RAP ร่วมกับแนวทางการบริหารงานส่งน้ำในปัจจุบัน และองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบส่งน้ำ เพื่อให้ได้แนวทางที่สามารถนำไปปฏิบัติได้จริง และสอดคล้องกับสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในสนาม

Table 2 Internal indicators of Rapid Appraisal Process

Indicator label	Primary indicator name	Weighting factor
1. SERVICE and SOCIAL ORDER		69.0
I-1	Actual Water Delivery Service to Individual Ownership Units	11.0
I-2	Stated Water Delivery Service to Individual Ownership Units	11.0
I-3	Actual Water Delivery Service at the most downstream point in the system operated by a paid employee	17.0
I-4	Stated Water Delivery Service at the most downstream point in the system operated by a paid employee	17.0
I-5	Actual Water Delivery Service by the Main Canals to the Second Level Canals	4.5
I-6	Stated Water Delivery Service by the Main Canals to the Second Level Canals	4.5
I-7	Social "Order" in the Canal System operated by paid employees	4.0

Table 2 (Continue)

Indicator label	Primary indicator name	Weighting factor
2. MAIN CANAL		37.0
I-8	Cross regulator hardware (Main Canal)	7.0
I-9	Turnouts from the Main Canal	3.0
I-I0	Regulating Reservoirs in the Main Canal	6.0
I-11	Communications for the Main Canal	11.0
I-12	General Conditions for the Main Canal	5.0
I-13	Operation of the Main Canal	5.0
3. Second Level Canals		37.0
I-14	Cross regulator hardware (Second Level Canals)	7.0

I-15	Turnouts from the Second Level Canals	3.0
I-16	Regulating Reservoirs in the Second Level Canals	6.0
I-17	Communications for the Second Level Canals	11.0
I-18	General Conditions for the Second Level Canals	5.0
I-19	Operation of the Second Level Canals	5.0
4. Third Level Canals		37.0
I-20	Cross regulator hardware (Third Level Canals)	7.0
I-21	Turnouts from the Third Level Canals	3
I-22	Regulating Reservoirs in the Third Level Canals	6.0
I-23	Communications for the Third Level Canals	11.0
I-24	General Conditions for the Third Level Canals	5.0
I-25	Operation of the Third Level Canals	5.0
5. Budgets, Employees, WUAs		21.0
I-26	Budgets	5.0
I-27	Employees	9.5
I-28	Water User Associations	6.5
I-29	Mobility and Size of Operations Staff	
I-30	Computers for billing and record management	
I-31	Computers for canal control	

Table 2 (Continue)

Indicator label	Primary indicator name	Weighting factor
6. INDICATORS THAT WERE NOT PREVIOUSLY COMPUTED		5
I-32	Ability of the present water delivery service to individual fields, to support pressurized irrigation methods	3
I-33	Changes required to be able to support pressurized irrigation methods	2
I-34	Sophistication in receiving and using feedback information. This does not need to be automatic.	
I-35	Turnout density	
I-36	Turnouts/Operator	
I-37	Main Canal Chaos	
I-38	Second Level Chaos	
I-39	Field Level Chaos	

Source: Burt (2001)

ผลการศึกษา

ผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย

ผลการประเมินการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ระหว่างเดือนมกราคม 2551 – ธันวาคม 2551 สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) ประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำ พบว่าระบบส่งน้ำ 2 ซ้ายมีทรัพยากรน้ำที่สามารถนำไปใช้ได้สูงกว่าความต้องการน้ำของพืชประมาณ 2.29 – 2.82 มีประสิทธิภาพชลประทานประจำปีทั้งระบบเท่ากับ 61% โดยตอนบนและกลางของระบบส่งน้ำมีประสิทธิภาพชลประทาน 43% และ 58% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าประสิทธิภาพชลประทานประจำปีของพื้นที่ตอนล่าง (84%) แต่พื้นที่ตอนกลางของระบบส่งน้ำมีการบริหารจัดการน้ำสอดคล้องกับความต้องการน้ำดีที่สุด (อัตราการไหลของน้ำในคลองจริงสัมพัทธ์ = 0.81) เนื่องจากเป็นพื้นที่ควบคุมและบริหารจัดการน้ำโดยโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ซึ่งทำหน้าที่ประสานการขอน้ำจากแหล่งน้ำต้นทุน (เขื่อนแม่กลอง) เข้าสู่ระบบส่งน้ำ

2) การให้บริการส่งน้ำ ประเมินจากดัชนีภายในย่อย 29 ตัวกับค่าถ่วงน้ำหนักของดัชนีแต่ละตัว เพื่อคำนวณเป็นดัชนีการให้บริการส่งน้ำในแต่ละระดับ และดัชนีการให้บริการส่งน้ำรวม ซึ่งดัชนีการให้บริการส่งน้ำรวมมีค่าเท่ากับ 1.57 แสดงว่าระดับการให้บริการส่งน้ำควรได้รับการปรับปรุง จาก Figure 2 พบว่าการให้บริการส่งน้ำในระดับปฏิบัติ (Actual) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการให้บริการส่งน้ำในระดับแปลงเพาะปลูก (Field or farm) และในระดับ ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม (Paid employee) ไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด (State) โดยมีค่าดัชนีเท่ากับ 1.03 และ 0.78 ตามลำดับ มีสาเหตุมาจากการขาดการวัดปริมาณน้ำ (Measurement of volumes) และการให้บริการส่งน้ำขาดความคล่องตัว (Flexibility) ขาดความน่าเชื่อถือ (Reliability) และขาดความเป็นธรรม (Equity) สำหรับดัชนีของเป้าหมายการให้บริการส่งน้ำ ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม (Paid employee, state) มีค่าน้อยกว่า 2 เนื่องจากโครงการไม่มีนโยบายควบคุมจำนวนแปลงเพาะปลูก (Number of fields) ของระบบส่งน้ำในทุกระดับ

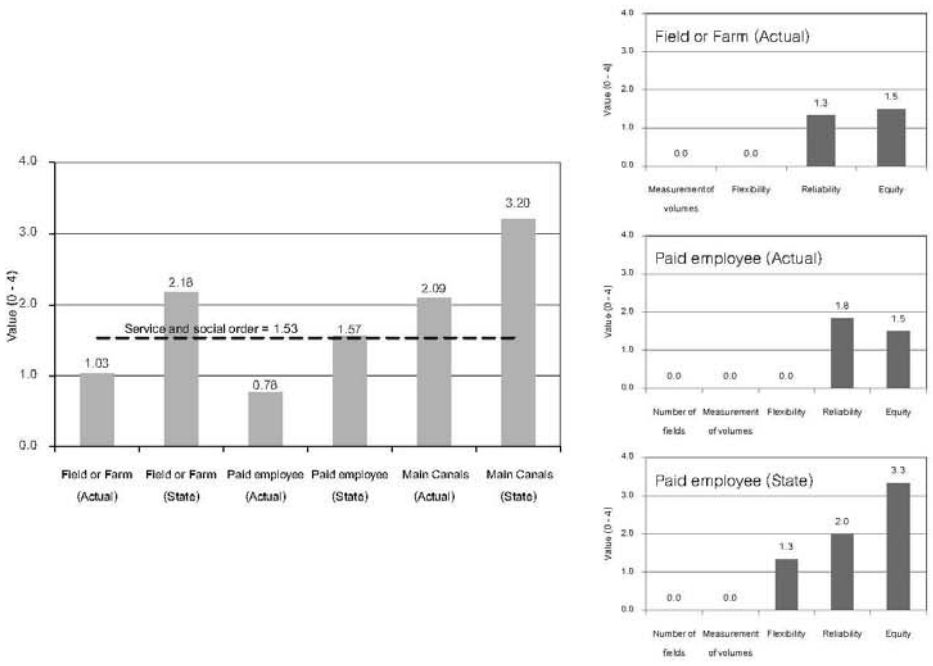


Figure 2 Service and social order of 2L canal system (1/2008 – 12/2008)

3) สมรรถนะขององค์ประกอบ ประเมินจากดัชนีภายในย่อย 89 ตัวกับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละตัว เพื่อคำนวณเป็นสมรรถนะขององค์ประกอบกลุ่มต่างๆ ในระบบส่งน้ำ และดัชนีสมรรถนะขององค์ประกอบรวม ดังแสดงใน Figure 3 ดัชนีสมรรถนะขององค์ประกอบรวมมีค่าเท่ากับ 1.85 แสดงว่าสมรรถนะขององค์ประกอบในระบบส่งน้ำ 2 ข้ายควรได้รับการปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระดับคลองแยกซอย (Third level canal, Tertiary canal) ซึ่งมีค่าดัชนีเท่ากับ 1.57 โดยมีสาเหตุมาจากการไม่มีอ่างพักน้ำที่เหมาะสม (Regulator reservoir) การไม่สามารถควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารบังคับน้ำกลางคลองเป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด (Cross regulator) การไม่สามารถระบายน้ำออกจากคลองได้เต็มศักยภาพของอาคารระบายน้ำ (Turnout) และระบบการบริหารงานส่งน้ำที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพื้นที่เพาะปลูก (Operate) สำหรับองค์ประกอบด้านงบประมาณ (Budgets) เจ้าหน้าที่ (Employee) และองค์กร/กลุ่มผู้ใช้น้ำ (WUAs) ซึ่งมีค่าดัชนีเท่ากับ 1.1, 1.9 และ 0.7 ตามลำดับ เป็นผลมาจาก การได้รับงบประมาณไม่สอดคล้องกับความต้องการ ขาดบทลงโทษที่เหมาะสมในกรณีที่เจ้าหน้าที่ที่ปฏิบัติงานผิดพลาด และองค์กร/กลุ่มผู้ใช้น้ำขาดความเข้มแข็งไม่เข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารงานส่งน้ำ

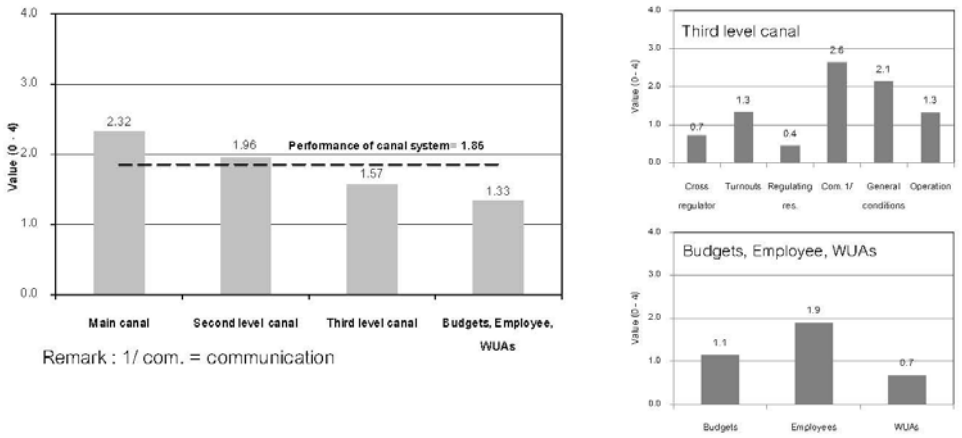


Figure 3 Performance of 2L canal system (1/2008 – 12/2008)

สภาพปัญหาในการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ช้าย

จากผลการประเมินผลสัมฤทธิ์ของระบบส่งน้ำ 2 ช้าย โดยพิจารณาเฉพาะปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการบริหารงานส่งน้ำไม่เหมาะสม หรือไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด แบ่งออกได้ดังนี้

1) การขาดความคล่องตัว (Flexibility) ในการให้บริการส่งน้ำทั้งในระดับแปลงนา (ค่าดัชนี = 0.0) และ ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม (ค่าดัชนี = 0.0) เนื่องจากผู้ใช้น้ำสามารถนำน้ำในระบบส่งน้ำเข้าไปใช้ในพื้นที่เพาะปลูกได้อย่างอิสระ ทำให้บริหารงานส่งน้ำไม่เป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้

2) การขาดความน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการให้บริการส่งน้ำทั้งในระดับแปลงนา (ค่าดัชนี = 1.3) และ ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม (ค่าดัชนี = 1.8) เนื่องจากไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์หรือเครื่องมือสำหรับตรวจวัดปริมาณน้ำที่ส่งให้แปลงเพาะปลูกทำให้ผู้ใช้น้ำไม่ทราบปริมาณน้ำที่ได้รับ และในบางพื้นที่ไม่ได้รับน้ำในเวลาที่ต้องการ หรือตามเวลาที่เจ้าหน้าที่แจ้งให้ทราบ เนื่องจากไม่มีการกำหนดเกณฑ์ในการรับน้ำที่แน่นอน

3) การขาดความเป็นธรรม (Equity) ในการให้บริการส่งน้ำทั้งในระดับแปลงนา (ค่าดัชนี = 1.5) และ ณ จุดสุดท้ายที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุม (ค่าดัชนี = 1.5) เนื่องจากมีพื้นที่เพาะปลูกประมาณ 20% ได้รับน้ำต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 5L – 2L ของอุรินทร์ และคณะ (2553) ที่มีค่าดัชนีความเป็นธรรมอยู่ในเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุง (PEQ = 0.53)

4) การไม่สามารถรักษาระดับน้ำด้านหน้าปตร.กลางคลองให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย เนื่องจากการขาดเจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัดและปรับบานเป็นประจำ โดยปัจจุบันระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลองมีความผันแปรอยู่ระหว่าง 0.40 – 0.90 เมตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำ 5L – 2L ของอุรินทร์ และคณะ (2552) ที่มีค่าดัชนีความคลาดเคลื่อนสูงสุดในการควบคุมระดับน้ำ (MAE) อยู่ระหว่าง 30 – 50% จากระดับความลึกเป้าหมาย

5) ระบบควบคุมน้ำในคลองแยกซอย พบว่ามีปัญหาทั้งในเรื่องของการเข้าไปตรวจสอบปัญหาในระบบส่งน้ำ (ค่าดัชนี = 0.43) ระบบการขอน้ำที่ไม่ตอบสนองต่อความต้องการของพื้นที่เพาะปลูก (ค่าดัชนี = 1.1) และ การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำของเกษตรกรล่าช้า (ค่าดัชนี = 1.3)

เป้าหมายและแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย

การกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ จะกำหนดไว้ 2 แนวทาง คือ เพิ่มค่าดัชนีภายในของการปฏิบัติงานในสนามให้เท่ากับเป้าหมายที่กำหนดไว้ หรือเพิ่มค่าดัชนีภายในให้มากกว่า 2 ตามเกณฑ์การให้คะแนนของ RAP ดังนั้นจึงใช้เกณฑ์การให้คะแนนของ RAP เป็นแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ โดยมีเป้าหมายในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ดังนี้

1) ใช้วิธีการส่งน้ำแบบรอบเวร และสอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืช

2) เกษตรกรได้รับน้ำในปริมาณที่ถูกต้อง ตามเวลาที่ต้องการ

3) ลดจำนวนพื้นที่เพาะปลูกที่ได้รับน้ำต่ำกว่าค่าเฉลี่ยให้เหลือเพียง 15%

4) ลดความผันแปรของระดับน้ำด้านหน้า ปตร.กลางคลองให้อยู่ระหว่าง 0.15 – 0.30 เมตร

5) พัฒนาเครื่องมือสำหรับประเมินความต้องการน้ำของพืชให้สอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืช

จากเป้าหมายในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ นำมาสู่การกำหนดแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรในระบบส่งน้ำ และศักยภาพของเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งแนวทางในการปรับปรุง 1 แนวทาง อาจสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการบริหารงานส่งน้ำได้มากกว่า 1 ปัญหา สำหรับแนวทางในการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ประกอบด้วย

1) พัฒนาเครื่องมือสำหรับประเมินความต้องการน้ำของพืชแบบรายสัปดาห์ จากข้อมูลพื้นที่เพาะปลูกที่มีการปรับปรุงทุกสัปดาห์ โดยคำนวณจากค่า Crop coefficient (Kc) ของพืช ปริมาณฝนใช้การ และการสูญเสียน้ำเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าดัชนีความคล่องตัวในการส่งน้ำ (Flexibility) ด้วย สามารถกำหนดรอบเวรในการส่งน้ำได้สอดคล้องกับความต้องการของพืช เพิ่มค่าดัชนีความน่าเชื่อถือ (Reliability) เนื่องจากเกษตรกรจะได้รับน้ำในปริมาณที่ถูกต้องตามเวลาที่ต้องการ และเพิ่มค่าดัชนีความเป็นธรรม (Equity) เพราะเกษตรกรทุกรายได้รับน้ำอย่างเป็นธรรมเนื่องจากระบบส่งน้ำมีปริมาณน้ำเพียงพอกับความต้องการของเกษตรกร

2) กำหนดวิธีการส่งน้ำเป็นแบบรอบเวรในระดับคูน้ำ โดยพิจารณาให้สอดคล้องความต้องการน้ำพืชซึ่งได้จากเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นในข้อ (1) ซึ่งจะช่วยเพิ่มค่าดัชนีความคล่องตัว ดัชนีความน่าเชื่อถือ และดัชนีความเป็นธรรมให้ระบบส่งน้ำ เนื่องจากการกำหนดรอบเวรในการส่งน้ำ จะทำให้เกษตรกรมีช่วงเวลาในการรับน้ำที่แน่นอน และได้รับน้ำสอดคล้องกับความต้องการน้ำของพืชซึ่งได้จากการพัฒนาเครื่องมือในแนวทางการปรับปรุงที่ (1)

3) อบรมให้ความรู้ และสร้างความเชื่อมั่นกับเจ้าหน้าที่ผู้ควบคุมระบบส่งน้ำ ในการนำระบบ SCADA ที่ติดตั้งในระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย มาใช้ในการควบคุมระบบส่งน้ำ พร้อมทั้งติดตั้งระบบ SCADA เพิ่มเติมที่ ปตร. ปลายคลอง 2 ซ้าย ซึ่งจะช่วยลดความผันแปรของระดับน้ำด้านหน้า ปตร. กลางคลองให้เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนด ทำให้เจ้าหน้าที่สามารถควบคุมน้ำที่ปล่อยเข้าสู่คลองส่งน้ำสายซอยได้ดีขึ้น

4) สอบเทียบสัมประสิทธิ์การไหลของอาคารชลประทานที่สำคัญในระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย เพิ่มเติมจากที่ได้มีการสอบเทียบในปัจจุบัน หรือมีการสอบเทียบเป็นเวลานานกว่า 10 ปี ได้แก่ ปตร.ปากคลองซอย 2R – 2L และ ปตร.ปากคลองซอย 11L – 2L และปตร.กลางคลองในคลองซอย 2R – 2L และ 11L - 2L เนื่องจากคลองซอยทั้ง 2 สายขาดการสอบเทียบสัมประสิทธิ์การไหลมานานกว่า 10 ปี มีความจุคลองมาก มีพื้นที่เพาะปลูกจำนวนมาก และมีคลองแยกซอยหลายสาย

สรุปและข้อเสนอแนะ

ระบบส่งน้ำสายใหญ่ 2 ซ้าย ของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ แบ่งพื้นที่การบริหารงานส่งน้ำออกเป็น 3 ส่วน คือโครงการส่งน้ำฯพนมทวน โครงการส่งน้ำฯสองพี่น้อง และโครงการส่งน้ำฯบางเลน ในปี พ.ศ. 2551 ระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ได้ส่งน้ำจำนวน 2,658 ล้านลูกบาศก์เมตร ให้พื้นที่เพาะปลูกจำนวน 1,205,591 ไร่ จากการประเมินผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำ ด้วย RAP พบว่าระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย มีทรัพยากรน้ำที่สามารถนำมาใช้ได้สูงกว่าความต้องการน้ำของพืชประมาณ 2.5 เท่า มีประสิทธิภาพชลประทานทั้งระบบ 61% โดยประสิทธิภาพการชลประทานในตอนบน และกลางของระบบส่งน้ำอยู่ที่ 43% และ 58% ตามลำดับ นอกจากนั้นยังพบว่า 2 ใน 3 ของระบบส่งน้ำมีการบริหารจัดการน้ำไม่สอดคล้องกับความต้องการน้ำ ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการปรับปรุง การให้บริการส่งน้ำ (ค่าดัชนีรวม = 1.53) และสมรรถนะขององค์ประกอบในระบบส่งน้ำ (ค่าดัชนีรวม = 1.83)

จากการพิจารณาปัญหา และกำหนดเป้าหมายเฉพาะในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานส่งน้ำ ด้วยค่าดัชนีภายในหลัก และดัชนีภายในรอง เพื่อนำไปสู่การกำหนดแนวทางการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ที่มีการให้บริการส่งน้ำแบบ Service Oriented Management (SOM) ตลอดจนการเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทาน ความน่าเชื่อถือ ความเป็นธรรม และความคล่องตัวในการส่งน้ำ ประกอบด้วย

1) พัฒนาเครื่องมือสำหรับประเมินความต้องการน้ำของพืชแบบรายสัปดาห์

2) การกำหนดวิธีการส่งน้ำเป็นแบบรอบเวร

3) อบรมให้ความรู้ เกี่ยวกับการนำระบบ SCADA มาใช้ในการควบคุมระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย และติดตั้งระบบ SCADA เพิ่มเติมที่ ปตร.ปลายคลอง 2 ซ้าย

4) สอบเทียบสัมประสิทธิ์การไหลอาคารชลประทานที่สำคัญในระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย ได้แก่ ปตร.ปากคลองซอย 2R – 2L และ ปตร.ปากคลองซอย 11L – 2L และปตร.กลางคลองในคลองซอย 2R – 2L และ 11L - 2L

นอกจากแนวทางในการปรับปรุงทั้ง 4 แนวทาง การเสริมสร้างความเข้มแข็งให้องค์กร/กลุ่มผู้ใช้น้ำให้เข้ามามีส่วนร่วมในการบริหารงานส่งน้ำในระดับคูน้ำเป็นอีกแนวทางในการช่วยยกระดับการให้บริการส่งน้ำ แต่เนื่องจากกระบวนการเสริมสร้างความเข้มแข็งให้องค์กร/กลุ่มผู้ใช้น้ำ เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและต้องใช้เวลามากในการดำเนินงาน จึงไม่ได้นำมากำหนดเป็นแนวทางในการปรับปรุงสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

กรมชลประทาน. 2546. รายงานการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ การประเมินผลโครงการชลประทาน (RAP) รุ่นที่ 2. 78 น.

วราวุธ วุฒิวณิชย์. 2548. ประสิทธิภาพการชลประทานในประเทศไทย, น. 1 – 9. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการ เรื่องน้ำของประเทศไทย ครั้งที่ 1. สมาคมทรัพยากรน้ำ, กรุงเทพฯ

อุรินทร์ โสตรโยม และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2551. การประเมินผลอย่างรวดเร็วเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปฏิบัติงานของโครงการชลประทานอ่างเก็บน้ำพระปรง. วิทยาสารกำแพงแสน 6(3): 66 – 78.

อุรินทร์ โสตรโยม, วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2552. การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ. *ใน* การประชุมวิชาการ ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

อุรินทร์ โสตรโยม, วราวุธ วุฒิวณิชย์ และวิชญ์ ศรีวงษา. 2553. การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ, น.1 – 9. *ใน* รายงานการประชุมวิชาการวิชาการ ของ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 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.

Renault, D.,T. Facon and R. Wahaj. 2007. Modernizing the Irrigation Management - MASSCOTE Approach. Irrigation and Drainage Paper No.63., FAO, Rome. p. 207.

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). p. 286.

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

ภาคผนวก ง
รางวัลเกี่ยวกับงานวิจัยที่ได้รับ

1. **รางวัลคุณภาพงานวิจัยระดับดี** สาขาวิศวกรรมศาสตร์ จากการนำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ (Performance Assessment of Canal Automation System) ในการประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6 วันที่ 8-9 ธันวาคม 2552
2. **รางวัลดีเด่น** สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ จากการนำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง การประเมินผลลัพธ์ในการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ (Output Performance Assessment of Canal Automation System) ในการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2554