

การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมการส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ Performance Assessment of Canal Automation System

อุรินทร์ ไสตรโยม¹ วราวุธ วุฒินิพนธ์¹ และวิชญ์ ศรีวงษา²

Urin Soteyome¹, Varawoot Vudhivanich¹ and Vich Sriwongsa²

บทคัดย่อ

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

คำสำคัญ : ระบบคลองอัตโนมัติ ประตูดัน 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 ยังพบว่าระบบคลองอัตโนมัติสามารถช่วยเพิ่มค่าตรวจความเพียงพอ และความเป็นธรรมในการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูก (วรารุช 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

การประเมินผลสัมฤทธิ์ในการดำเนินงานด้านการควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องจะใช้ดัชนีการควบคุมระบบส่งน้ำ (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,%) แสดงถึงความสามารถในการควบคุมระดับน้ำไม่ให้อ่างต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมาย โดยบอกเป็นร้อยละของจำนวนครั้งที่สามารถควบคุมระดับน้ำไม่ให้อ่างต่ำกว่าระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด ตลอดฤดูกาลส่งน้ำ (วรารุช และคณะ, 2552) ดังแสดงในสมการ (1) – (4)

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

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

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

$$RWLC = 100 \times \left(1 - \frac{N_{\text{WLdropped}}}{N_{\text{WLmeasured}}}\right) \quad (4)$$

โดยที่	WL	คือ ระดับน้ำที่เวลา t (เมตร)
	TWL	คือ ระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนด (เมตร)
	t	คือ จำนวนครั้งที่ตรวจวัดตลอดฤดูกาลส่งน้ำมีค่า 1, 2, ..., T
	NWLdropped	คือ จำนวนครั้งที่ระดับน้ำต่ำกว่าเป้าหมาย (ครั้ง)
	NWLmeasured	คือ จำนวนครั้งที่ตรวจวัด (ครั้ง)

2. ระบบคลองอัตโนมัติโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง

ระบบคลองอัตโนมัติของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง (วรารุช และคณะ, 2552) ถูกออกแบบโดยใช้ระบบ Low Cost SCADA (Sohag and Mahessar, 2004) และระบบประตุนต์ให้ทำงานร่วมกันในลักษณะ Plug and Play (วิชญ์, 2551) หลักการทำงานของระบบคลองอัตโนมัติ คือประตุนต์ทำหน้าที่เป็นสถานีลูกข่าย (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 และวรารุช, 2550)

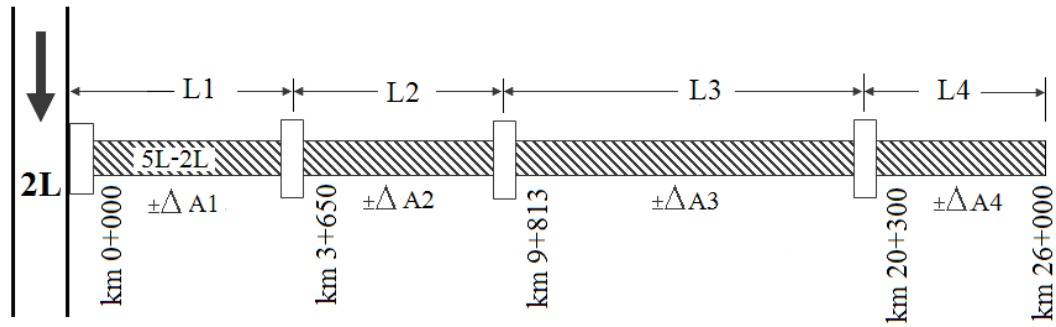


Figure 1 Canal system and cross - regulators of 5L – 2L canal



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

จากผลการประเมินการควบคุมระบบส่งน้ำของระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง พบว่า

1) ระบบคลองอัตโนมัติ ให้ค่าดัชนี MAE เท่ากับ 19.54% หรือระดับน้ำมีความคลาดเคลื่อนจากระดับเป้าหมายเท่ากับ $\pm 0.50 - 0.70$ เมตร จากระดับความลึกเป้าหมาย 2.5 – 3.5 เมตร ซึ่งน้อยกว่าการควบคุมด้วยมือที่สามารถควบคุมระดับน้ำให้มีความคลาดเคลื่อนจากระดับเป้าหมายดีที่สุดของทุกฤดูส่งน้ำ อยู่ที่ $\pm 0.80 - 1.00$ เมตร (นาปรัง 1/51: MAE = 30.10%) และค่าดัชนี MAE ของระบบคลองอัตโนมัติ สูงที่สุดเกิดขึ้นในช่วงคลองที่ 3 เนื่องจากประตูยนต์แต่ละแห่งจะทำหน้าที่รักษาระดับน้ำด้านหน้าและส่งการรบกวนระบบ (Perturbation) ไปยังด้านท้ายน้ำ ส่งผลให้ช่วงคลองที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงคลองสุดท้ายของระบบส่งน้ำ 5L – 2L และเป็นช่วงคลองที่สะสมผลัดพรในการรักษาระดับน้ำในช่วงคลองที่ 1 และ 2 มีค่าดัชนี MAE สูงที่สุด

2) ระบบคลองอัตโนมัติ ให้ค่าดัชนี IAE เท่ากับ 5.89% หรือมีค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนจากระดับเป้าหมายเท่ากับ $\pm 0.15 - 0.20$ เมตร ขณะที่การควบคุมด้วยมือสามารถควบคุมความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำเฉลี่ยได้น้อยที่สุดเท่ากับ $\pm 0.25 - 0.35$ เมตร (Dry Season 1/51: IAE = 9.56%) แสดงว่าระบบคลองอัตโนมัติมีความสามารถในการควบคุมความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำให้ลดลง และเมื่อพิจารณาเฉพาะระบบคลองอัตโนมัติพบว่าในช่วงคลองที่ 3 ให้ค่าดัชนี IAE สูงที่สุด (IAE = 12.25%) โดยมีสาเหตุเหมือนข้อ 1)

3) ระบบคลองอัตโนมัติ ให้ค่าดัชนี RMSE เท่ากับ 0.22 เมตร ในขณะที่การควบคุมด้วยมือให้ค่าดัชนี RMSE ต่ำสุดเท่ากับ 0.36 เมตรใน Dry Season 1/51 และให้ค่าดัชนี 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 ให้ค่าดัชนี RWLC เท่ากับ 82.96% แสดงให้เห็นว่าระบบคลองอัตโนมัติมีความสามารถในการควบคุมระดับน้ำไม่ให้อยู่ต่ำกว่าระดับเป้าหมายได้ถึง 133,862 นาที จากช่วงเวลาในการส่งน้ำ 161,280 นาที (105 วัน) ในขณะที่ระบบควบคุมด้วยมือมีความน่าเชื่อถือในการควบคุมระดับน้ำดีที่สุดใน Dry Season 1/51 โดยให้ค่าดัชนี RWLC = 12.47% และเมื่อพิจารณาเฉพาะระบบคลองอัตโนมัติ พบว่าในช่วงคลองที่

3 ให้ค่าดรรชนี RWLC สูงที่สุดเท่ากับ 99.09% แสดงให้เห็นว่าในช่วงคลองที่ 3 ซึ่งมีความสามารถในการรักษาระดับน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายต่ำที่สุด (ค่าดรรชนี MAE และ IAE สูงกว่าทุกช่วงคลอง) ซึ่งเป็นผลมาจากการควบคุมระบบในด้านบวก 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. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำด้วยระบบอัตโนมัติของประตูนตกับอุปกรณ์ควบคุมระบบคลองอัตโนมัติแบบต่าง ๆ

การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติที่ใช้ประตูนต (Robogate) เป็นอุปกรณ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษา กับอุปกรณ์ควบคุมระบบคลองอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นในอดีตที่ประเมินผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำในคลองจำลองของ ASCE ซึ่งประกอบ 8 ช่วงคลอง และมีการติดตั้งระบบควบคุมแบบอัตโนมัติเฉพาะจุด (Local Automatic Control) ตลอดทั้งคลอง โดยประเมินผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำใน 1 วัน (Wahlin and Clemmens, 2002) ดังแสดงใน Table 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)

จากผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์การควบคุมระบบส่งน้ำของประตุนต์กับวิธีการควบคุมระบบคลองอัตโนมัติชนิดอื่น ๆ พบว่า

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

2) ประตุนต์ ให้ค่าดรชนี IAE สูงสุดเท่ากับ 12.3% และเฉลี่ยเท่ากับ 6.0% ซึ่งสูงกว่าระบบควบคุมชนิดอื่น โดยมีสาเหตุเหมือนข้อ 1) นอกจากนั้นยังพบว่าค่าดรชนี IAE ที่ให้ค่าสูงอยู่ในช่วงคลองที่ 3 ซึ่งเป็นช่วงคลองสุดท้ายของระบบส่งน้ำซึ่งได้รับผลจากการปรับบานของช่วงคลองที่ 1 และ 2 แต่เมื่อพิจารณาค่าดรชนี IAE ในช่วงคลองที่ 1 และ 2 พบว่ามีค่าเท่ากับ 3.21% และ 2.46% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเมื่อเทียบกับค่าดรชนี IAE ของระบบการควบคุมชนิดอื่น

สรุปผลและเสนอแนะ

การทดสอบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระบบส่งน้ำของระบบคลองอัตโนมัติ ที่พัฒนา ประตุนต์ ขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุม ให้ค่าดรชนี MAE = 19.54%, IAE = 5.89%, RMSE = 0.22 เมตร และ RWLC = 82.96% และผลจากการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ในการควบคุมระดับน้ำระหว่าง ประตุนต์ กับระบบควบคุมแบบอัตโนมัติชนิดต่าง ๆ ของระบบคลองอัตโนมัติที่ถูกพัฒนาขึ้นในอดีตที่ใช้คลองจำลองของ ASCE ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า ประตุนต์ ให้ค่าดรชนี MAE สูงสุดต่ำกว่าค่าเฉลี่ย แต่ให้ค่าเฉลี่ยของดรชนี MAE สูงกว่าค่าเฉลี่ย และให้ค่าดรชนี IAE สูงกว่าค่าเฉลี่ยทั้งค่าสูงสุด และค่าเฉลี่ยของดรชนี

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

เอกสารอ้างอิง

- วรารุช วุฒิมวณิชย์, นิมิตร เจริญทรัพย์พัฒนา, กิตติพงษ์ เจาจารย์, ธนา ชีพสมทรง และวิชญ์ ศรีวงษา. 2552. การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติ. รายงานผลการวิจัยฉบับสมบูรณ์.
- วิชญ์ ศรีวงษา. 2551. การพัฒนาระบบคลองอัตโนมัติต้นทุนต่ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชญ์ ศรีวงษา และ วรารุช วุฒิมวณิชย์. 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.