ความถี่ที่เหมาะสมในการปรับอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง

Optimal Frequency for Adjusting Canal Water Level Cross Regulator

อุรินทร์ โสตรโยม[1*] วราวุธ วุฒิวณิชย์[2]

Urin Soteyome[1*] and Varawoot Vudhivanich[2]

ABSTRACT

Factors affecting of the optimal frequency for adjusting water level cross regulator are irrigation structure sensitivity, tolerance and perturbation. These factors were used to determine the optimal frequency for adjusting water level cross regulator of 5L – 2L irrigation system of Songphi Nong Operation and Maintenance Project in controlling the offtakes discharge within $\pm$0.10 of targets. The result showed that the sensitivity of offtakes was low, 0.32 – 0.78 m^{-1}. The relationship between the perturbation and gate adjustment was developed in order to define an optimal frequency for gate adjustment. Finally, the gate adjustment schedule was adjusted to suit the field operation practices. Therefore it can be concluded that the discharge should be monitored and the gate should be adjusted twice a day at 7.30 – 8.00 am. and 3.30 – 4.00 pm.

Keywords: Control of Cross Regulator, Irrigation Structure Sensitivity, Tolerance, Perturbation

บทคัดย่อ

ปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดความถี่ในการปรับอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองได้แก่ ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน (Irrigation Structure Sensitivity) ช่วงการควบคุมน้ำที่ยอมให้ (Tolerance) และปัจจัยรบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) ปัจจัยดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้หาความถี่ที่เหมาะสมในการปรับบานประตูของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองในระบบส่งน้ำ 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ที่ให้ผลกำหนดการควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารปากคลองเท่ากับ $\pm$0.10 ของอัตราการส่งน้ำเป้าหมาย ผลการศึกษาพบว่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอย (S_{off}) มีค่าระหว่าง 0.32 – 0.78 เมตร$^{-1}$ ซึ่งถือว่าค่าความอ่อนไหวอยู่ในระดับต่ำ ความสัมพันธ์ระหว่าง Perturbation ของช่วงคลองกับช่วงเวลาในการปรับบานได้ถูกพัฒนาเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาความถี่ที่เหมาะสมในการปรับบานประตู สุดท้ายทำการปรับแก้ตารางการปรับบานประตูให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานในภาคสนามได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าโครงการฯควรส่งเจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัด และปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง (Cross Regulators) วันละ 2 ครั้ง เวลาประมาณ 07.30 – 08.00 น. และ 15.30 – 16.00 น. ของทุกวัน

[1*] สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน อ. ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

Office of Research and Development, Royal Irrigation Department, Pak Kret, Nonthaburi 11120, Thailand.

[2] ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีเพื่อการชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม 74130

Irrigation Technology Research Laboratory, Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Kamphaengsaen Campus, Nakhon Pathom 74310, Thailand.

[*]Corresponding author: Tel 08 – 1782 – 7528, E-mail address: urinsoteyome@hotmail.com

คำสำคัญ : การปรับอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน ช่วงการควบคุมที่ยอมให้ ปัจจัยรบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ

คำนำ

ระบบส่งน้ำของโครงการชลประทานในประเทศไทย ส่วนใหญ่เป็นระบบคลองส่งน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก โดยมีอาคารควบคุมน้ำหลัก 2 ประเภทคือ อาคารปากคลองทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล และอาคารกลางคลองทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำ เพื่อส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกตามแผนการส่งน้ำที่สอดคล้องกับความต้องการของเกษตรกรและผู้ใช้น้ำชลประทาน ผลการประเมินระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องในปี พ.ศ. 2551 (อุรินทร์ และวราวุธ, 2554) พบว่า ระบบส่งน้ำให้ผลลัพธ์ด้านความเป็นธรรมและประสิทธิภาพการชลประทานอยู่ในเกณฑ์ต้องปรับปรุงตามเกณฑ์ของการประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process, RAP) (Burt, 2001) เนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำที่ส่งเข้าระบบส่งน้ำซึ่งเกิดจากสาเหตุหลักที่สำคัญคือการปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองยังไม่ค่อยสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและอัตราการไหลในระบบส่งน้ำ

ถ้าการปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำและอัตราการไหลในระบบส่งน้ำจะส่งผลให้สามารถเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของระบบส่งน้ำ และเพิ่มผลลัพธ์ด้านความเป็นธรรมและประสิทธิภาพการชลประทานได้ ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอวิธีการกำหนดความถี่ที่เหมาะสมในการปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง โดยพิจารณาจากดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน (Irrigation Structure Sensitivity) (Renault, 1999) ช่วงการควบคุมน้ำที่ยอมให้ (Tolerance) (อุรินทร์, 2554) และปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) (Kustu *et al*., 2010) โดยใช้ระบบส่งน้ำ 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้องเป็นกรณีศึกษา

ระบบส่งน้ำ 5L – 2L

คลอง 5L – 2L เป็นคลองส่งน้ำสายใหญ่ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ความยาวคลองทั้งสิ้น 41.188 กิโลเมตร มีอาคารควบคุมน้ำในคลองจำนวน 17 แห่ง ประกอบด้วย อาคารควบคุมน้ำปากคลอง จำนวน 10 แห่ง (ปตร. ปากคลองสายใหญ่ 1 แห่ง และ ปตร. ปากคลองซอย 9 แห่ง) และอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง จำนวน 7 แห่ง (ปตร. กลางคลอง 7 แห่ง) ทำหน้าที่ควบคุมการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกจำนวน 272,535 ไร่ ตามแผนผังระบบส่งน้ำใน Figure. 1 โดยมีรายละเอียดอาคารตาม Table 1

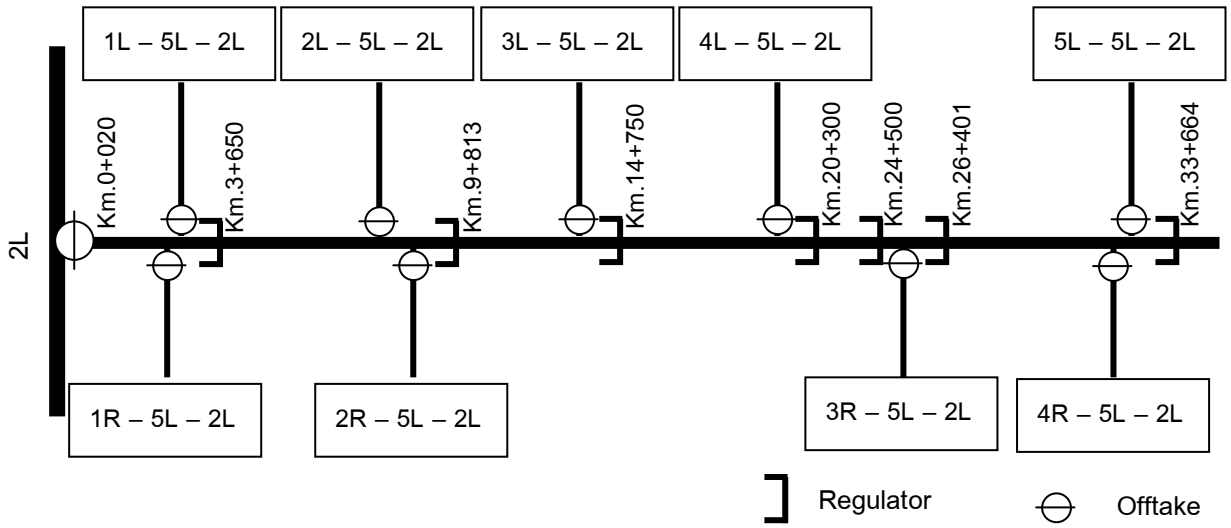

Figure 1 5L – 2L Canal System

Table 1 Detail of irrigation structures of 5L – 2L canal system

Structure	Number of Gates	Width (m.)	Full Supply Water Level (m.msl.) Upstream	Downstream
Offtakes				
Head Regulator of 5L – 2L	2	4.00	+17.993	+16.000
Head Regulator of 1R – 5L – 2L	3	1.20	+15.694	+15.314
Head Regulator of 1L – 5L – 2L	1	0.80	+15.646	+15.246
Head Regulator of 2L – 5L – 2L	2	2.00	+14.375	+13.877
Head Regulator of 2R – 5L – 2L	1	0.80	+14.281	+13.850
Head Regulator of 3L – 5L – 2L	1	0.80	+12.555	+11.755
Head Regulator of 4L – 5L – 2L	1	1.75	+10.975	+10.627
Head Regulator of 3R – 5L – 2L	3	2.00	+8.874	+8.059
Head Regulator of 4R – 5L – 2L	2	1.00	+6.376	+5.822
Head Regulator of 5L – 5L – 2L	1	2.00	+6.172	+5.900
Regulators				
Cross Regulator of 5L – 2L at Km.3+650	2	4.00	+15.635	+14.835
Cross Regulator of 5L – 2L at Km.9+813	1	5.00	+14.219	+13.019
Cross Regulator of 5L – 2L at Km.14+750	1	5.00	+12.525	+11.525
Cross Regulator of 5L – 2L at Km.20+300	1	5.00	+10.960	+10.310
Cross Regulator of 5L – 2L at Km.24+500	1	5.00	+9.890	+8.540
Cross Regulator of 5L – 2L at Km.26+401	2	2.20	+8.350	+8.150
Cross Regulator of 5L – 2L at Km.33+664	1	1.00	+6.100	+5.605

อุปกรณ์และวิธีการ

การกำหนดความถี่ที่เหมาะสมในการควบคุมอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองใช้ข้อมูลประกอบด้วย (1) Perturbation ของช่วงคลอง (2) ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำปากคลอง และ (3) ช่วงการควบคุมที่ยอมให้ โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังนี้

Perturbation ของช่วงคลอง

Perturbation (Kustu *et al*., 2010) หมายถึง สิ่งที่รบกวนระบบการไหลของน้ำในคลองส่งน้ำทั้งจากภายนอก และภายในระบบส่งน้ำเช่น การเปิด – ปิดท่อส่งน้ำเข้านาของเกษตรกร การปรับบานของอาคารควบคุมน้ำต่าง ๆ ในระบบส่งน้ำของเจ้าหน้าที่ และปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในระบบส่งน้ำ เป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ระบบส่งน้ำเปลี่ยนสถานะจากสภาวะคงตัว (Steady State) เป็นสภาวะไม่คงตัว (Unsteady State) ทำให้ผลลัพธ์ของการควบคุมน้ำในระบบส่งน้ำ ณ ช่วงเวลาที่พิจารณาไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ เนื่องจากผู้บริหารระบบส่งน้ำโดยส่วนใหญ่ไม่ได้นำค่า Perturbation มาใช้ในการวางแผนควบคุมน้ำในระบบส่งน้ำ โดยค่าของ Perturbation เป็นได้ทั้งบวกและลบตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำหรือระดับน้ำในระบบส่งน้ำที่เกิดจากผลของการรบกวนระบบส่งน้ำ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร หรือ เมตร/ต่อช่วงเวลาที่พิจารณา ส่วนใหญ่ถูกนำเสนอในรูปของกราฟ หรือ ความสัมพันธ์ระหว่าง Perturbation กับช่วงเวลาที่ไม่มีการปรับบาน โดยสามารถหาค่า Perturbation ได้ตามสมการที่ 1

$$P_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} |H_{t1} - H_{t2}|}{n} \quad (1)$$

โดยที่ P_t คือ Perturbation ของช่วงคลอง ณ ช่วงเวลา t, เมตร

H_{t1} และ H_{t2} คือ ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองที่เวลา t1 และ t2, เมตร

n คือ จำนวนข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้

ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน (Structure Sensitivity)

ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน (Structure Sensitivity) ในระบบส่งน้ำ คือ อัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงของผลผลิตที่ออกจากระบบ (Output) กับการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนำเข้าของระบบ (Input) ผ่านอาคารชลประทาน (Renault, 1999) สามารถเป็นได้ทั้งระดับน้ำหรือปริมาณน้ำ ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของอาคารชลประทาน ซึ่งอาคารชลประทานสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทตามวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานของอาคาร ได้แก่ อาคารควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าคลอง (Offtake) (Shahrokhnia and Javan, 2007) มีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลจากคลองส่งน้ำสายหลัก (Parent Canal) เข้าสู่คลองส่งน้ำสายซอย (Dependent Canal) ซึ่งอัตราการไหลจะเปลี่ยนแปลงตามระดับน้ำในคลองหลักด้านหน้าอาคาร กรณีนี้อัตราการไหล (q) คือ Output ของระบบการควบคุม และระดับน้ำด้านหน้าอาคาร (H) คือ Input ของระบบควบคุม (Figure 2) และสามารถเขียนในรูปของสมการได้ตามสมการที่ 2 (Renalut, 2000) สำหรับอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง (Regulator) (Shahrokhnia and Javan, 2007) มีหน้าที่ควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคาร (Output) ซึ่งระดับน้ำด้านหน้าอาคารจะ

ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำในคลอง กรณีนี้ระดับน้ำด้านหน้าอาคาร (H) คือ Output และอัตราการไหล (Q) คือ Input (Figure 3) และสามารถเขียนในรูปของสมการได้ตามสมการที่ 3 (Renalut, 2000) จากสมการที่ 2 และ 3 พบว่าค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทานทั้ง 2 ประเภทมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการสูญเสียพลังงานของอาคารชลประทาน (Head – Loss Equivalent, H_E) ซึ่งสามารถหาได้ตามสมการที่ 4

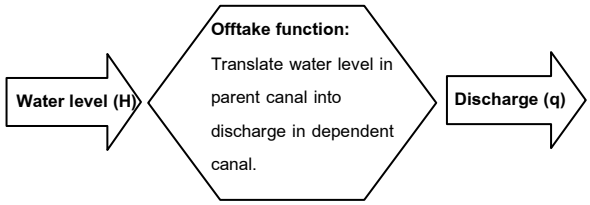

Figure 2 Input and output for offtake structures

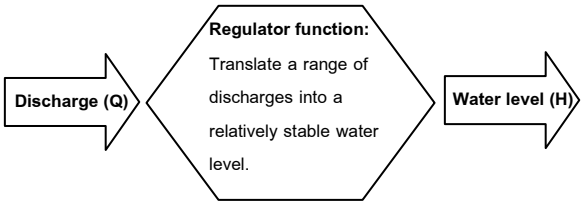

Figure 3 Input and output of regulator structures

$$S_{off}=\frac{dq/q}{dH_{US}}=\frac{\alpha}{H_E} \quad (2)$$

$$S_{reg}=\frac{dH_{us}}{dQ/Q}=\frac{H_E}{\alpha} \quad (3)$$

$$H_E=(H_{US}-H_{DS})\left[1+\frac{\alpha(H_{DS}-H_{Ref})}{\beta(H_{US}-H_{DS})}\right] \quad (4)$$

โดยที่ S_{off} คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำปากคลอง, เมตร

S_{reg} คือ ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง, เมตร

H_E คือ การสูญเสียพลังงานของอาคารควบคุมน้ำ, เมตร

dq/q คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลอง

dQ/Q คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง

dH_{US} คือ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำ

H_{US} คือ ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำ, เมตร รทก.

H_{DS} คือ ระดับน้ำด้านท้ายอาคารควบคุมน้ำ, เมตร รทก.

H_{Ref} คือ ระดับกันคลองท้ายอาคารควบคุมน้ำ, เมตร รทก.

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 0.50 ตามเงื่อนไขการไหลแบบท่วมท้ายน้ำ (Submerged Flow) ที่ไหลผ่านอาคารแบบน้ำไหลลอดผ่านบาน

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าเท่ากับ 1.66 ตามเงื่อนไขการไหลแบบท่วมท้ายน้ำ (Submerged Flow) ในทางน้ำที่มีการยกระดับของกันคลองด้านท้ายอาคาร

ช่วงการควบคุมที่ยอมให้

ช่วงการควบคุมที่ยอมให้ (Tolerance) (อุรินทร์, 2554) หมายถึง ขอบเขตของความคลาดเคลื่อนในการควบคุมน้ำที่ยอมรับได้ กำหนดจากระดับเป้าหมายในการให้บริการส่งน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับขีดความสามารถในการควบคุมน้ำของโครงการ และความเปราะบาง (Vulnerability) ของพื้นที่รับน้ำ (Renault et al., 2007) โดยสามารถคำนวณหาช่วงการควบคุมที่ยอมให้ของระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองได้ตามสมการที่ 5

$$Tol_H = Tol_Q \times S_{off} \quad (5)$$

โดยที่ Tol_H คือ ช่วงการควบคุมที่ยอมให้ของระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง, เมตร

Tol_Q คือ ช่วงการควบคุมที่ยอมให้ของอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมการระบายน้ำออกจากคลอง, ลูกบาศก์เมตร/ลูกบาศก์เมตร

การกำหนดความถี่ที่เหมาะสมในการควบคุมอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง

การกำหนดความถี่ที่เหมาะสมในการควบคุมอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองมีขั้นตอนดำเนินงานตาม Figure 4 ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1) สร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Perturbation ของช่วงคลองกับช่วงเวลาในการปรับบานด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยใช้เทคนิคของนิวตัน (Newton's Method) (Kiusalass, 2005) ในการหาค่าดีกรี (Order) และค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของสมการ

2) คำนวณค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยตามสมการที่ 2

3) กำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมให้ (การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ) จากเป้าหมายในการส่งน้ำ (การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหล) และค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำปากคลอง

4) คำนวณหาค่าความถี่ที่เหมาะสมจากสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Perturbation กับช่วงเวลาในการปรับบาน โดยกำหนดให้ Perturbation มีค่าเท่ากับช่วงการควบคุมที่ยอมให้ (ระดับน้ำ, เมตร)

5) พิจารณาความเหมาะสมในทางปฏิบัติงานภาคสนาม โดยพิจารณาจากระยะเวลาในการปรับบานที่ให้ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองอยู่ในช่วงระดับน้ำที่ยอมให้ ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลผ่านอาคารปากคลองมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% กับการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่โครงการฯ

6)

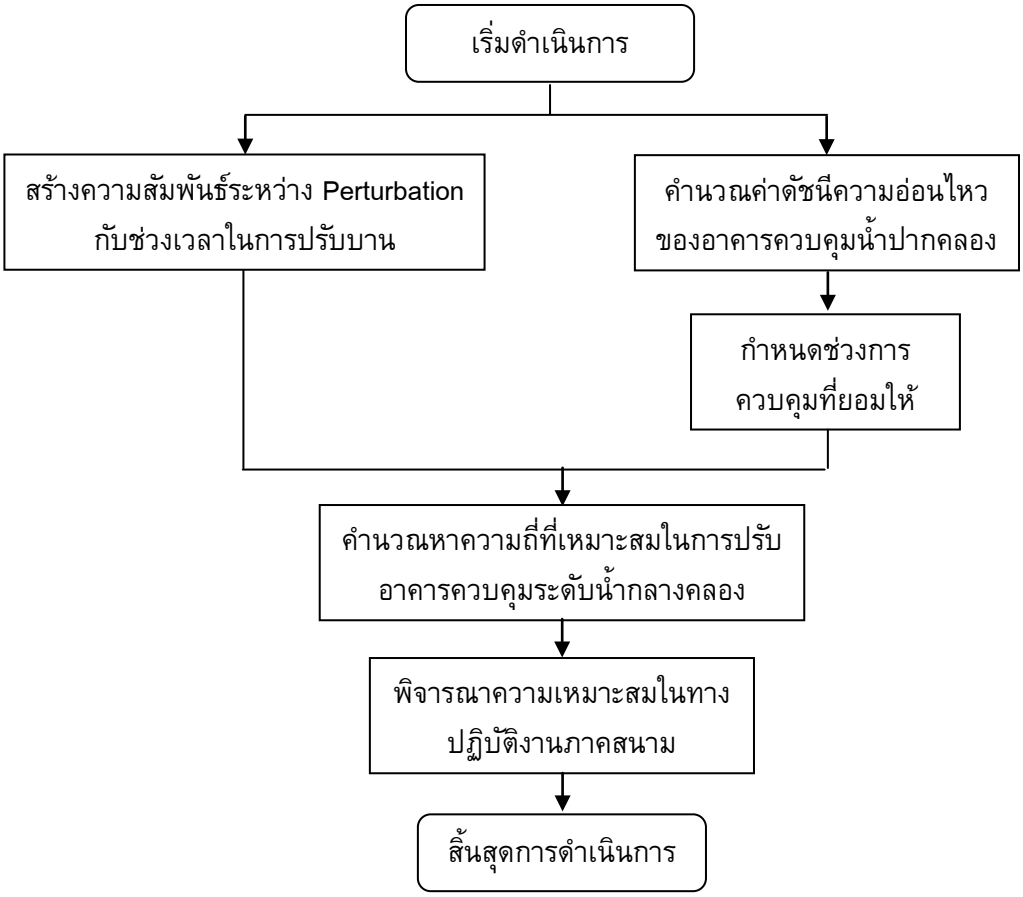

Figure 4 Flow chart of determining the optimal frequency for controlling of cross regulator

ผลและวิจารณ์

ความสัมพันธ์ระหว่าง Perturbation กับเวลาในการปรับบาน

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง Perturbation กับเวลาในการปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง ต้องใช้ข้อมูลระดับน้ำที่มีการตรวจวัดที่ความถี่ 30 – 60 นาทีต่อครั้ง ซึ่งในคลอง 5L – 2L มีข้อมูลการตรวจวัดระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองที่ความถี่ 30 นาทีต่อครั้ง จำนวน 3 อาคาร ได้แก่ ปตร. กลางคลอง กม.3+650 กม.9+813 และ 20+300 แต่เนื่องจากอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองในคลอง 5L – 2L มีทั้งสิ้น 7 แห่ง ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้กำหนดให้ ปตร. กลางคลอง กม.9+813 เป็นตัวแทนของ ปตร. กลางคลอง กม. 14+750 และ ปตร. กลางคลอง กม.20+300 เป็นตัวแทนของ ปตร. กลางคลอง กม.24+500 กม. 26+401 และ กม.33+664 ความสัมพันธ์ระหว่าง Perturbation และเวลาแสดงใน Figure 5 ซึ่งเมื่อทำการสร้างสมการโพลีโนเมียลแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Method) โดยใช้เทคนิคของนิวตัน (Newton's Method) (Kiusalass, 2005) ในการหาค่าดีกรี (Order) และค่าสัมประสิทธิ์ (Coefficient) ของสมการพบว่า สามารถเขียนความสัมพันธ์ให้อยู่ใน

รูปของสมการโพลีโนเมียลกำลัง 3 (Polynomial Function Order 3) ตามสมการที่ 6 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของแต่ละช่วงคลองตาม Table 2

$$P_t=a_3(\Delta t)^3+a_2(\Delta t)^2+a_1\Delta t+a_0 \quad (6)$$

โดยที่ P_t คือ Perturbation ของช่วงคลอง ณ ช่วงเวลา t, เมตร

Δt คือ ช่วงเวลาที่พิจารณา, ชั่วโมง

$a_0 - a_3$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการ

Table 2 Coefficient of perturbation equation

Regulator	a_3	a_2	a_1	a_0	R^2
Km 3+650	0.000001	-0.0002	0.0089	0.0108	0.9987
Km 9+813	0.000001	-0.0002	0.0105	0.0319	0.9994
Km 20+300[1/]	0.000004	-0.0005	0.0179	0.0129	0.9998
Km 20+300[2/]	0.000003	0.0006	-0.0320	0.8033	0.9990

Note: [1/] gate was adjusted between 0 – 45 minutes

[2/] gate was adjusted between 45 – 72 minutes

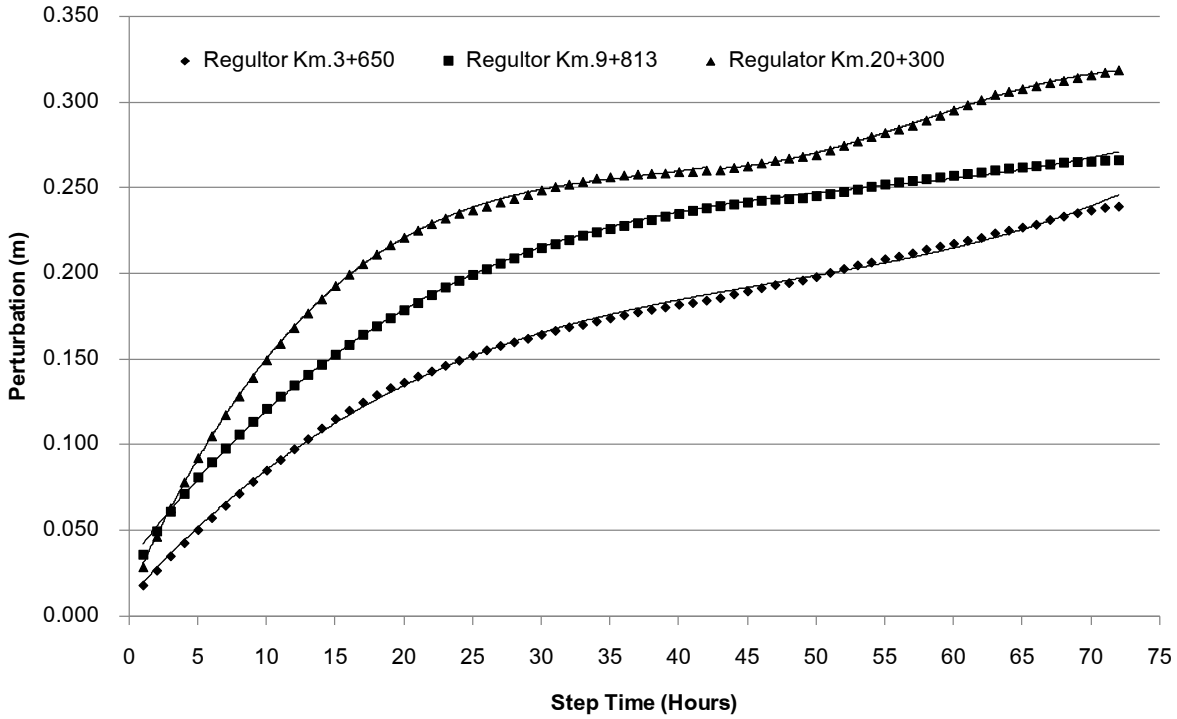

Figure 5 Perturbation and Step Time of 3 Regulators in 5L – 2L Canal System

ค่าดัชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำปากคลอง (Offtake Sensitivity)

อาคารควบคุมน้ำปากคลอง (Offtake) ในคลอง 5L – 2L มีลักษณะการไหลของน้ำเป็นแบบท่วมท้ายน้ำ (Submerged Flow) (ฉลอง, 2538) เมื่อคำนวณค่าดัชนีความอ่อนไหวตามสมการที่ 2 ได้ค่าดัชนีตาม Table 3 และพบว่าอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยทั้ง 9 แห่งของคลอง 5L – 2L มีการสูญเสียพลังงาน (Head – Loss Equivalent, H_E) อยู่ระหว่าง 0.81 – 1.55 เมตร ส่งผลให้อาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยมีค่าดัชนีความอ่อนไหว (S_{off}) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.78 เมตร$^{-1}$ หมายความว่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าอาคารมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารอยู่ในระดับต่ำ (Low) ตามเกณฑ์ในการวิเคราะห์ค่าดัชนีความอ่อนไหวของ FAO (Renault et al., 2007)

Table 3 Offtake Sensitivity of 5L – 2L canal system

Structure	Full Supply Water Level		Bottom Level	H_E	S_{off}	
	Upstream (msl)	Downstream (msl)	(msl)	(m)	(m^{-1})	Criteria
1R - 5L - 2L	+15.694	+15.314	+13.664	0.88	0.57	Low
1L - 2L - 2L	+15.646	+15.246	+14.446	0.64	0.78	Low
2L - 5L - 2L	+14.375	+13.877	+12.827	0.81	0.61	Low
2R - 5L - 2L	+14.281	+13.850	+12.100	0.96	0.52	Low
3L - 5L - 2L	+12.555	+11.755	+10.805	1.09	0.46	Low
4L - 5L - 2L	+10.975	+10.627	+9.027	0.83	0.60	Low
3R - 5L - 2L	+8.874	+8.059	+5.609	1.55	0.32	Low
4R - 5L - 2L	+6.376	+5.822	+4.522	0.95	0.53	Low
5L - 5L - 2L	+6.172	+5.900	+3.950	0.86	0.58	Low

กำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมให้ (Tolerance)

ระบบส่งน้ำ 5L – 2L กำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมให้ของอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองตามเกณฑ์การประเมินโครงการอย่างรวดเร็ว (Rapid Appraisal Process) ในระดับดีซึ่งมีค่าเท่ากับ $\pm$10% ของอัตราการส่งน้ำเป้าหมาย (Burt, 2001) ให้ค่า Tolerance ตาม Table 4

Table 4 Tolerance of water level at cross regulators

Structure		Offtake Sensitivity	Tolerance	
Cross Regulator	Offtake	m^{-1}	Discharge (%)	Water Level (m)
Km3+650	1R – 5L – 2L	0.57	±10	0.175
	1L – 5L – 2L	0.78	±10	0.128[1/]
Km9+813	2L – 5L – 2L	0.61	±10	0.164[1/]
	2R – 5L – 2L	0.52	±10	0.192
Km 14+750	3L – 5L – 2L	0.51	±10	0.196[1/]
Km 20+300	4L – 5L – 2L	0.60	±10	0.167[1/]
Km 26+401	3R – 5L – 2L	0.32	±10	0.313[1/]
Km 33+664	4R – 5L – 2L	0.53	±10	0.189
	5L – 5L – 2L	0.58	±10	0.172[1/]

Note: [1/] The indicated values are the selected tolerances of canal water level.

ความถี่ที่เหมาะสมในการควบคุมอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง

การกำหนดความถี่ที่เหมาะสมในปรับอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง กำหนดจากปัจจัยหลัก 2 ประการคือ ระยะเวลาในการปรับบานที่ให้ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองอยู่ในช่วงระดับน้ำที่ยอมให้ ซึ่งส่งผลให้อัตราการไหลผ่านอาคารปากคลองมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 10% กับการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่โครงการฯ

1) ระยะเวลาในการปรับบาน จากการกำหนดช่วงระดับน้ำควบคุมที่ยอมให้ของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง (Tol_H) ใน Table 4 เป็นค่า Perturbation ของช่วงคลอง (Pt) สามารถคำนวณหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองให้ผลตาม Table 5 ซึ่งมีระยะเวลาในการปรับบานอยู่ระหว่าง 12 – 68 ชั่วโมง/ครั้ง

2) การปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่โครงการ โดยทั่วไปเจ้าหน้าที่โครงการฯ มีระยะเวลาในการปฏิบัติงานระหว่าง 07.30 – 16.30 น. โดยจะเข้าไปตรวจวัดและปรับบานอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองวันละ 1 ครั้งในช่วงเวลาระหว่าง 07.30 – 08.00 น. โดยแบ่งหน้าที่การควบคุมออกเป็น 4 ช่วงคลองได้แก่ ช่วงคลองที่ 1 ระหว่าง กม.0+020 – 3+650 ทำหน้าที่ปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง กม.3+650 ช่วงคลองที่ 2 ระหว่าง กม.3+650 – 14+750 ทำหน้าที่ปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง กม.9+813 และ กม.14+750 ช่วงคลองที่ 3 ระหว่าง กม. 14+750 – 26+401 ทำหน้าที่ปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง กม.14+750 กม.20+300 และ กม.26+401 และช่วงคลองที่ 4 ระหว่าง กม.26+401 – 33+664 ทำหน้าที่ปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลอง กม.33+664

จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 ปัจจัยทำให้สามารถกำหนดระยะเวลาในการปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองครั้งที่ 1 เป็นระหว่างช่วงเวลา 07.30 – 08.00 น. ของทุกวันตามการแบ่งหน้าที่ของเจ้าหน้าที่โครงการฯ จากนั้นเมื่อพิจารณาระยะเวลาที่เหมาะสมในปรับบานที่สั้นที่สุดเพื่อให้สามารถควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองให้อยู่ในในช่วงระดับน้ำควบคุมที่ยอมให้ (Tol_H) ที่ทำให้อัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ±10% อยู่ที่ 12 ชั่วโมง หรือประมาณ 19.30 – 20.00 น. ซึ่งช่วงเวลา

ดังกล่าวอยู่นอกเวลาปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่โครงการฯ ประกอบกับช่วงเวลาตั้งแต่ 17.00 น. เป็นต้นไป ผู้ใช้น้ำส่วนใหญ่ไม่มีความต้องการน้ำ ทำให้ระดับน้ำในคลองส่งน้ำค่อนข้างคงที่ ดังนั้น เพื่อให้การควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารระดับน้ำกลางคลองอยู่ในช่วงระดับน้ำควบคุมที่ยอมให้ จึงควรให้เจ้าหน้าที่เข้ามาดำเนินการปรับบานอีกครั้งในช่วงเวลาประมาณ 15.30 – 16.00 น. รายละเอียดตาม Table 5

Table 5 Optimal Frequency for Controlling of Cross Regulator of 5L – 2L canal system

Regulator	Tolerance	Optimal Frequency for Controlling of Cross Regulator			
	(Tol_H)	Calculated	Adjusted	Adjusting	Adjusting
	m.	Hours/Time	Times/Day	Schedule#1	Schedule#2
Km3+650	0.128	17	2	07.30	15.30
Km9+813	0.164	17	2	07.30	15.30
Km 14+750	0.196	24	2	07.45	15.45
Km 20+300	0.167	12	2	07.30	15.30
Km 26+401	0.313	68	2	07.45	15.45
Km 33+664	0.172	12	2	07.30	15.30

ดังนั้นถ้าโครงการฯ จัดส่งเจ้าหน้าที่เข้าไปปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองตาม Table 5 ระบบส่งน้ำ 5L – 2L จะสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยให้อยู่ที่ $\pm$10% ส่งผลให้เกษตรกรสามารถได้รับน้ำตามความต้องการทั้งบริเวณต้นคลอง และปลายคลองทำให้ดัชนีความเป็นธรรมของระบบส่งน้ำเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังทำให้ผู้ใช้น้ำบริเวณต้นคลองไม่มีความจำเป็นต้องนำน้ำเข้าพื้นที่ของตนเองจำนวนมากและระบายน้ำส่วนเกินทิ้งลงคลองระบายน้ำ หรือลำน้ำธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้ดัชนีประสิทธิภาพการชลประทานเพิ่มขึ้น

สรุปผลการศึกษา

การกำหนดความถี่ที่เหมาะสมในการควบคุมอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองใช้ดัชนีความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน (Irrigation Structure Sensitivity) ร่วมกับ ช่วงการควบคุมที่ยอมให้ (Tolerance) และปัจจัยรบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) ในการวิเคราะห์ โดยทำการศึกษาวิจัยในระบบส่งน้ำ 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง ผลการศึกษาพบว่า

1) Perturbation ของคลอง 5L – 2L มีความสัมพันธ์กับช่วงเวลาในการปรับบานอยู่ในรูปของสมการโพลีโนเมียลกำลัง 3 (Polynomial Function Order 3)

2) อาคารควบคุมปากคลองซอย (Offtake) ของคลอง 5L – 2L มีการสูญเสียพลังงาน (Head – Loss Equivalent, H_E) อยู่ระหว่าง 0.81 – 1.55 เมตร ส่งผลให้อาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยมีค่าดัชนีความอ่อนไหว (S_{off}) อยู่ระหว่าง 0.32 – 0.78 เมตร$^{-1}$ ซึ่งเป็นค่าดัชนีความอ่อนไหวในระดับต่ำ

3) ระบบส่งน้ำ 5L – 2L กำหนดช่วงการควบคุมที่ยอมให้ของอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองที่ $\pm$0.10 ลูกบาศก์เมตร/

ลูกบาศก์เมตร ส่งผลให้ช่วงการควบคุมที่ยอมให้ของระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองอยู่ระหว่าง 0.128 – 0.313 เมตร

ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์หาความถี่ที่เหมาะสมในการควบคุมอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองในระบบส่งน้ำ 5L – 2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง พบว่าโครงการฯ ควรจัดส่งเจ้าหน้าที่เข้าไปตรวจวัด และปรับบานของอาคารควบคุมระดับน้ำกลางคลองวันละ 2 ครั้ง เวลาประมาณ 07.30 – 08.00 น. และ 15.30 – 16.00 น. ของทุกวัน ซึ่งจะช่วยให้ระบบส่งน้ำ 5L – 2L สามารถควบคุมอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำปากคลองซอยให้มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน $\pm$10% ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มความเป็นธรรมและประสิทธิภาพชลประทานของระบบส่งน้ำได้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนต้องขอขอบคุณ "ทุนอุดหนุนวิจัย มก." และ "คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์" ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

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

อุรินทร์ โสตรโยม และวราวุธ วุฒิวณิชย์. 2554. การใช้วิธีประเมินโครงการอย่างรวดเร็วเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงการบริหารงานส่งน้ำของระบบส่งน้ำ 2 ซ้าย โครงการชลประทานแม่กลองใหญ่. วิทยาสารกำแพงแสน. 9 (1): 41 – 52.

อุรินทร์ โสตรโยม. 2554. การปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ : กรณีศึกษา โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม

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.

Kiusalass, J. 2005. Numerical Methods in Engineering with MATLAB. Cambridge University Press. New York, USA. 421.

Kustu, M.D., Y. Fan and A. Robock. 2010. Large – scale Water Cycle Perturbation from Irrigation in The High Plains: A Synthesis of Observed Streamflow Changes. Hydrology. J. 390: 222 – 244.

Renault, D. 1999. Offtake Sensitivity, Operation Effectiveness, and Performance of Irrigation System. J. Irrig. Drain Eng. 125 (3): 137–147.

Renault, D. 2000. Aggregated Hydraulic Sensitivity Indicators for Irrigation System Bebavior. J. Agr. Water Manage. 43: 151 – 171.

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

Shahrokhnia, M.A. and M. Javan. 2007. Performance Assessment of Doroodzan Irrigation Network by

Steady State Hydraulic Modeling. J. Irrig. Drain Sys. 19(2): 189 – 206.

Received 15 May 2013

Accepted 26 September 2013