การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำชลประทาน

(Sensitivity Analysis of Irrigation Structure)

โดย รองศาสตราจารย์ ดร.วราวุธ วุฒิวณิชย์
ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำนำ

ในทางเทคนิคการบริหารจัดการน้ำชลประทานของโครงการ จะเกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่สำคัญ ได้แก่การวางแผน การควบคุม และการติดตามประเมินผล **การวางแผนการส่งน้ำ**ได้แก่การจัดสรรน้ำและการจัดตารางการส่งน้ำให้ผู้ใช้น้ำในพื้นที่หรือคลองสายต่างๆ ของโครงการ ซึ่งจะพิจารณาจากความต้องการน้ำเปรียบเทียบกับปริมาณต้นทุนที่มีในช่วงเวลาต่าง และสมรรถของระบบคลอง แผนการส่งน้ำที่ดีต้องสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามสถานการณ์ **การควบคุมการส่งน้ำ**คือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการปิด-เปิด-ปรับ ประตูระบาย (ปตร.) ของอาคารต่างๆ เพื่อการควบคุมระดับน้ำ และอัตราการไหลของน้ำในคลองสายต่างๆ ให้เป็นไปตามแผนการส่งน้ำที่วางไว้ และ**การติดตามประเมินผล(Monitoring and evaluation หรือ M&E) :**ซึ่งถือเป็นกลไกสำคัญเพื่อให้แน่ใจว่าจะสามารถส่งน้ำชลประทานได้ถึงแปลงเพาะปลูกและเกิดผลสัมฤทธิ์ตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่วางไว้ บทความนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ความอ่อนไหว(Sensitivity Analysis) ของอาคารควบคุมน้ำชลประทาน ซึ่งมีความสำคัญต่อการควบคุมการส่งน้ำ แต่ยังไม่ค่อยมีการกล่าวถึงในวงการชลประทานของประเทศไทย

ทฤษฎีของการควบคุมน้ำและการวิเคราะห์ความอ่อนไหว

ระบบการในการควบคุมน้ำในคลองที่ใช้ในประเทศไทย คือระบบการควบคุมแบบเหนือน้ำ (Upstream Control) ซึ่งระบบนี้ประกอบด้วยอาคารที่สำคัญ 2 ประเภท คือ อาคารทดน้ำกลางคลอง (Cross Regulator หรือ Water Level Regulator หรือ เรียกสั้นว่า Check) และอาคารปากคลองหรือ ปตร.ปากคลอง (Discharge Regulator หรือ Offtake) อาคารทดน้ำกลางคลองซึ่งต่อไปจะเรียกสั้นๆว่า Regulator มีหน้าที่ควบคุมระดับน้ำด้านเหนือน้ำให้ให้คงที่ที่ระดับน้ำใช้การ (Full Supply Level) ตามที่ออกแบบหรือตามที่ฝ่ายส่งน้ำกำหนด ขณะที่ ปตร.หรือ ทรบ. ปากคลองซึ่งต่อไปจะเรียกสั้นๆ ว่า Offtake มีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ตามแผนการส่งน้ำที่วางไว้ อย่างไรก็ตามในระบบคลองส่งน้ำชลประทาน มีปัจจัยทีรบกวนการทำงานของระบบทำให้ยากต่อการควบคุมระดับน้ำ

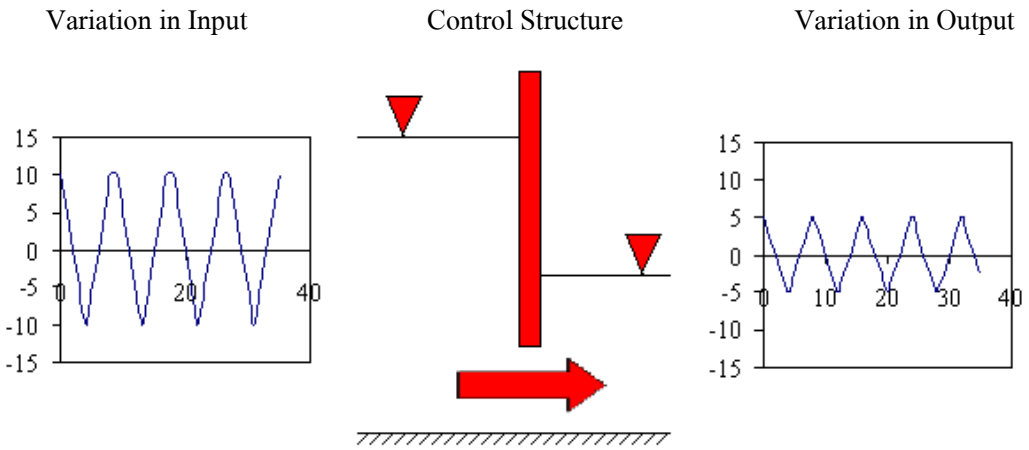
และอัตราการไหลของน้ำ ซึ่งเรียกว่า Perturbation ในระบบคลองชลประทานมีปัจจัยมากมายที่รบกวนการทำงานของระบบ เช่น การปิด-เปิด-ปรับ ปตร./ทรบ. ด้านเหนือน้ำ จะส่งผลต่อสภาวะการไหลของน้ำด้านท้ายน้ำ น้ำท่าที่ไหลเข้าคลองช่วงฝนตก ท่อส่งน้ำเข้านาที่ไม่มีบานไม่สามารถควบคุมน้ำ ได้ การสูบน้ำโดยตรงจากคลอง Return Flow ที่ไหลกลับเข้าคลอง ปัจจัยรบกวนเหล่านี้ทำให้สภาวะการไหลของน้ำในคลองไม่คงตัว (Unsteady State) ระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำในคลองเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา การควบคุมน้ำจะทำได้ยากขึ้น ต้องมีการปรับบาน ปตร. ถี่ขึ้น ซึ่งหมายถึงความต้องการพนักงานส่งน้ำ และงบประมาณในการส่งน้ำที่มากขึ้น และอาจมีผลต่อความน่าเชื่อถือ (Reliability)ในการส่งน้ำ การส่งน้ำจะไม่เป็นไปตามแผน อย่างไรก็ตามระดับน้ำหน้า ปตร. กลางคลอง และอัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ปากคลองจะเปลี่ยนแปลงมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับขนาดความรุนแรงของปัจจัยที่รบกวน และค่าดรรชนีความอ่อนไหว (Sensitivity Indicator) ของปตร. กลางคลอง และ ปตร. ปากคลอง ตามลำดับ ถ้าอาคารมีความอ่อนไหวมากสภาวะการไหล (ระดับและอัตราการไหล) จะเปลี่ยนแปลงมากเมื่อมีปัจจัยรบกวนเข้ามากระทบ ในทางกลับกัน ถ้าอาคารมีความอ่อนไหวน้อย สภาวะการไหลจะเปลี่ยนแปลงน้อย ดังนั้นในการบริหารงานส่งน้ำจึงต้องหาวิธีลดขนาดความรุนแรงของปัจจัยที่รบกวนระบบ เช่นการสร้างอ่างพักน้ำ (Regulating Reservoir) หรือเลือกใช้อาคารควบคุมน้ำที่มีความอ่อนไหวน้อย เช่น Baffled Distributor หรือรู้จักการวางแผนการปฏิบัติงานควบคุมน้ำในสนาม การบริหารงานส่งน้ำจึงจะบรรลุเป้าหมาย และส่งผลต่อผลผลิตและรายได้ของเกษตรกร

ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำชลประทาน (Structure Sensitivity)

ความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำชลประทาน หมายถึงอัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนแปลงสภาวะการไหลของผลลัพธ์ (Output) ในการควบคุมน้ำของอาคารต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะการไหลของน้ำเข้าสู่อาคาร (Input) นั้น ดังรูปที่ 1 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังนี้ (Renault *et al.*, 2007)

$$\text{Sensitivity} = \frac{\text{Variation in output}}{\text{Variation in input}} \qquad [1]$$

เมื่อ Input และ Output หมายถึงอัตราการไหลของน้ำ หรือระดับน้ำ



รูปที่ 1 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของอาคารชลประทาน

การนิยาม Input และ Output ในสมการที่ 1 จะแตกต่างกันไปตามหน้าที่ของอาคาร เช่น อาคารทดน้ำ ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมระดับน้ำ Input จะหมายถึงอัตราการไหลของน้ำ และ Output จะหมายถึงระดับน้ำ ตามนิยามดังกล่าว อาคารทดน้ำคืออาคารที่ทำหน้าที่ในการแปลง อัตราการไหล (Q) ให้เป็นระดับน้ำ (h) ดังรูปที่ 2 ขณะที่ ปตร.ปากคลอง ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าคลอง Input จะหมายถึงระดับน้ำ และ Output จะหมายถึงอัตราการไหลของน้ำ ดังนั้น ปตร. ปากคลอง คือกลไกลในการแปลงระดับน้ำ (h) ให้เป็นอัตราการไหลของน้ำในคลองแยก (q) ดังรูปที่ 2 จากแนวคิดดังกล่าวจะสามารถนิยามดรรชนีความอ่อนไหวของอาคารทดน้ำ ($S_{Regulator}$) และ ดรรชนีความอ่อนไหวของ ปตร. ปากคลอง ($S_{Offtake}$) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$S_{Regulator} = \frac{\Delta h}{\Delta Q / Q} \qquad \text{(unit=m)} \qquad [2]$$

$$S_{Offtake} = \frac{\Delta q / q}{\Delta h} \qquad \text{(unit = } m^{-1}\text{)} \qquad [3]$$

เมื่อ $S_{Regulator}$ คือ ดรรชนีความอ่อนไหวของอาคารทดน้ำ (Regulator) มีหน่วยเป็น เมตร

$S_{Offtake}$ คือ ดรรชนีความอ่อนไหวของ ปตร. ปากคลอง (Offtake) มีหน่วยเป็น เมตร$^{-1}$

Δh คือ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าอาคารทดน้ำในคลองส่ง หรือ ปตร. ปากคลอง มีหน่วยเป็น เมตร

$\Delta Q/Q$ คือ ค่าสัมพัทธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำที่ไหลเข้าสู่อาคารทดน้ำ

$\Delta_{q/q}$ คือ ค่าสัมพัทธ์ของการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำผ่าน ปตร. ปากคลอง

รูปที่ 2 ฟังค์ชั่นของอาคารทดน้ำ (Regulator)

รูปที่ 3 ฟังค์ชั่นของ ปตร. ปากคลอง (Offtake)

ค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคารจะมีประโยชน์ต่อการกำหนดว่าควรจะวางแผนควบคุมการปรับบาน ปตร. อย่างไร เพื่อให้ระดับน้ำและอัตราการไหลของน้ำเป็นไปตามแผนวางไว้ โดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (Tolerance)

ยกตัวอย่าง ถ้าต้องการให้ปตร. ปากคลองซอย (Offtake) ควบคุมอัตราการไหล ที่ q$\pm$ 10 % หรือ $\Delta q/q$ เท่ากับ ± 0.1 จะสามารถคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลองสายใหญ่ที่ยอมให้ ($\Delta h_{permissible}$) จากสมการ

$$\Delta h_{permissible} = \frac{(\Delta q/q)_{set}}{S_{Offtake}} \qquad [4]$$

ถ้า ปตร. ปากคลองเป็นประเภทที่มีความอ่อนไหวสูง เช่น $S_{Offtake}$ มีค่าเท่ากับ 2.0 ค่า $\Delta h_{permissible}$ ในคลองสายใหญ่ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 3 จะเท่ากับ $\pm 0.1/2 = \pm 0.05$ เมตร หรือ ± 5 ซม. กรณีที่ ปตร. ปากคลองมีความอ่อนไหวสูง ค่า $\Delta h_{permissible}$ ที่คำนวณได้จะมีค่าน้อย (± 5 ซม.) ฝ่ายส่งน้ำจะต้องวางแผนการควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่โดยการคอยตรวจเช็คระดับน้ำและ

ปรับบาน ปตร. กลางคลองบ่อยๆ เพื่อให้ระดับในคลองสายใหญ่ต่างจากระดับควบคุมไม่เกิน $\pm$5 ซม. หรือพูดง่ายๆว่าความแม่นยำในการควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่เท่ากับ h$\pm$5 ซม.

ในทำนองเดียวกันจากสมการที่ 3 จะสามารถคำนวณหาอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองสายใหญ่ที่ยอมให้ $(\Delta Q/Q)_{permissible}$ ดังนี้

$$(\Delta Q/Q)_{permissible} = \frac{\Delta h}{S_{Regulator}} \qquad [5]$$

จากตัวอย่าง ปตร. ปากคลองซอยที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งกำหนดว่าต้องคอยควบคุมระดับน้ำในคลองสายใหญ่ที่ h$\pm$5 ซม. ถ้าสมมติให้ $S_{Regulator}$ มีค่าเท่ากับ 0.5 (ความอ่อนไหวต่ำ) $(\Delta Q/Q)_{permissible}$ จะเท่ากับ $\pm$0.05/0.5 = $\pm$0.1 หรือยอมให้อัตราการไหลของน้ำในคลองสายใหญ่เปลี่ยนแปลงจากค่าควบคุมได้ไม่เกิน $\pm$10% แต่ถ้า ปตร. กลางคลองมีความอ่อนไหวสูง เช่น $S_{Regulator}$ มีค่าเท่ากับ 4 ค่า $(\Delta Q/Q)_{permissible}$ จะเท่ากับ $\pm$0.05/4 = $\pm$0.0125 ซึ่งหมายความว่ายอมให้อัตราการไหลของน้ำในคลองสายใหญ่เปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน $\pm$1.25% กรณีหลังนี้อาจมีปัญหาไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำในคลองสายใหญ่ภายในช่วงค่าที่กำหนดได้ ถ้าปัจจัยรบกวนมีขนาดความรุนแรงมากและเกิดขึ้นบ่อยๆ เนื่องจาก $(\Delta Q/Q)_{permissible}$ มีค่าน้อยมาก ยกเว้นมีการติดตั้งระบบควบคุมน้ำในคลองแบบอัตโนมัติ (Canal Automation)

ดรรชนีความอ่อนไหวในการส่งน้ำ (Sensitivity Indicator for Coveyance)

จากแนวคิดเกี่ยวกับค่าดรรชนีความอ่อนไหวของ ปตร. ปากคลอง ตามที่กล่าวในหัวข้อที่แล้ว จะเห็นว่าถ้าระดับน้ำในคลองส่งเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ Δh จะมีผลทำให้อัตราการระบายน้ำผ่าน ปตร. ปากคลองเพิ่มขึ้นหรือลดลงเท่ากับ Δq และส่งผลทำให้อัตราการไหลของน้ำในคลองส่งด้านท้ายน้ำของ ปตร. ปากคลองลดลงหรือเพิ่มขึ้นเท่ากับ Δq ดังรูปที่ 4 ผลกระทบนี้จะมีค่ามากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับ อัตราส่วน q/Q และค่า $S_{Offtake}$ จากแนวคิดนี้ ถ้าพิจารณาว่า Δh คือ Variation in input และ $\Delta Q/Q$ คือ Variation in output จะสามารถหาดรรชนีความอ่อนไหวในการส่งน้ำของคลองส่ง ($S_{Conveyance}$) ได้ดังสมการ

$$S_{Conveyance} = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta h} \qquad [6]$$

เนื่องจาก Dq=DQ จะเขียนสมการข้างบนใหม่ได้ว่า

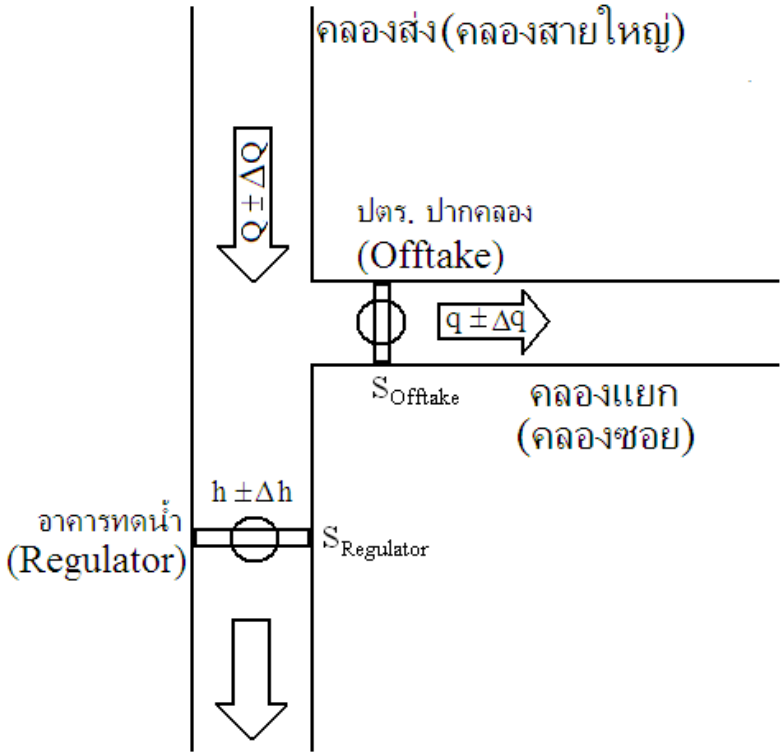
$$S_{Conveyance} = \frac{\Delta q / Q}{\Delta h} = \frac{(\Delta q / q)(q / Q)}{\Delta h}$$

$$S_{Conveyance} = S_{Offtake}(q / Q) \qquad [7]$$

ดรรชนี $S_{Offtake}$ ใช้ในการประเมินผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ (Δh) ต่อการระบายน้ำเข้าคลองแยก ถ้า Δh มีค่ามากจะมีผลกระทบมาก ส่วนดรรชนี $S_{Conveyance}$ ใช้ประเมินผลการเปลี่ยนแปลงอัตราการระบายน้ำของคลองแยกต่ออัตราการระบายน้ำของคลองส่ง

ดรรชนีความอ่อนไหวรวมของอาคารทดน้ำและ ปตร. ปากคลอง (Flexibility Indicator)

ตามหลักชลศาสตร์ อาคารควบคุมน้ำชลประทานในคลองจะมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 4 เมื่ออัตราการส่งน้ำในคลองส่งเปลี่ยนแปลง ($Q \pm \Delta Q$) หรือเมื่อมีการปรับบานของอาคารทดน้ำในคลองส่ง(คลองสายใหญ่)จะมีผลต่อระดับน้ำด้านเหนือน้ำอาคาร ($h \pm \Delta h$) จะมีผลกระทบต่ออัตราการไหลของน้ำเข้าคลองซอย ($q \pm \Delta q$) ในทางกลับกันการปรับบาน ปตร. ปากคลองซอย จะมีผลต่ออัตราการไหลของน้ำในคลองสายใหญ่ ($Q \pm \Delta Q$) และมีผลต่อระดับน้ำด้านหน้าอาคารทดน้ำ ($h \pm \Delta h$)



รูปที่ 4 ภาพแสดงอิทธิพลระหว่างอาคารทดน้ำ และ ปตร. ปากคลอง

ในหัวข้อที่แล้ว ได้กล่าวถึงความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำเฉพาะแห่ง แต่ตามหลักชลศาสตร์ อาคารควบคุมน้ำชลประทานในคลองจะมีอิทธิพลซึ่งกันและกัน ตามที่กล่าวมาแล้ว จึงสามารถรวมความอ่อนไหวของอาคารทดน้ำและปตร. ปากคลอง เป็นความอ่อนไหวกลุ่มอาคาร (อาคารทดน้ำและ ปตร. ปากคลองแยก) ซึ่งเรียกว่า Node Sensitivity หรือ Hydraulic Flexibility และดรรชนีที่แสดงค่าความอ่อนไหวของกลุ่มอาคาร เรียกว่า Flexibility Indicator (F) ซึ่งสามารถคำนวณหาได้ดังสมการ

$$F = \frac{\Delta q / q}{\Delta Q / Q} \qquad [8]$$

เมื่อ q = อัตราการไหลของน้ำในคลองแยก

Q = อัตราการไหลของน้ำในคลองแยก

ถ้าคูณและหารสมการที่ 8 ด้วย Δh จะได้

$$F = \left(\frac{\Delta q / q}{\Delta h}\right)\left(\frac{\Delta h}{\Delta Q / Q}\right) = S_{Offtake}.S_{Regulator} \qquad [9]$$

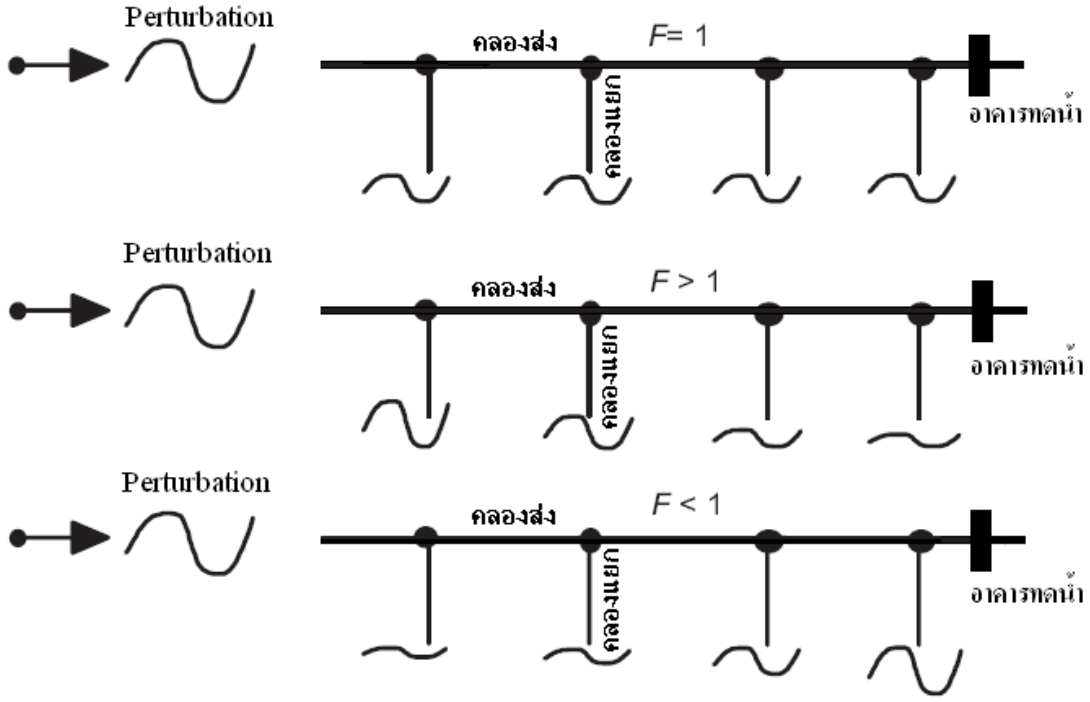
ถ้า F < 1 หมายถึง underproportional ซึ่งมีความหมายว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองส่ง ($\Delta Q/Q$) จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองแยก ($\Delta q/q$) ในอัตราที่น้อยลง

ถ้า F = 1 หมายถึง proportional ซึ่งมีความหมายว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองส่ง ($\Delta Q/Q$) จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองแยก ($\Delta q/q$) ในอัตราที่เท่ากัน ระบบควบคุมน้ำซึ่งใช้อาคารแบ่งน้ำ (Proportional หรือ Division Structure)จะมีค่า F เท่ากับ 1 ซึ่ง Q ที่จุดผันน้ำจะถูกแบ่งตามสัดส่วน ระบบนี้จะให้ค่าความเป็นธรรม (Equity) สูงในการกระจายน้ำ

ถ้า F > 1 หมายถึง hyperproportional ซึ่งมีความหมายว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองส่ง ($\Delta Q/Q$) จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำในคลองแยก ($\Delta q/q$) ในอัตราที่มากว่า

ความอ่อนไหวของช่วงคลอง (Reach Sensitivity)

ช่วงคลอง (Reach) ในที่นี้จะหมายถึงช่วงของคลองที่ประกอบด้วย ปตร. ปากคลอง (Offtake) หลายตัวที่อยู่เขตการควบคุมระดับน้ำของอาคารทดน้ำ 1 ตัว อิทธิพลร่วมของ Node Sensitivity ของ ปตร. ปากคลองแต่ละตัวกับอาคารทดน้ำในช่วงคลองนั้น เรียกว่า ความอ่อนไหวของช่วงคลอง ซึ่งค่านี้จะช่วยบอกว่า ปตร. ปากคลองแต่ละตัว จะช่วยลดอัตราการส่งน้ำที่มากหรือน้อยเกินไป (Perturbation) ได้มากน้อยเพียงใด ดังรูปที่ 5 ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงคลองที่ F=1 จะสามารถกระจายปัจจัยรบกวน (Perturbation) เข้าไปในคลองแยกได้อย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงคลอง ถ้า F>1 คลองแยกที่อยู่ต้นช่วงคลองจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยรบกวนสูงกว่า ในทางกลับกัน ถ้า F<1 คลองแยกที่อยู่ต้นช่วงคลองจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยรบกวนน้อยกว่า ความรู้เดี่ยวกับความอ่อนไหวของช่วงคลองจะมีประโยชน์ต่อการวางแผนการปรับบาน ปตร. ปากคลอง



รูปที่ 5 การเคลื่อนที่ของ Perturbation ในช่วงคลอง ซึ่งมีค่า F ต่างกัน

การหาค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคาร

ค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคารสามารถหาได้ 3 วิธีคือ (1) การตรวจวัดน้ำที่อาคารนั้นเพื่อวิเคราะห์ค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคาร (2) การวิเคราะห์จากข้อมูลการวัดน้ำของอาคารที่มีการบันทึกไว้ (3) การวิเคราะห์จากสูตรการไหลของน้ำผ่านอาคารและข้อมูลของอาคาร ต่อไปจะกล่าวถึงการวิเคราะห์หาค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคารจากสูตร ตามวิธีที่ (3)

สูตรการไหลของน้ำผ่านอาคารโดยทั่วไปสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$q = M(head)^{\alpha} \qquad [10]$$

เมื่อ q = อัตราการไหลของน้ำผ่านอาคารต่อหนึ่งหน่วยความกว้าง

M = ค่าสัมประสิทธิ์ของอาคารซึ่งขึ้นกับรูปร่าง ขนาด และสัมประสิทธิ์การไหลของน้ำผ่านอาคาร แต่ไม่ขึ้นกับเฮดของน้ำขณะที่น้ำไหลผ่านอาคาร

head = เฮดของน้ำขณะที่น้ำไหลผ่านอาคาร ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามประเภทของอาคารและสภาวะการไหลของน้ำผ่านอาคาร ดังตารางที่ 1

α = ค่ายกกำลัง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.5 กรณี Weir Flow และ 0.5 กรณี Orifice Flow

ตารางที่ 1 ค่า head และ α สำหรับอาคารประเภทต่างๆและสภาวะการไหลแบบต่างๆ

ประเภทอาคาร	สภาวะการไหลของน้ำผ่านอาคาร	head	α
Undershot (Gate or Orifice)	Free flow	ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ	0.5
	Submerged	ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ระดับศูนย์กลาง orifice	
Overshot (Weir)		ระดับน้ำเหนือสันฝายน้ำ	1.5

โดยการหาอนุพันธ์ของค่า Natural log ของสมการที่ 10 จะได้สมการสำหรับคำนวณหาค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคาร ดังสมการที่ 11 และ 12

$$S_{Offtake} = \frac{\alpha}{head} \qquad (\text{หน่วย : } m^{-1}) \qquad [11]$$

$$S_{Regulator} = \frac{head}{\alpha} \qquad (\text{หน่วย : m}) \qquad [12]$$

ซึ่งสามารถสรุปสูตรการหาค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคารได้ดังตารางที่ 2 ค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคาร โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ระดับคือ อ่อนไหวน้อย ถ้า S มีค่าประมาณ 0.5 อ่อนไหวปานกลาง ถ้า S มีค่าประมาณ 1 และอ่อนไหวมาก ถ้า S มีค่าประมาณ 2

ตารางที่ 2 สูตรการหาค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคาร

ประเภทอาคาร		α	สูตรดรรชนีความอ่อนไหว
อาคารทดน้ำ	Undershot(Orifice)	0.5	$S_{Regulator}$ = 2head
	Overshot(Weir)	1.5	$S_{Regulator}$ = 0.66 head
อาคารปากคลอง	Undershot(Orifice)	0.5	$S_{Offtake}$ = 0.5/head
	Overshot(Weir)	1.5	$S_{Offtake}$ = 1.5/head

สรุป

ค่าดรรชนีความอ่อนไหวของอาคารควบคุมน้ำชลประทาน เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ต่อการวางแผนควบคุมการส่งน้ำ ช่วยให้โครงการสามารถจัดการกับปัจจัยที่รบกวนระบบการส่งน้ำ และสภาวะการไหลของน้ำในคลองที่ไม่คงตัว (Unsteady State) อย่างมีหลักวิชาการ สามารถวิเคราะห์หาเป้าหมายในการควบคุมระดับน้ำและอัตราการการส่งน้ำที่ ปตร. ปากคลอง ต่างๆ ตลอดจนการจัดวางอัตรากำลังคนในการควบคุมการส่งน้ำ หรือสามารถนำไปใช้ในการวางแผนปรับปรุงอาคารชลประทานเพื่อลดปัญหาและค่าใช้จ่ายในการบริหารงานส่งน้ำ โดยการใช้อาคารควบคุมน้ำที่มีค่าดรรชนีความอ่อนไหวต่ำ เช่น Baffled Distributor หรือการหาวิธีลดปัจจัยที่รบกวนระบบ เช่นการสร้างอ่างพักน้ำ (Regulating Reservoir) ดังนั้นจึงควรที่จะได้มีการทดลองนำความรู้เกี่ยวกับความอ่อนไหวของอาคารชลประทานไปทดลองใช้ เพื่อเพิ่มผลสัมฤทธิ์ในการบริหารงานส่งน้ำของโครงการชลประทานต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Renault, D., Facon, T. and R. Wahai. 2007. Modernizing irrigation management – the MASSCOTE approach: Mapping System and Services for Canal Operation Techniques. FAO Irrigation and Drainage Paper 63. FAO., Rome. 207p.