# แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ
# Canal Operation Model (COM)

อุรินทร์ โสตรโยม[1]* และ วราวุธ วุฒิวณิชย์[2]
Urin Soteyome[1]* and Varawoot Vudhivanich[2]

**บทคัดย่อ**

แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model (COM)) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อยได้แก่ 1) แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model) สร้างขึ้นจาก Stochastic Model ชนิด Autoregressive Order 1 (AR1) 2) แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model) สร้างขึ้นโดยใช้ระเบียบวิธี Standard Step Method และ 3) แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model) เป็นแบบจำลองการไหลแบบ 1 มิติ ที่พัฒนาจากสมการ St. Venant Equations ในเทอมของ Dynamic Wave Model จากผลการทดสอบแบบจำลองในคลอง 5L-2L ของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง จังหวัดสุพรรณบุรี ระหว่างวันที่ 1-28 มิถุนายน 2553 พบว่าค่าดรรชนี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ของทุกช่วงคลองที่ทดสอบมีค่าไม่น้อยกว่า 0.95 จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (COM) มีความแม่นยำในการคาดคะเนสูงในทุกช่วงคลองที่ทดสอบ

**คำสำคัญ:** แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ แบบจำลองระดับน้ำในคลอง และแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง

**Abstract**

A Canal Operation Model (COM) is a mathematical model developed for improving the irrigation canal management. Three COM sub-models include 1) Forecasted Perturbation Model developed by basing on Autoregressive order I (AR1) stochastic model, 2) Water Surface Profile Model created by employing standard step method, and 3) Unsteady Flow Model which is a one-dimensional flow model, developed from St. Venant equations in terms of dynamic wave model. The COM was tried in 5L-2L canals of Songphenong Operation and Maintenance Irrigation Project in Suphanburi Province from 1-28 June 2010. It was found that the Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) index of all tested canal intervals was not less than 0.95. This indicated that prediction with the developed COM

1 กลุ่มวิจัยและพัฒนาด้านวิศวกรรม สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน (ปากเกร็ด)
2 รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
* Corresponding Author, Tel 08-1782-7528, E-mail: urinsoteyome@gmail.com

*รับเมื่อ 12 มกราคม 2555 ตอบรับเมื่อ 5 มิถุนายน 2555*

was highly accurate.

**Keyword:** Canal Operation Model, Forecasted Perturbation Model, Water Surface Profile Model and Unsteady Flow Model

## 1. บทนำ

การปรับปรุงระบบชลประทานให้ทันสมัย (Irrigation Modernization) คือ การปรับปรุงระบบบริหารคลองส่งน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการชลประทาน (Efficiency) และความยืดหยุ่น (Flexibility) ในการส่งน้ำ เพื่อให้โครงการชลประทานสามารถส่งน้ำตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้น้ำในลักษณะของการจัดการแบบเน้นการบริการ (Service Oriented Management, SOM) [1] ซึ่งการพัฒนาอุปกรณ์และเครื่องมือช่วยในการควบคุมระบบบริหารคลองส่งน้ำเพื่อปรับปรุงระบบชลประทานให้ทันสมัย เริ่มตั้งแต่ปี ค.ศ.1952 โดยการพัฒนาอุปกรณ์สำหรับช่วยในการควบคุมแบบเฉพาะจุดของระบบชลประทานในประเทศสหรัฐอเมริกา [2] จากนั้นได้เริ่มพัฒนาแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลองเป็นเครื่องมือช่วยในการควบคุมระบบบริหารคลองส่งน้ำ [3], [4] สำหรับประเทศไทยได้เริ่มนำเอาเทคโนโลยีอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ เข้ามาช่วยในการควบคุมระบบบริหารคลองส่งน้ำ เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำชลประทานมีประสิทธิภาพ ทั่วถึง เป็นธรรม และยั่งยืน โดยได้มีการนำเสนอระบบคลองอัตโนมัติเพื่อใช้ควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย (Target Water Level) แบบอัตโนมัติ [5] แต่ยังถูกจำกัดในระบบชลประทานนำร่อง (โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง) เนื่องจากข้อจำกัดในด้านงบประมาณสำหรับติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือควบคุม

การออกแบบระบบควบคุมเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนดมีความยุ่งยาก และซับซ้อนเนื่องจากคลองมีการส่งน้ำให้พื้นที่เพาะปลูกตลอดทั้งสาย และผู้ใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงการใช้น้ำตลอดเวลา นอกจากนั้นการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำแต่ละแห่งในระบบคลองส่งน้ำมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำแต่ละแห่งด้วย [6] ดังนั้นการออกแบบระบบควบคุมระดับน้ำในคลองต้องพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่างๆ เหล่านี้เพื่อสร้างแบบจำลองสำหรับกำหนดเงื่อนไขในการปรับบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง (Cross Regulator) ในคลองส่งน้ำเพื่อรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด จากการรวบรวมเทคนิคของการควบคุมแบบต่างๆ เช่น Heuristic Control, Classical Control, Predictive Control หรือ Optimal Control [7]–[9] พบว่าแนวทางของการศึกษาในปัจจุบันส่วนใหญ่หันกลับไปใช้เทคนิคแบบ Proportional-Integral (PI) Control ของ Classical Control ด้วยการพัฒนาแนวคิด แบบจำลอง อุปกรณ์ และเครื่องมือใหม่ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถของเทคนิคการควบคุมแบบ PI Control [10]-[14] ให้มีความถูกต้อง แข็งแรง และแม่นยำเพื่อนำไปใช้จริงในสนาม [15]

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) สำหรับควบคุมอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ ในคลองส่งน้ำจากศูนย์ควบคุมกลาง โดยให้อาคารควบคุมน้ำปากคลองทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลเพื่อตอบสนองต่อความต้องการน้ำทั้งหมดของระบบ และอาคารควบคุมน้ำกลางคลองทำหน้าที่รักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารในแต่ละช่วงคลองให้อยู่ที่ระดับเป้าหมาย (Upstream Control) โดยทำการจำลองระดับน้ำพร้อมกันและต่อเนื่องในทุกช่วงคลองตลอดทั้งสาย

## 2. แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ

แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทีมงานวิจัยพัฒนาขึ้นเองเพื่อช่วยในการควบคุมระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำ (Upstream Control) ของช่วงคลองต่างๆ ในคลองส่งน้ำให้อยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย ได้แก่ แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model) แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface

**รูปที่ 1** แผนผังการทำงานของแบบจำลอง COM

Profile Model) และแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model) โดยใช้ข้อมูลนำเข้าจากการตรวจวัดในสนามประกอบด้วย ระยะเปิดบาน ($Go_i$) ระดับน้ำด้านหน้า ($WL_US_i$) และระดับน้ำด้านท้าย ($WL_DS_i$) ของอาคารควบคุมน้ำกลางคลอง ซึ่งระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมฯ ($WL_US_i$) ถูกส่งให้แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำทำการคาดการณ์ระดับน้ำล่วงหน้า ($F_WL_US_i$) จากผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Perturbation) และส่งไปเป็นข้อมูลน้ำเข้าของแบบจำลองระดับน้ำในคลองร่วมกับระดับน้ำด้านท้ายอาคารควบคุมฯ ($WL_DS_i$) เพื่อนำไปคำนวณหาระดับน้ำที่หน้าตัดการไหลต่างๆ ในคลองส่งน้ำ ($WL_i$) อัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมฯ ($Q_i$) และอัตราการไหลที่ต้องปรับแก้ ($Q_{adj}$) เพื่อให้ระดับน้ำอยู่ในระดับเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งผลการคำนวณนี้จะถูกส่งไปให้แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลองร่วมกับระยะเปิดบานของอาคารควบคุมฯ ($Go_i$) เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะเปิดบานที่เหมาะสมของอาคารควบคุมฯ ($G_i$) ที่ให้ผลการจำลองระดับน้ำในคลองที่หน้าตัดการไหลต่างๆ อยู่ในระดับน้ำเป้าหมายที่กำหนดให้ช่วงเวลาของการควบคุม ซึ่งขั้นตอนการทำงานสามารถแสดงได้ในรูปที่ 1

### 2.1 แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ (Forecasted Perturbation Model)

แบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ

**รูปที่ 2** แผนผังการทำงานของแบบจำลองคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำ

เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจาก Stochastic Model ตามสมการที่ 1 [16] เพื่อจำลองผลการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในคลอง 5L-2L ที่เกิดจากการรบกวนระบบล่วงหน้าในรูปของความลึกน้ำ (เมตร) ระหว่างที่ไม่มีการควบคุมอาคารควบคุมน้ำ โดยนำเข้าข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมฯ มาคำนวณหาผลการรบกวนระบบส่งน้ำตามสมการที่ 4 จากนั้นนำไปคาดการณ์ผลการรบกวนระบบส่งน้ำล่วงหน้าหนึ่งช่วงเวลาตามสมการที่ 1-3 ตามรูปที่ 2

$$z_{t+1,i} = \emptyset_1 z_{t,i} \tag{1}$$

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

$$z_{t,i} = \frac{(x_{t,i} - \bar{x}_i)}{s_i^2} \tag{3}$$

$$x_{t,i} = WL_US_i - TWL_i \quad (4)$$

โดยที่

$z_{t+1,i}$ คือค่า Standardization ของ $xt_{+1,i}$

$z_{t,I}$ คือค่า Standardization ของ $x_{t,i}$

$\varnothing_{1,i}$ คือ Autoregressive Coefficient

$x_{t,i}$ คือผลการรวบกวนระบบส่งน้ำ ณ เวลา t ที่หน้าตัดการไหล i

$\bar{x}_{t,i}$ คือผลการรวบกวนระบบส่งน้ำเฉลี่ยที่หน้าตัดการไหล i

$s_i^2$ คือค่าความแปรปรวนของผลการรบกวนระบบส่งน้ำที่หน้าตัดการไหล i

$TWL_i$ คือระดับน้ำเป้าหมายที่หน้าตัดการไหล i

t คือช่วงเวลาตรวจวัดเท่ากับ 1, 2,…, N

i คือหน้าตัดการไหลควบคุมในคลองส่งน้ำ

## 2.2 แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model)

แบบจำลองระดับน้ำในคลอง (Water Surface Profile Model) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจากระเบียบวิธี Standard Step Method [17] ใช้ข้อมูลระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำ (y) ที่ตรวจวัดได้ อัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ (Q) และคุณสมบัติด้านชลศาสตร์ของคลองเช่น ระดับก้นคลอง (z) ความกว้างของก้นคลอง (b) ลาดตลิ่ง (m) ลาดคลอง ($S_0$) และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (n) เป็นต้น โดยกำหนดหน้าตัดการไหลควบคุมที่ด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำกลางคลองที่ตั้งอยู่ด้านท้ายน้ำของช่วงคลอง และอาศัยหลักการสมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหลตามรูปที่ 3 สำหรับคำนวณหาระดับน้ำ ณ หน้าตัดการไหลต่างๆ ในช่วงคลอง ตามสมการที่ 5 จากนั้นใช้หน้าตัดการไหลด้านท้ายอาคารควบคุมน้ำกลางคลองที่ตั้งอยู่ด้านเหนือน้ำของช่วงคลองเป็นหน้าตัดสำหรับปรับแก้ค่าสัมประสิทธิ์ความเร็ว ($\alpha$) เพื่อให้ผลการคำนวณระดับน้ำ ณ หน้าตัดการไหลต่างๆ มีความถูกต้องยิ่งขึ้นตามรูปที่ 4

**รูปที่ 3** สมดุลพลังงานของหน้าตัดการไหล

**รูปที่ 4** แผนผังการทำงานของแบบจำลองระดับน้ำในคลอง

$$H_2 = H_1 - h_f \quad (5)$$

$$H = z + y + (\alpha v^2/2g) \quad (6)$$

$$h_f = \frac{(S_{f1}+S_{f2})}{2}(x_2 - x_1) \quad (7)$$

$$S_f = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} \quad (8)$$

$$v = Q/A \quad (9)$$

$$R = A/P \quad (10)$$

$$A = by + my^2 \quad (11)$$

$$P = b + 2y\sqrt{1+m^2} \quad (12)$$

โดยที่

H คือพลังงานรูปในรูปความลึกของน้ำ

v คือความเร็วของการไหล

$h_f$ คือการสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัดการไหล

$S_f$ คือความลาดชันของ Energy Grade Line

A คือพื้นที่หน้าตัดการไหลของคลองรูปสี่เหลี่ยมคางหมู

R คือรัศมีชลศาสตร์ของหน้าตัดการไหล

P คือเส้นขอบเปียกของหน้าตัดการไหล

x คือตำแหน่งของหน้าตัดการไหล

g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

### 2.3 แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model)

แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง (Unsteady Flow Model) เป็นแบบจำลองการไหลแบบ 1 มิติ ที่พัฒนาจาก St. Venant Equations ในเทอมของ Dynamic Wave Model [18] โดยกำหนดให้การระบายน้ำออกจากคลอง (Lateral Flow) และแรงลม (Wind Shear) ไม่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมการไหล และการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลเนื่องจากหน้าตัดการไหลมีน้อยมาก (Eddy Loss → 0) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ตามสมการที่ 13 และ 14 เพื่อใช้ระเบียบวิธี Finite Difference Method แบบ 4-Points Implicit Scheme สำหรับจำลองการไหลจากสมการที่ 13 และ 14 และใช้ระเบียบวิธี Newton-Raphson Method ในการหาคำตอบของสมการจำลองการไหล f(x) เมื่อ x = ($Q_1$, $h_1$, $Q_2$, $h_2$, …, $Q_N$, $h_N$) โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ตามสมการที่ 15 โดยที่ $|J(x^k)|$ คือค่าสัมประสิทธิ์ของ Partial Derivatives ลำดับที่ 1 ของ f(x) ที่ $x^k$ เมื่อ k คือ Iteration ของ x [18] และ $f(x^k)$ คือค่า Residual Error ของ $x^k$ [18]

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A+A_0)}{\partial t} - q = 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right) + gA\left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f\right) = 0 \quad (14)$$

$$\left|J(x^k)\right|\left|x^{k+1} - x^k\right| = \left|-f(x^k)\right| \quad (15)$$

แบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลองมีหลักการทำงานคือใช้ข้อมูลนำเข้าจากข้อมูลที่ตรวจวัดได้ในสนามและผลของแบบจำลองระดับน้ำในคลองเป็นข้อมูลเริ่มต้น (Initial Data) ในการคำนวณ โดยแบ่งช่วงเวลาในการจำลองออกเป็น 48 ช่วงเวลา (t = 1, 2,…, 49) และในแต่ช่วงเวลาสร้าง Iteration (k) เพื่อใช้ในการประมาณหาค่าคำตอบที่ถูกต้องในแต่ละช่วงเวลา จากนั้นนำข้อมูลระดับน้ำที่จำลองได้ในช่วงเวลาที่ 48 (t=49) ตรวจสอบกับระดับเป้าหมายที่กำหนด ถ้าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (ε < 0.01 เมตร) สามารถนำระยะเปิดบานที่คำนวณได้จากแบบจำลองไปปฏิบัติในสนาม แต่ถ้าไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด (ε > 0.01 เมตร) แบบจำลองจะทำการปรับระยะเปิดบานของอาคารควบคุมน้ำกลางคลองใหม่ แล้วทำการจำลองการไหลใหม่อีกครั้งหนึ่ง ตามรูปที่ 5

## 3. คลอง 5L–2L

คลอง 5L-2L เป็นคลองสายใหญ่ในระบบส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง มีขนาดความจุ 51.103 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ความยาวคลองทั้งสิ้น 41.188 กิโลเมตร โดยแบบจำลองถูกสร้างขึ้นสำหรับควบคุมอาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L-2L ระหว่างอาคารควบคุมน้ำปากคลอง ถึง กม. 26+401 ซึ่งถูกแบ่งออก

**รูปที่ 5** แผนผังการทำงานของแบบจำลองการไหลแบบไม่คงตัวของน้ำในคลอง

เป็น 5 ช่วงคลองตามอาคารควบคุมน้ำที่ติดตั้งระบบโทรมาตร ตามรูปที่ 5 ประกอบด้วยอาคารควบคุมน้ำจำนวน 7 แห่ง เป็นแบบบานโค้ง 6 แห่ง และแบบบานตรง 1 แห่ง (อาคารควบคุมน้ำกลางคลอง กม.26+401) ซึ่งอัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ (Q) คำนวณจากสูตรคำนวณปริมาณน้ำผ่านประตูระบายน้ำกรณีการไหลเป็นแบบ Submerged Flow [21] ตามสมการที่ 20 และ 21 สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ a และ b ในสมการที่ 21 ได้จากผลการสอบเทียบอาคารควบคุมน้ำของคลอง 5L-2L ระหว่างวันที่ 20 สิงหาคม 2551-31 ตุลาคม 2551 แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งทุกอาคารควบคุมน้ำมีค่า Coefficient of Determination, $R^2 > 0.75$ หมายความว่า การนำสมการที่ 20 และ 21 ไปใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลมีความแม่นยำดี

$$Q = C_s L h_s \sqrt{2gh} \tag{20}$$

$$C_s = a\left(\frac{h_s}{G_o}\right)^b \tag{21}$$

โดยที่

Q คืออัตราการไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ

$C_S$ คือสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร

L คือความกว้างของบาน

h คือผลต่างของระดับน้ำด้านท้ายน้ำกับระดับธรณีของอาคารควบคุมน้ำ

g คืออัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

h คือผลต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำ

$G_o$ คือระยะเปิดบานของอาคาร

a,b คือค่าสัมประสิทธิ์

**ตารางที่ 1** ค่าสัมประสิทธิ์การไหลของอาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L-2L

| อาคารควบคุมน้ำ | a | b | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| Km 0+020 | 1.0255 | -1.0057 | 0.9413 |
| Km 3+650 | 1.0280 | -1.1412 | 0.7858 |
| Km 9+813 | 0.7687 | -0.3864 | 0.8212 |
| Km 14+750 | 0.9416 | -1.0489 | 0.8068 |
| Km 20+300 | 1.1989 | -1.2332 | 0.8401 |
| Km 26+401 | 0.9062 | -0.9601 | 0.9085 |

**รูปที่ 6** ระบบส่งน้ำคลอง 5L-2L

## 4. ผลลัพธ์แบบจำลองระบบบริหารคลองส่งน้ำ

จากการทดสอบแบบจำลองการบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model) ในคลอง 5L-2L ด้วยการเปรียบเทียบผลของการจำลองระดับน้ำในคลอง 5L-2L ล่วงหน้า 60 นาที จากแบบจำลอง COM ตามเงื่อนไขระดับน้ำ อัตราการไหล และระยะเปิดบานของอาคารควบคุมน้ำในคลอง 5L-2L โดยแบ่งออกเป็น 5 ช่วงคลอง ตามจุดที่มีการติดตั้งระบบโทรมาตร กับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจริงในสนาม ระหว่างวันที่ 1-28 มิถุนายน 2553 ด้วยค่าดัชนี Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) [22] พบว่าผลของแบบจำลอง COM ทั้ง 5 ช่วงคลอง ให้ค่าดัชนี NSE $\geq$ 0.95 ในทุกช่วงคลอง ดังแสดงในรูปที่ 7-11 แสดงให้เห็นว่าแบบจำลอง COM มีความแม่นยำในการคาดคะเนสูง

**รูปที่ 7** ผลการจำลองระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM ของคลอง 5L-2L ช่วงคลองที่ 1

**รูปที่ 8** ผลการจำลองระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM ของคลอง 5L-2L ช่วงคลองที่ 2

**รูปที่ 9** ผลการจำลองระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM ของคลอง 5L-2L ช่วงคลองที่ 3

**รูปที่ 10** ผลการจำลองระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM ของคลอง 5L-2L ช่วงคลองที่ 4

**รูปที่ 11** ผลการจำลองระดับน้ำด้วยแบบจำลอง COM ของคลอง 5L-2L ช่วงคลองที่ 5

เมื่อพิจารณาลงในรายละเอียดของทุกช่วงเวลา พบว่าระหว่างวันที่ 10-16 มิถุนายน 2553 ผลแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด สาเหตุเนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่กลุ่มเกษตรกรผู้ใช้น้ำมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำสูงระหว่างน้ำเตรียมแปลงสำหรับนาข้าว และน้ำเตรียมแปลงสำหรับปลูกอ้อย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความต้องการน้ำของเกษตรกรเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักของการรบกวนระบบส่งน้ำ

## 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุป

แบบจำลองการบริหารคลองส่งน้ำ (Canal Operation Model, COM) เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทีมงานวิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำ ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย สำหรับใช้วิเคราะห์หาระยะเปิดบานของอาคารควบคุมน้ำแต่ละแห่งในคลองส่งน้ำที่ให้ผลการจำลองระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำอยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด จากการคาดการณ์ระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำล่วงหน้าเนื่องจากผลการรบกวนระบบส่งน้ำ โดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดระดับน้ำด้านเหนือน้ำ-ท้ายน้ำของอาคารควบคุมน้ำ ซึ่งผลทดสอบแบบจำลอง COM ในคลอง 5L-2L ระหว่างวันที่ 1-28 มิถุนายน 2553 พบว่าแบบจำลอง COM มีความสามารถในการจำลองระดับน้ำล่วงหน้า 60 นาทีได้ดี จากเงื่อนไขระยะเปิดบานของอาคารควบคุมน้ำแต่ละแห่ง ระดับน้ำ และอัตราการไหลเริ่มต้น

ดังนั้น การนำแบบจำลอง COM ไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการควบคุมอาคารควบคุมน้ำประเภทต่างๆ ในคลองส่งน้ำ สามารถช่วยให้เจ้าหน้าที่ซึ่งขาดความรู้ความชำนาญด้านชลศาสตร์ สามารถปรับบานของอาคารควบคุมน้ำปากคลอง และกลางคลอง ให้สามารถรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารควบคุมน้ำในแต่ละช่วงคลองให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายตามที่โครงการกำหนด แต่แบบจำลอง COM ข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน คือ

5.1.1 ราคาระดับของคลองส่งน้ำ และอาคารชลประทานประเภทต่างๆ ในคลองส่งน้ำ ควรมีการตรวจสอบให้ถูกต้อง

5.1.2 อาคารควบคุมน้ำในคลองส่งน้ำ ควรมีการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคาร

5.1.3 ต้องมีการกำหนดช่วงเวลาในการปรับบานให้เหมาะสม

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

การกำหนดช่วงเวลาในการปรับบานเพื่อใช้แบบจำลอง COM ในการบริหารงานส่งน้ำ ควรพิจารณาจาก

ข้อมูลคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของคลองส่งน้ำอาทิเช่น ค่าสัมประสิทธิ์การไหลผ่านอาคารควบคุมน้ำ และปัจจัยที่รบกวนความมั่นคงในการส่งน้ำ (Perturbation) นอกจากนั้นหากต้องการพัฒนาแบบจำลองการบริหารคลองส่งน้ำเพิ่มเติม อาจพิจารณานำแนวคิด หรือเทคนิคใหม่ๆ ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ เข้ามาช่วยในการบริหารคลองส่งน้ำเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการรักษาระดับน้ำด้านหน้าอาคารให้อยู่ที่ระดับเป้าหมายที่กำหนด

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนต้องขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนวิจัย มก. และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

[1] D. Reanault, T. Facon and R. Wahaj, "Modernizing the Irrigation Management -MASSCOTE Approach," *Irrigation and Drainage Paper*, no.63., pp. 207, 2007.

[2] C.P. Buyalaki, D.G. Ehler, H.T. Falvey, D.C. Rogers, and E.A. Serfozo, "Canal Systems automation manual," vol. 1, *U.S.Bureau of Reclamation*, Denver, pp. 328, 1991.

[3] C.M. Burt and X. Piao, "Advance in PLC-based irrigation canal automation," *Irrigation and Drainage*, vol. 53, pp. 29-37, 2004.

[4] A.J. Clemmens, E. Bautista, B.T. Wahlin and R.J. Strand, "Simulation of automatic canal control systems," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 131, no. 4, pp. 324-335, 2005.

[5] S. Vich and V. Vudhivanich, "Canal Automation System," *Kamphaengsaen Academic Journal*, vol. 5, no. 3, pp. 36-44, 2007 (in Thai).

[6] M. Gomez, J. Rodellar and J. A. Mantecon, "Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals," *Applied Mathematical Modelling,* vol. 26, pp. 1039-1056, 2002.

[7] P.O. Malaterre, D.C. Roger and B.J. Schuurmans, "Classification of canal control algorithms," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 124, no. 1, pp. 3-10, 1998.

[8] V.M. Ruiz-Carmona, V.M. Clemmens, and A.J. Schuurmans, "Canal control algorithm formulations," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 124, no. 1, pp. 31-39, 1998.

[9] C.S. Toepfer, "Instrumentation, Model Identification and Control of an Experimental Irrigation Canal," Ph.D. Thesis, NIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, 2007.

[10] A.J. Clemmens and B.T. Whalin, "Simple optimal downstream feedback canal controllers," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering,* vol. 130, no.1, pp. 26-34, 2004.

[11] X. Piao and C.M. Burt, "Tuning algorithms for automated canal control," *ITRC Report*, no. R05-005, California Polytechinc State University, San Luis Obispo, CA, US, pp. 94, 2005.

[12] X. Litrico and V. Fromion, "Tuning of robust distant downstream PI controllers for and irrigation canal pool.I," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 132, no.4, pp. 359-368, 2006.

[13] X. Litrico, P.O. Malaterre, J.P. Baume, P.Y. Vion, and J. Ribot-Bruno, "Automatic tuning of PI controllers for an irrigation canal pool," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 133, no.1, pp. 27-37, 2007.

[14] D. Lozano, C. Arranja, M. Rijo, and L. Mateos, "Simulation of automatic control of an irrigation canal," *Agricultural Water Management*, vol. 97,

pp. 91-100, 2010.

[15] E. Bautista, A.J. Clemmens and R.J. Strand, "Salt river project canal automation pilot project: simulation test," *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 132, no.2, pp. 143-152, 2006.

[16] J.D. Salas, J. W. Delleur, V. Yevjavich, and W. L. Lane, *Applied modeling of hydrologic time series*, Water Resources Publications, Colorado, pp. 484,1988.

[17] M.H. Chaudhry, *Open-Channel Flow*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, pp. 483, 1993.

[18] V.T. Chow, D. R. Maidment, and L. W. Mays, *Applied Hydrology*, New York: McGraw-Hill, 1988, pp. 497.

[19] J. Kiusalaas, *Numerical Methods in Engineering with MATLAB*, Cambridge University, USA, 2005, pp. 409.

[20] M.K. Jain and V.P. Singh, "DEM-based modelling of surface runoff using diffusion wave equation," *Journal of Hydrology*, vol. 302, pp. 107-126, 2005.

[21] K. Chalong, *Management of Thai's Basin*, Bangkok: Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, 1985, pp. 295 (in Thai).

[22] V. Vudhivanich, "Nash-Sutcliffe Efficiency and $R^2$," *Chuchate's Day 4 jan*, pp. 77-87, 2010 (in Thai).