

การพยากรณ์และเตือนภัยโดยใช้ข้อมูลรายวัน : กรณีศึกษาลุ่มน้ำปิงตอนบนจังหวัดเชียงใหม่

สนิท วงษา¹

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างระบบพยากรณ์และเตือนภัยล่วงหน้าสำหรับอุทกภัยโดยประยุกต์ใช้แท็งก์โมเดลแบบ 4 ชั้น ร่วมกับทฤษฎี EKF เพื่อใช้คำนวณน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของจังหวัดเชียงใหม่เมื่อแก่สมการพื้นฐานและสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ แล้วสามารถนำไปพยากรณ์ปริมาณน้ำหลากที่จะเกิดขึ้นในอนาคตเพื่อสร้างระบบพยากรณ์และเตือนภัยได้ พร้อมทั้งรวมทั้งได้แสดงผลการประยุกต์โดยใช้ข้อมูลตรวจวัดจริงรายวันของน้ำฝน การระเหย การซึม และอัตราการไหลของน้ำหลากเป็นข้อมูลป้อนเข้า ได้ทดสอบแบบจำลองโดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการคำนวณกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง พบว่าเส้นโค้งน้ำหลากที่คำนวณได้กับค่าที่ตรวจวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกันมาก ได้ใช้ค่า E กับ R^2 เป็นเกณฑ์หลักในการตัดสินความแม่นยำระหว่างผลลัพธ์การคำนวณกับค่าที่ตรวจวัดจริง พบว่าได้ค่าทั้งสองมากกว่า 0.95 แสดงว่าแบบจำลองนี้มีความแม่นยำสูงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับพยากรณ์และเตือนภัยน้ำหลากในพื้นที่ลุ่มน้ำปิงตอนบนของจังหวัดเชียงใหม่ได้

คำสำคัญ : การพยากรณ์และเตือนภัยน้ำหลาก / Extended Kalman Filter / แท็งก์โมเดล / ข้อมูลรายวัน

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์โยธา

Flood Forecast and Warning by Using Daily Data: A Case Study for the Upper-Ping, Chiang Mai

Sanit Wongs¹

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Thungkru, Bangkok 10140

Abstract

In this paper, the flood forecast and warning system with 4 storage of tank model and the implication of Extended Kalman Filter (EKF) theory was developed specially for the simulation of flood in the Upper-Ping basin, Chiang Mai. By solving the governing equations, a numerical model can be used to predict flood discharge in the future as a flood forecast and warning system. A simulation was conducted, using observed daily rainfall, evaporation, infiltration and flood discharge as input data. The numerical model was tested by comparison of the simulation results with the observed data. It was found that the results of flood hydrograph from the simulation were compared well with the observed data. The ϵ and R^2 were used as the main criteria to judge whether the data fitted between the measured and simulated data. It was found that these two values were greater than 0.95, indicating well fit and the model could be applied for flood forecast and warning in the Upper-Ping basin, Chiang Mai.

Keywords : Flood Forecast and Warning / Extended Kalman Filter / Tank Model / Daily Data

¹Assistant Professor, Department of Civil Technology Education.

1. บทนำ

การเกิดอุทกภัยเนื่องจากฝนตกหนัก น้ำป่าไหลหลากนั้นพบว่าเกิดขึ้นบ่อยครั้งในช่วงเวลาที่ผ่านไปในอดีต ถ้าเกิดขึ้นมาแล้วก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่ถ้ามีการพยากรณ์และเตือนภัยล่วงหน้าได้ก็จะสามารถช่วยลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นที่จะสามารถอพยพหรือเคลื่อนย้ายทรัพย์สินไปยังพื้นที่ที่ปลอดภัยได้อย่างทันท่วงที อุทกภัยที่เกิดจากฝนตกหนักและน้ำป่าไหลหลากนั้นพบอีกว่าได้ทวีความรุนแรงและมีความถี่มากขึ้นทุกๆ ปี ทั้งนี้เพราะบริเวณพื้นที่ป่าเขาและลาดไหล่เขาตามเขื่อนน้ำบางส่วนได้ถูกแผ้วถางหรือมีการพัฒนาเข้าไปใช้ประโยชน์ในพื้นที่ต่างๆ และมีการอพยพเข้าไปอยู่อาศัยในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงภัยเพิ่มมากขึ้น ซึ่งบางครั้งก็เกิดปรากฏการณ์ดินถล่ม มีซากต้นไม้หรือท่อนซุงจำนวนมากถูกพัดพามาพร้อมกับกระแสน้ำหลากเมื่อเกิดพายุฝนตกหนักทำให้ความเสียหายทวีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 1 น้ำท่วมในพื้นที่ตัวเมืองเชียงใหม่เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2548

จากการศึกษาในอดีตที่ผ่านมา [1-3] พบว่าข้อมูลทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่ทำการตรวจวัดโดยหน่วยงานที่รับผิดชอบในประเทศไทยเกือบทั้งหมดเป็นข้อมูลรายวัน และข้อมูลเหล่านี้ส่วนใหญ่จะทำการตรวจวัดและบันทึกค่าด้วยมือโดยเจ้าหน้าที่สนามเอง ถึงแม้ว่าปัจจุบันได้มีความพยายามติดตั้งเครื่องมือวัดแบบอัตโนมัติและส่งข้อมูลผ่านระบบโทรมาตรแล้วเสร็จไปบางพื้นที่ก็ตาม ดังนั้น ถ้าสามารถนำข้อมูลภาคสนามมาเป็นข้อมูลป้อนเข้าเพื่อพยากรณ์และเตือนภัยน้ำหลากเนื่องมาจากน้ำป่าไหลหลาก

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสร้างระบบพยากรณ์และเตือนภัยอย่างง่ายสำหรับเจ้าหน้าที่ภาคสนามหรือผู้นำชุมชนเพื่อสามารถนำมาช่วยในการป้องกันอุทกภัยอันเนื่องมาจากน้ำป่าไหลหลากได้ โดยจะใช้เพียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพื้นฐานที่มีการตรวจวัดอยู่แล้ว โปรแกรมคอมพิวเตอร์จะต้องใช้งานง่ายและการป้อนข้อมูลต้องไม่ซับซ้อน การคำนวณอาจใช้เพียงคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะที่มีใช้อยู่ทั่วไปในสำนักงานซึ่งมีความเร็วไม่สูงมากนักและข้อมูลน้ำฝนที่สามารถวัดได้เองโดยสถานีวัดน้ำฝนและระดับน้ำในท้องถิ่นนั้นๆ ถ้าสามารถนำผลการคำนวณไปพยากรณ์ปริมาณน้ำหลากที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตล่วงหน้าได้อย่างถูกต้องก็จะสามารถช่วยเสริมในการวิเคราะห์ การตัดสินใจ และการสั่งการเบื้องต้น หรือเพื่อประกอบการนำเสนอการตัดสินใจในระดับสูงต่อไป รวมทั้งยังสามารถเตือนภัยและอพยพประชาชนออกจากพื้นที่เสี่ยงภัยได้อย่างทันท่วงที

แบบฉบับพลันได้ก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งก็เป็นวัตถุประสงค์และเป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้ด้วย

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

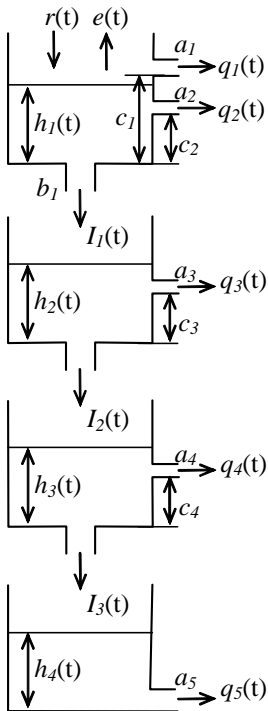
ในรูปที่ 2 แสดงผังและองค์ประกอบของแท็งก์โมเดล (Tank model) แบบ 4 ชั้น โดยที่ในแบบจำลองนี้จะมีองค์ประกอบทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญ คือ ความชื้นของฝนที่ตกลงมาบนพื้นผิวดิน (r) ความลึกอัตราการระเหยกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศ (e) ความลึกอัตราการไหล

บนผิวดิน (q) อัตราการซึมลงใต้ดิน (I) และสภาวะการไหลของน้ำใต้ดิน เมื่อนำเอกลักษณ์ทางอุตุ-อุทกวิทยาข้างต้นมาเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ ก็จะสามารถแสดงได้ตามสมการที่ (1) จะได้ว่า [3]

$$\begin{cases} q_1(t) = a_1(h_1(t) - c_1) \cdot U(h_1(t) - c_1) \\ q_2(t) = a_2(h_1(t) - c_2) \cdot U(h_1(t) - c_2) \\ q_3(t) = a_3(h_2(t) - c_3) \cdot U(h_2(t) - c_3) \\ q_4(t) = a_4(h_3(t) - c_4) \cdot U(h_3(t) - c_4) \\ q_5(t) = a_5 h_4(t) \end{cases} \quad (1)$$

$$I_i(t) = b_i h_i(t) \quad (i=1 \sim 3) \quad (2)$$

โดยที่ q เป็นความลึกอัตราการไหล (มม./วัน), I เป็นอัตราการไหลซึม (มม./วัน), h เป็นความลึก (มม.), r เป็นความเข้มของฝน (มม./วัน), e เป็นความลึกอัตราการระเหย (มม./วัน), t เป็นเวลา (วัน), และ a, b, c เป็นค่าสัมประสิทธิ์การไหลออกด้านข้าง การไหลซึมกับความลึกของแต่ละชั้น ตามลำดับ



รูปที่ 2 ผังและองค์ประกอบของแท็งก์โมเดลแบบ 4 ชั้น

ในสมการที่ (1) ฟังก์ชัน $U(t)$ สามารถแสดงโดยใช้ฟังก์ชันขั้นบันไดหนึ่งหน่วย (Unit step function) แสดงได้ดังสมการที่ (3) กล่าวคือ

$$\begin{cases} U(X) = 1 & (X \geq 0) \\ U(X) = 0 & (X < 0) \end{cases} \quad (3)$$

สำหรับในขั้นตอนการวิเคราะห์และคำนวณโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะกำหนดให้ความสัมพันธ์ในสมการที่ (3) เป็นฟังก์ชันของ Heaviside สามารถแปลงสมการได้เป็น

$$U_\lambda(X) = \frac{1}{\pi} \left\{ \tan^{-1} \frac{X}{\lambda} + \frac{\pi}{2} \right\} \quad (0 < \lambda \ll 1) \quad (4)$$

โดยที่ความลึกอัตราการไหลรวม (Q) ของการไหลทั้งหมดในระบบที่พิจารณาจะสามารถคำนวณได้จากผลรวมของความลึกอัตราการไหลในของแต่ละชั้นย่อยๆ (q_i) และนำมาเขียนได้เป็น

$$Q(t) = \sum_{i=1}^5 q_i(t) + w(t) \quad (5)$$

โดยที่ w เป็น ความคลาดเคลื่อนของการวัด จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถนำมาเขียนและแสดงเป็นสมการการไหลต่อเนื่องสำหรับการไหลในแต่ละชั้นของแท็งก์ได้ดังนี้ คือ

$$\begin{cases} \frac{dh_1(t)}{dt} = r(t) - q_1(t) - q_2(t) - I_1(t) - e(t)U(h_1(t) - \Delta\lambda) \\ \frac{dh_2(t)}{dt} = I_1(t) - q_3(t) - I_2(t) - e(t)U(-h_1(t))U(h_2(t) - \Delta\lambda) \\ \frac{dh_3(t)}{dt} = I_2(t) - q_4(t) - I_3(t) - e(t)U(-h_1(t))U(-h_2(t))U(h_3(t) - \Delta\lambda) \\ \frac{dh_4(t)}{dt} = I_3(t) - q_5(t) - e(t)U(-h_1(t))U(-h_2(t))U(-h_3(t))U(h_4(t) - \Delta\lambda) \end{cases} \quad (6)$$

โดยที่ λ เป็น จำนวนจริงที่มีค่าน้อยมาก

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของ EKF (Extended Kalman Filter) [4]

ในการแก้ปัญหาโดยทฤษฎี EKF จะประกอบด้วย สมการพื้นฐานจำนวนสองชุด คือ สมการสถานะกับสมการตรวจวัด เขียนได้เป็น

$$x(k+1) = \Phi(k)x(k) + \alpha(k) + u(k) \quad (7)$$

$$y(k+1) = \Gamma(k)x(k) + \beta(k) + w(k) \quad (8)$$

โดยที่ x เป็นเวกเตอร์ค่าตัวแปรสถานะของระบบ (ขนาด p), y เป็นเวกเตอร์ค่าตรวจวัด (ขนาด m , $m < p$), Φ เป็นเวกเตอร์ค่าตัวแปรสถานะที่ทราบค่า (ขนาด $p \times p$), Γ เป็นเวกเตอร์ค่าตรวจวัดที่ทราบค่า (ขนาด $m \times p$), α เป็นเวกเตอร์ค่าคงที่ของค่าตัวแปรสถานะที่ทราบค่า (ขนาด p), β เป็นเวกเตอร์ค่าคงที่ของค่าตรวจวัดที่ทราบค่า (ขนาด m), u เป็นเวกเตอร์ค่าความคลาดเคลื่อนของระบบ (ขนาด p), w เป็นเวกเตอร์ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าตรวจวัด (ขนาด m)

สำหรับขั้นตอนการประยุกต์ทฤษฎี EKF กับสมการพื้นฐาน

$$\frac{dx(t)}{dt} = [f_1(X) \ f_2(X) \ f_3(X) \ f_4(X) \ f_5(X) \ \dots \ f_{16}(X)]^T$$

$$= \begin{bmatrix} r(t) - x_5(x_1 - x_{13})U(x_1 - x_{13}) - x_6(x_1 - x_{14})U(x_1 - x_{14}) - x_{10}x_1 - e(t)U(x_1 - \Delta\varepsilon) \\ x_{10}x_1 - x_7(x_2 - x_{15})U(x_2 - x_{15}) - x_{11}x_2 - e(t)U(-x_1)U(-x_2 - \Delta\varepsilon) \\ x_{11}x_2 - x_8(x_3 - x_{16})U(x_3 - x_{16}) - x_{12}x_3 - e(t)U(-x_1)U(-x_2)U(x_3 - \Delta\varepsilon) \\ x_{12}x_3 - x_9x_4 - e(t)U(-x_1)U(-x_2)U(-x_3)U(x_4 - \Delta\varepsilon) \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (10)$$

หรือนำเอาเวกเตอร์ในสมการที่ (10) มาแสดงในรูปฟังก์ชัน F เขียนได้เป็น

$$\frac{dx(t)}{dt} = F(x) \quad (11)$$

จะพบว่าในสมการที่ (11) นั้นค่าของ $F(x)$ เป็นฟังก์ชันแบบไร้เชิงเส้น ซึ่งสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันแบบเชิงเส้นได้ เมื่อประยุกต์อนุกรมของ Taylor เข้าในสมการที่ (11) จะได้ว่า

นั้น จะทำได้ก็ต่อเมื่อทราบค่าสภาพเริ่มต้น (Initial Condition) ค่าความเข้มของฝน และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้ว

2.2 สมการระบบ

จากรูปที่ 2 ซึ่งแสดงผังและลักษณะองค์ประกอบต่างๆ ของระบบแท็งก์โมเดล 4 ชั้น จะพบว่ามีตัวแปรสถานะของระบบรวมทั้งหมดจำนวน 16 ค่า ซึ่งจะประกอบด้วย ค่าความลึก $h_1 \sim h_4$, ค่าสัมประสิทธิ์การไหลออกด้านข้าง $a_1 \sim a_5$, ค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมลงด้านล่าง $b_1 \sim b_3$, ค่าสัมประสิทธิ์ความลึกการไหลออกด้านข้าง $c_1 \sim c_4$ สามารถนำค่าสัมประสิทธิ์ข้างต้นมาแสดงอยู่ในรูปของเวกเตอร์ได้ดังนี้

$$x = [x_1 x_2 \dots x_{16}]^T = [h_1 h_2 h_3 h_4 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 b_1 b_2 b_3 c_1 c_2 c_3 c_4]^T \quad (9)$$

เมื่อหาอนุพันธ์ของ x ในสมการที่ (9) เทียบกับเวลาโดยนำเอาความสัมพันธ์ในสมการที่ (6) มารวมพิจารณาสามารถแปลงสมการได้เป็น

$$F(x) = F(x_i) + A(x_i)(x - x_i) \quad (12)$$

$$= A(x_i)x + B(x_i)$$

$$B(x_i) = F(x_i) - A(x_i)x_i \quad (13)$$

ค่าของเวกเตอร์ $A(x_i)$ เป็น Jacobain โดยจะสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (14) ได้ว่า

$$\{A(x_i)\}_{i,j} = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right]_{x=x_i} \quad (14)$$

และจากสมการที่ (4) หาอนุพันธ์ของ $U_\lambda(X)$ เทียบกับ dX จะได้ว่า

$$\frac{dU_\lambda(X)}{dX} = \delta_\lambda(X) = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{\lambda}{\lambda^2 + X^2} \right\} \quad (0 < \lambda \ll 1) \quad (15)$$

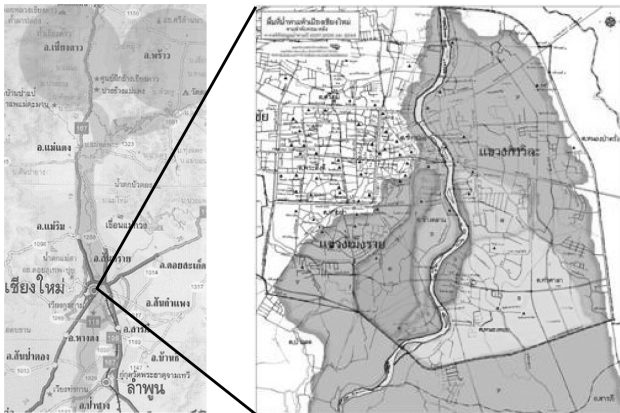
นำความสัมพันธ์ข้างต้นแทนค่าในสมการที่ (11) แล้วทำการแปลงสมการได้เป็น

$$\frac{dx(t)}{dt} = \mathbf{A}(x_t)x + \mathbf{B}(x_t) \quad (16)$$

จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (16) จะพบว่าในสมการที่ (11) ซึ่งเป็นสมการแบบไร้เชิงเส้นได้ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสมการเชิงเส้นแล้ว สำหรับรายละเอียดขั้นตอนการแปลงสมการ การคำนวณ และการเขียนโปรแกรมนั้นได้แสดงรายละเอียดของขั้นตอนคำนวณไว้แล้วในผลงานวิจัยของ สนิท [1, 3] สนิทและคณะ [2] การตรวจสอบค่าประสิทธิภาพของ Nash และ Sutcliffe: \mathcal{E} [5] กับค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์: R^2 ได้นำมาใช้เป็นตัวดัชนีชี้วัดเพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

3. พื้นที่ศึกษาและการเตือนภัยของจังหวัดเชียงใหม่ แม่น้ำปิงตอนบนไหลผ่านใจกลางเมืองและย่านธุรกิจที่

สำคัญของจังหวัดเชียงใหม่มีต้นน้ำอยู่ที่ อ.เชียงดาว และลำน้ำสาขาหลักอยู่ 2 สาย คือ น้ำแม่แตงกับน้ำแม่จืด กรมชลประทานได้จัดทำระบบเตือนภัยในพื้นที่นี้โดยใช้ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา 2 แบบ คือ ปริมาณน้ำกับระดับน้ำ ณ สถานีวัดระดับน้ำ แบบแรกจะทำการเตือนภัยโดยการวิเคราะห์ข้อมูลของลำน้ำ 3 สายหลักประกอบด้วย แม่น้ำปิงจาก อ.เชียงดาว น้ำแม่จืดจากเขื่อนแม่จืดที่ไหลรวมกับแม่น้ำปิงทางตอนบนของฝายแม่แฝกแล้วรวมกับน้ำแม่แตงที่ไหลผ่านฝายแม่แตง เมื่อปริมาณน้ำหลากในลำน้ำไหลผ่านตัวเมืองเชียงใหม่มากกว่าความจุของของแม่น้ำปิง 350 ม.³/วินาที จะทำให้เกิดน้ำท่วมบนพื้นที่ลุ่มต่ำริมฝั่งแม่น้ำปิงบริเวณตัวเมืองเชียงใหม่ ถ้ามีปริมาณน้ำหลากจากลำน้ำสาขาอื่นๆ เช่น น้ำแม่ริม เป็นต้น เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้น้ำท่วมขยายพื้นที่ออกเป็นบริเวณกว้าง จุดวิกฤติที่กรมชลประทานจะเริ่มเตือนภัยเมื่อมีปริมาณน้ำ เกินกว่า 300 ม.³/วินาที ขึ้นไป ณ สถานี P.67 ซึ่งอยู่ห่างจากสถานี P.1 บริเวณเชิงสะพานนวรัฐไปประมาณ 32 กม.



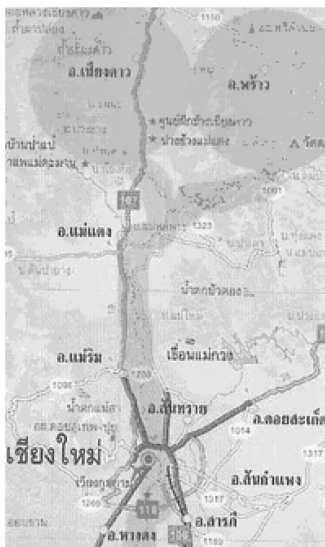
รูปที่ 3 พื้นที่น้ำท่วมและการเตือนภัยสำหรับตัวเมืองเชียงใหม่ [6]

ส่วนแบบหลังจะใช้ระดับน้ำที่คาดการณ์จากสถานี P.67 ซึ่งมีความสัมพันธ์กับสถานี P.1 กล่าวคือ หากระดับน้ำที่สถานี P.67 มีค่าระดับน้ำสูงเกินกว่า 4.90 ม. จะทำให้ระดับน้ำที่สถานี P.1 สูงถึงระดับ 3.00 ม. (ระดับวิกฤติ) ในเวลา 12 ชม. ถัดมา เมื่อระดับน้ำที่สถานี P.67 สูงเพิ่มขึ้นเป็น 5.30 ม. ก็จะทำให้ระดับน้ำที่สถานี P.1 สูงขึ้นถึง

3.40 ม. ตามไปด้วย ทำให้เกิดน้ำท่วมในบริเวณพื้นที่ที่อยู่ทางท้ายน้ำท่วมเป็นบริเวณกว้างมากขึ้นตามลำดับ กรมชลประทานได้จัดทำป้ายประกาศเพื่อให้ประชาชนทั่วไปสามารถติดตามข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำหลากได้ที่แผ่นป้ายแสดงข้อมูลหน้าสถานี P.1 เชิงสะพานนวรัฐ (รูปที่ 3)

4. ขั้นตอนการประยุกต์และการคำนวณ

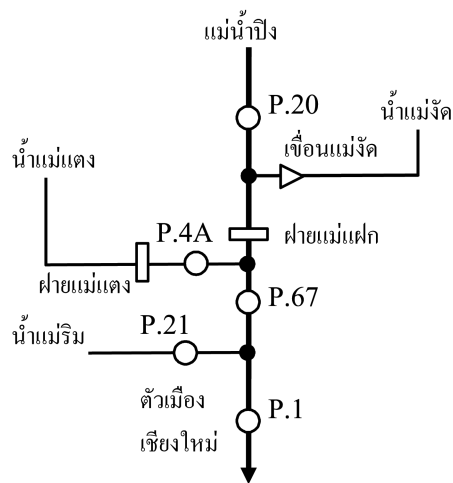
การศึกษาพยากรณ์และเตือนภัยได้เป็นจัดทำผังระบบลุ่มน้ำปิงตอนบนดังแสดงในรูปที่ 4 สถานีวัดระดับน้ำที่ถูกคัดเลือกมาใช้ในการศึกษาจำนวน 4 แห่ง คือ สถานีวัดระดับน้ำ P.1 (เชิงสะพานนวรัฐ อ.เมือง), P.4A (น้ำแม่แดง), P.20 (แม่ น้ำปิง อ.เชียงดาว) และ P.21 (น้ำแม่วิม) โดยได้คัดเลือกสถานีวัดระดับน้ำให้ครอบคลุมลำน้ำสาขาที่สำคัญ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านจำนวนสถานีวัดน้ำฝนและปีที่ทำการตรวจวัดจะต้องมีเวลาที่สอดคล้องกันกับข้อมูลน้ำท่าด้วย ดังนั้นข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันที่สถานีวัดน้ำฝนที่อยู่ใกล้ที่สุดกับสถานีวัดระดับน้ำจะถูกนำไป



รูปที่ 4 ผังและตำแหน่งสถานีวัดระดับน้ำที่ใช้ในการศึกษา

ในขั้นตอนการประยุกต์และการคำนวณต้องกำหนดสภาพเริ่มต้นของการคำนวณซึ่งประกอบด้วยความลึกอัตราการไหลมีค่าเท่ากับศูนย์ และค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองในสมการที่ (9) โดยให้เป็นค่าคงที่มีขนาดเท่ากับ [5, 10, 150, 500, 0.3, 0.1, 0.1, 0.03, 0.003, 0.2, 0.1, 0.03, 40, 15, 10, 5]⁷ ส่วนความแปรปรวนของสมการระบบและสมการสถานะได้กำหนดให้มีนัยสำคัญเท่ากับ 0.01 หรือทดสอบที่ความเชื่อมั่นเท่ากับร้อยละ 99 และขนาดของช่วงระยะเวลาที่เลือกใช้ในการคำนวณ $\Delta t = 0.1$ วัน โดยกำหนดให้ความเข้มข้นของน้ำฝนรายวันมีกระจายแบบ

ใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าของฝนกับความลึกอัตราการไหลของสถานีที่นำมาใช้ศึกษา ในตารางที่ 1 แสดงสถิติต่างๆ ของข้อมูลฝนและน้ำท่ารายวัน ณ สถานีอุตุ-อุทกวิทยาที่คัดเลือกในช่วงระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 31 ตุลาคม รวมทั้งสิ้นจำนวน 124 วัน ของปี พ.ศ. 2538 กับ 2539 รวมจำนวน 2 ปี จะพบว่าปริมาณน้ำฝนรายวันสูงสุดที่ตกในปี พ.ศ. 2538 ณ สถานีวัด อ.เชียงดาว สูงถึง 108.7 มม./วัน อีกทั้งจำนวนวันที่มีฝนตกอย่างต่อเนื่องติดต่อกันเป็นเวลานาน และที่เชิงสะพานนวรัฐเกิดอัตราการไหลสูงสุด 466.8 ม.³/วินาที ทำให้เกิดน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ลุ่มสองฝั่งแม่น้ำปิง



คงที่ คาบเวลาในการคำนวณทั้งหมดเท่ากับ 4 เดือน ส่วนขั้นตอนการคำนวณโปรแกรมจะสามารถดำเนินการคำนวณไปพร้อมๆ กันทุกสถานี

5. ผลการประยุกต์และการคำนวณ

ลักษณะของการเกิดน้ำหลากในพื้นที่ตัวเมืองเชียงใหม่ของปีที่ถูกคัดเลือกมา คือ พ.ศ. 2538 กับ 2539 นั้น มีสาเหตุหลักอันเนื่องมาจากเกิดฝนตกหนักติดต่อกันอย่างต่อเนื่องในช่วงฤดูฝนและมีมรสุมพาดผ่าน โดยที่ในปี พ.ศ. 2538 เกิดฝนตกหนักบริเวณพื้นที่ด้านเหนือน้ำท่าให้มีน้ำ

ไหลป่ามาอย่างต่อเนื่อง ด้านท้ายน้ำที่เชิงสะพานนารัฐมีอัตราการไหลสูงสุดมากถึง 466.8 ม.³/วินาที ทำให้น้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมบริเวณพื้นที่ลุ่มของสองฝั่งแม่น้ำปิงและตัวเมืองเชียงใหม่เป็นบริเวณกว้าง ส่วนในปีถัดมานั้นฝนที่ตกด้านเหนือน้ำมีปริมาณไม่มากนักส่วนใหญ่จะตกบริเวณตัวเมืองและด้านท้ายน้ำ และที่เชิงสะพานนารัฐมีอัตราการไหลสูงสุด 341.6 ม.³/วินาที ซึ่งไม่เกินความจุของแม่น้ำปิงทำให้มีน้ำหลากที่ปรี่มๆ ตลิ่งแต่ยังไม่เกิดน้ำท่วมหรืออาจเกิดน้ำท่วมเป็นบางแห่งในบริเวณพื้นที่ที่ลุ่มต่ำได้ เมื่อได้กำหนดสภาพเริ่มต้นกับค่าพารามิเตอร์ของการคำนวณต่างๆ เรียบร้อยแล้วจึงเริ่มดำเนินการคำนวณโดยใช้โปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น ผลการคำนวณจะแสดงความลึกอัตราการไหลในสภาพปัจจุบันและค่าพยากรณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ด้วย ซึ่งผลการศึกษามีรายละเอียดดังต่อไปนี้

รูปที่ 5 และ 6 แสดงอนุกรมเวลาของกราฟเส้นโค้งน้ำหลากที่สถานีวัดระดับน้ำต่างๆ ในลุ่มน้ำปิงทั้ง 4 แห่ง ได้นำเสนอผลการเปรียบเทียบของผลการคำนวณโดยโปรแกรมไว้ 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่นำเอาทฤษฎี EKF มาพิจารณาด้วย (เส้นประ) กับเมื่อนำมาพิจารณาด้วย (เส้นทึบ) เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริง (รูปวงกลม) จากกราฟพบว่าเส้นโค้งน้ำหลากของเส้นประมีค่าน้อยกว่าค่าตรวจวัดจริง อีกทั้งเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุดจะช้ากว่าค่าตรวจวัดจริง ถ้านำไปพยากรณ์และเตือนภัยจริงอาจจะเกิดความคลาดเคลื่อนได้ แต่ผลการคำนวณที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ให้ค่าของผลลัพธ์ที่มีความใกล้เคียงกับค่าตรวจวัดจริงมากทั้งความลึกอัตราการไหลสูงสุด เวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด และรูปร่างโดยรวมของเส้นโค้งน้ำหลากทั้งในปี พ.ศ. 2538 กับ 2539 ของทุกๆ สถานีวัดระดับน้ำ อาจมีบางช่วงที่มีความคลาดเคลื่อนบ้างคาดว่าสาเหตุจากกรณีมีการปฏิบัติการเขื่อนหรือฝายที่อยู่ทางด้านเหนือน้ำ ลักษณะของพื้นที่ตัวเมืองที่อาจถูกตัดแปลงไปมากโดยฝีมือมนุษย์ทำให้สภาพการไหลของน้ำหลากมีการเปลี่ยนแปลงไปจากสภาพธรรมชาติเดิมมาก และข้อจำกัดของข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาที่ใช้เพราะเป็นข้อมูลรายวัน

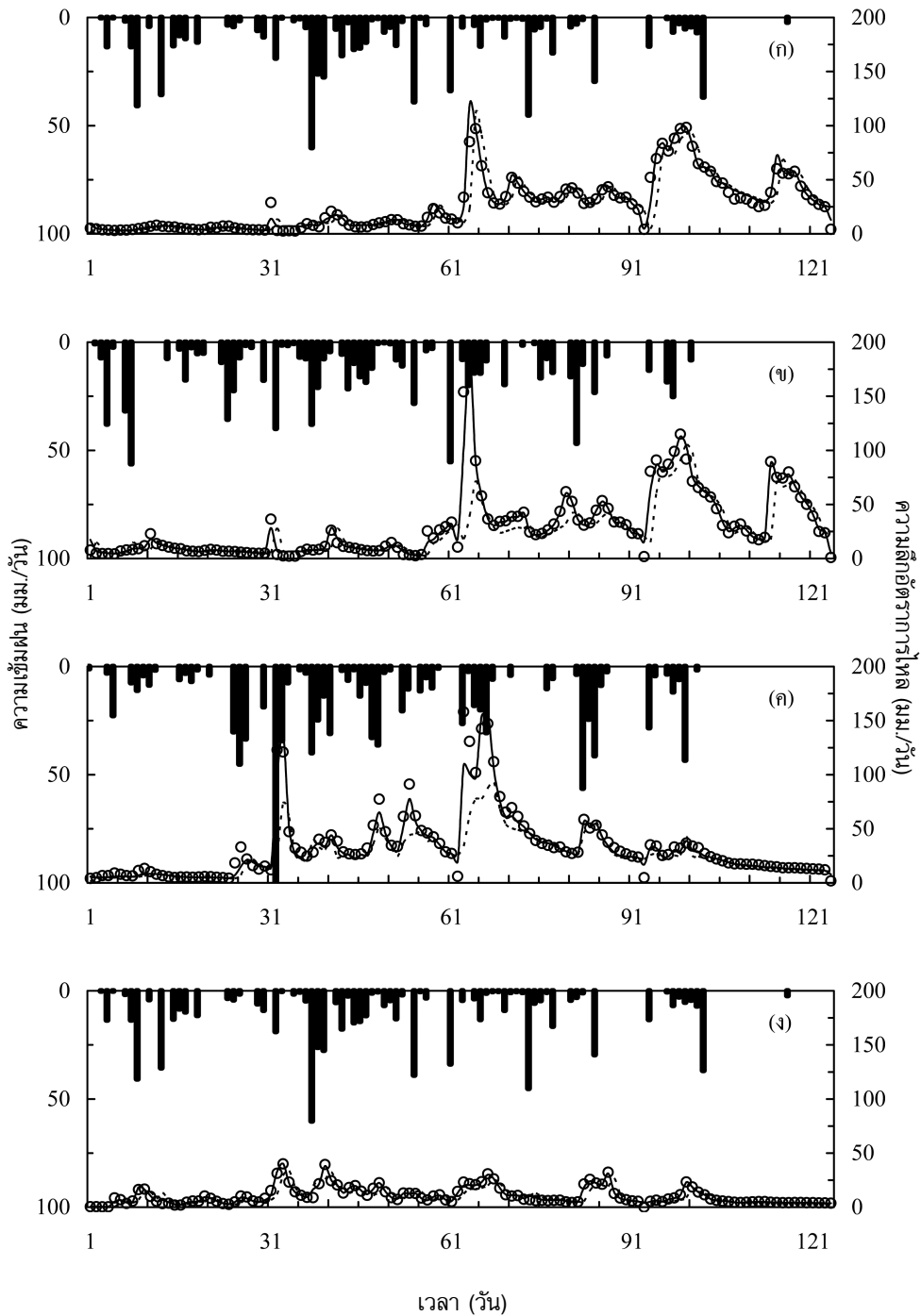
ส่วนในรูปที่ 7 แสดงความลึกอัตราการไหลของค่าตรวจวัดจริง (แกนนอน) เทียบกับผลการคำนวณ (แกนตั้ง) ของสถานีวัดระดับน้ำ P.1 (เชิงสะพานนารัฐ อ.เมือง) จาก

กราฟพบว่ากรณีที่ไม่นำเอาทฤษฎี EKF มาพิจารณาข้อมูล จะมีการกระจายมากและมีค่า \mathcal{E} กับ R^2 ที่ค่อนข้างต่ำแทบไม่มีนัยสำคัญ ส่วนกรณีนำเอาทฤษฎี EKF มาร่วมพิจารณาด้วยแล้วการกระจายของจุดต่างๆ บนกราฟมีน้อยลงมากจนเกือบทับเป็นเส้นเดียวกัน และผลการคำนวณมีค่า \mathcal{E} กับ R^2 มากกว่า 0.96 กับ 0.97 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองนี้ได้ถูกปรับปรุงให้มีความถูกต้องและความแม่นยำมากขึ้นกว่าแบบดั้งเดิม

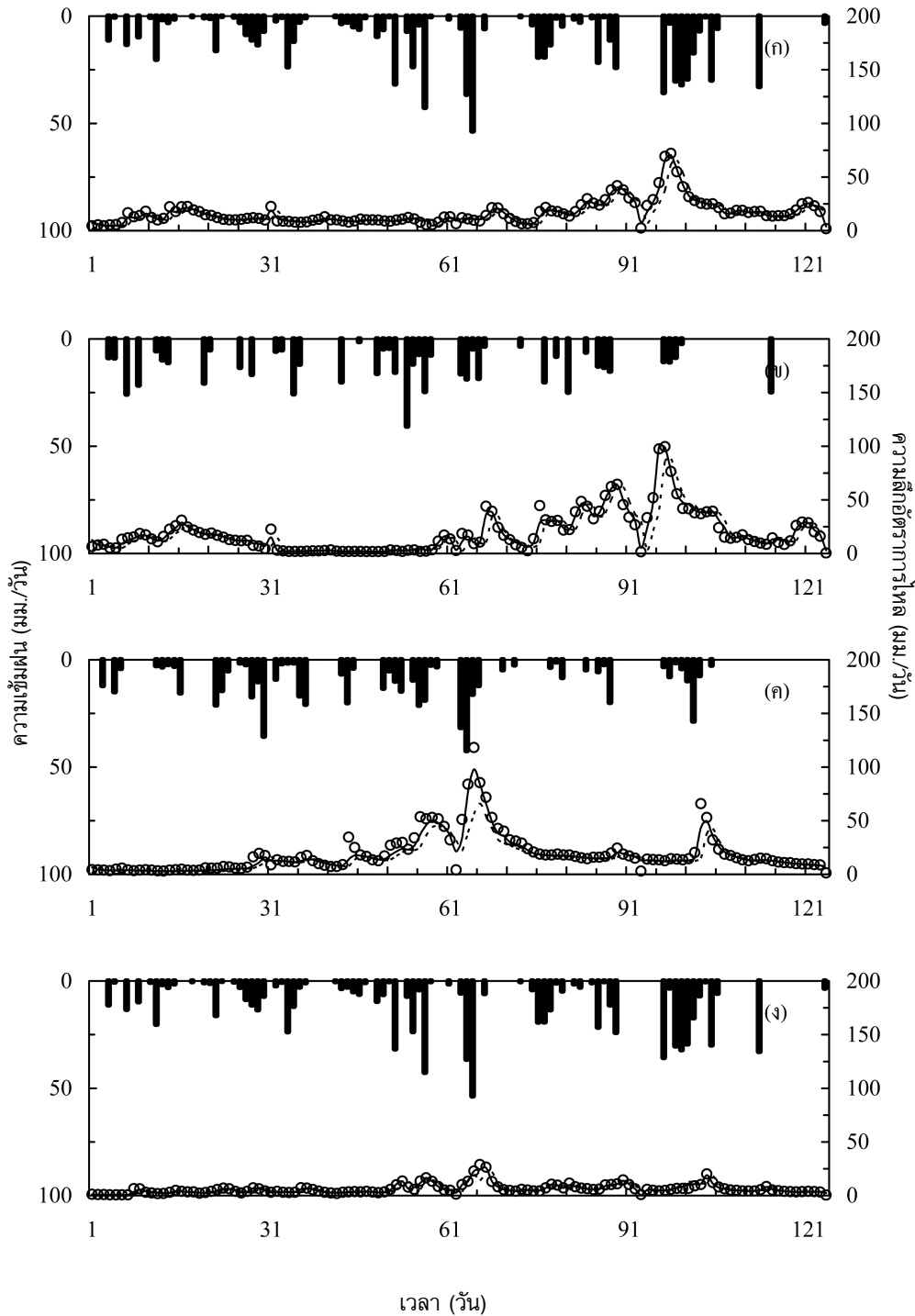
ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณของค่า \mathcal{E} และ R^2 พบว่าถ้าไม่นำเอาทฤษฎี EKF มาประยุกต์ใช้ได้ค่าค่อนข้างต่ำ แต่เมื่อประยุกต์ใช้ร่วมด้วยแล้วได้ให้ผลการคำนวณที่ดีขึ้นมากโดยมีค่า \mathcal{E} อยู่ในช่วงระหว่าง 0.95~0.98 กับ R^2 อยู่ในช่วงระหว่าง 0.95~0.98 ยกเว้นที่สถานีวัดระดับน้ำ P.20 ในปี พ.ศ. 2539 ที่ได้ผลการคำนวณของค่า $\mathcal{E} = 0.93$ มีค่าน้อยกว่าสถานีวัดระดับน้ำอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามยังถือว่ามีความสำคัญสูงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เมื่อกว่าสรุปโดยรวมแล้วพบว่าผลการคำนวณโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องและมีความแม่นยำสูงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

6. สรุป

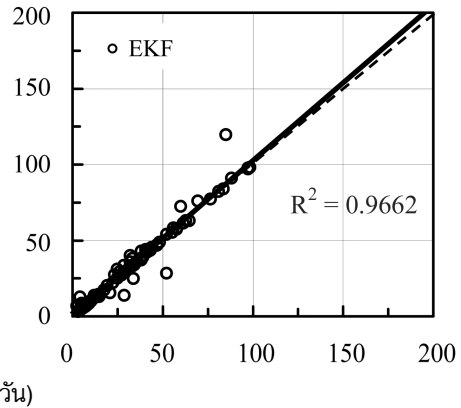
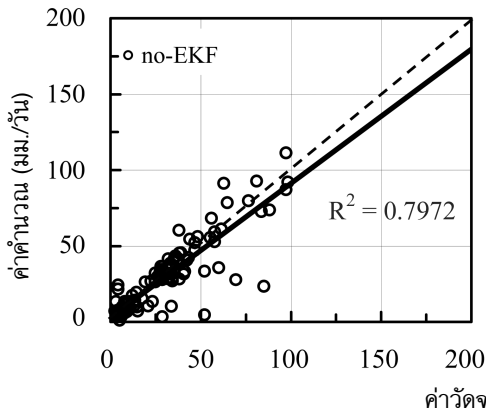
งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้เป็นระบบพยากรณ์และเตือนภัยสำหรับอุทกภัยกรณีเมื่อเกิดน้ำหลากโดยใช้ข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยารายวันที่ทำการตรวจวัดอยู่แล้ว ได้นำเอาทฤษฎี EKF มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้สมการแบบไร้เชิงเส้น เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ศึกษาเหตุการณ์น้ำหลากไหลป่าเข้าท่วมพื้นที่ตัวเมืองเชียงใหม่พบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถนำไปใช้ทำนายปริมาณน้ำหลาก และเวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุดได้เป็นอย่างดี มีความถูกต้องและความแม่นยำสูง ผลการคำนวณได้ค่า $\mathcal{E} = 0.95-0.98$ และ $R^2 = 0.95-0.98$ นอกจากนั้นโปรแกรมนี้ยังสามารถนำไปใช้พยากรณ์ปริมาณน้ำหลากที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตล่วงหน้าได้อีกด้วย โดยในแต่ละการคำนวณใช้เวลาทั้งหมดเพียงประมาณ 1~2 วินาที เท่านั้น ดังนั้นแบบจำลองนี้จึงเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นระบบพยากรณ์และเตือนภัยสำหรับลุ่มน้ำปิงตอนบนจังหวัดเชียงใหม่ได้เป็นอย่างดี



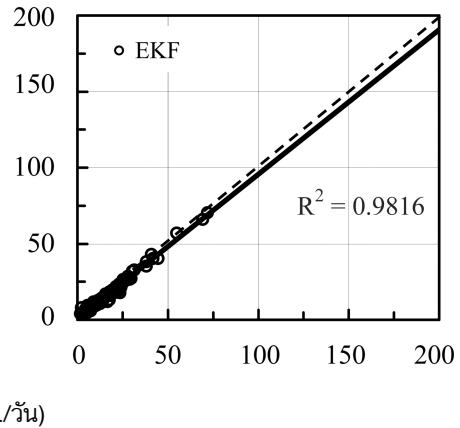
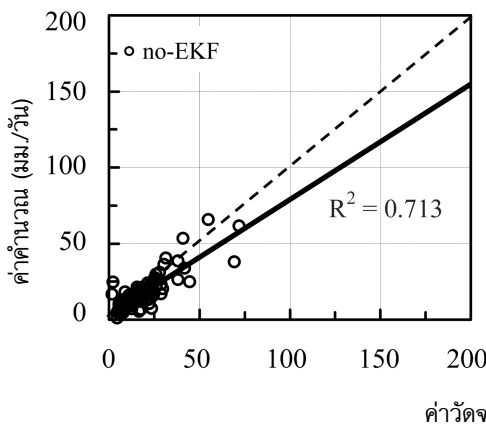
รูปที่ 5 อนุกรมเวลาเปรียบเทียบผลค่าตรวจวัดจริงกับค่าผลการพยากรณ์ของน้ำหลากในแม่น้ำปิงตอนบนระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2538 (ก) ที่สถานีวัดน้ำ P.1 เชียงสะพานนารัฐ อ.เมือง (ข) ที่สถานีวัดน้ำ P.4A น้ำแม่แดง (ค) ที่สถานีวัดน้ำ P.20 แม่น้ำปิง อ.เชียงใหม่ และ (ง) ที่สถานีวัดน้ำ P.21 น้ำแม่ริม



รูปที่ 6 อนุกรมเวลาเปรียบเทียบผลค่าตรวจวัดจริงกับค่าผลการพยากรณ์ของน้ำหลากในแม่น้ำปิงตอนบนระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2539 (ก) ที่สถานีวัดน้ำ P.1 เชียงสะพานนารัฐ อ.เมือง (ข) ที่สถานีวัดน้ำ P.4A น้ำแม่แดง (ค) ที่สถานีวัดน้ำ P.20 แม่น้ำปิง อ.เชียงดาว และ (ง) ที่สถานีวัดน้ำ P.21 น้ำแม่วิม



(ก) ระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2538



(ข) ระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 31 ตุลาคม พ.ศ. 2539

รูปที่ 7 ความลึกอัตราการไหลของค่าตรวจวัดจริงเทียบกับค่าผลการพยากรณ์ของน้ำหลากในแม่น้ำปิง ณ สถานีวัดระดับน้ำ P.1 (เชิงสะพานนารัฐ อ.เมือง)

หมายเหตุ: no-EKF = ไม่นำเอาทฤษฎี EKF มาพิจารณา และ EKF = นำเอาทฤษฎี EKF มาพิจารณา

7. เอกสารอ้างอิง

1. สนิท วงษา, 2547, การพัฒนาระบบพยากรณ์และเตือนภัยน้ำหลากโดยแบบจำลองอย่างง่าย, *วารสารชมรมนักอุทกวิทยาไทย*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 8, หน้า 65-71.
2. สนิท วงษา พิระ ธนามี และสมชาย ชูชีพสกุล, 2548, การพัฒนาระบบพยากรณ์และเตือนภัยน้ำหลากในลุ่มน้ำป่าสัก, *รายงานการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10*, หน้า WRE175-181.
3. สนิท วงษา, 2549, การพัฒนาระบบพยากรณ์และเตือนภัยน้ำหลากในลุ่มน้ำชีและมูลตอนบน, *รายงานการประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11*,

WRE007, หน้า 1-6.

4. Kalman, R.E., 1960, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems", *Journal of Basic Engineering (ASME)*, Vol. 82, pp. 35-45.
5. Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V., 1970, "River Flow Forecasting through Conceptual Models: Part I: A Discussion of Principles", *Journal of Hydrology*, Vol. 10, pp. 282-290.
6. กรมชลประทาน; <http://www.hydro-1.net/FLOOD/chiangmai.html>.

ตารางที่ 1 สถิติต่างๆ ของข้อมูลน้ำฝนและน้ำท่ารายวัน ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาที่คัดเลือก ระหว่างวันที่ 1 กรกฎาคม ถึง 31 ตุลาคม (ก) ข้อมูลน้ำฝนรายวัน

ลำดับที่	รหัส	สถานี	ปริมาณน้ำฝนสูงสุด (มม./วัน)		ปริมาณน้ำฝนรวม (มม.)		จำนวนวันฝนตก (วัน)	
			พ.ศ. 2538	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2538	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2538	พ.ศ. 2539
1	07013	อ.เมือง จ.เชียงใหม่	60.2	53.5	705.8	757.5	69	72
2	07112	อ.แม่แตง จ.เชียงใหม่	56.2	40.6	884.4	567.4	64	44
3	07132	อ.เชียงดาว จ.เชียงใหม่	108.7	42.3	991.0	561.4	63	55

(ข) ข้อมูลน้ำท่ารายวัน

ลำดับที่	รหัส	สถานี	อัตราการไหลสูงสุด (ม. ³ /วินาที)		อัตราการไหลต่ำสุด (ม. ³ /วินาที)		อัตราการไหลเฉลี่ย (ม. ³ /วินาที)	
			พ.ศ. 2538	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2538	พ.ศ. 2539	พ.ศ. 2538	พ.ศ. 2539
1	P.1	เชิงสะพานรัฐ อ.เมือง	466.8	341.6	11.75	8.42	124.84	79.08
2	P.4A	น้ำแม่แตง	237.0	127.9	1.05	0.58	38.96	24.90
3	P.20	น้ำแม่ปิง อ.เชียงดาว	210.4	157.25	2.40	1.60	44.42	25.76
4	P.21	น้ำแม่ริม	50.9	36.76	0.23	0.55	13.49	7.81

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การคำนวณค่าประสิทธิภาพของ Nash และ Sutcliffe: ϵ และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์: R^2

ลำดับที่	รหัส	สถานี	ค่าประสิทธิภาพของ Nash และ Sutcliffe: ϵ						ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์: R^2					
			พ.ศ. 2538		พ.ศ. 2539		พ.ศ. 2538		พ.ศ. 2539		พ.ศ. 2538		พ.ศ. 2539	
			no-EKF	EKF	no-EKF	EKF	no-EKF	EKF	no-EKF	EKF	no-EKF	EKF	no-EKF	EKF
1	P.1	เขิงสะพานวีรรัฐ อ.เมือง	0.79	0.96	0.70	0.98	0.79	0.97	0.79	0.97	0.71	0.98		
2	P.4A	น้ำแม่แตง	0.51	0.97	0.69	0.98	0.53	0.97	0.53	0.97	0.70	0.98		
3	P.20	น้ำแม่ปิง อ.เชียงดาว	0.60	0.95	0.65	0.93	0.71	0.95	0.71	0.95	0.73	0.95		
4	P.21	น้ำแม่ริม	0.58	0.98	0.63	0.97	0.60	0.98	0.60	0.98	0.63	0.97		

หมายเหตุ: no-EKF = ไม่นำเอาทฤษฎี EKF มาพิจารณา และ EKF = นำเอาทฤษฎี EKF มาพิจารณา

