การพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำป่าสักตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11-Data Assimilation

Flood Forecasting in the Upper Pasak River Basin by An Application of MIKE11-Data Assimilation Model

นิพัทธ์ ทองประไพ[1] วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ[2]

NipatThongprapai[1] WisuwatTaesombat[2]

[1,2]ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์

กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

Email : nipat.thong@gmail.com1fengwwt@ku.ac.th2

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำป่าสักตอนบนด้วยชุดแบบจำลอง MIKE11-RR/HD/DA โดยแบบจำลอง MIKE11-RR/HD ถูกใช้ในการจำลองลักษณะทางอุทกวิทยาและอุทกพลศาสตร์ ซึ่งได้ปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองโดยเลือกใช้เหตุการณ์เกิดอุทกภัย 10 ปีย้อนหลัง ระหว่างปี พ.ศ. 2549 ถึง 2558 ส่วนแบบจำลอง MIKE11-DA นำมาใช้ในการพยากรณ์น้ำ ซึ่งได้ทดสอบประสิทธิภาพการพยากรณ์ในเหตุการณ์อุทกภัยที่เคยเกิดขึ้นในช่วงเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2559 โดยเริ่มการพยากรณ์ในวันที่ 12 กันยายน 2559 ต่อเนื่องทุก ๆ 2 วัน จนถึงวันที่ 20 ตุลาคม 2559 และทำการพยากรณ์ 3 วันล่วงหน้านับจากวันที่พยากรณ์ ผลการศึกษาพบว่า แบบจำลอง MIKE11-DA ให้ผลการพยากรณ์ระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำท่าในแม่น้ำป่าสัก ได้แก่ สถานี S.36 สถานี S.4B และ สถานี S.42 ใกล้เคียงกับระดับน้ำตรวจวัดจริง โดยมีค่าความแม่นยำในการพยากรณ์ระดับน้ำ 1 วัน 2 วัน และ 3 วันล่วงหน้า เฉลี่ยร้อยละ 96.44, 94.55 และ 92.98 ตามลำดับ

คำสำคัญ : *แบบจำลอง MIKE11-DA, Data Assimilation, การพยากรณ์น้ำท่วม, ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน*

Abstract

This article presents an application of mathematical model for flood forecasting in the Upper Pasak river basin by MIKE11-RR/HD/DA modelpackage. MIKE11-RR/HD model was carried out to simulate the hydrologic and hydrodynamic conditions, which the historical flood event from the years 2006 to 2015 were selected for the calibration and verification of model. MIKE11-DA model was applied for flood forecasting. The flood event in September to October 2016 was chosen to determine the flood forecasting performance of MIKE11-DA model. The runtime of MIKE11-DA model was set up to generate every two daysand forecast period was three days forward, the time of forecast was started from 12th September to 20th October 2016. The result found that MIKE11-DA model has shown its effectiveness in forecasting water level hydrographs that close to the measured values at S.36, S.4B, and S.42 gauging stations. The average accuracy of forecasting results at all gauging stations revealed that for first day forecast, second day forecast, and third day forward forecast were 96.44%, 94.55%, and 92.98%, respectively.

Keywords : MIKE11-DA, Data Assimilation, Flood Forecasting, Upper Pasak River Basin

1. บทนำ

สภาพการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบน เกิดจากการที่ฝนตกหนักและน้ำป่าไหลหลากจากต้นน้ำลงมามากจนลำน้ำสายหลักไม่สามารถระบายน้ำได้ทัน ประกอบกับมีสิ่งกีดขวางจากเส้นทางคมนาคมขวางทางน้ำ และมีอาคารระบายน้ำไม่เพียงพอ พื้นที่ที่ประสบอุทกภัยเป็นประจำ ได้แก่ อำเภอหล่มเก่า อำเภอหล่มสัก และอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ จากสภาพปัญหาอุทกภัยที่เกิดขึ้นหากมีระบบการพยากรณ์น้ำที่มีความแม่นยำสูงก็สามารถเตือนภัยให้ประชาชนในพื้นที่ได้รับทราบและรับมือกับเหตุการณ์อุทกภัยได้ทันท่วงที โดยแบบจำลองพยากรณ์น้ำ MIKE11-Data Assimilationถือเป็นทางเลือกที่ดีในการประยุกต์ใช้เพื่อประกอบการตัดสินใจในการแจ้งเตือนภัย เนื่องจากมีหลักการที่น่าสนใจและสามารถพยากรณ์น้ำในลำน้ำได้อย่างแม่นยำ

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาสภาพการไหลของน้ำหลากที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำป่าสักตอนบน

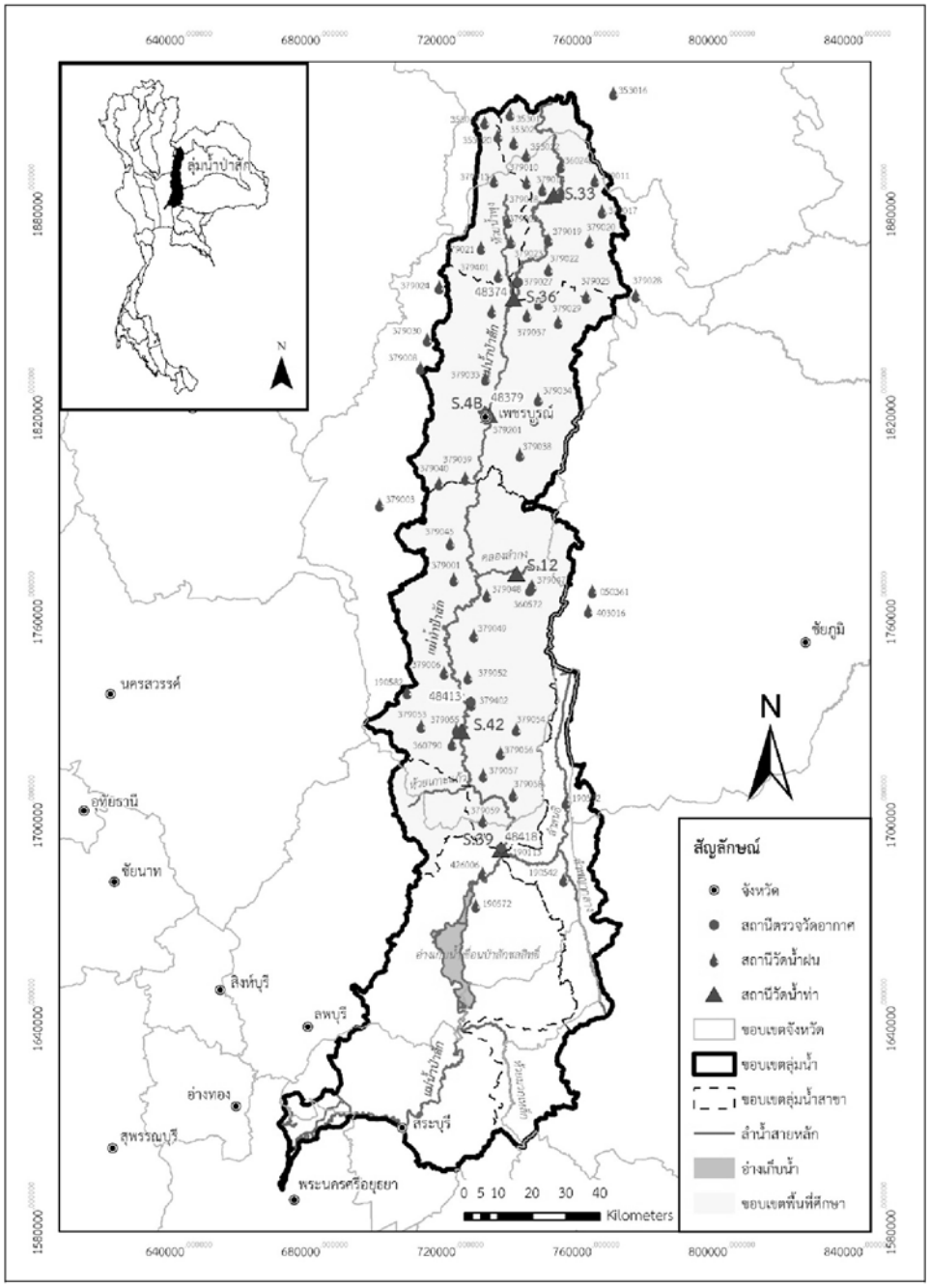
2.2 เพื่อประยุกต์ใช้งานแบบจำลอง MIKE11-DA ในการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำป่าสักตอนบน

3. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำป่าสักตอนบนจนถึงสถานีวัดน้ำท่าS.39 มีพื้นที่รับน้ำ9,472 ตารางกิโลเมตรลักษณะลุ่มน้ำวางตัวในทิศเหนือ-ใต้ พื้นที่บริเวณตอนบนของลุ่มน้ำเป็นเทือกเขาเพชรบูรณ์ซึ่งล้อมรอบด้านเหนือ ด้านตะวันออก และด้านตะวันตกของจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยมีพื้นที่ราบอยู่ตอนกลางมีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางประมาณ 45 ถึง 115 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ของจังหวัดเพชรบูรณ์ และบางส่วนของจังหวัดเลย ชัยภูมิ และลพบุรี แม่น้ำป่าสักเป็นแม่น้ำสายหลัก มีต้นกำเนิดบริเวณเทือกเขาตอนบนในเขตจังหวัดเลย ไหลจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้ผ่านจังหวัดเพชรบูรณ์ ลพบุรี และไหลลงเขื่อนป่าสักชลสิทธิ์ดังแสดงของเขตพื้นที่ศึกษาในภาพที่ 1

4. แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ได้ใช้ชุดแบบจำลอง MIKE11 ซึ่งพัฒนาขึ้นโดยสถาบันชลศาสตร์แห่งประเทศเดนมาร์ค (Danish Hydraulic Institute : DHI)เป็นระบบที่ออกแบบให้สามารถทำงานบน Windows ที่เชื่อมโยงระบบภาพ (Graphical User Interface, GUI)โดยแสดงผลเป็นรูปภาพและตาราง ชุดแบบจำลอง MIKE11 ที่นำมาประยุกต์ใช้เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วม ประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย คือ แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model: MIKE11-RR)แบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model : MIKE11-HD)และแบบจำลองพยากรณ์น้ำ (Data Assimilation Model : MIKE11-DA)



ภาพที่ 1 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาลุ่มน้ำป่าสักตอนบน

4.1 แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model: MIKE11-RR) เป็นการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของลุ่มน้ำ เพื่อคำนวณหาปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณฝนที่ตกในบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลอง NAM ในการประยุกต์เพื่อประมาณค่าปริมาณการไหลเข้าด้านข้างของลุ่มน้ำย่อย

4.2 แบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model : MIKE11-HD)เป็นแบบจำลองที่คำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำแบบหนึ่งมิติในแม่น้ำและลำน้ำสาขาที่มีข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำ โดยผลการคำนวณจะทำให้ทราบค่าระดับน้ำและอัตราการไหลในลำน้ำ

4.3 แบบจำลองพยากรณ์น้ำ (Data Assimilation Model : MIKE11-DA)เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับคำนวณระดับน้ำหรือปริมาณการไหลล่วงหน้าตามจุดที่สนใจซึ่งเป็นที่ตั้งของสถานีวัดน้ำท่าตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยแบบจำลอง MIKE11-DA ถือเป็นการเพิ่มความสามารถพิเศษในการปรับผลการคำนวณจากแบบจำลองระบบแม่น้ำ (MIKE11-RR/HD) กับค่าที่ตรวจวัดได้จริง ซึ่งความคาดเคลื่อนของการพยากรณ์น้ำจะเกิดจากความคาดเคลื่อนของข้อมูลก่อนเวลาที่จะทำการพยากรณ์ ความคาดเคลื่อนของการคำนวณในช่วงเวลาที่ทำการพยากรณ์ และความคาดเคลื่อนของแบบจำลอง ได้แก่ โครงสร้างของแบบจำลอง และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในแบบจำลอง เป็นต้น สำหรับช่วงเวลาที่กำหนดตามหลักการพยากรณ์น้ำด้วย MIKE11-DA นั้น เพียงกำหนดช่วงเวลาในการพยากรณ์ (Time of Forecast: TOF) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดช่วงเวลาที่จะต้องจัดเตรียมข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยาให้กับแบบจำลองและระยะเวลาที่จะทำการพยากรณ์น้ำในแต่ละครั้ง หรือเรียกว่า Runtime โดยแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ซึ่งยึดเวลา TOF เป็นตัวแบ่ง แสดงดังภาพที่ 2 ประกอบด้วย

1) Hindcast Period เป็นช่วงเวลาที่มีข้อมูลตรวจวัดไว้ได้แล้ว (Measurement Data) ซึ่งถ้าข้อมูลนี้มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมาก ก็จะทำให้ผลการพยากรณ์น้ำในช่วง Forecast Period มีความถูกต้องมากตามไปด้วย

2) Forecast Period เป็นช่วงเวลาที่แบบจำลองจะประมาณค่าขอบเขต (Boundary Estimation) ได้แก่ ปริมาณน้ำฝนหรือปริมาณการไหลในช่วงพยากรณ์ล่วงหน้า ซึ่งแบบจำลองจะนำไปใช้เป็นเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

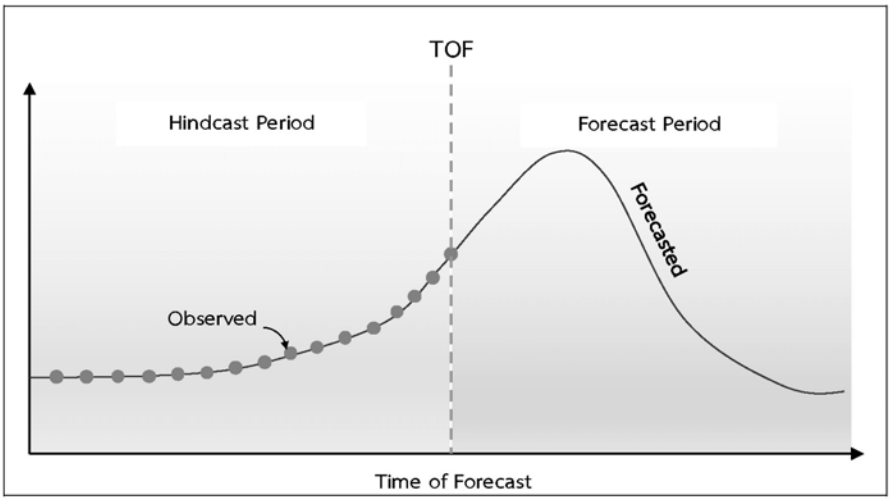
หลักการทำงานของ Data Assimilation เป็นการนำผลต่างหรือค่าผิดพลาด (Error) ของค่าที่ตรวจวัดได้จริง (Measurement) กับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลอง (Simulated) ในช่วงย้อนหลัง TOF (Hindcast Period) มาทำการประเมินหาค่าตัวแปรของการแจกแจงค่าความผิดพลาดที่เหมาะสม โดยอาศัยหลักการคัดกรองด้วยวิธี Kalman Filter จากนั้นจะนำเข้าสู่ Error Forecast Model ซึ่งใช้ทฤษฎีทั้งในแบบเชิงเส้น (linear) และไม่เป็นเส้นตรง (non-linear) เพื่อให้ได้ตัวแปรที่เหมาะสมแล้วทำการพยากรณ์น้ำต่อไป (Updated) ขั้นตอนการทำงานแสดงในภาพที่ 3

5. การรวบรวมข้อมูล

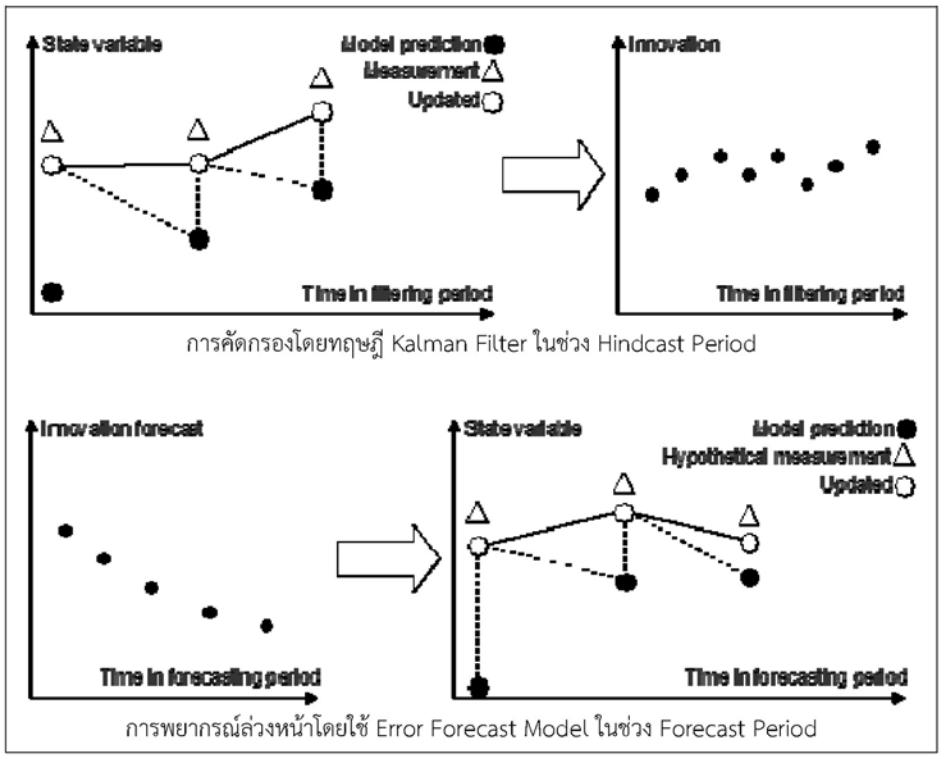
ข้อมูลที่ทำการรวบรวมเพื่อใช้ในการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง สรุปได้ดังนี้

- ข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน จำนวน 64 สถานี จากกรมอุตุนิยมวิทยาและกรมชลประทาน ซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำฝนที่ผ่านการคัดเลือกโดยวิธี Double Mass Curve
- ข้อมูลอัตราการระเหยจากถาดวัด จำนวน 4 สถานี จากสถานีตรวจวัดอากาศของ กรมอุตุนิยมวิทยา คือ สถานี 48374 สถานี 48379 สถานี 48413 และสถานี 48418

- ข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำท่า จำนวน 6 สถานี จากกรมชลประทาน ได้แก่ สถานี S.33 สถานี S.36 สถานี S.4B สถานี S.12 สถานี S.42และ สถานี S.39
- ข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)ช่วงปี พ.ศ. 2549 ถึง ปี พ.ศ. 2559 ที่สถานี S.33 สถานี S.36 สถานี S.4B สถานี S.12 สถานี S.42 และสถานี S.39
- ข้อมูลรูปตัดขวางลำน้ำแม่น้ำป่าสัก จำนวน 70 รูปตัด ระยะทางรวม 410.215 กิโลเมตร คลองลำกง จำนวน 3 รูปตัด ระยะทางรวม 16.74 กิโลเมตร สำรวจโดยกรมชลประทาน ช่วงปี พ.ศ. 2547 และ พ.ศ. 2559



ภาพที่ 2 การกำหนดช่วงเวลาการพยากรณ์



ภาพที่ 3 แสดงขั้นตอนการทำงานของการพยากรณ์น้ำโดยวิธี Data Assimilation

6. วิธีการศึกษา

6.1 การจัดทำแบบจำลองระบบแม่น้ำเป็นขั้นตอนแรกของการศึกษาครั้งนี้ โดยครอบคลุมพื้นที่ลุ่มป่าสักตอนบน ตั้งแต่ต้นน้ำแม่น้ำป่าสักจนถึงสถานีวัดน้ำท่า S.39 ซึ่งเป็นขอบเขตด้านท้ายของแบบจำลอง คิดเป็นพื้นที่ 9,472 ตารางกิโลเมตร ระยะทางตามแนวลำน้ำตั้งแต่ขอบเขตด้านเหนือน้ำลงมาถึงขอบเขตด้านท้ายน้ำรวมทั้งสิ้น 410.215 กิโลเมตร ดังแสดงแผนผังระบบแม่น้ำป่าสักตอนบนในภาพที่ 4 สำหรับขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองย่อยในแบบจำลองระบบแม่น้ำ สรุปได้ดังนี้

1) การปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า(Rainfall-Runoff Model: MIKE11-RR) โดยใช้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลอัตราการระเหย และปริมาณการไหลของน้ำรายวัน เพื่อปรับเทียบแบบจำลองในช่วงปี พ.ศ. 2549 ถึง ปี พ.ศ. 2553 และตรวจพิสูจน์แบบจำลองในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง ปี พ.ศ. 2558 จำนวน 3 สถานี ได้แก่ สถานี S.33 ซึ่งตั้งอยู่บริเวณแม่น้ำป่าสักตอนบน มีพื้นที่รับน้ำ 516 ตารางกิโลเมตร สถานี S.12 ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยคลองลำกง มีพื้นที่รับน้ำ 477 ตารางกิโลเมตร และสถานีS.42 ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแม่น้ำป่าสักส่วนที่ 3 มีพื้นที่รับน้ำ 7,794 ตารางกิโลเมตรสำหรับการประเมินผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าจะใช้ค่าดัชนีทางสถิติจำนวน 3 ตัวแปร แสดงในสมการ (1) (2) และ (3) ดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_o})(Q_{ci}-\overline{Q_c})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_o})^2 \times \sum_{i=1}^{N}(Q_{ci}-\overline{Q_c})^2}} \quad (1)$$

- ค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพ (Efficiency Index, EI)

$$EI = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_o})^2-\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-Q_{ci})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_o})^2} \times 100\% \quad (2)$$

- รากที่สองของความผิดพลาดยกกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-Q_{ci})^2} \quad (3)$$

เมื่อ Q_{oi} คือ ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดที่เวลา i

$\overline{Q_o}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

Q_{ci} คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองที่เวลา i

$\overline{Q_c}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง

N คือ จำนวนของข้อมูล

โดยค่า r มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ถ้า r มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์ที่ดีแบบแปรผันตรง และถ้า r มีค่าเข้าใกล้ -1 แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์ที่ดีแบบผกผันกัน ส่วนค่า EI ถ้ามีค่าเท่ากับ 100% แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีค่าเท่ากันกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดทุกข้อมูล และค่า RMSE ยิ่งมีค่าน้อยยิ่งดี แสดงว่าชุดข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลตรวจวัดน้อย

2) การปรับเทียบแบบจำลองสภาพการไหล(Hydrodynamic Model : MIKE11-HD) โดยใช้ข้อมูลปริมาณการไหลของน้ำ ระดับน้ำ และโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves) จำนวน 6 สถานี ได้แก่ สถานี S.33 สถานี S.12 สถานี S.36 สถานี S.4B สถานี S.42และ สถานี S.39เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานท้องน้ำ (Manning's n)โดยการทดลองแบบ Trial and Error

3) การจัดทำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11-RR) ร่วมกับ แบบจำลองสภาพการไหล(MIKE11-HD)โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองย่อยทั้งสองในการจำลองสภาพการเกิดอุทกภัยในช่วงปี พ.ศ. 2554 ถึง ปี พ.ศ. 2558 โดยกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)ของระบบแม่น้ำป่าสักตอนบน ดังนี้

- ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary)แม่น้ำป่าสัก กำหนดให้ใช้ปริมาณการไหลของน้ำรายวันที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า S.33 ส่วนคลองลำกง กำหนดให้ใช้ปริมาณการไหลของน้ำรายวันที่ประเมินได้จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า เนื่องจากไม่มีข้อมูลตรวจวัดปริมาณการไหลของน้ำปัจจุบันที่สถานีตรวจวัดน้ำ S.12
- ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary)กำหนดให้ใช้โค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับปริมาณน้ำ (Rating Curves)ที่สถานีตรวจวัดน้ำท่า S.39
- ปริมาณการไหลเข้าด้านข้างของลุ่มน้ำ (Lateral Sideflow)กำหนดให้ใช้ปริมาณการไหลของน้ำที่ประเมินได้จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

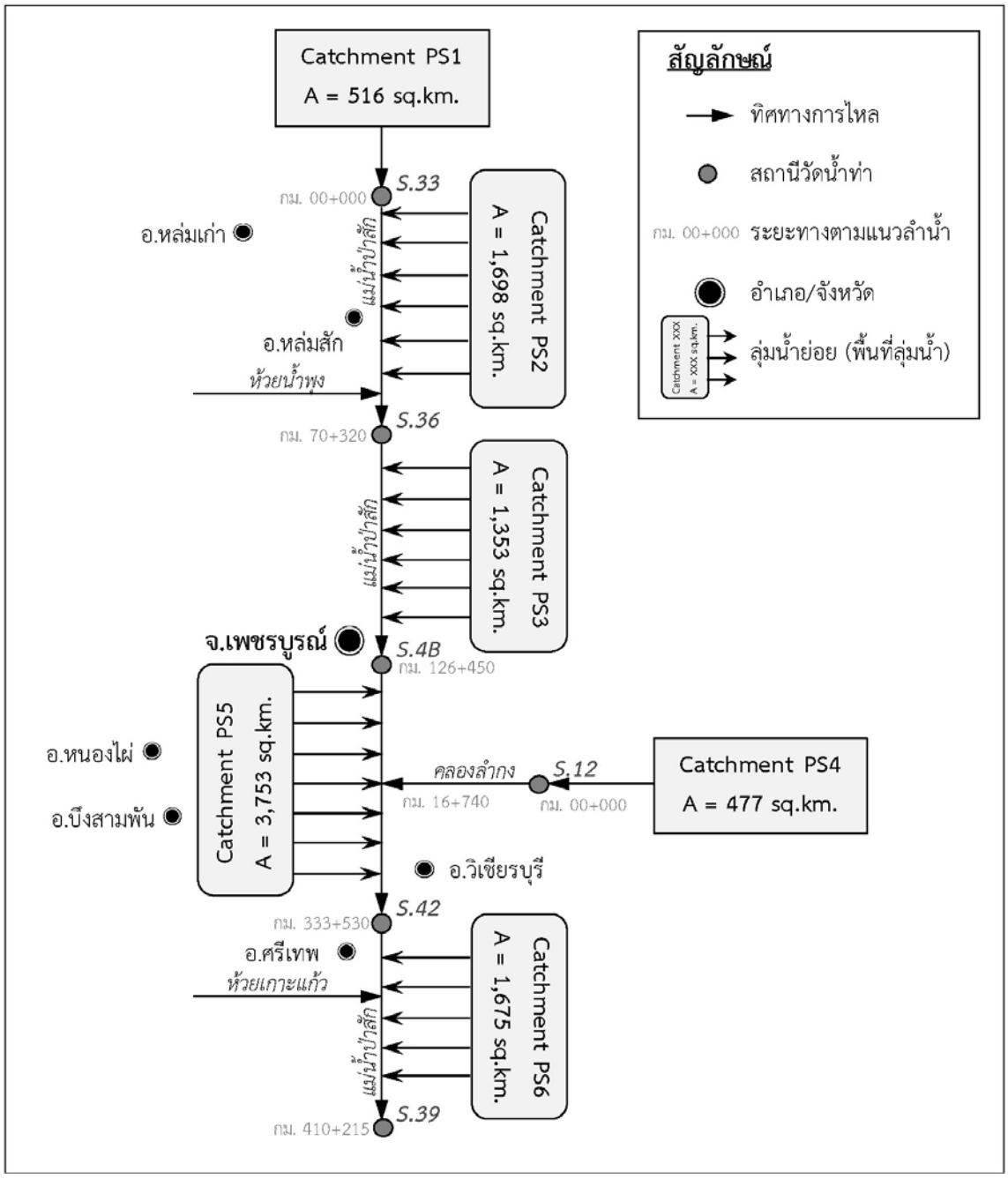
6.2 การจัดทำแบบจำลองพยากรณ์น้ำ(Data Assimilation Model : MIKE11-DA)โดยการนำแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (MIKE11-RR) และแบบจำลองสภาพการไหล (MIKE11-HD) ที่ผ่านการปรับเทียบมาประยุกต์ใช้เพื่อการพยากรณ์น้ำในช่วงฤดูน้ำหลากปี พ.ศ. 2559 ซึ่งได้พิจารณากำหนดจุดสถานีวัดน้ำท่าที่จะทำการพยากรณ์น้ำในแม่น้ำป่าสัก จำนวน 3 แห่ง และเลือกใช้ข้อมูลระดับน้ำรายวันมาทำการปรับค่าความคาดเคลื่อนของผลการคำนวณด้วยแบบจำลองกับผลการตรวจวัดข้อมูลให้มีความสอดคล้องกันก่อนการพยากรณ์ ได้แก่ สถานี S.36 ที่กม. 70+320 สถานี S.4B ที่กม. 126+450 และสถานี S.42 ที่กม. 333+530 ในแม่น้ำป่าสัก การทดสอบการรันแบบจำลอง MIKE11-DA ใช้การตั้งค่าในช่วง Hindcast Period เท่ากับ 3 วันย้อนหลังก่อนการพยากรณ์ และในช่วง Forecast Period เท่ากับ 3 วันล่วงหน้านับจากวันที่ทำการพยากรณ์(TOF)โดยเริ่มการพยากรณ์ในวันที่ 12 กันยายน 2559 ต่อเนื่องทุก ๆ 2 วัน จนถึงวันที่ 20 ตุลาคม 2559และตรวจสอบความแม่นยำในรูปแบบของค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าระดับน้ำที่ตรวจวัดได้กับค่าระดับน้ำที่คำนวณจากแบบจำลอง ตั้งแต่ 1 วัน 2 วัน และ 3 วันล่วงหน้าจากสมการ (4) ดังนี้

$$\in = \left|\frac{WL_{obs} - WL_{sim}}{WL_{obs}}\right| \times 100\% \qquad (4)$$

เมื่อ $\in$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (ร้อยละ)

WL_{obs} คือ ค่าระดับน้ำรายวันที่ตรวจวัดได้ (เมตร)

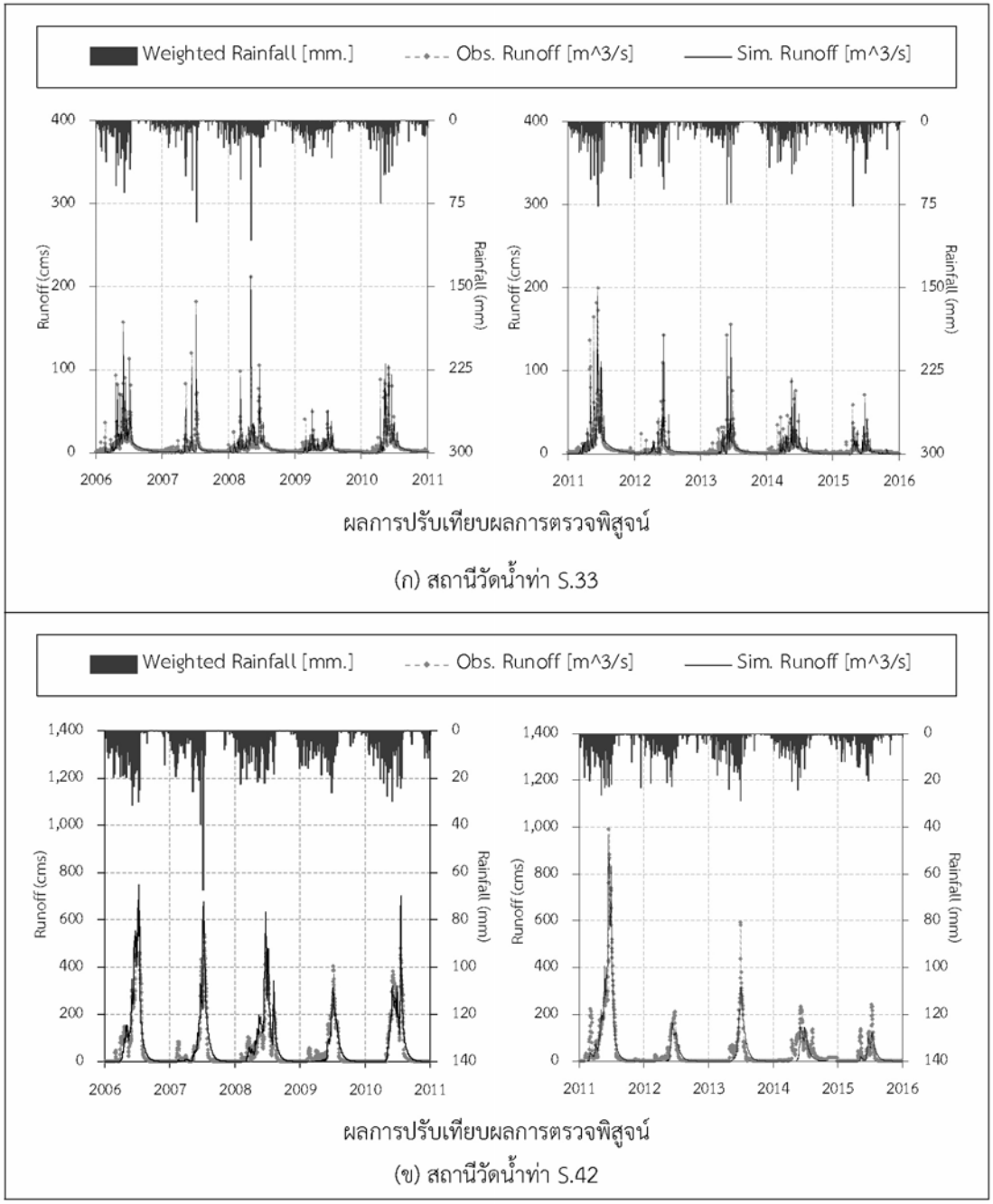
WL_{sim} คือ ค่าระดับน้ำรายวันที่คำนวณจากแบบจำลอง (เมตร)



ภาพที่ 4 แผนผังระบบแม่น้ำป่าสักตอนบน

7. ผลการศึกษาและวิจารณ์

7.1 ผลการศึกษาแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า(Rainfall-Runoff Model: MIKE11-RR) พบว่าค่าดัชนีทางสถิติของปริมาณการไหลที่คำนวณได้จากแบบจำลองเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้ของสถานีวัดน้ำท่าที่ทำการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์ทั้ง 3 สถานี อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยสถานีวัดน้ำท่า S.33 มีค่า r อยู่ในช่วง 0.865-0.948 สำหรับสถานีวัดน้ำท่า S.42 และ S.12 มีค่า r อยู่ในช่วง 0.791-0.926 และ 0.877-0.897 ตามลำดับ แสดงตัวอย่างผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าในภาพที่ 5 และสรุปค่าดัชนีทางสถิติในตารางที่ 1

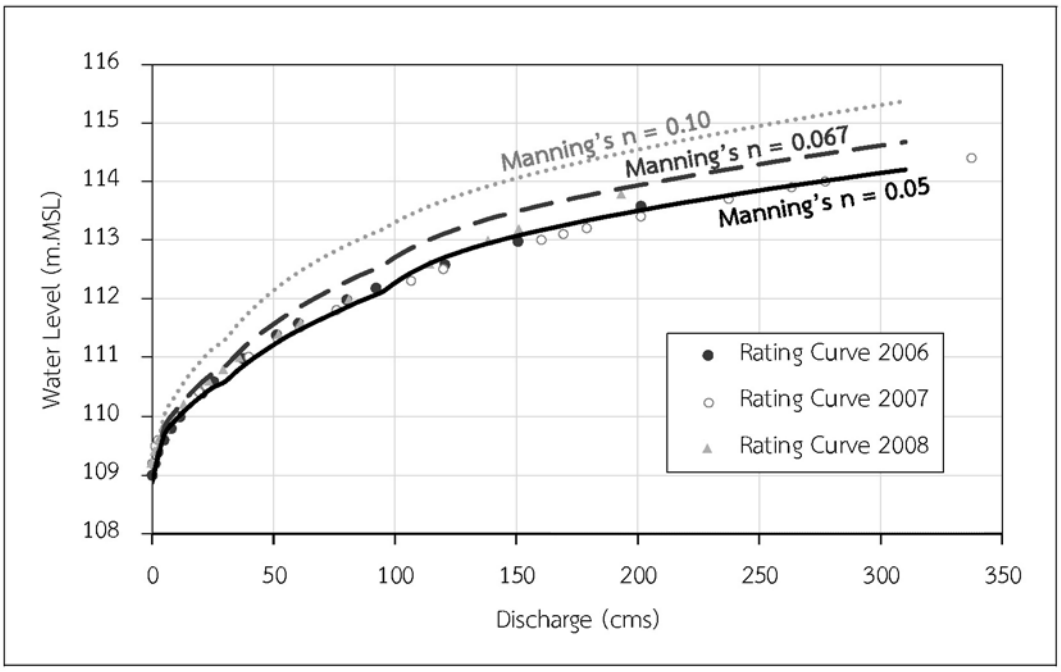


ภาพที่ 5 ผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่สถานีวัดน้ำท่า S.33 และ S.42

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีทางสถิติจากผลการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า

สถานีวัดน้ำท่า	ค่าดัชนี	ช่วงปี พ.ศ.									
		2549	2550	2551	2552	2553	2554	2555	2556	2557	2558
S.33	r	0.948	0.916	0.924	0.865	0.940	0.900	0.914	0.931	0.896	0.873
	EI (%)	88.45	83.46	82.78	65.45	86.32	80.93	80.83	86.18	75.06	72.26
	RMSE (cms)	5.67	5.84	6.65	3.53	5.32	10.79	5.49	5.33	4.64	3.38
S.42	r	0.901	0.854	0.914	0.926	0.915	0.867	0.913	0.910	0.798	0.791
	EI (%)	68.68	66.33	62.71	84.65	82.03	70.67	82.20	82.40	50.66	61.32
	RMSE (cms)	72.46	61.72	57.35	30.05	48.14	96.83	19.33	33.67	34.69	24.82
S.12	r	0.897	0.877	0.888	*ไม่มีข้อมูลตรวจวัด*						
	EI (%)	78.45	76.13	71.06							
	RMSE (cms)	5.16	5.49	2.53							

7.2 ผลการศึกษาแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic Model : MIKE11-HD) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานท้องน้ำ (Manning's n) ในคลองลำกง เท่ากับ 0.05 ส่วนแม่น้ำป่าสักตอนบน อยู่ระหว่าง 0.045-0.14 แสดงตัวอย่างผลการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการไหลในภาพที่ 6 และสรุปค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานท้องน้ำ (Manning's n) ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองในตารางที่ 2



ภาพที่ 6 การปรับเทียบแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำท่า S.12

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานท้องน้ำ (Manning's n) ที่ได้จากการปรับเทียบแบบจำลองสภาพการไหล

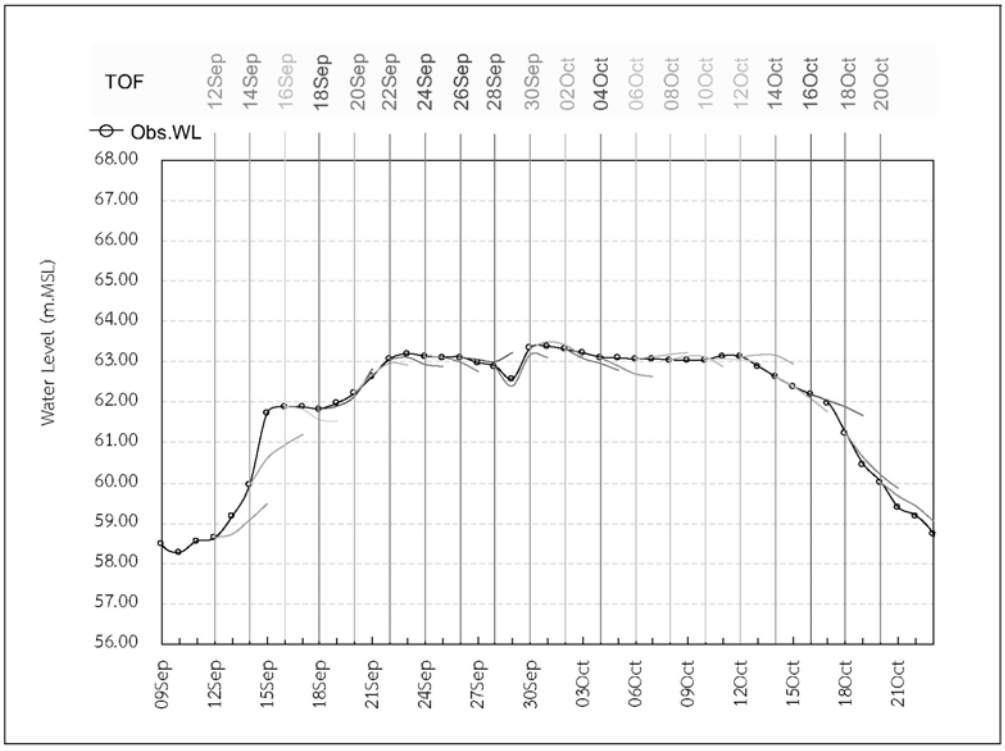
ชื่อลำน้ำ	ช่วงลำน้ำ	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานท้องน้ำ (Manning's n)
แม่น้ำป่าสัก	สถานีวัดน้ำท่า S.33 ถึง สถานีวัดน้ำท่า S.36	0.10
แม่น้ำป่าสัก	สถานีวัดน้ำท่า S.36 ถึง สถานีวัดน้ำท่า S.4B	0.067
คลองลำกง	สถานีวัดน้ำท่า S.12 จุดบรรจบแม่น้ำป่าสัก	0.05
แม่น้ำป่าสัก	สถานีวัดน้ำท่า S.4B ถึง สถานีวัดน้ำท่า S.42	0.045
แม่น้ำป่าสัก	สถานีวัดน้ำท่า S.42 ถึง สถานีวัดน้ำท่า S.39	0.14

7.3 ผลการศึกษาแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ(Data Assimilation Model : MIKE11-DA) พบว่าผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลอง MIKE11-DA ที่สถานีวัดน้ำท่า 3 แห่ง ได้แก่ สถานี S.36 สถานี S.4B และสถานี S.42 ตั้งแต่วันที่ 12 กันยายน 2559 ต่อเนื่องทุก ๆ 2 วัน จนถึงวันที่ 20 ตุลาคม 2559 จำนวน 20 ครั้ง ให้ผลการพยากรณ์น้ำที่น่าพอใจในระดับดีมาก โดยผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 1 วันของสถานีวัดน้ำท่าทั้งสามแห่งมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.17-15.99 เฉลี่ยร้อยละ 3.56 หรือคิดเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 96.44 ส่วนผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 2 วันมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.45-17.99 เฉลี่ยร้อยละ 5.45 หรือคิดเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 94.55 และผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า 3 วัน มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ระหว่าง 0.56-25.42 เฉลี่ยร้อยละ 7.02 หรือคิดเป็นค่าความแม่นยำเฉลี่ยร้อยละ 92.98 ดังแสดงค่าความคลาดเคลื่อนของผลการพยากรณ์ระดับน้ำระหว่างค่าที่ตรวจวัดได้กับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองในช่วงวันที่ 12 กันยายน 2559 ถึง วันที่ 20 ตุลาคม 2559 ในตารางที่ 3 และกราฟตัวอย่างผลการพยากรณ์ระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำท่า S.42 ในภาพที่ 7

ตารางที่ 3 ร้อยละความคลาดเคลื่อนจากผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11-DA

วันที่พยากรณ์น้ำ (Time of Forecast : TOF)	ร้อยละความคาดเคลื่อนจากผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า								
	สถานีวัดน้ำท่า S.36			สถานีวัดน้ำท่า S.4B			สถานีวัดน้ำท่า S.42		
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน
12ก.ย.2559	13.98	14.98	18.60	22.90	23.81	27.28	5.95	10.51	22.27
14ก.ย.2559	2.65	3.48	6.56	5.17	6.95	7.68	11.08	9.13	6.60
16ก.ย.2559	0.43	4.49	14.99	0.27	2.04	0.85	0.65	2.87	4.50
18ก.ย.2559	3.86	18.83	6.52	0.03	1.57	2.65	0.63	0.61	1.56
20ก.ย.2559	7.03	14.43	7.74	0.42	1.15	3.37	0.37	0.78	2.32
22ก.ย.2559	2.58	4.12	7.52	0.48	0.53	0.86	0.80	1.73	1.89
24ก.ย.2559	4.84	8.54	19.39	0.55	2.83	7.27	0.10	1.07	1.94

วันที่พยากรณ์น้ำ (Time of Forecast : TOF)	ร้อยละความคาดเคลื่อนจากผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้า								
	สถานีวัดน้ำท่า S.36			สถานีวัดน้ำท่า S.4B			สถานีวัดน้ำท่า S.42		
	1 วัน	2 วัน	3 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน	1 วัน	2 วัน	3 วัน
26ก.ย.2559	2.83	13.30	5.75	0.80	9.68	2.98	0.78	1.16	5.94
28ก.ย.2559	9.63	17.45	23.62	2.24	3.17	1.71	1.52	1.45	2.31
30ก.ย.2559	7.07	1.30	6.91	1.14	0.67	5.04	1.01	0.92	0.75
2ต.ค.2559	2.40	5.48	3.63	4.04	0.30	1.90	1.19	1.41	2.59
4ต.ค.2559	5.59	5.99	11.69	2.19	0.51	7.31	1.52	3.11	3.71
6ต.ค.2559	2.31	9.12	26.70	2.15	0.14	6.61	0.46	1.14	1.59
8ต.ค.2559	5.95	18.21	1.16	4.26	0.62	2.59	0.88	0.64	2.27
10ต.ค.2559	9.60	19.66	19.24	7.23	12.53	13.94	0.66	0.71	1.06
12ต.ค.2559	5.60	5.67	1.45	3.25	8.36	13.71	2.64	4.95	5.36
14ต.ค.2559	7.35	0.60	3.07	0.83	2.17	11.46	0.03	0.92	2.07
16ต.ค.2559	4.89	2.42	0.07	2.81	0.45	3.81	0.46	6.76	13.73
18ต.ค. 2559	8.67	5.61	0.60	4.58	5.36	4.64	2.10	2.23	6.26
20 ต.ค.2559	4.38	9.20	6.87	0.16	5.97	10.14	3.66	3.04	4.46
ค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด	13.98	19.66	26.70	22.90	23.81	27.28	11.08	10.51	22.27
ค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด	0.43	0.60	0.07	0.03	0.14	0.85	0.03	0.61	0.75
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย	5.58	9.14	9.60	3.27	4.44	6.79	1.82	2.76	4.66



ภาพที่ 7 ผลการพยากรณ์ระดับน้ำด้วยแบบจำลอง MIKE11-DA ที่สถานีวัดน้ำท่า S.42

8. สรุป

สภาพการไหลของน้ำหลากในลุ่มน้ำป่าสักตอนบนมีความแตกต่างกันตามสภาพพื้นที่ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานท้องน้ำ (Manning's n)ของแม่น้ำป่าสักตอนบนและลำน้ำสาขา อยู่ระหว่าง 0.045-0.14สำหรับแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA ให้ผลการพยากรณ์ระดับน้ำล่วงหน้าค่อนข้างแม่นยำมากโดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ยในการพยากรณ์น้ำล่วงหน้า 1 วัน 2 วัน และ 3 วัน ร้อยละ 96.44 94.55 และ 92.98 ตามลำดับ แต่ความแม่นยำดังกล่าวจะลดลงเรื่อย ๆ หากทำการพยากรณ์น้ำล่วงหน้าออกไปหลายวันขึ้นในทุกสถานี เนื่องจากในการพยากรณ์น้ำยังขาดการพยากรณ์ฝนล่วงหน้าที่มีความแม่นยำสูงแต่อย่างไรก็ตามแบบจำลองการพยากรณ์น้ำ MIKE11-DA ถือว่าเป็นแบบจำลองที่เหมาะสมในการคาดการณ์แนวโน้มของการเกิดอุทกภัยของลุ่มน้ำป่าสักตอนบน และสามารถใช้ประกอบการตัดสินใจในการแจ้งเตือนภัยให้กับประชาชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ได้ เพื่อบรรเทาและลดความเสียหายอันเนื่องมาจากอุทกภัยที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ชุดแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้นับว่าเป็นแบบจำลองระบบลุ่มน้ำและพยากรณ์น้ำที่มีการแสดงผลที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านอุทกภัยและการบริหารจัดการน้ำได้

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ กรมชลประทาน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนด้านข้อมูลประกอบการศึกษา และขอขอบพระคุณคณาจารย์จากภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำปรึกษาตลอดการศึกษาในครั้งนี้

10. บรรณานุกรม

วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ. 2556.อุทกวิทยาทางวิศวกรรม (เอกสารประกอบการสอน).ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

วิษุวัฒก์ แต้สมบัติ และ กิติพงษ์ ทองเชื้อ. 2554. การประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE11-Data Assimilation เพื่อการพยากรณ์น้ำท่วมในลุ่มน้ำชีตอนบน (An Application of MIKE11-Data Assimilation Model for Flood Forecasting in the Upper Chi River Basin). การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 16 จ.ชลบุรี 18-20 พฤษภาคม 2554.

กรมชลประทาน. 2553. โครงการจัดทำแผนพัฒนาการชลประทานระดับลุ่มน้ำอย่างเป็นระบบลุ่มน้ำป่าสัก (12). กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ. 2555. การดำเนินการด้านการรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล โครงการพัฒนาระบบคลังข้อมูล 25 ลุ่มน้ำ และแบบจำลองน้ำท่วมน้ำแล้ง ลุ่มน้ำป่าสัก. องค์การมหาชน, กรุงเทพฯ

กฤษฎา แสงเพ็ชร์ส่อง. 2547. แนวคิดพื้นฐานและหลักการทำงานของ Kalman Filter Algorithm.วารสารโรงเรียนนายเรือ ปีที่ 4, ฉบับที่ 4.

DHI Water Environment and Health. 2007. MIKE11-A Modelling System for Rivers and Channels, Reference Manual. DHI, Denmark.