



# คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

การใช้แบบจำลอง HEC-HMS

# คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

## การใช้แบบจำลอง HEC-HMS

รหัสคู่มือ สบอ./สอท ๕/๒๕๖๑

หน่วยงานที่จัดทำ

ฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ ส่วนอุทกวิทยา

สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

ที่ปรึกษา

หัวหน้าฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ

ผู้อำนวยการส่วนอุทกวิทยา สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

พิมพ์ครั้งที่ ๑

จำนวน ๑ เล่ม

เดือน สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๖๑

หมวดหมู่ อุทกวิทยา

# คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

## การใช้แบบจำลอง HEC-HMS

ได้ผ่านการตรวจสอบ กลั่นกรองจากคณะกรรมการตรวจสอบกลั่นกรองคู่มือการปฏิบัติงาน  
ของสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยาเรียบร้อยแล้ว จึงถือเป็นคู่มือฉบับสมบูรณ์  
สามารถใช้เป็นเอกสารเผยแพร่และใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงาน

ลงชื่อ.....

(นายสัญญา แซงพุ่มพงษ์)

ตำแหน่ง ผู้บริหารการจัดการความรู้ (CKO)

สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา

ลงชื่อ.....

(นายอดิศร จำปาทอง)

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการส่วนอุทกวิทยา

ลงชื่อ.....

(นางสุพิญดา วัฒนาการ)

ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ

# คู่มือการปฏิบัติงาน (Work Manual)

การใช้แบบจำลอง HEC-HMS

จัดทำโดย

นางสาวกุลยา เจริญกิจเกษตร ตำแหน่งนักอุทกวิทยาปฏิบัติการ  
ฝ่ายวิจัยและอุทกวิทยาประยุกต์ ส่วนอุทกวิทยา

นางสาวนุชนาถ จงดี ตำแหน่งนักอุทกวิทยาปฏิบัติการ  
ฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ ส่วนอุทกวิทยา

นายอัฐศีล แฝ้วสกุล ตำแหน่งนักอุทกวิทยาปฏิบัติการ  
ฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ ส่วนอุทกวิทยา

สามารถติดต่อสอบถามรายละเอียด/ข้อมูลเพิ่มเติมได้ที่  
ฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ ส่วนอุทกวิทยา  
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน  
เบอร์โทรศัพท์ ๐-๒๒๔๑-๐๓๗๑

## คำนำ

การจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือสำหรับการปฏิบัติงาน ด้านการใช้แบบจำลอง HEC-HMS ให้กับเจ้าหน้าที่ของฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำและบุคคลที่สนใจ ให้เข้าใจถึงขั้นตอนการใช้แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า ๑ - ๓ วัน ให้เกิดการใช้แบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดผลงานที่ได้มาตรฐาน

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือการปฏิบัติงานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อเจ้าหน้าที่ของฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ รวมทั้งบุคคลที่สนใจ ให้เข้าใจถึงขั้นตอนการใช้แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า ๑ - ๓ วัน และนอกจากนี้ยังใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ มีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผล บรรลุผลสำเร็จตามหลักเกณฑ์ตัวชี้วัดของการจัดการความรู้ (Knowledge Management: KM) สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน

คณะผู้จัดทำ ฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ  
ส่วนอุทกวิทยา  
สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา  
กรมชลประทาน

## สารบัญ

	หน้า
วัตถุประสงค์	๑
ขอบเขต	๑
คำจำกัดความ	๑
หน้าที่ความรับผิดชอบ	๒
Work Flow	๕
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	๙
ระบบติดตามประเมินผล	๒๕
ปัญหาและข้อเสนอแนะ	๒๗
เอกสารอ้างอิง	๒๗
แบบฟอร์มที่ใช้	๒๗
ภาคผนวก	๒๘
๑) แนวคิดและทฤษฎีของแบบจำลอง HEC-HMS	๒๙
๒) หลักการทำงานแบบจำลอง HEC-HMS	๓๐

## คู่มือการปฏิบัติงาน การใช้แบบจำลอง HEC-HMS

### ๑. วัตถุประสงค์

๑.๑ เพื่อจัดทำคู่มือการใช้แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า ๑ – ๓ วัน ในลุ่มน้ำของประเทศไทยบนมาตรฐานทางวิชาการ โดยแสดงขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าสำหรับการนำเข้าแบบจำลอง การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง และการแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง รวมทั้งเป็นการสร้างมาตรฐานให้เกิดการใช้แบบจำลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ เกิดผลงานที่ได้มาตรฐานเป็นไปตามเป้าหมาย

๑.๒ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการใช้แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า ๑ – ๓ วัน ให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าใจขั้นตอนการใช้แบบจำลอง และเผยแพร่ให้กับบุคคลภายนอกได้เข้าใจกระบวนการทำงานการใช้แบบจำลอง HEC-HMS

๑.๓ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษา และประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า ๑ – ๓ วัน ในลุ่มน้ำของประเทศไทย

### ๒. ขอบเขต

คู่มือการใช้แบบจำลอง HEC-HMS สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ นักอุทกวิทยา ลูกจ้างพนักงานราชการ ที่มี การเปลี่ยนแปลง โอน/ย้าย/เข้ามาใหม่ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญดังนี้

- ๒.๑. การเตรียมข้อมูลนำเข้าสำหรับแบบจำลอง
- ๒.๒. การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)
- ๒.๓. การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model Verification)
- ๒.๔. การแสดงผลลัพธ์ของแบบจำลอง
- ๒.๕. การประยุกต์ใช้ผลการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า

### ๓. คำจำกัดความ

๓.๑ แบบจำลอง HEC – HMS (Hydrologic Modeling System) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่ออกแบบให้จำลองกระบวนการของน้ำฝน-น้ำท่าออกมาในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำท่าที่มาจากน้ำฝน

๓.๒ การสอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) คือเป็นกระบวนการลองผิดลองถูกเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาได้ โดยค่าเริ่มต้นเป็นค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงตามข้อกำหนดในแต่ละพารามิเตอร์ของแบบจำลอง เมื่อสมมุติค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นแล้วทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นกราฟน้ำท่า เปรียบเทียบผลกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด หากผลลัพธ์ยังไม่อยู่ในเกณฑ์พิจารณาที่ยอมรับได้ ต้องทำการปรับค่าพารามิเตอร์แล้วทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองและสอบเทียบแบบจำลองอีกครั้ง จนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตรวจพิสูจน์ต่อไป

๓.๓ การตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (Model Verification) คือ เป็นกระบวนการนำพารามิเตอร์ที่ผ่านการสอบเทียบแบบจำลองจนได้ค่าที่เหมาะสมแล้ว มาประยุกต์ใช้กับช่วงเหตุการณ์น้ำท่าอื่น เพื่อเป็นการประเมินพารามิเตอร์ที่ได้ตามข้อ ๓.๒ นี้มีความเหมาะสม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในการจำลองเหตุการณ์ต่างๆ

๓.๔ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient: R) เป็นตัวแปรทางสถิติ ที่ใช้เป็นเกณฑ์ ในการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด โดยปกติค่า R มีค่ามากกว่า ๐.๖ จะถือว่าแบบจำลองนั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

๓.๕ ค่าคาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (Root Mean Square Error: RMSE) เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดง ค่าความแตกต่างระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองและปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด โดย RMSE เข้าใกล้ ๐ แสดงว่าแบบจำลองนี้ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง

#### ๔. หน้าที่ความรับผิดชอบ

๔.๑ ผู้อำนวยการส่วนอุทกวิทยา รับทราบและสนับสนุนการใช้แบบจำลอง HEC-HMS

๔.๒ หัวหน้าฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ พิจารณากลับกรอง และตรวจสอบความถูกต้อง ในการใช้แบบจำลอง HEC-HMS

๔.๓ ผู้ปฏิบัติงานในกลุ่มน้ำที่รับผิดชอบการใช้แบบจำลอง HEC-HMS จัดเตรียมข้อมูลปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำฝน เพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับวิเคราะห์โดยแบบจำลอง

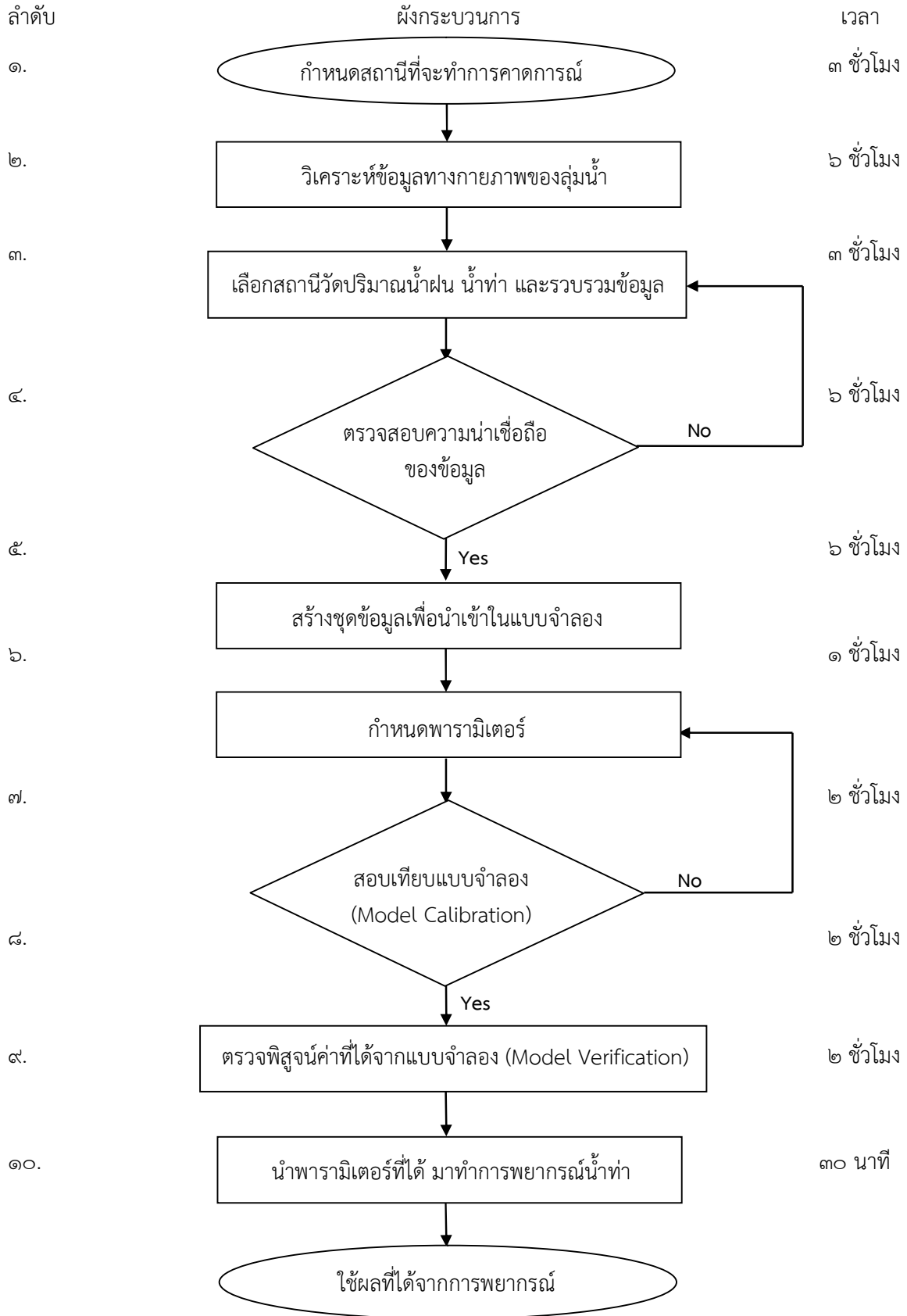


## สรุปกระบวนการใช้แบบจำลอง HEC-HMS

กระบวนการใช้แบบจำลอง HEC-HMS กรมชลประทาน ประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญดังนี้

๑. กำหนดสถานีน้ำท่า บนลำน้ำสายหลักที่ต้องการพยากรณ์
๒. วิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มน้ำ ประเมินลักษณะภูมิประเทศ และขนาดพื้นที่รับน้ำ
๓. เลือกสถานีวัดปริมาณน้ำฝน น้ำท่า เหนือสถานีที่จะพยากรณ์ และรวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่ารายวันของสถานีที่ได้เลือกใช้
๔. ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนก่อนนำไปใช้ด้วยวิธี Double Mass Curve
๕. สร้างชุดข้อมูลเพื่อนำเข้าในแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบ Time Series บนไฟล์ .dss
๖. เลือกใช้แบบจำลอง และกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นให้เป็นไปตามค่าที่ยอมรับ สำหรับสอบเทียบแบบจำลอง
๗. สอบเทียบแบบจำลองโดยเมนู Simulation run จนกว่าจะได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดย ค่า r มีค่ามากกว่า ๐.๗ และค่า RMSE มีค่าเข้าใกล้ ๐
๘. ตรวจสอบค่าที่ได้จากแบบจำลอง โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง กับเหตุการณ์อื่น ๆ โดย ค่า r มีค่ามากกว่า ๐.๗ และค่า RMSE มีค่าเข้าใกล้ ๐ เช่นกัน
๙. นำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมาพยากรณ์น้ำท่าล่วงหน้า ๑ - ๓ วัน โดยเมนู Compute Forecast Alternative
๑๐. เผยแพร่ผลที่ได้จากการพยากรณ์ในรูปแบบกราฟน้ำท่าเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด

Work Flow กระบวนการใช้แบบจำลอง HEC-HMS กรมชลประทานในภาพรวม

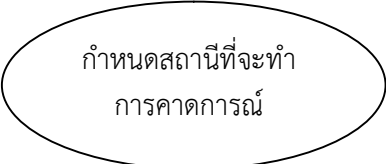
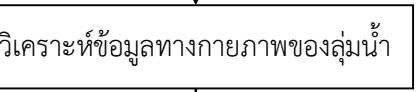
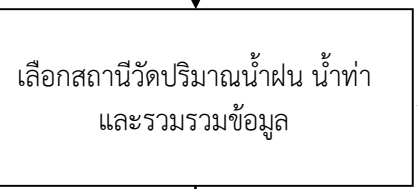


รวมเวลาทั้งหมด ๓๑ ช.ม. ๓๐ นาที ต่อ ๑ สถานี

## ๕. Work Flow

ชื่อกระบวนการ: การใช้แบบจำลอง HEC-HMS

ตัวชี้วัดผลลัพธ์กระบวนการการจัดทำคู่มือปฏิบัติงาน: ร้อยละ ๗๐ ของการใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่ามีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าจริง

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๑.	 <p>กำหนดสถานที่ที่จะทำการคาดการณ์</p>	๓ ชั่วโมง	<p>๑. เลือกสถานที่ที่จะทำการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่ารายวันล่วงหน้า โดยเลือกสถานที่ที่มีความสำคัญและเป็นตัวแทนของลำน้ำหลักในลุ่มน้ำนั้นๆ</p> <p>๒. ตำแหน่งที่ตั้งของสถานี่มีความมั่นคงและแน่นอน</p>	<p>- การตรวจวัดและเก็บข้อมูลของสถานี่มีระยะเวลายาวนานต่อเนื่องและข้อมูลไม่ขาดหาย</p>	ผู้รับผิดชอบลุ่มน้ำ
๒.	 <p>วิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำ</p>	๖ ชั่วโมง	<p>๑. วิเคราะห์ลักษณะภูมิประเทศ ตำแหน่งที่ตั้ง และขนาดพื้นที่รับน้ำ</p>	<p>- ลักษณะภูมิประเทศเป็นไปตามแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร</p> <p>- ตำแหน่งที่ตั้งถูกต้องตามระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Latitude, Longitude)</p>	ผู้รับผิดชอบลุ่มน้ำ
๓.	 <p>เลือกสถานี่วัดปริมาณน้ำฝน น้ำท่า และรวบรวมข้อมูล</p>	๓ ชั่วโมง	<p>๑. เลือกสถานี่วัดปริมาณน้ำฝนและน้ำท่าที่มีอิทธิพลต่อสถานี่ที่จะทำการคาดการณ์</p>	<p>- การตรวจวัดและเก็บข้อมูลของสถานี่มีระยะเวลายาวนานต่อเนื่องและข้อมูลไม่ขาดหาย</p>	ผู้รับผิดชอบลุ่มน้ำ

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๔.		๖ ชั่วโมง	๑. ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนก่อนนำไปใช้ในการประเมินน้ำทำด้วยวิธี Double Mass Curve เพื่อเลือกข้อมูลที่มีความถูกต้อง	- กราฟที่พล็อตจะต้องเป็นเส้นตรงที่มีความลาดชันเดียวกัน	ผู้รับผิดชอบกลุ่มน้ำ
๕.		๖ ชั่วโมง	๑. สร้างชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่ารายวัน สำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับแบบจำลอง ตามช่วงเวลาที่ต้องการใช้ในการวิเคราะห์	- ชุดข้อมูลอยู่ในรูปแบบ Time Series บนไฟล์ .dss สำหรับนำเข้าแบบจำลอง HEC-HMS	ผู้รับผิดชอบกลุ่มน้ำ
๖.		๑ ชั่วโมง	๑. เลือกใช้แบบจำลอง และกำหนดพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองคำนวณปริมาณน้ำท่า (Runoff-volume model) ๒. เลือกใช้แบบจำลอง และกำหนดพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองปริมาณน้ำท่าโดยตรง (Direct-Runoff model) ๓. เลือกใช้แบบจำลอง และกำหนดพารามิเตอร์สำหรับแบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow model)	- ตรวจสอบความถูกต้องค่า Parameter เป็นไปตามค่าที่ยอมรับได้ อยู่ในช่วงตามข้อกำหนดในแต่ละพารามิเตอร์	ผู้รับผิดชอบกลุ่มน้ำ

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๗.	<pre> graph TD     Start(( )) --&gt; Calibrate{สอบเทียบแบบจำลอง (Model Calibration)}     Calibrate -- No --&gt; Start     Calibrate -- Yes --&gt; Verify[ตรวจพิสูจน์ค่าที่ได้จากแบบจำลอง (Model Verification)]     Verify --&gt; End(( ))           </pre>	๒ ชั่วโมง	๑. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดย Simulation run ๒. นำผลลัพธ์กราฟน้ำท่าเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ๓. ตรวจสอบความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยวิธีการทางสถิติ Correlation Coefficient (r) และ Root Mean Square Error (RMSE)	- ค่า Parameter เป็นไปตามค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงตามข้อจำกัดในแต่ละพารามิเตอร์ - ค่า r มีค่ามากกว่า ๐.๗ - ค่า RMSE มีค่าเข้าใกล้ ๐	ผู้รับผิดชอบกลุ่มน้ำ
๘.	<pre> graph TD     Start(( )) --&gt; Verify[ตรวจพิสูจน์ค่าที่ได้จากแบบจำลอง (Model Verification)]     Verify --&gt; End(( ))           </pre>	๒ ชั่วโมง	๑. นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองมาประยุกต์ใช้กับเหตุการณ์อื่น ๒. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดย Simulation run ๓. นำผลลัพธ์กราฟน้ำท่าเปรียบเทียบกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ๔. ตรวจสอบความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าโดยวิธีการทางสถิติ Correlation Coefficient (r) และ Root Mean Square Error (RMSE)	- ค่า r มีค่ามากกว่า ๐.๗ - ค่า RMSE มีค่าเข้าใกล้ ๐	ผู้รับผิดชอบกลุ่มน้ำ

ลำดับ	ผังกระบวนการ	ระยะเวลา	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ผู้รับผิดชอบ
๙.		๒ ชั่วโมง	๑. นำค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมมาใช้ในการพยากรณ์น้ำท่าล่วงหน้า ๒. ประยุกต์ใช้แบบจำลอง โดย Compute Forecast Alternative	- ค่าพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าใกล้เคียงค่าจริง	ผู้รับผิดชอบลุ่มน้ำ
๑๐.		๓๐ นาที	๑. จัดทำกราฟน้ำท่าเปรียบเทียบระหว่างค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด	- การเผยแพร่ผลการคาดการณ์	ผู้รับผิดชอบลุ่มน้ำ

## ๖. ขั้นตอนการปฏิบัติงาน

### ๖.๑ การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง HEC-HMS

#### ๖.๑.๑ กำหนดสถานที่ที่จะทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำล้นหน้า ตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

๖.๑.๑.๑ เป็นสถานที่ที่มีความสำคัญและเป็นตัวแทนของกลุ่มน้ำ มีความมั่นคงในเรื่องตำแหน่งที่ตั้ง มีการจัดเก็บต่อเนื่อง และมีช่วงระยะเวลาการเก็บข้อมูลที่ยาวนาน

๖.๑.๑.๒ เป็นสถานที่ที่เป็นสถานีเตือนภัยในเขตเมือง และชุมชน หรือเป็นจุดออกของกลุ่มน้ำสำหรับการประเมินสถานการณ์น้ำ

#### ๖.๑.๒ วิเคราะห์ข้อมูลทางกายภาพของกลุ่มน้ำบริเวณที่ศึกษา

๖.๑.๒.๑ ประเมินลักษณะภูมิประเทศ และขนาดพื้นที่รับน้ำของพื้นที่ศึกษา

๖.๑.๒.๒ เลือกสถานีวัดปริมาณน้ำท่าและสถานีวัดปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมในขอบเขตลุ่มน้ำที่ศึกษาและข้างเคียง

- สถานีวัดปริมาณน้ำท่าที่เลือกใช้ต้องเป็นสถานีที่อยู่ต้นน้ำ หรืออยู่บนลำน้ำสาขาที่จะไหลรวมไปยังสถานีที่จะทำการพยากรณ์ปริมาณน้ำล้นหน้า

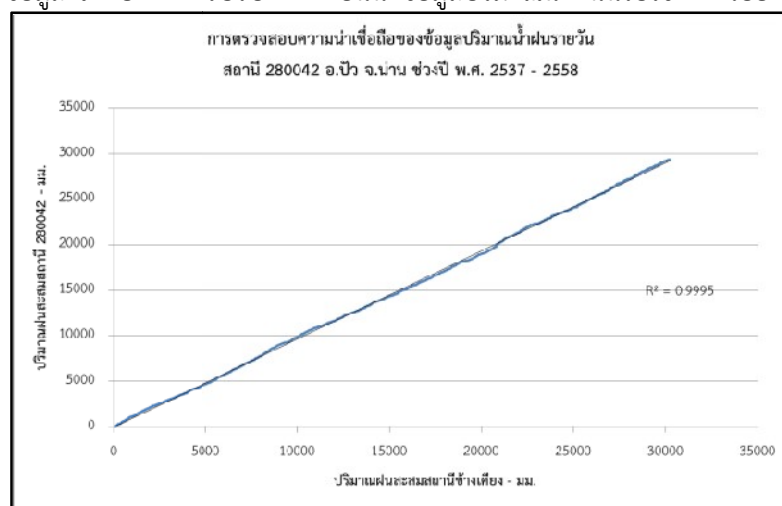
- สถานีวัดปริมาณน้ำฝนที่เลือกใช้ต้องเป็นสถานีที่อยู่ในขอบเขตลุ่มน้ำที่ศึกษาหรือพื้นที่ข้างเคียงที่ไม่ห่างไกลจนเกินไป

#### ๖.๑.๓ รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำฝนรายวัน

๖.๑.๓.๑ รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันของตามสถานีที่เลือกใช้ ตั้งแต่ปีที่ทำการตรวจวัดจนถึงปัจจุบัน

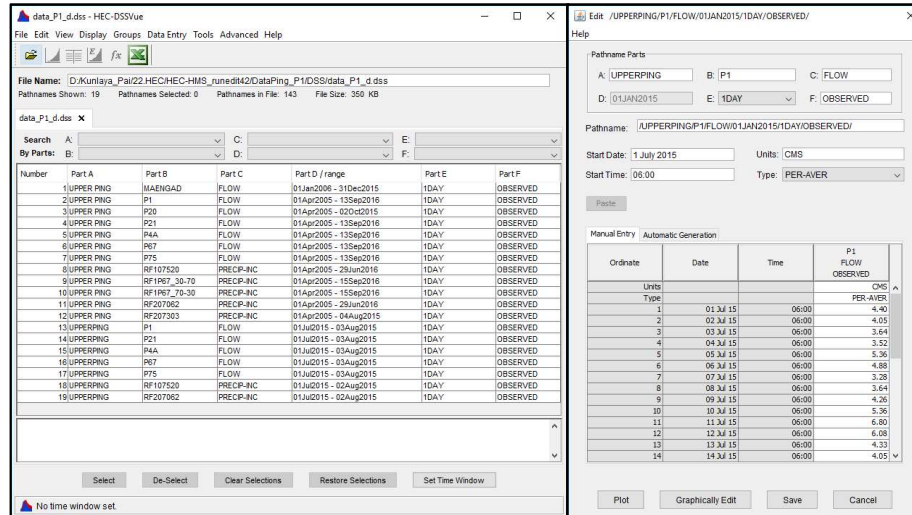
๖.๑.๓.๒ รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันจากสถานีที่เลือกใช้ ตั้งแต่ปีที่ทำการตรวจวัดจนถึงปัจจุบัน และตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลปริมาณน้ำฝนด้วยวิธี Double Mass Curve

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลปริมาณน้ำฝนด้วยวิธี Double Mass Curve เป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนก่อนนำไปใช้ในการประเมินน้ำท่า โดยการพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนของสถานีที่ต้องการตรวจสอบกับค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝนสะสมของกลุ่มสถานีข้างเคียง กราฟที่พล็อตได้จะเป็นเส้นตรงที่มีความลาดชันเดียวกัน หากมีการเปลี่ยนแปลงความลาดเทแสดงถึงความผิดปกติของข้อมูล จะต้องทำการปรับแก้ค่าก่อนนำข้อมูลปริมาณน้ำฝนนี้ไปใช้ ดังตัวอย่าง



ภาพที่ ๑ ตัวอย่างการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวัน

๖.๑.๔ สร้างชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำฝนรายวันที่ได้จากการตรวจวัดเพื่อนำเข้าแบบจำลอง โดยจัดข้อมูลของแต่ละสถานีที่เลือกใช้ให้อยู่ในรูปแบบ Time Series และสร้างชุดข้อมูล DSS File

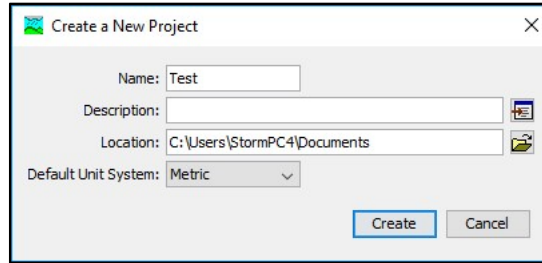


ภาพที่ ๒ รูปแบบข้อมูล DSS File

๖.๒. การสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS และการแสดงผล

๖.๒.๑ สร้าง Project เพื่อใช้ในการคำนวณแบบจำลอง

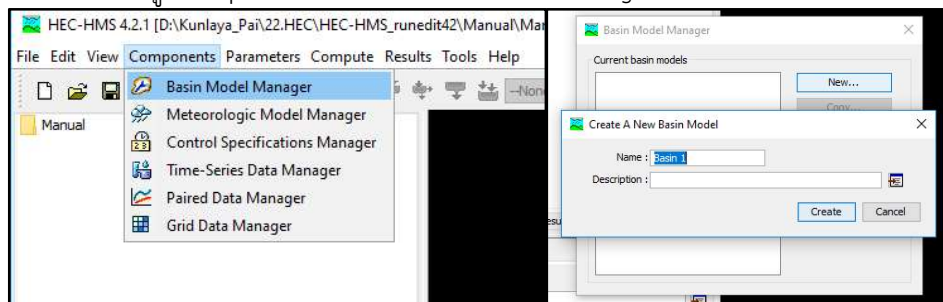
๖.๒.๑.๑ สร้าง “New Project”



ภาพที่ ๓ การสร้าง “New Project”

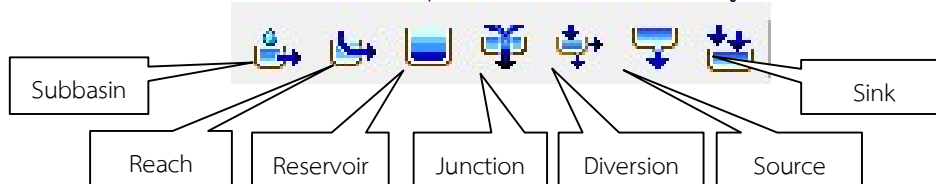
๖.๒.๑.๒ สร้าง “Basin model”

คลิกเมนู Components เลือก Basin Model Manager

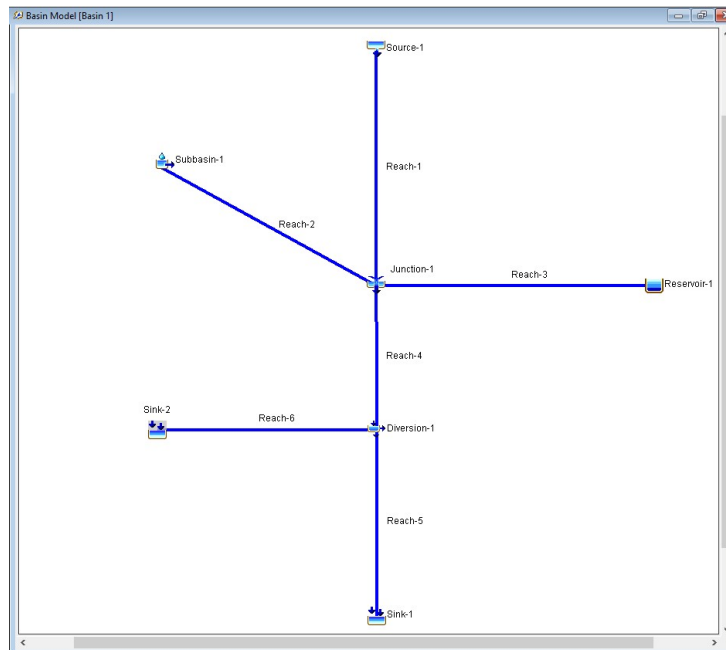


ภาพที่ ๔ การสร้าง “Basinmodel”

๖.๒.๑.๓ ใส่องค์ประกอบของกลุ่มน้ำ โดยเลือกได้จากแถบเมนูหลัก ประกอบด้วย





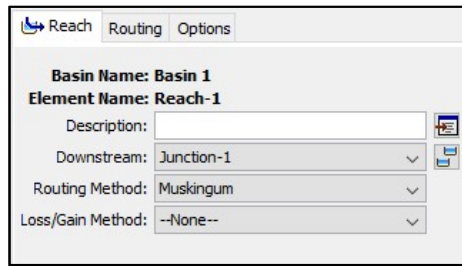


ภาพที่ ๕ องค์ประกอบของกลุ่มน้ำ

- Subbasin: เป็นเครื่องมือในการสร้างลุ่มน้ำย่อยที่คำนวณปริมาณน้ำท่าจากข้อมูลปริมาณน้ำฝน และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ ประกอบ ผ่านกระบวนการ “losses” โดยแบบจำลองคำนวณปริมาณน้ำท่า “transform” โดยแบบจำลองปริมาณน้ำท่าโดยตรง และ “baseflow” โดยแบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐานเมื่อสร้าง Subbasin ลงบนพื้นที่ว่างแล้วกรอกขนาดพื้นที่รับน้ำของกลุ่มน้ำย่อย กำหนดจุดรับทำยนน้ำ และเลือกแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละส่วน และกรอกค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลองให้ครบถ้วน

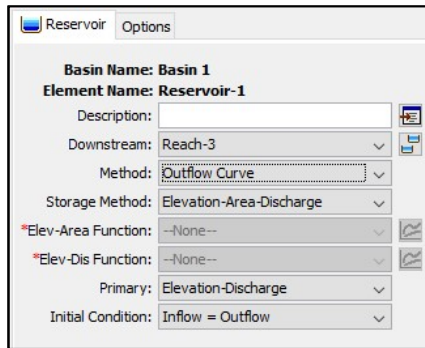
ภาพที่ ๖ รายละเอียดของ Subbasin element

- Reach: เป็นเครื่องมือเชื่อมโยงการเดินทางของน้ำจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง โดยมีการไหลเข้า (inflow) จากหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งแหล่ง และการไหลออก (outflow) เพียงทางเดียวเท่านั้น ปริมาณน้ำไหลออกคำนวณโดยใช้แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำและเลือกแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณที่เมนู Routing Method และกรอกค่าพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลองให้ครบถ้วน



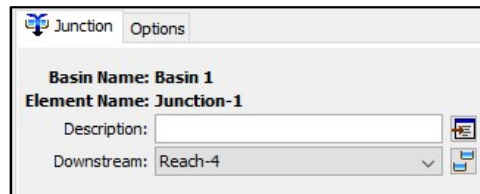
ภาพที่ ๗ รายละเอียดของ Reach element

- Reservoir: เป็นเครื่องมือในการจำลองสภาพน้ำในอ่างเก็บน้ำเป็นระดับน้ำ โดยใช้แนวคิดแสดงถึงลักษณะน้ำในทะเลสาบ หรือน้ำในอ่างเก็บน้ำเหนือแนวสันเขื่อนวิธีการคำนวณการไหลมี ๓ วิธี คือ วิธีความสัมพันธ์การกักเก็บและการไหลออก (Storage-outflow relationship), วิธีกำหนดการระบายน้ำ และคำนวณปริมาตรเก็บกัก และวิธีใช้ Outflow curve ของห้วงงานนั้น ๆ ซึ่งในบางวิธีจะต้องการข้อมูลน้ำเข้าเพิ่มเติม เช่น โค้งความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับพื้นที่ผิวน้ำภายในอ่างเก็บน้ำ โค้งความสัมพันธ์ระหว่างความสูงพื้นที่กับความจุอ่างเก็บน้ำ เป็นต้น



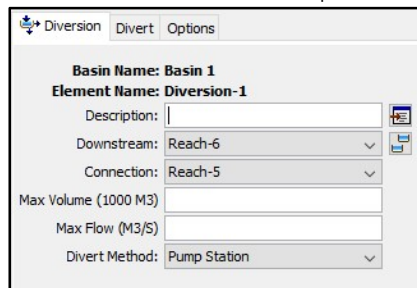
ภาพที่ ๘ รายละเอียดของ Reservoir element

- Junction: เป็นเครื่องมือที่ใช้แทนสบน้ำ เป็นเพียงตัวเชื่อมเท่านั้น ไม่มีการใส่ข้อมูลหรือวิธีการคำนวณในส่วนนี้



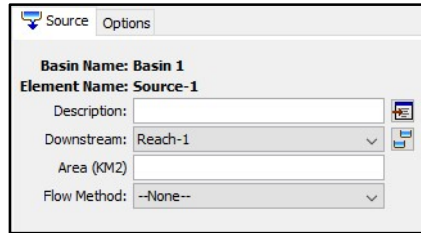
ภาพที่ ๙ รายละเอียดของ Junction element

- Diversion: เป็นเครื่องมือในการจำลองการผันน้ำ หรือแบ่งน้ำออกเป็น ๒ ทาง เป็นตัวแทนของฝาย หรือสถานีสูบน้ำ ในการผันน้ำไปยังคลองส่งน้ำ หรือแหล่งเก็บน้ำอื่น วิธีการคำนวณการผันมี ๕ วิธี คือ Constant Flow, Inflow Function, Lateral Weir, Pump Station และ Specified Flow



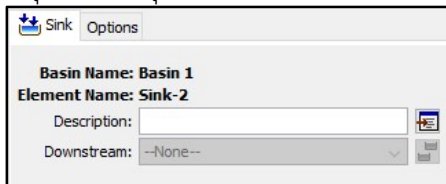
ภาพที่ ๑๐ รายละเอียดของ Diversion element

- Source: เป็นเครื่องมือที่แทนแหล่งน้ำ ที่ไม่มีการเข้า มีเพียงการไหลออกหนึ่งทาง และสามารถใส่ Source แทนเงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) เพื่อใช้กับแบบจำลองลุ่มน้ำ เช่น ผลการตรวจวัดปริมาณการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำ หรือปริมาณน้ำท่าจากสถานีเหนือน้ำ



ภาพที่ ๑๑ รายละเอียดของ Source element

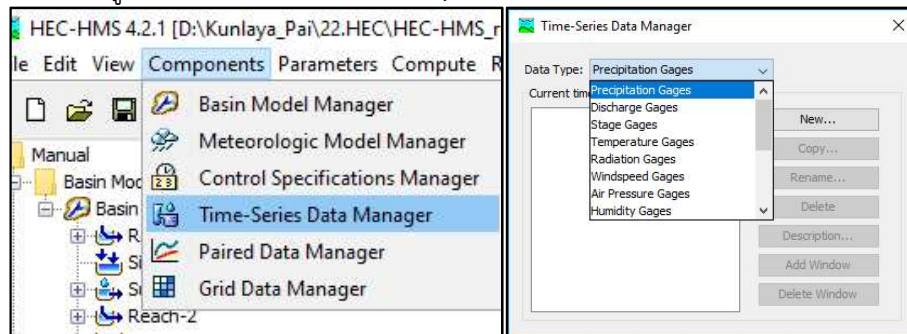
- Sink: เป็นเครื่องมือที่เป็นตัวแทนของจุดออกลุ่มน้ำ (outlet) มีเพียงการไหลเข้าจากหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งแหล่ง โดยจุดนี้จะเป็นจุดรวมปริมาณน้ำทั้งหมด



ภาพที่ ๑๒ รายละเอียดของ Sink element

#### ๖.๒.๑.๔ สร้าง “Time Series”

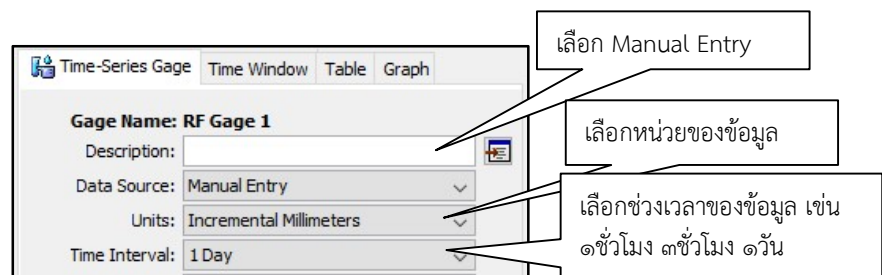
เพื่อนำเข้าข้อมูลนำเข้าที่จำเป็นในรูปแบบ Time Series data สำหรับแบบจำลอง เช่น ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลระดับน้ำ เป็นต้น โดยเลือกตาม Data Type ที่แตกต่างกัน โดยสามารถนำเข้าข้อมูลได้ ๒ แบบ คือ Manual Entry และ Record HEC-HMS



ภาพที่ ๑๓ การสร้าง Time Series

- คลิกเมนู Components เลือก Time-Series Data Manager
- การนำเข้าข้อมูลแบบ Manual Entry

Time-Series Gage: กรอกข้อมูลเบื้องต้นของข้อมูลดังภาพที่ ๑๔



ภาพที่ ๑๔ รายละเอียด Time Series Gage แบบ Manual Entry

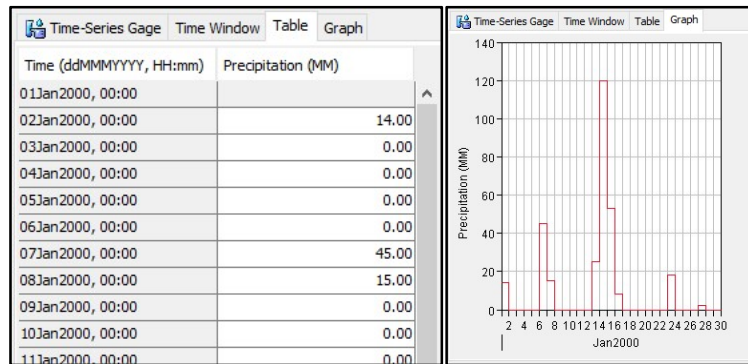
Time Window: กรอกวันเวลาเริ่มต้น และวันเวลาสิ้นสุดของข้อมูล

The screenshot shows the 'Time Window' tab for 'RF Gage 1'. It contains four input fields:
 

- \*Start Date (ddMMYYYY): 01Jan2000
- \*Start Time (HH:mm): 00:00
- \*End Date (ddMMYYYY): 30Jan2000
- \*End Time (HH:mm): 00:00

ภาพที่ ๑๕ รายละเอียด Time Window

Table และ Graph: กรอกข้อมูลให้ตรงตามวันและเวลาของข้อมูล และสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟได้ในแท็บ Graph



ภาพที่ ๑๖ การนำเข้าข้อมูลและการแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟ

- การนำเข้าข้อมูลแบบ Record HEC-HMS

Time-Series Gage: กรอกข้อมูลเบื้องต้นของข้อมูลดังภาพที่ ๑๗

The screenshot shows the 'Time-Series Gage' configuration for 'Q Gage 1'. It includes fields for Description, Data Source, DSS Filename, DSS Pathname, Units, and Time Interval. Three callout boxes point to specific settings:
 

- 'เลือก Single Record HEC-DSS' points to the Data Source field.
- 'เลือกไฟล์ข้อมูล \*.dss' points to the DSS Filename field.
- 'เลือกชั้นข้อมูลที่ใช้' points to the DSS Pathname field.

ภาพที่ ๑๗ รายละเอียด Time Series Gage

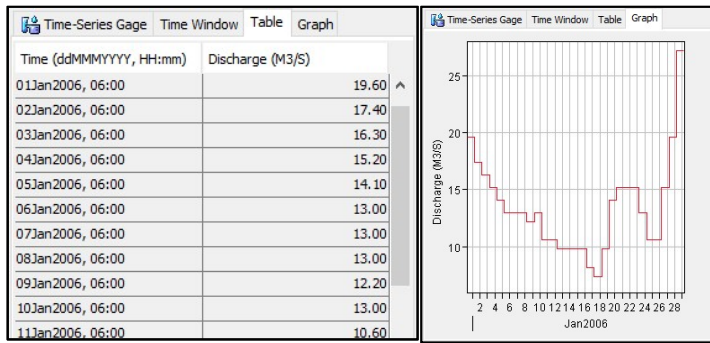
Time Window: กรอกวันเวลาเริ่มต้น และวันเวลาสิ้นสุดของข้อมูล

The screenshot shows the 'Time Window' tab for 'Q Gage 1'. It contains four input fields:
 

- \*Start Date (ddMMYYYY): 01Jan2006
- \*Start Time (HH:mm): 00:00
- \*End Date (ddMMYYYY): 30Jan2006
- \*End Time (HH:mm): 00:00

ภาพที่ ๑๘ รายละเอียด Time Window

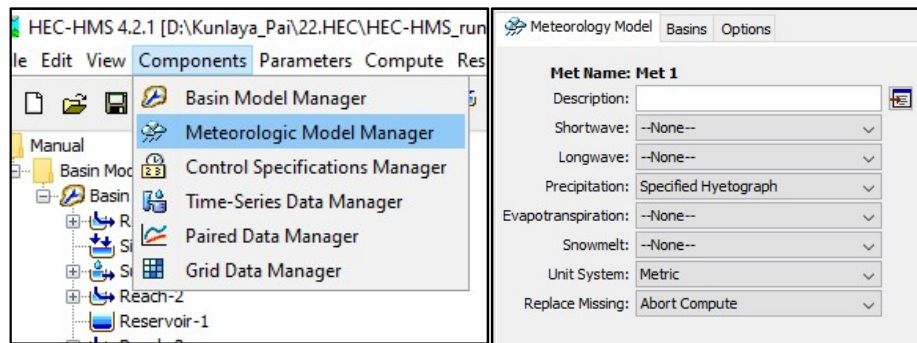
Table และ Graph: แสดงข้อมูลตามวันและเวลาของข้อมูล และสามารถแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟได้ในแท็บ Graph



ภาพที่ ๑๙ การแสดงข้อมูลในรูปแบบ Time Series และกราฟ

๖.๒.๑.๕ สร้าง “Meteorology model”

เพื่อเตรียมเงื่อนไขทางอุทกนิยมหาวิทยาลัยสำหรับใช้กับ Subbasin ประกอบด้วย  
เงื่อนไขทาง ปริมาณน้ำฝน การระเหย และการละลายของหิมะ

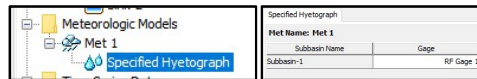


ภาพที่ ๒๐ การสร้าง Meteorology

- คลิกเมนู Components เลือก Meteorologic Model Manager
- เลือก Basin model โดยเลือก “Yes” ท้ายชื่อ Basin modelที่สามารถนำ Meteorology model นี้ได้
- เลือกวิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝน จากเมนู Precipitation ตามภาพที่ ๒๐ มีให้เลือกใช้ทั้งหมด ๘ วิธี ดังนี้

วิธีการคำนวณปริมาณน้ำฝน	รายละเอียด
Frequency storm	ปรับใช้กับเหตุการณ์น้ำที่มีความลึกสำหรับช่วงเวลาต่างๆในพายุฝนหนักสม่ำเสมอ
Gage weights	สามารถกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักให้กับแต่ละสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝนได้เอง
Gridded precipitation	รองรับการใช้งานปริมาณน้ำฝนในรูปแบบกริด เช่น NEXRAD radar และข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีตรวจวัดที่ได้แปลงเป็นรูปแบบกริดแล้ว
HMR ๕๒	ใช้กับปริมาณน้ำฝนสูงสุดที่เป็นไปได้ (PMP)
Inverse distance	ใช้วิธี IDW ในการคิดปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย
SCS storm	ใช้การกำหนดการกระจายค่าปริมาณน้ำฝนตามเวลาตามรูปแบบที่กำหนดได้
Specified hyetograph	ประยุกต์ใช้กราฟปริมาณน้ำฝนของแต่ละลุ่มน้ำย่อย
Standard project storm	ใช้การแจกกระจายเวลาเป็นดัชนีในการคำนวณความลึกน้ำฝน

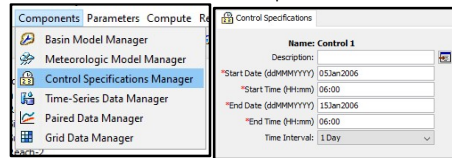
- กรอกรายละเอียดตามทีวธีการต่างๆ ต้องการแตกต่างกันไป ยกตัวอย่างเช่น เลือกใช้  
วิธีการ Specified Hyetograph



ภาพที่ ๒๑ การกรอกรายละเอียดของวิธีการ Specified Hyetograph

### ๖.๒.๑.๖ สร้าง “Control Specifications”

เพื่อกำหนดวันเวลาเริ่มต้นและวันเวลาสิ้นสุดการคำนวณโดยแบบจำลอง



ภาพที่ ๒๒ การสร้าง Control Specifications

- คลิกเมนู Components เลือก Control Specifications Manager
- กรอกวันเวลาเริ่มต้น และวันเวลาสิ้นสุดการคำนวณโดยแบบจำลอง
- กรอกช่วงเวลา (Time Interval) เช่น ๑ ชั่วโมง ๖ ชั่วโมง ๑ วัน เป็นต้น

### ๖.๒.๒ เลือกใช้แบบจำลอง และกำหนดพารามิเตอร์

๖.๒.๒.๑ เลือกใช้แบบจำลองในแต่ละกระบวนการเกิดน้ำท่าทั้ง ๔ แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองคำนวณปริมาณน้ำท่า (Runoff-volume models) แบบจำลองปริมาณน้ำท่าโดยตรง (Direct-runoff models) แบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow models) และแบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (Routing models) ดังที่กล่าวไว้ในหลักการทำงานแบบจำลอง HEC-HMS สามารถเลือกใช้ได้ตามการจำแนกประเภทดังต่อไปนี้

ประเภท	รายละเอียด
Event หรือ Continuous	Event เป็นการจำลองเหตุการณ์เดี่ยว โดยช่วงเวลาของเหตุการณ์จะเป็นช่วงสั้นๆ Continuous เป็นการจำลองเหตุการณ์ต่อเนื่อง ช่วงเวลายาวๆ จำลองทั้งในแต่ละเหตุการณ์และช่วงเวลาระหว่างเหตุการณ์ด้วย
Lumped หรือ Distributed	Lumped เป็นการจำลองโดยไม่ได้คำนึงถึงความหลากหลายเชิงพื้นที่ ซึ่งความหลากหลายเชิงพื้นที่จะถูกคิดแบบเฉลี่ย Distributed เป็นการจำลองโดยพิจารณาแจกกระจายเชิงพื้นที่ ในแบบจำลอง HEC-HMS ใช้แบบ Lumped เป็นหลัก โดยมีเพียง ModClark เท่านั้นที่เป็นแบบ Distributed
Empirical หรือ Conceptual	Empirical เป็นการจำลองเชิงประจักษ์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงน้ำฝนเป็นน้ำท่า Conceptual เป็นการจำลองบนพื้นฐานของทฤษฎี และสืกลงไปในกระบวนการตามทฤษฎีเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมา
Measured-parameter หรือ Fitted-parameter	Measured-parameter เป็นแบบจำลองที่ค่าพารามิเตอร์ได้จากการตรวจวัดทางตรงหรือทางอ้อม Fitted-parameter เป็นแบบจำลองที่ค่าพารามิเตอร์ไม่ได้จากการตรวจวัด (ไม่สามารถตรวจวัดได้) ต้องปรับค่าจนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสม

๖.๒.๒.๒ การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ต้องเติมค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นให้ครบหลังจากที่ได้เลือกใช้แบบจำลองแล้ว โดยค่าพารามิเตอร์ต้องอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยมีข้อจำกัดดังตารางต่อไปนี้

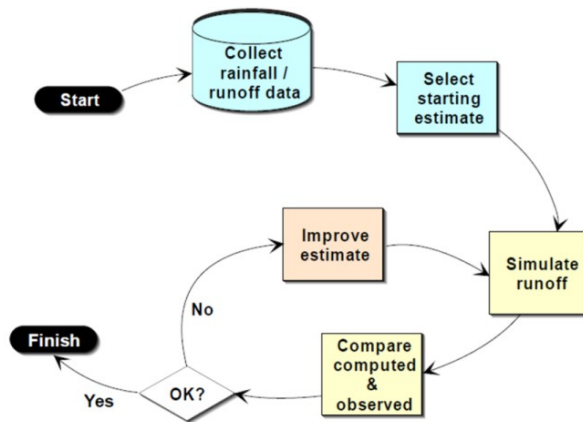
ตารางแสดงข้อจำกัดของพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับการสอบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS

Model	Parameter	Minimum	Maximum
Initial and constant rate loss	Initial loss	๐ mm	๕๐๐ mm
	Constant loss rate	๐ mm/hr	๓๐๐ mm/hr
SCS loss	Initial abstraction	๐ mm	๕๐๐ mm
	Curve number	๑	๑๐๐
Green and Ampt loss	Moisture deficit	๐	๑
	Hydraulic conductivity	๐ mm/mm	๒๕๐ mm/mm
	Wetting front suction	๐ mm	๑๐๐๐ mm
Deficit and constant rate loss	Initial deficit	๐ mm	๕๐๐ mm
	Maximum deficit	๐ mm	๕๐๐ mm
	Deficit recovery factor	๐.๑	๕
Clark's UH	Time of concentration	๐.๑ hr	๕๐๐ hr
	Storage coefficient	๐ hr	๑๕๐ hr
Snyder's UH	Lag	๐.๑ hr	๕๐๐ hr
	Cp	๐.๑	๑.๐
Kinematic wave	Lag	๐.๑ min	๓๐๐๐๐ min
Baseflow	Manning's n	๐	๑
	Initial baseflow	๐ m <sup>m</sup> /s	๑๐๐๐๐๐ m <sup>m</sup> /s
	Recession factor	๐.๐๐๐๐๑๑	-
Muskingum routing	K	๐.๑ hr	๑๕๐ hr
	X	๐	๐.๕
	Number of steps	๑	๑๐๐
Kinematic wave routing	N-value factor	๐.๐๑	๑๐
Lag routing	Lag	๐ min	๓๐๐๐๐ min

ที่มา: Hydrologic Engineering Center (๒๐๐๐)

### ๖.๒.๓ สอบเทียบแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลองเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการได้พารามิเตอร์ (แบบตรวจวัดไม่ได้) ที่เหมาะสมเป็นตัวแทนของพื้นที่ศึกษาได้ โดยปกติทำได้โดยวิธีการลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนกว่าจะได้ค่าที่เหมาะสมมีขั้นตอนดังภาพที่ ๒๓ ค่าเริ่มต้นเป็นค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงตามข้อจำกัดในแต่ละพารามิเตอร์ของแบบจำลองตามตารางแสดงข้อจำกัดของพารามิเตอร์ต่างๆ



ภาพที่ ๒๓ ขั้นตอนการสอบเทียบ

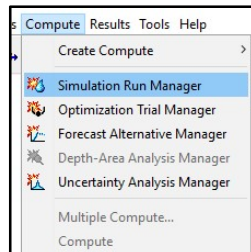
ที่มา: Hydrologic Engineering Center (๒๐๐๐)

๖.๒.๓.๑ Collect rainfall / runoff data: เลือกข้อมูลน้ำฝน-น้ำท่าที่จะใช้สำหรับการจำลอง

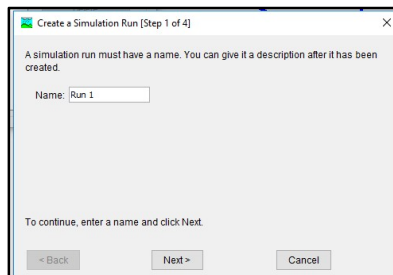
๖.๒.๓.๒ Select starting estimate: เลือกใช้แบบจำลอง และสมมุติค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น โดยเป็นค่าที่ยอมรับได้อยู่ในช่วงตามข้อกำหนดในแต่ละพารามิเตอร์

๖.๒.๓.๓ Simulate runoff: ประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นกราฟน้ำท่า

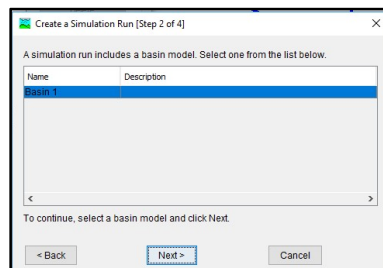
- คลิกเมนู Compute เลือก Simulation Run Manager



- ตั้งชื่อชุดการจำลอง

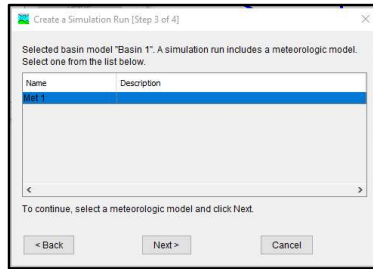


- เลือก Basin model

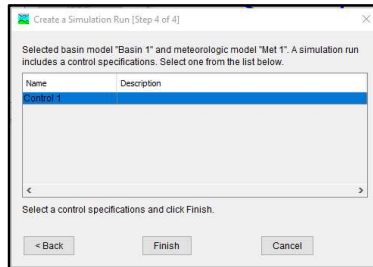




- เลือก Meteorology model



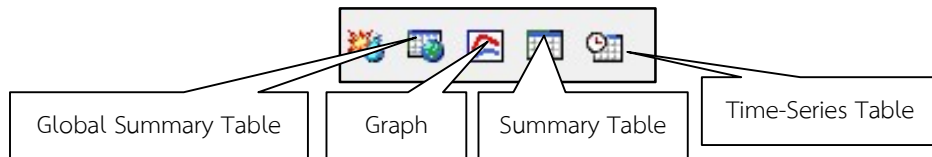
- เลือก Control Specifications และ Finish เมื่อเลือกครบแล้ว



- เลือกชุดการจำลองที่ได้สร้างไว้ และคลิก “Compute current run” เพื่อคำนวณแบบจำลอง



๖.๒.๓.๔ แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณแบบจำลอง



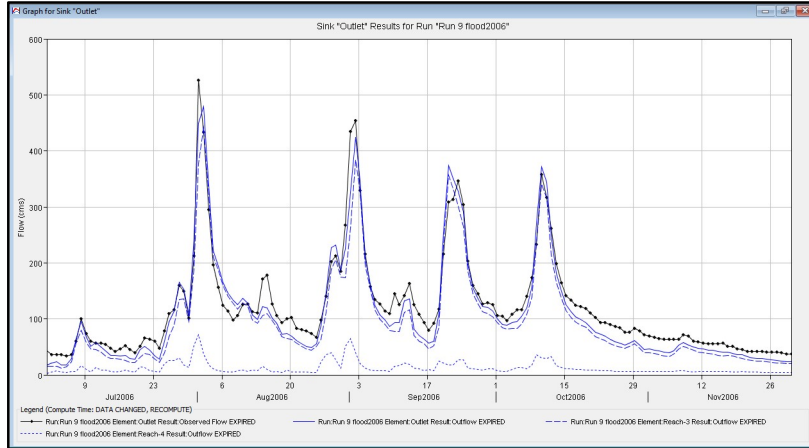
- Global Summary Table

ภาพรวมของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง ของทุกๆ องค์ประกอบในลุ่มน้ำ (Basin model) แสดงข้อมูลหลักๆ ได้แก่ ช่วงเวลาในการคำนวณ อัตราการไหลสูงสุด เวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด และปริมาณน้ำท่า ของแต่ละองค์ประกอบ

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
P75	3080	216.3	02Sep2006, 06:00	205.66
Reach-1	3080	214.4	02Sep2006, 06:00	205.85
P4A	1930	172.0	01Aug2006, 06:00	225.10
Reach-2	1930	176.9	01Aug2006, 06:00	225.06
RF1	313	80.3	01Aug2006, 06:00	681.99
P67	5323	428.6	02Aug2006, 06:00	240.81
Reach-3	5323	441.4	02Aug2006, 06:00	240.79
P21	452	70.1	01Aug2006, 06:00	357.15
Reach-4	452	71.5	01Aug2006, 06:00	357.15
Outlet	5775	478.8	02Aug2006, 06:00	249.90

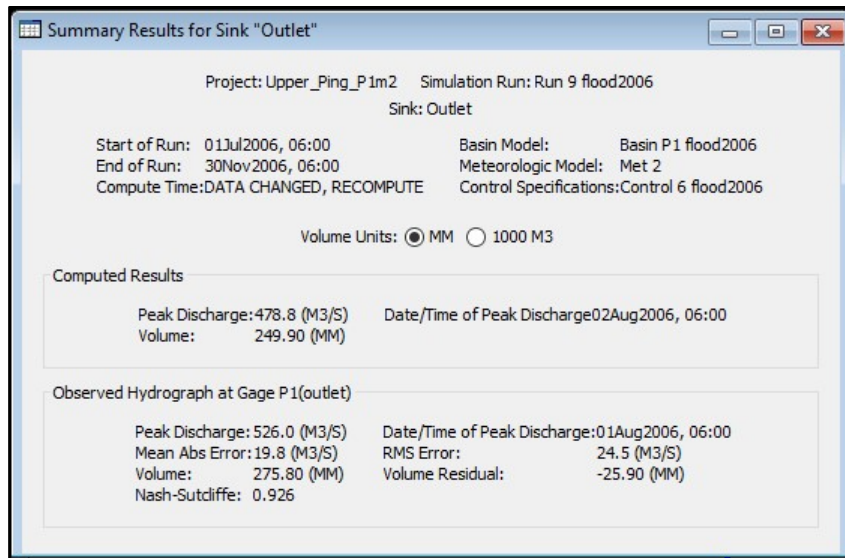
- Graph

แสดงอัตราการไหลในรูปแบบกราฟ โดยแสดงได้ที่ละจุดองค์ประกอบ ในกราฟประกอบด้วยอัตราการไหล ณ จุดที่ต้องการแสดงที่ได้จากการคำนวณ อัตราการไหลขององค์ประกอบที่ส่งผลกระทบต่อจุดที่ต้องการแสดง และสามารถใส่ข้อมูลจากการตรวจวัดเข้าไปเปรียบเทียบ เพื่อช่วยในการสอบเทียบผลลัพธ์ด้วยสายตา



- Summary Table

แสดงข้อมูลสรุปผลลัพธ์จากการคำนวณแบบจำลอง ณ จุดที่ต้องการทราบค่า ประกอบด้วยข้อมูลอัตราการไหลสูงสุด เวลาที่เกิดอัตราการไหลสูงสุด ปริมาณน้ำท่า ที่ได้จากการคำนวณ และที่ได้จากการตรวจวัดจริง และค่าความถูกต้องตามเกณฑ์ Mean Abs Error, RMSE และ Nash-Sutcliffe



- Time-Series Table

แสดงผลลัพธ์จากการคำนวณแบบจำลองในรูปแบบตารางเวลา แสดงข้อมูลเดียวกันกับข้อมูลที่แสดงในรูปแบบกราฟ (Graph) แต่นำมาแสดงในรูปแบบตัวเลขตามเวลาของผลลัพธ์

Time-Series Results for Sink "Outlet"

Project: Upper\_Ping\_P1m2 Simulation Run: Run 9 flood2006  
Sink: Outlet

Start of Run: 01Jul2006, 06:00 Basin Model: Basin P1 flood2006  
End of Run: 30Nov2006, 06:00 Meteorologic Model: Met 2  
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 6 flood2006

Date	Time	Inflow from Reach-3 (M3/S)	Inflow from Reach-4 (M3/S)	Total Inflow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
01Jul2006	06:00	15.1	3.2	18.3	43.5
02Jul2006	06:00	15.9	5.2	21.2	36.0
03Jul2006	06:00	15.9	7.6	23.4	36.0
04Jul2006	06:00	12.6	5.1	17.7	36.0
05Jul2006	06:00	14.5	3.5	18.0	33.6
06Jul2006	06:00	23.3	6.0	29.3	36.0
07Jul2006	06:00	56.8	6.6	63.4	60.0
08Jul2006	06:00	79.9	16.2	96.1	99.8
09Jul2006	06:00	58.3	9.8	68.2	73.5
10Jul2006	06:00	45.9	5.1	50.9	60.0
11Jul2006	06:00	45.3	12.9	58.2	57.0
12Jul2006	06:00	40.7	8.6	49.3	57.0
13Jul2006	06:00	34.2	8.8	43.1	54.0
14Jul2006	06:00	28.8	5.8	34.7	48.0
15Jul2006	06:00	28.9	5.6	34.5	42.0
16Jul2006	06:00	27.6	6.4	34.0	46.5
17Jul2006	06:00	25.8	8.7	34.5	52.5
18Jul2006	06:00	22.8	6.5	29.3	45.0
19Jul2006	06:00	22.6	4.9	27.5	39.6
20Jul2006	06:00	31.5	14.0	45.5	51.0
21Jul2006	06:00	38.2	12.7	50.9	66.0
22Jul2006	06:00	36.5	7.3	43.8	63.0
23Jul2006	06:00	27.7	6.7	34.0	60.0

๖.๒.๓.๕ Compare computed and observed: เปรียบเทียบผลกับกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด

- หากผลลัพธ์ยังไม่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจนเป็นที่น่าพอใจ ทำการปรับค่าพารามิเตอร์แล้วทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง และสังเกตผลลัพธ์ได้อีกครั้ง
- หากได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการตรวจพิสูจน์ต่อไป

แบบจำลอง HEC-HMS มี Objective function เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ มีทั้งหมด ๘ ฟังก์ชัน ได้แก่ RMS error function (Root Mean Square Error), Peak-weighted RMS error function, RMS log error function, Sum of squared residuals function, Sum of absolute residuals function, Percent error in peak flow value, Percent error in volume function และ Time-weighted function

ในการศึกษากราฟน้ำท่าในลักษณะเหตุการณ์เดี่ยว เพื่อใช้ในการคาดการณ์น้ำในสถานการณ์น้ำมาก การเข้ากันของอัตราการไหลสูงสุดมีความสำคัญ จึงเลือกใช้ Peak-weighted RMS error function ในการสอบเทียบแบบจำลอง ซึ่งเป็นการประยุกต์จาก Root Mean Square Error โดยให้ค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นสำหรับอัตราการไหลที่มากกว่าค่าเฉลี่ย และลดน้ำหนักสำหรับอัตราการไหลที่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย (Hydrologic Engineering Center, ๒๐๑๖)

#### ๖.๒.๔ ตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การตรวจพิสูจน์แบบจำลองมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของพารามิเตอร์ที่ผ่านการสอบเทียบมาแล้วโดยนำไปใช้กับเหตุการณ์อื่น ๆ เพื่อทราบถึงวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ที่ใช้ประเมินค่าปริมาณน้ำท่าที่ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนเช่นเดียวกับการสอบเทียบแบบจำลอง แต่เลือกใช้เหตุการณ์น้ำท่าที่ต่างจากเหตุการณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบ

### ๖.๒.๕ เกณฑ์การเปรียบเทียบความถูกต้องแบบจำลอง

การเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองด้วยการตรวจสอบความเข้ากันได้ดีของกราฟน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองและกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด สามารถทำได้โดยใช้ค่าทางสถิติคือ Correlation Coefficient (r) และ Root Mean Square Error (RMSE) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

๖.๒.๕.๑ Correlation Coefficient (r) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นตัวแปรทางสถิติแสดงความสัมพันธ์แบบเส้นตรงระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -๑ ถึง ๑ เมื่อค่าเท่ากับ ๑ แสดงถึงความสัมพันธ์ในทางเดียวกัน ส่วนค่าที่เท่ากับ -๑ แสดงถึงความสัมพันธ์ในทางตรงกันข้าม และค่าที่เท่ากับ ๐ แสดงว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{mi} - \bar{Q}_m)(Q_{ci} - \bar{Q}_c)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{mi} - \bar{Q}_m)^2 \sum_{i=1}^N (Q_{ci} - \bar{Q}_c)^2}}$$

โดยที่	$Q_{mi}$	= ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดที่เวลา i
	$\bar{Q}_m$	= ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด
	$Q_{ci}$	= ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองที่เวลา i
	$\bar{Q}_c$	= ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง
	$N$	= จำนวนของข้อมูล

ขั้นตอนนี้อาจนำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณแบบจำลองในรูปแบบ Time-Series ออกมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ตามสูตรดังกล่าวได้ เพื่อช่วยในการตรวจสอบและตัดสินใจในการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

๖.๒.๕.๒ Root Mean Square Error (RMSE) เป็นตัวแปรทางสถิติที่แสดงระดับความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลอง และปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด หากมีค่าเท่ากับ ๐ แสดงว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณ โดยแบบจำลองเท่ากับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

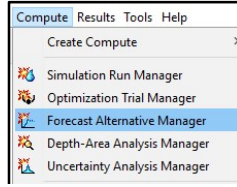
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{mi} - Q_{ci})^2}$$

ค่า RMSE นี้ สามารถตรวจสอบได้จากผลลัพธ์การคำนวณแบบจำลอง แบบ Summary Table

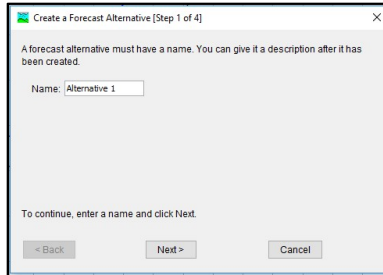
### ๖.๓ การพยากรณ์ปริมาณน้ำล้นหน้าและการแสดงผล

เมื่อสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองจนได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้นั้นมาใช้ในการพยากรณ์ปริมาณน้ำล้น

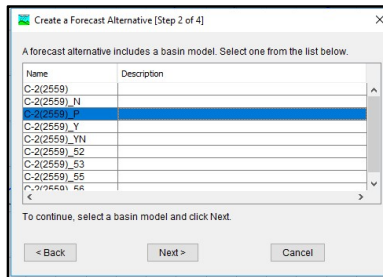
#### ๖.๓.๑ คลิกเมนู Compute เลือก Forecast Alternative Compute



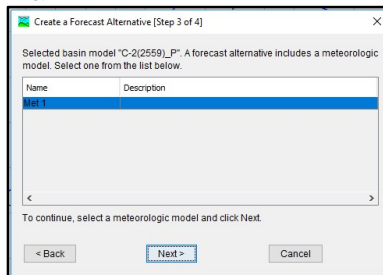
#### ๖.๓.๒ ตั้งชื่อชุดการพยากรณ์



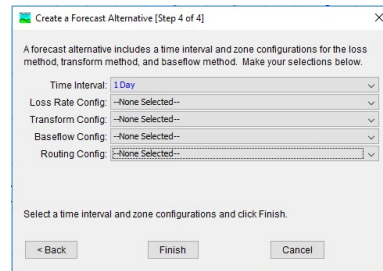
#### ๖.๓.๓ เลือก Basin model



#### ๖.๓.๔ เลือก Meteorology model

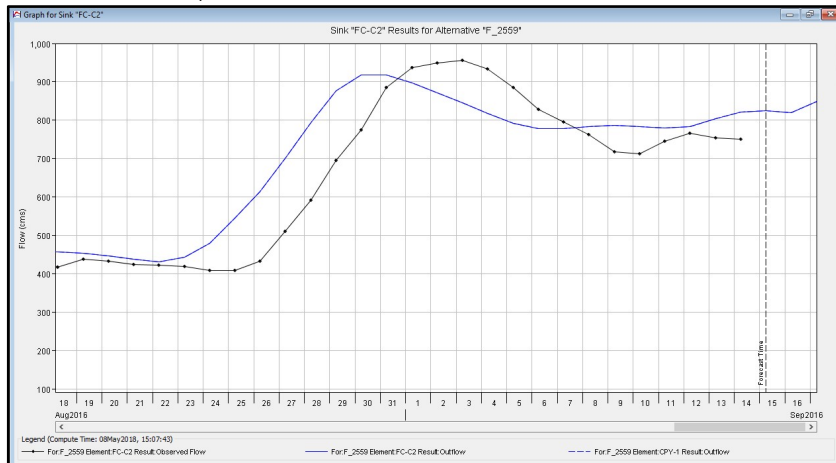


#### ๖.๓.๕ เลือกขนาดช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์ และเงื่อนไขในแต่ละแบบจำลองเพิ่มเติม



## ๖.๓.๖ แสดงผลลัพธ์การพยากรณ์ปริมาณน้ำล่งหน้า

### ๖.๓.๖.๑ Graph



### ๖.๓.๖.๒ Summary Table

Summary Results for Sink "FC-C2"	
Project: UPP_CPY Forecast Alternative: F_2559	
Sink: FC-C2	
Start of Alternative: 01Apr2016, 06:00	Basin Model: C-2(2559)
End of Alternative: 17Sep2016, 06:00	Meteorologic Model: Met 1
Compute Time: 08May2018, 15:07:43	
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
<b>Computed Results</b>	
Peak Discharge: 917.7 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 31Aug2016, 06:00
Volume: n/a	
<b>Observed Hydrograph at Gage Q2_C2</b>	
Peak Discharge: 955.6 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge: 03Sep2016, 06:00
Mean Abs Error: 63.1 (M3/S)	RMS Error: 88.7 (M3/S)
Volume: (MM)	Volume Residual: (MM)
Nash-Sutcliffe: 0.845	

### ๖.๓.๖.๓ Time-Series Table

Time-Series Results for Sink "FC-C2"				
Project: UPP_CPY Forecast Alternative: F_2559				
Sink: FC-C2				
Start of Alternative: 01Apr2016, 06:00		Basin Model: C-2(2559)		
End of Alternative: 17Sep2016, 06:00		Meteorologic Model: Met 1		
Compute Time: 08May2018, 15:07:43				
Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Total Inflow (M3/S)	Obs Flow (M3/S)
01Apr2016	06:00	146.5	146.5	143.4
02Apr2016	06:00	146.4	146.4	150.4
03Apr2016	06:00	146.2	146.2	149.0
04Apr2016	06:00	146.2	146.2	149.0
05Apr2016	06:00	146.2	146.2	150.4
06Apr2016	06:00	146.2	146.2	149.0
07Apr2016	06:00	146.3	146.3	150.4
08Apr2016	06:00	146.2	146.2	150.4
09Apr2016	06:00	145.9	145.9	151.8
10Apr2016	06:00	145.4	145.4	151.8
11Apr2016	06:00	144.5	144.5	151.8
12Apr2016	06:00	143.8	143.8	149.0
13Apr2016	06:00	143.3	143.3	144.8
14Apr2016	06:00	143.0	143.0	140.6
15Apr2016	06:00	143.4	143.4	144.8
16Apr2016	06:00	143.8	143.8	149.0
17Apr2016	06:00	144.5	144.5	153.2
18Apr2016	06:00	145.1	145.1	154.6
19Apr2016	06:00	145.2	145.2	153.2
20Apr2016	06:00	145.2	145.2	151.8

๗. ระบบติดตามประเมินผล

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
<p>๑.การจัดเตรียมข้อมูลสำหรับแบบจำลอง HEC-HMS</p>	<p>๑. การกำหนดสถานีที่จะทำการคาดการณ์ปริมาณน้ำล่องหน้าโดยต้องเป็นสถานีที่เป็นตัวแทนลุ่มน้ำ หรือเป็นสถานีเตือนภัยในเขตเมืองหรือชุมชน และสถานีปริมาณน้ำฝนต้องอยู่ภายในลุ่มน้ำ หรือพื้นที่ใกล้เคียงพื้นที่ศึกษา</p> <p>๒. รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล</p> <p>๓. รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายวันและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล</p> <p>๔. สร้างชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่า และปริมาณน้ำฝนรายวันในรูปแบบ Time Series</p>	<p>๑. ตรวจสอบที่ตั้งของสถานีด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์</p> <p>๒. ตรวจสอบความถูกต้องด้วยการพล็อต Hydrograph</p> <p>๓. ตรวจสอบความถูกต้องด้วยวิธี Double Mass Curve</p> <p>๔. ข้อมูลอยู่ในรูปแบบ DSS File ตรงตามวันและเวลาของข้อมูลครบถ้วนตามช่วงเวลาทำการประมวลผล</p>	<p>- หัวหน้าฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ</p> <p>- ผู้จัดทำแบบจำลอง</p>	
<p>๒. การสอบเทียบ และตรวจพิสูจน์แบบจำลอง HEC-HMS และการแสดงผล</p>	<p>๑. องค์ประกอบของกลุ่มน้ำที่นำไปสู่จุดต้องการพยากรณ์</p> <p>๒. กำหนดพารามิเตอร์ให้แก่แต่ละแบบจำลองครบถ้วน ถูกต้องตามความหมายของพารามิเตอร์ และอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้</p>	<p>๑. องค์ประกอบของกลุ่มน้ำที่ใช้เหมาะสมและครบถ้วน</p> <p>๒. ตรวจสอบความถูกต้องตามทฤษฎีของแบบจำลอง และข้อจำกัดของพารามิเตอร์</p>	<p>- หัวหน้าฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ</p> <p>- ผู้จัดทำแบบจำลอง</p>	

กระบวนการ	มาตรฐาน/คุณภาพงาน	วิธีการติดตามประเมินผล	ผู้ติดตาม/ประเมินผล	ข้อเสนอแนะ
<p>๓. การพยากรณ์ปริมาณน้ำ ล่องหน้า และการแสดงผล</p>	<p>๓. ความเข้ากันได้ของกราฟน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองและกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด</p> <p>๔. แสดงผลในรูปแบบกราฟน้ำท่าเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด</p> <p>๑. แสดงผลในรูปแบบกราฟน้ำท่าเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัด และค่าปริมาณน้ำท่าพยากรณ์ล่องหน้า ๓ วัน</p>	<p>๓. ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของกราฟน้ำท่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบจำลองและกราฟน้ำท่าที่ได้จากการตรวจวัดมากกว่า ๐.๗</p> <p>๔. ตรวจสอบผลจากกราฟน้ำท่า</p> <p>๑. ตรวจสอบผลจากกราฟน้ำท่า</p>	<p>- หัวหน้าฝ่ายสารสนเทศและพยากรณ์น้ำ</p> <p>- ผู้จัดทำแบบจำลอง</p>	



## ๘. ปัญหาและข้อเสนอแนะ

๘.๑ การเลือกใช้แบบจำลองให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ในการคำนวณมีผลต่อความถูกต้องของผลการคำนวณ เช่น ต้องการพยากรณ์ปริมาณน้ำท่าล่วงหน้า ควรเลือกการคำนวณเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ของการเกิดน้ำท่าจากน้ำฝนที่ละลูก โดยใช้แบบจำลองประเภท event

๘.๒ การใช้แบบจำลองประเภท lump ไม่ซับซ้อน และสามารถประมวลผลได้รวดเร็ว เหมาะกับงานที่ต้องการความรวดเร็ว เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์เป็นแบบค่าเฉลี่ยเดียวกันทั้งลุ่มน้ำในการคำนวณ จึงขาดการวิเคราะห์เชิงพื้นที่อย่างละเอียด หากงานที่ต้องการความละเอียดควรใช้แบบจำลองแบบ distributed จะทำการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ละเอียดกว่า จึงอาจเพิ่มความถูกต้องของผลลัพธ์ได้

## ๙. เอกสารอ้างอิง

๙.๑ วีระพล แต่สมบัติ. ๒๕๓๘. หลักอุทกวิทยา. พิสิษฐ์เซ็นเตอร์. กรุงเทพมหานคร.

๙.๒ USACE. ๒๐๐๐. Technical Reference Manual Hydrologic Modeling System HEC-HMS. US Army Corps of Engineer Center. USA.

๙.๓ USACE. ๒๐๑๕, User's Manual Hydrologic Modeling System HEC-HMS. US Army Corps of Engineer Center. USA.

## ๑๐. แบบฟอร์มที่ใช้

๑๐.๑ แบบฟอร์มการนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำฝน และปริมาณน้ำท่ารายวัน ในรูปแบบ DSS File

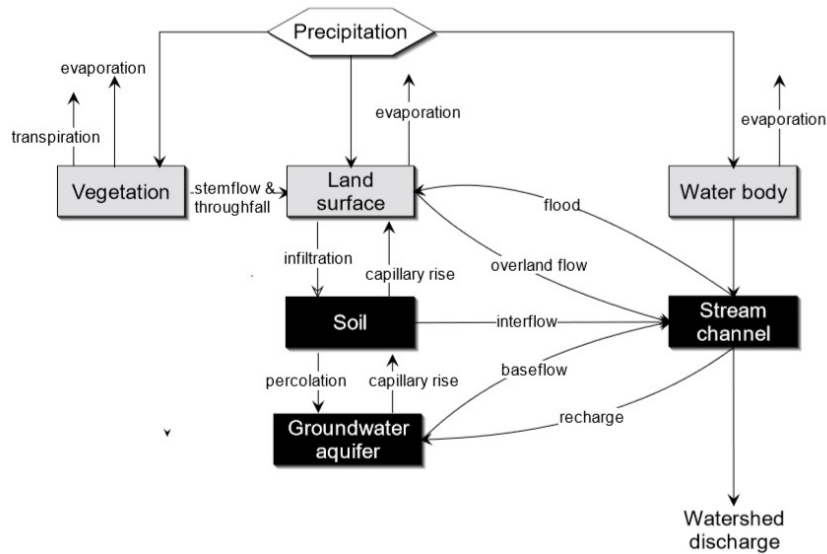
๑๐.๒ แบบฟอร์มแสดงผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองในรูปแบบ Time Series

๑๐.๓ แบบฟอร์มแสดงผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองในรูปแบบกราฟน้ำท่า

# ภาคผนวก

## แนวคิดและทฤษฎีของแบบจำลอง HEC-HMS

แบบจำลอง HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) พัฒนาขึ้นโดย Hydrologic Engineering Center of U.S. Army Corps of Engineering โดยออกแบบให้จำลองกระบวนการของน้ำฝน และน้ำท่าออกมาในรูปแบบโปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ปริมาณน้ำท่าที่มาจากน้ำฝนและการไหลในสภาพทั่วไปและสภาพที่มีการควบคุมโดยโปรแกรมแบบจำลอง HEC-HMS มีพื้นฐานมาจาก HEC-๑ และได้พัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจากเดิมโปรแกรมแบบจำลอง HEC-HMS จำลองการเกิดน้ำท่าดังกระบวนการต่อไปนี้



ภาพที่ ๒๔ กระบวนการเกิดน้ำท่าของแบบจำลอง HEC-HMS  
ที่มา: Hydrologic Engineering Center (๒๐๐๐)

## หลักการทํางานแบบจำลอง HEC-HMS

แบบจำลอง HEC-HMS แบ่งประเภทแบบจำลองตามกระบวนการเกิดน้ำท่าออกเป็น ๔ แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองคำนวณปริมาณน้ำท่า (Runoff-volume models) แบบจำลองปริมาณน้ำท่าโดยตรง (Direct-runoff models) แบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow models) และแบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (Routing models)

แบบจำลองคำนวณปริมาณน้ำท่า (Runoff-volume models) เป็นส่วนที่ทำการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน (Rainfall Excess) โดยค่าการสูญเสียต่างๆ ประกอบด้วย น้ำฝนที่ถูกกักเก็บไว้บางส่วนตามพืช หรืออาคารต่างๆ (inception) การซึมผ่านผิวดิน (infiltration) ปริมาณน้ำที่ถูกกักเก็บไว้โดยแหล่งน้ำผิวดิน (depression storage) การระเหย (evaporation) การคายน้ำ (transpiration) โดยเรียกส่วนนี้ว่า “losses” ซึ่งประกอบด้วย ๗ แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

แบบจำลอง	การจำแนกประเภท
Initial and constant rate	event, lumped, empirical, fitted parameter
SCS curve number (CN)	event, lumped, empirical, fitted parameter
Gridded SCS CN	event, distributed, empirical, fitted parameter
Green and Ampt	event, distributed, empirical, fitted parameter
Deficit and constant rate	continuous, lumped, empirical, fitted parameter
Soil moisture accounting (SMA)	continuous, lumped, empirical, fitted parameter
Gridded SMA	continuous, distributed, empirical, fitted parameter

แบบจำลองปริมาณน้ำท่าโดยตรง (Direct-runoff models) เป็นส่วนที่จำลองกระบวนการเกิดปริมาณน้ำท่าโดยตรงของปริมาณน้ำฝนส่วนเกินบนลุ่มน้ำ หรือเรียกกระบวนการนี้ “transformation” การแปลงปริมาณฝนส่วนเกินให้เป็นปริมาณน้ำท่า โดยโปรแกรมได้จัดเตรียมแบบจำลองไว้ให้ ๒ ทางเลือก คือ Empirical models และ A Conceptual model ดังต่อไปนี้

แบบจำลอง	การจำแนกประเภท
User-specified unit hydrograph	event, lumped, empirical, fitted parameter
Clark’s unit hydrograph	event, lumped, empirical, fitted parameter
Snyder’s unit hydrograph	event, lumped, empirical, fitted parameter
SCS unit hydrograph	event, lumped, empirical, fitted parameter
ModClark	event, distributed, empirical, fitted parameter
Kinematic wave	event, lumped, conceptual, measured parameter

แบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐาน (Baseflow models) เป็นส่วนที่คำนวณน้ำท่าในช่วงที่ไม่มีฝนตกจากน้ำที่สะสมอยู่ในชั้นดิน และในส่วนนี้ยังช่วยชะลอการเกิดน้ำท่าได้จากการซึมลงสู่ชั้นดินก่อน และรวบรวมเป็นน้ำท่าภายในชั้นดิน เพื่อไหลลงสู่ลำน้ำต่อไป ซึ่งแบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐานประกอบด้วย ๓ แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

แบบจำลอง	การจำแนกประเภท
Constant monthly	event, lumped, empirical, fitted parameter
Exponential recession	event, lumped, empirical, fitted parameter
Linear reservoir	event, lumped, empirical, fitted parameter

แบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ (Routing models) เป็นแบบจำลองการเคลื่อนตัวของปริมาณการไหลในลำน้ำ สามารถจำลองได้ทั้งกระบวนการเคลื่อนตัวของปริมาณน้ำท่าทั้งในสภาพธรรมชาติ และในสภาพที่ถูกควบคุมด้วยอาคารทางชลศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองปริมาณการไหลพื้นฐานประกอบด้วย ๘ แบบจำลอง ดังต่อไปนี้

แบบจำลอง	การจำแนกประเภท
Kinematic wave	event, lumped, conceptual, measured parameter
Lag	event, lumped, empirical, fitted parameter
Modified Puls	event, lumped, empirical, fitted parameter
Muskingum	event, lumped, empirical, fitted parameter
Muskingum-Cunge Standard Section	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter
Muskingum-Cunge ๘-point Section	event, lumped, quasi-conceptual, measured parameter
Confluence	continuous, conceptual, measured parameter
Bifurcation	continuous, conceptual, measured parameter