

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, FLEX-Topo และ Modified NAM

Comparing the Performance of FLEXL, FLEX-Topo and Modified NAM Models

กัมพล อินสว่างวงศ์^{1*} และ นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์¹

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินน้ำท่าด้วยแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า 3 แบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลอง FLEXL, FLEX-Topo และ Modified NAM ซึ่งสามารถสอบเทียบแบบจำลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองได้โดยอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MOSCEM ซึ่งเป็นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชัน คือ การสร้างความเข้ากันได้ระหว่างปริมาณการไหลในภาพรวม (I_{KGE}) ปริมาณการไหลต่ำ ๆ (I_{KGL}) และกราฟช่วงเวลาของปริมาณการไหล (I_{KGF}) ที่ได้จากแบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัด ในการศึกษาได้นำแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง มาประยุกต์ใช้ที่สถานีวัดน้ำท่าจำนวน 10 สถานี ในลุ่มน้ำยม โดยข้อมูลถูกแบ่งเป็น 2 ชุด คือประมาณ 70% เพื่อการสอบเทียบ (ค.ศ. 1985-2004) และ 30% เพื่อการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง (ค.ศ. 2005-2013) ผลการศึกษาพบว่า FLEX-Topo ให้ค่า NSE ทั้งในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองสูงกว่าทั้งแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM เพียงเล็กน้อยคือมากกว่าประมาณ 1 % และ 4 % ในช่วงการสอบเทียบและสูงกว่าประมาณ 1 % และ 5 % ในช่วงการตรวจพิสูจน์ อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง FLEX-Topo มีความสามารถในการประเมินปริมาณการไหลต่ำ ๆ ได้ดีกว่าแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM อย่างมีนัยสำคัญ โดยแบบจำลอง FLEX-Topo ให้ค่า I_{KGL} ในช่วงการตรวจพิสูจน์สูงกว่าแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM ประมาณ 11 % และ 14 % ตามลำดับ

ABSTRACT

This study aims to estimate runoff using three rainfall-runoff models comprising FLEXL, FLEX-Topo and Modified NAM. Control parameters of these models can be automatically calibrated using MOSCEM which is an optimization procedure based on three objective functions to set the collaboration between the calculated overall flows (I_{KGE}), low flows (I_{KGL}) and flow-duration curve (I_{KGF}) and the observed data. These models were utilized at 10 stations located in Yom River Basin. The input data were divided into 2 sets which are around 70% (1985-2004) for calibration and 30% (2005-2013) for validation. The results show that FLEX-Topo provided a little higher NSE values during the calibration and validation processes which are 1 % and 4 % higher than those of calculated using FLEXL and NAM during the calibration and 1 % and 5 % higher during validation process. However, FLEX-Topo shows significantly higher performance in estimating low flows compared to other models by providing 11 % and 14 % higher I_{KGL} values than those of produced by FLEXL and Modified NAM, respectively.

Key Words: FLEXL, FLEX-Topo model, Modified NAM model, MOSCEM, Yom River Basin.

* Corresponding author; e-mail address: Kampol.ins@gmail.com

¹ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹Department of Water resources, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok 10900

คำนำ

การประเมินกราฟน้ำท่าและกราฟน้ำท่าวมสามารถกระทำได้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย อย่างไรก็ตามวิธีการหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลาย คือ การใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ซึ่งเป็นแบบจำลองที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านเข้าหลักคือข้อมูลฝน และข้อมูลด้านออกคือข้อมูลน้ำท่า ทั้งนี้ ข้อมูลด้านเข้ายังประกอบด้วยข้อมูลลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของกลุ่มน้ำ เช่น ขนาดพื้นที่กลุ่มน้ำ ความลาดชันของลำน้ำสายหลัก ความลาดชันของพื้นที่กลุ่มน้ำ ความยาวของลำน้ำสายหลักจากจุดไกลสุดบนสันปันน้ำจนถึงจุดออก สิ่งปกคลุมดิน (Land Use and Land Cover) ประเภทดิน (Soil Type) เป็นต้น โดยตัวอย่างของแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ที่ใช้ข้อมูลเหล่านี้ เช่น แบบจำลอง SCS (Sharma and Surendra, 1992) แบบจำลอง Modified NAM (นุชนารถ, 2560) แบบจำลอง URBS (Mapiam and Sriwongsitanon, 2009) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม แบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า ส่วนใหญ่ ไม่มีการนำลักษณะทางกายภาพที่มีความละเอียดในระดับสูงมาใช้เป็นข้อมูลด้านเข้า อาทิเช่น ข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่จากแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการประเมินน้ำท่าเกิดความผิดพลาด ด้วยเหตุผลดังกล่าว Savenije (2010) จึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลอง FLEX-Topo ขึ้นมา โดยมีสมมติฐานว่า ลักษณะสูงต่ำของสภาพภูมิประเทศมีอิทธิพลต่อกระบวนการทางอุทกวิทยาของพื้นที่กลุ่มน้ำ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, FLEX-Topo และ Modified NAM ในการประเมินน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำยม โดยอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MOSCEM ที่เป็นกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชัน คือ การสร้างความเข้ากันได้ระหว่างปริมาณการไหลในภาพรวม ปริมาณการไหลต่ำ ๆ และกราฟช่วงเวลาของปริมาณการไหล ที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัด โดยผลลัพธ์ของงานวิจัยจะสามารถบ่งบอกถึงข้อได้เปรียบและข้อเสียของแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลองที่นำมาประยุกต์ใช้ต่อไป

พื้นที่ศึกษาและการรวบรวมข้อมูล

พื้นที่ศึกษา

ลุ่มน้ำยมตั้งอยู่ทางตอนเหนือของประเทศไทย โดยวางตัวตามแนวเหนือ-ใต้ ระหว่างเส้นรุ้งที่ 14°50' เหนือ ถึงที่ 18°25' เหนือ และระหว่างเส้นแวงที่ 99°16' ตะวันออก ถึงที่ 100°40' ตะวันออก ลุ่มน้ำยมมีขนาดพื้นที่กลุ่มน้ำทั้งสิ้น 24,046 ตารางกิโลเมตร และมีความลาดชันลำน้ำประมาณ 1:700 โดยมีระดับความสูงระหว่าง 180 ถึง 360 เมตร (รทก.) ลุ่มน้ำยมประกอบด้วย 11 ลุ่มน้ำสาขา คือ แม่น้ำยมตอนบน แม่น้ำควรว น้ำปี้ น้ำยาว แม่น้ำยมตอนกลาง น้ำแม่คำมี แม่ต้า ห้วยแม่สิน น้ำแม่อกน้ำแม่รำพัน และแม่น้ำยมตอนล่าง ลุ่มน้ำยมเป็นลุ่มน้ำที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ตั้งอยู่ รวมทั้งสภาพลำน้ำจะแคบลงในช่วงทำynnน้ำ บริเวณช่วงระหว่างจังหวัดสุโขทัยไปจนถึงจังหวัดพิจิตร ในขณะที่ปริมาณน้ำท่าเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปัญหาน้ำท่าวมเป็นประจำทุกปี

การรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ประกอบการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง ประกอบด้วยข้อมูล 4 ประเภท คือ (1) ข้อมูลอัตราการไหลรายวันที่ตรวจวัดโดยกรมชลประทานในลุ่มน้ำยม ซึ่งคัดเลือกข้อมูลในระหว่างปี ค.ศ. 1985 ถึง ค.ศ. 2013 (29 ปี) ที่น่าเชื่อถือได้ โดยสถานีวัดน้ำท่าที่ถูกคัดเลือกมีทั้งสิ้น 10 สถานี ซึ่งประกอบด้วย สถานีวัดน้ำท่า Y.1C, Y.3A, Y.6, Y14, Y16, Y17, Y20, Y31, Y33 และ Y.37

(Figure 1) ทั้งนี้ ลักษณะเฉพาะของสถานีวัดน้ำท่าเหล่านี้แสดงดังใน (Table 1) ซึ่งประกอบด้วย ขนาดพื้นที่รับน้ำฝน ศักยภาพการคายระเหย ความลึกฝนรายปีเฉลี่ย ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย และสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำท่า (2) ข้อมูลความลึกฝนรายวันแบบกริด (Gauged Gridded Rainfall; GGR) ที่ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้ศูนย์วิจัย SENSWAT โดยนำข้อมูลฝนรายวันจากสถานีตรวจวัดทั่วประเทศจำนวน 1,779 สถานี มาตรวจสอบความถูกต้องด้วยกระบวนการโค้งทับทวิ (Double mass curve) จากนั้นนำข้อมูลฝนที่ผ่านการตรวจสอบแล้วมาสร้างเป็นข้อมูลฝนเชิงกริดด้วยวิธีส่วนกลับของระยะทาง (Inverse Distance Weighted; IDW) สำหรับในการศึกษานี้ได้ประเมินความลึกฝนจากข้อมูลฝนกริด GGR ที่ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณาทั้ง 10 สถานี ดังกล่าวในกลุ่มน้ำยม (3) ข้อมูลศักยภาพการคายระเหยรายวัน (PET) ซึ่งรวบรวมจากข้อมูลศักยภาพการคายระเหยของพืชรายวันแบบกริดที่ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้ศูนย์วิจัย Remote Sensing Research Centre for Water Resources Management (SENSWAT) โดยสร้างมาจากข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยารายวันจากสถานีตรวจอากาศ 103 สถานี ทั่วประเทศไทย โดยในการศึกษานี้ได้ประเมินค่า PET รายวันที่ครอบคลุมพื้นที่รับน้ำฝนของสถานีวัดน้ำท่าที่พิจารณาทั้ง 10 สถานี ในกลุ่มน้ำยม และ (4) ข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ ที่รวบรวมจากข้อมูลแบบจำลองระดับสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) จากนั้นนำไปผ่านแบบจำลอง HAND เพื่อแบ่งสัดส่วนพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น พื้นที่ลาดชัน พื้นที่ลาดลุ่ม และพื้นที่ชุ่มน้ำ เพื่อประกอบการใช้งานแบบจำลอง FLEX-Topo

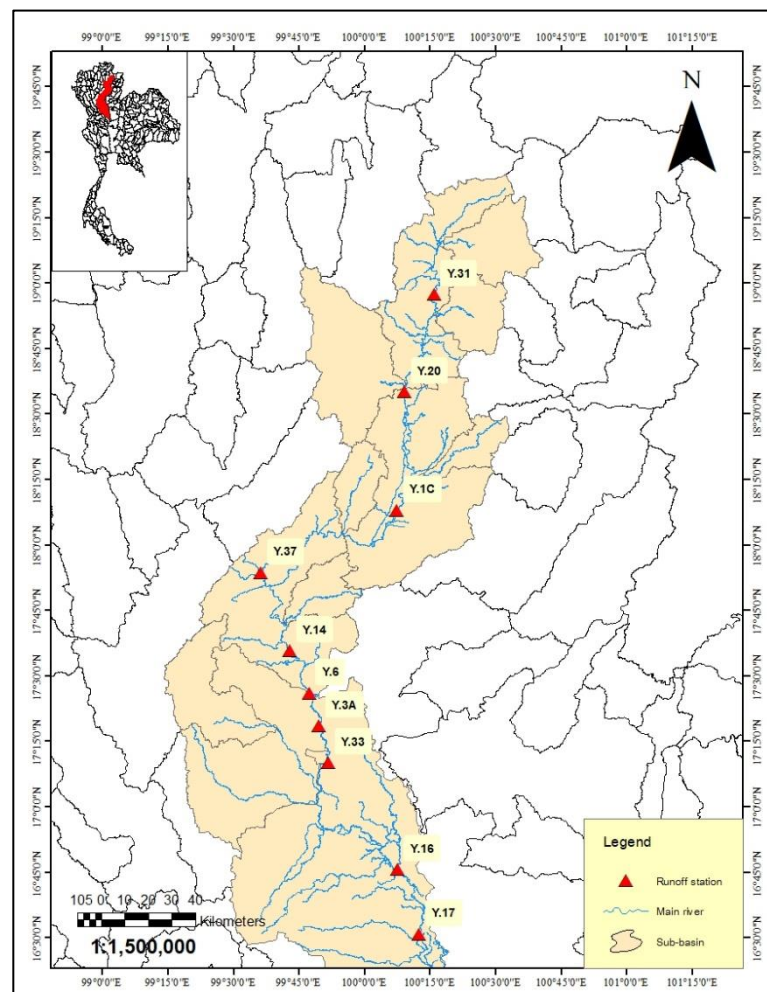


Figure 1 Locations of 10 selected Gauging stations in Yom River Basin

Table 1 Catchment characteristics of 10 selected gauging stations in Yom River Basin

Station code	Catchment Area	PET	Rainfall	Runoff	Runoff/Rainfall
	(Km ²)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm/yr)	(%)
Y.1C	7,298	1,242.6	1,281.0	322.9	25.21%
Y.3A	13,013	1,243.6	1,292.0	290.8	22.51%
Y.6	12,732	1,242.0	1,295.3	289.2	22.32%
Y.14	12,103	1,239.3	1,299.4	281.4	21.65%
Y.16	20,899	1,294.2	1,257.7	236.7	18.82%
Y.17	22,210	1,287.6	1,254.5	213.7	17.04%
Y.20	5,393	1,263.2	1,300.5	318.1	24.46%
Y.31	2,027	1,283.7	1,333.1	422.0	31.66%
Y.33	13,325	1,245.7	1,288.0	275.7	21.41%
Y.37	10,267	1,230.8	1,278.7	286.1	22.37%

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

แบบจำลอง FLEXL

แบบจำลอง FLEXL ซึ่งย่อมาจากคำว่า Flux Exchange จัดเป็นแบบจำลองประเภทลัมพ์ (Lumped Model) ที่ทำการประเมินน้ำท่าของลุ่มน้ำที่พิจารณา ณ สถานที่ทำการตรวจวัดโดยการเฉลี่ยแบบทั่วพื้นที่ แบบจำลอง FLEXL ทำการแบ่งปริมาณการเก็บกักของพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 5 ชั้นเก็บกัก ซึ่งประกอบด้วย (1) การเก็บกักในชั้นหิมะ (Snow Reservoir, S_w) (2) การเก็บกักตามใบไม้ใบหญ้าและพื้นผิว (Interception Reservoir, S_i) (3) การเก็บกักในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Unsaturated Soil Reservoir, S_u) (4) การเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (Fast Response Reservoir, S_f) และ (5) การเก็บกักในชั้นของน้ำท่าที่มีการตอบสนองอย่างเชื่องช้า (Slow Response Reservoir, S_s) (Gao et al., 2014) โดยโครงสร้างของแบบจำลอง FLEXL แสดงดังใน (Figure 2 (a))

แบบจำลอง Modified NAM

Modified NAM ได้รับการปรับปรุงโดยนุชนารถ (2560) จากแบบจำลอง NAM ที่พัฒนาขึ้นโดย The Danish Hydraulic Institute (DHI) โดยการตัดกระบวนการย่อย ๆ ที่ไม่มีผลมากมายต่อการประเมินน้ำท่าในภาพรวมของแบบจำลอง NAM ออกไป ทั้งนี้ แบบจำลอง NAM มีแนวความคิดในการแบ่งปริมาณการเก็บกักของพื้นที่ลุ่มน้ำออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) การเก็บกักในชั้นหิมะ (Snow Storage) (2) การเก็บกักในชั้นดินส่วนบน (Upper Zone Storage) (3) การเก็บกักในชั้นดินส่วนล่าง (Lower Zone Storage) และ (4) การเก็บกักในชั้นน้ำใต้ดิน (Groundwater Storage) สำหรับโครงสร้างแบบจำลอง Modified NAM แสดงดังใน (Figure 2 (b))

แบบจำลอง FLEX-Topo

แบบจำลอง FLEX-Topo เป็นแบบจำลองที่ได้รับการปรับปรุงจากแบบจำลอง FLEXL โดยเพิ่มการจำลองแบบที่แตกต่างกันตามลักษณะภูมิประเทศซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ Hillslope, Terrace และ Wetland ดังนั้น จึงจัดเป็นแบบจำลองประเภทกึ่งกระจายตัว (Semi-distributed Model) อย่างไรก็ตาม การ

จำลองแบบในแต่ละประเภทของสภาพภูมิประเทศมีลักษณะการดำเนินงานแบบลัมป์ (Lumped Model) คือการเฉลี่ยแบบทั่วพื้นที่ ทั้งนี้ การจำแนกความแตกต่างของลักษณะภูมิประเทศจะพิจารณาจากปัจจัย 2 ปัจจัย คือ (1) ความแตกต่างของระดับความสูงของพื้นที่กับระดับความสูงของตำแหน่งที่เป็นลำน้ำที่อยู่ใกล้สุด (Highest Above Nearest Drainage, HAND) (Rennó et al., 2008) และ (2) ความลาดชันของพื้นที่ (Slope) (Savenije, 2010) สำหรับโครงสร้างของแบบจำลอง FLEX-Topo แสดงดังนี้ (Figure 3)

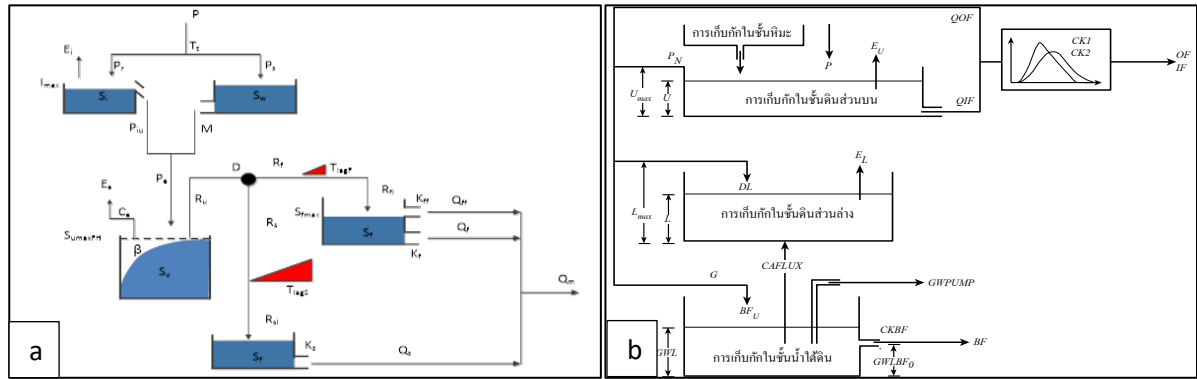


Figure 2 (a) Structure of FLEXL Model (Gao et al. (2014))

(b) Structure of Modified NAM Model (นุชนารถ, 2560)

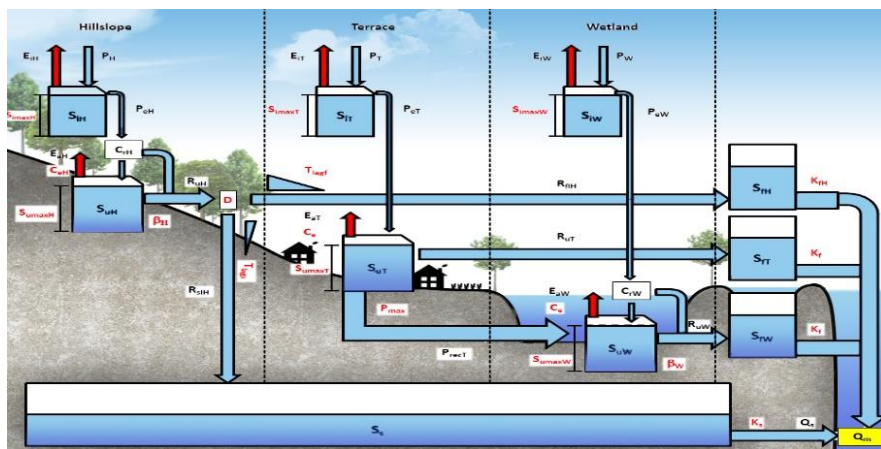


Figure 3 Structure of FLEX-Topo Model

โปรแกรม MOSCEM

โปรแกรม MOSCEM ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Vrugt, et al. (2003) เพื่อการหาค่าของชุดพารามิเตอร์ของแบบจำลองด้านอุทกวิทยาแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Function) ได้โดยอัตโนมัติ (Auto-Calibration) ทั้งนี้ MOSCEM จะทำการสุ่มประชากรชุดแรกให้มีการกระจายตัวทั่วทั้งมิติด้วยวิธี Latin Hyper Cube เพื่อนำไปคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับประชากรทุกตัวที่สุ่มมา จากนั้นจึงทำการจัดลำดับของประชากรแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยกระบวนการ Pareto Ranking (Goldberg, 1989) และนำไปผ่านกระบวนการสุ่มซ้ำโดยใช้อัลกอริทึม Markov Chain Monte Carlo Sample เพื่อให้ได้ประชากรชุดถัดไป โดยชุด

พารามิเตอร์ชุดสุดท้ายที่ได้จะเรียกว่า Pareto Front ซึ่งเป็นชุดพารามิเตอร์ที่มีค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่แพ้พารามิเตอร์ชุดอื่น ๆ ทั้งนี้ ฟังก์ชันแบบหลายวัตถุประสงค์ที่นำมาใช้ในแบบจำลอง FLEXL, FLEX-Topo และ Modified NAM ประกอบด้วย 3 ฟังก์ชัน คือ การสร้างความเข้ากันได้ระหว่างปริมาณการไหลในภาพรวม (I_{KGE}) ปริมาณการไหลต่ำ ๆ (I_{KGL}) และกราฟช่วงเวลาของปริมาณการไหล (I_{KGF}) ที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัด โดยสมการที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังในสมการที่ (1) โดยค่าที่ดีที่สุดที่แสดงการเข้ากันได้ระหว่างปริมาณการไหลที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการตรวจวัดคือ 1

$$I = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\mu - 1)^2} \quad (1)$$

- โดยที่ r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear correlation coefficient) ของอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง (Q_{model}) กับอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัด ($Q_{observed}$)
- α คือ อัตราส่วนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัด
- μ คือ อัตราส่วนของค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการไหลที่ได้จากการตรวจวัด

ทั้งนี้ ในการคำนวณหาค่า I_{KGL} ดำเนินการโดยการนำค่าปริมาณการไหลไป Take Log ก่อนนำไปคำนวณโดยใช้สมการที่ (1) เพื่อเป็นการเพิ่มความสำคัญให้กับปริมาณการไหลต่ำ ๆ

การสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง FLEXL, FLEX-Topo และ Modified ได้ดำเนินการที่สถานีวัดน้ำท่าทั้ง 10 สถานี เพื่อหาชุดพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองทั้ง 3 แบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลน้ำฝน ข้อมูลน้ำท่า และข้อมูลการคายระเหยของพืชอ้างอิง ในช่วงเวลาประมาณ 70% ของข้อมูลทั้งหมด คือระหว่างปี ค.ศ.1985-2004 จากนั้นจึงนำชุดพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองที่ได้จากกระบวนการสอบเทียบมาใช้ในการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยใช้ข้อมูลประมาณ 30% คือในระหว่างปี ค.ศ. 2005-2013 ทั้งนี้การสอบเทียบแบบจำลองได้ดำเนินการโดยอัตโนมัติด้วยโปรแกรม MOSCEM โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชัน อย่างไรก็ตาม เพื่อให้ง่ายต่อการสรุปผลการศึกษาจึงได้นำตัวแปร Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) ดังแสดงในสมการที่ (2) มาใช้เพื่อประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของแต่ละแบบจำลอง โดยที่ O_{obsi} คือ ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ได้จากการตรวจวัด O_{modi} คือ ปริมาณน้ำท่ารายวันที่ประเมินได้โดยแบบจำลอง และ Avg_{Obs} คือ ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันที่ได้จากการตรวจวัด

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obsi} - Q_{modi})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obsi} - Avg_{Obs})^2} \right) \quad (2)$$

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง FLEXL, FLEX-Topo and Modified NAM แสดงดังใน Table 4 โดยในตารางดังกล่าวได้แสดงค่าทางสถิติซึ่งประกอบด้วยค่า I_{KGE} , I_{KGL} , I_{KGF} ซึ่งใช้เป็นฟังก์ชัน

วัตถุประสงค์ในกระบวนการหาค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด รวมทั้งได้แสดงค่า NSE เพื่อให้ง่ายในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละแบบจำลอง จากตารางดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า ทุกแบบจำลองมีประสิทธิภาพในการประเมินน้ำท่าในภาพรวมใกล้เคียงกันทั้งในช่วงการสอบเทียบและตรวจพิสูจน์แบบจำลอง โดยแบบจำลอง FLEX-Topo ให้ค่า NSE ในช่วงการสอบเทียบในภาพรวมของทั้ง 10 สถานี ที่ดีกว่าแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM เล็กน้อย คือประมาณ 1 % และ 4 % ตามลำดับ และดีกว่าในช่วงการตรวจพิสูจน์แบบจำลอง ประมาณ 1 % และ 5 % ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาในส่วนของการไหลต่ำ ๆ พบว่า แบบจำลอง FLEX-Topo ให้ผลการประเมินที่ดีกว่าแบบจำลอง FLEX และ Modified NAM ในช่วงของการตรวจพิสูจน์อย่างเด่นชัด โดยมีค่า I_{KGL} ซึ่งแสดงความเข้ากันได้ของปริมาณการไหลต่ำ ๆ ที่ได้จากแบบจำลอง FLEX-Topo โดยมีค่าสูงกว่าแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM ประมาณ 11 % และ 14 % ตามลำดับ ทั้งนี้ได้แสดงตัวอย่างผลการเปรียบเทียบระหว่างกราฟน้ำท่าที่ได้จากการสอบเทียบโดยทั้ง 3 แบบจำลอง และที่ได้จากการตรวจวัดใน (Figure 4) ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สถานีวัดน้ำท่า Y.17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แบบจำลอง FLEX-Topo สามารถประเมินปริมาณการไหลต่ำ ๆ ได้ถูกต้องใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดมากกว่าแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM สำหรับผลที่สถานีอื่น ๆ ก็เป็นไปในทำนองเดียวกัน

Table 4 Results of model calibration and model validation at 10 gauging stations using FLEXL, FLEX-Topo and Modified NAM

Model	Average and Range during calibration period				Average and Range during validation period			
	I_{KGE}	I_{KGL}	I_{KGF}	NSE	I_{KGE}	I_{KGL}	I_{KGF}	NSE
FLEXL	0.913 (.821-.958)	0.912 (.865-.948)	0.993 (.978-.998)	0.834 (.638-.929)	0.827 (.591-.948)	0.801 (.740-.837)	0.855 (.605-.986)	0.807 (.614-.889)
FLEX-TOPO	0.917 (.826-.934)	0.916 (.800-.937)	0.989 (.977-.997)	0.839 (.658-.935)	0.822 (.662-.932)	0.899 (.864-.933)	0.853 (.678-.973)	0.815 (.700-.914)
Modified NAM	0.904 (.805-.952)	0.902 (.861-.945)	0.983 (.959-.998)	0.809 (.617-.913)	0.808 (.617-.938)	0.767 (.618-.823)	0.840 (.628-.961)	0.776 (.535-.940)

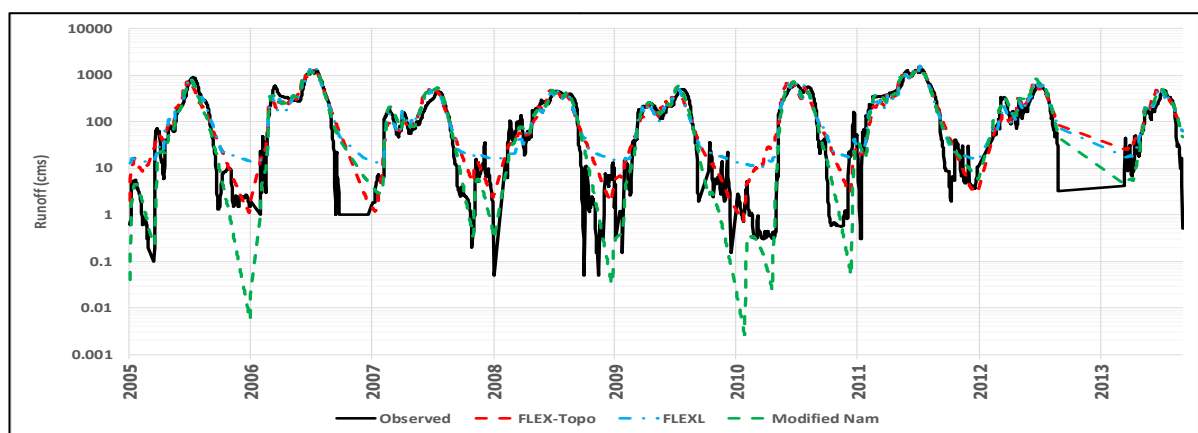


Figure 4 Simulated and observed hydrographs between 2005 and 2013 at Y.17 produced by FLEX-Topo, FLEXL and Modified NAM

สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลอง FLEXL, FLEX-Topo และ Modified NAM ในการประเมินน้ำท่าสำหรับลุ่มน้ำยม สรุปได้ว่าโปรแกรม MOSCEM มีประสิทธิภาพมากในการหาค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองที่เหมาะสมโดยสามารถดำเนินงานได้แบบอัตโนมัติ สำหรับในส่วนของความสามารถในการประเมินน้ำท่าของทั้ง 3 แบบจำลอง พบว่า ทั้ง 3 แบบจำลอง มีความสามารถใกล้เคียงกัน โดยที่แบบจำลอง FLEX-Topo ให้ผลการประเมินน้ำท่าในภาพรวมที่ถูกต้องมากกว่าแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM เล็กน้อย อย่างไรก็ตาม แบบจำลอง FLEX-Topo มีความเด่นในด้านการให้ความถูกต้องของผลการประเมินปริมาณการไหลต่ำ ๆ มากกว่าแบบจำลอง FLEXL และ Modified NAM อย่างเห็นได้ชัดเจน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อการดำเนินงานของศูนย์วิจัยการรับรู้จากระยะไกลเพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ (Remote Sensing Research Centre for Water Resources Management; SENSWAT) รวมทั้งขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- นุชนารถ ศรีวงศิตานนท์. 2560. **อุทกวิทยาขั้นสูง (ADVANCED HYDROLOGY)**. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 49-88.
- Sharma, K.D. and Singh, S. 1992. Runoff estimation using Landsat Thematic Mapper data and the SCS model. *Hydrological sciences journal*, 37, pp.39-52.
- Mapiam, P. P. and Sriwongsitanon, N. 2009. Estimation of the URBS model parameters for flood estimation of ungauged catchments in the upper Ping river basin, Thailand. *ScienceAsia*. 35, 49-56.
- Savenije, H. H. G. 2010. HESS Opinions “Topography driven conceptual modelling (FLEX-Topo)”. *Hydrol. Earth Syst Sci*. 14, 2681– 2692, doi:10.5194/hess-14-2681-2010.
- Gao, H., Hrachowitz, M., Fenicia, F., Gharari, S., and Savenije, H. H. G. 2014. Testing the realism of a topography-driven model (FLEX-Topo) in the nested catchments of the Upper Heihe, China. *Hydrol Earth Syst. Sci*. 18 1895–1915.
- Rennó, C.D., Nobre, A.D., Cuartas, L.A., Soares, J.V., Hodnett, M.G., Tomasella, J. and Waterloo, M., 2008. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*. 112, 3469–3481.
- Goldberg, D. E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley-Longman, Reading. Mass.
- Vrugt, J., V Gupta, H., Bastidas, L., Bouten, W., and Sorooshian, S. 2003. Effective and Efficient Algorithm for Multiobjective Optimization of Hydrologic Models. *Water Resour. Res.*, 39.