



การประเมินผลการจำลองน้ำท่ารายวันและรายเดือนด้วยแบบจำลอง SWAT ในลุ่มน้ำคลองสวนหมาก

EVALUATION OF DAILY AND MONTHLY STREAMFLOW SIMULATION BY SWAT MODEL IN

THE KHLONG SUAN MAK WATERSHED

วุฒิกัทร นุชหนู¹, วรพงษ์ โล่ห้ไพศาลกฤต^{2*} และหริส ประสารจ่า³

¹นักศึกษาปริญญาโท, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

^{2*}ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น

³ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

*Corresponding author, E-Mail: woralo@kku.ac.th

บทคัดย่อ

แบบจำลองทางอุทกวิทยาเป็นเครื่องมือที่ได้รับการยอมรับในการประเมินสภาพทางอุทกวิทยาในระดับลุ่มน้ำในปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม แบบจำลองก็มีข้อจำกัด ดังนั้น การประยุกต์ใช้แบบจำลองจึงควรมีความเข้าใจและทราบถึงข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นในการศึกษา การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อประเมินผลการจำลองน้ำท่าทั้งรายวันและรายเดือนในลุ่มน้ำคลองสวนหมากด้วยแบบจำลอง SWAT รวมทั้งการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของแบบจำลองต่อปริมาณน้ำท่าด้วยโปรแกรม SWAT-CUP โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดจากสถานีบ้านใหม่ (P.26A) ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2560 ผลการศึกษาพบว่า พารามิเตอร์จำนวน 13 และ 10 ตัวแปร มีอิทธิพลต่อการจำลองน้ำท่าทั้งรายวันและรายเดือน ตามลำดับ ซึ่งวัดด้วยค่า P-value น้อยกว่า 0.05 นอกจากนี้พบว่า ผลการจำลองน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT เป็นที่ยอมรับได้ ผลการคำนวณรายวันอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ (R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.56 0.56 และ 5.13% ตามลำดับ) ผลรายเดือนอยู่ในเกณฑ์ดี (R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.72 0.72 และ 5.90% ตามลำดับ) ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้คาดว่าจะจะเป็นข้อมูลสำหรับประยุกต์ใช้แบบจำลองให้เหมาะสมกับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในกิจกรรมต่างๆ ในลุ่มน้ำคลองสวนหมากได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคตได้

คำสำคัญ: แบบจำลองอุทกวิทยา; การวิเคราะห์ความอ่อนไหว; การจำลองน้ำท่า

ABSTRACT

Presently, hydrological models have been accepted tools for assessing hydrological conditions at watershed levels. However, these models have some limitations. Thus, an application of the models needs to understand them and know their limitations that may be occurred in studies. The objective of this study is to evaluate daily and monthly streamflow data simulated using the SWAT model in the Khlong Suan Mak watershed. The sensitivity analysis of model parameters was also conducted using SWAT-CUP. The simulated results were compared to the observed streamflow between 2010 and 2017 at the Ban Mai station (P.26A). The results

Wuttipat Nuchnoo¹, Worapong Lohpaisankrit^{2*} and Haris Prasanchum³

¹Graduate student, ³Assistant Professor, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Isan, Khon Kaen Campus, Thailand.

^{2*}Assistant Professor, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Thailand.

show that 13 and 10 parameters had significant influences on daily and monthly streamflow simulations, respectively, because their P-values were lower than 0.05. Moreover, SWAT simulated streamflow was acceptable. Daily and monthly simulations were categorized as satisfactory (R^2 , NSE, and PBIAS of 0.56, 0.56, and 5.13%, respectively) and good (R^2 , NSE, and PBIAS of 0.72, 0.72, and 5.90%), respectively. The results of this study were expected to be useful information for the application of a model as an effective tool in water resources management in the Khlong Suan Mak watershed in the future.

KEYWORDS: Hydrological model; Sensitivity analysis; Streamflow simulation

1. บทนำ

ปริมาณน้ำท่าผิวดินเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ จากอดีตถึงปัจจุบัน การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่ามีสาเหตุหลักเนื่องมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การใช้ประโยชน์ที่ดิน การใช้น้ำเพื่อการเกษตรกรรม การใช้น้ำในการอุปโภคบริโภค และการสร้างสิ่งก่อสร้างกั้นลำน้ำ เป็นต้น [1] ดังนั้น เพื่อให้การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำทั้งในระยะสั้นและระยะยาวเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลอุทกวิทยาอย่างเป็นระบบ ในปัจจุบันการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวนิยมใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยา แบบจำลองอุทกวิทยา Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นที่ยอมรับมากขึ้นในการศึกษาเกี่ยวกับการไหลของน้ำท่า ปริมาณตะกอน และการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพต่างๆ ในระดับลุ่มน้ำ [2] แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองประเภทการกระจายค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ (Distributed parameter model) และมีพารามิเตอร์หลายตัวที่เกี่ยวข้องกับสภาพทางกายภาพของลุ่มน้ำและทางอุทกวิทยา [3] ดังนั้น แบบจำลอง SWAT จึงมีความสามารถในการประเมินปริมาณน้ำท่าและวิเคราะห์สภาพทางอุทกวิทยาในลุ่มน้ำที่มีความซับซ้อนได้ [4] นอกจากนี้ มีเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของแบบจำลอง SWAT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Programs) [5] ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาการใช้แบบจำลอง SWAT ร่วมกับโปรแกรม SWAT-CUP เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง [2] เช่น ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่าและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของลุ่มน้ำ Luangingga ในสาธารณรัฐแซมเบีย [4] และการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT ที่มีข้อมูลนำเข้าจากการสำรวจระยะไกล ในการจำลองน้ำท่าใน 8 ลุ่มน้ำย่อยในตอนกลางของสหรัฐอเมริกา [6]

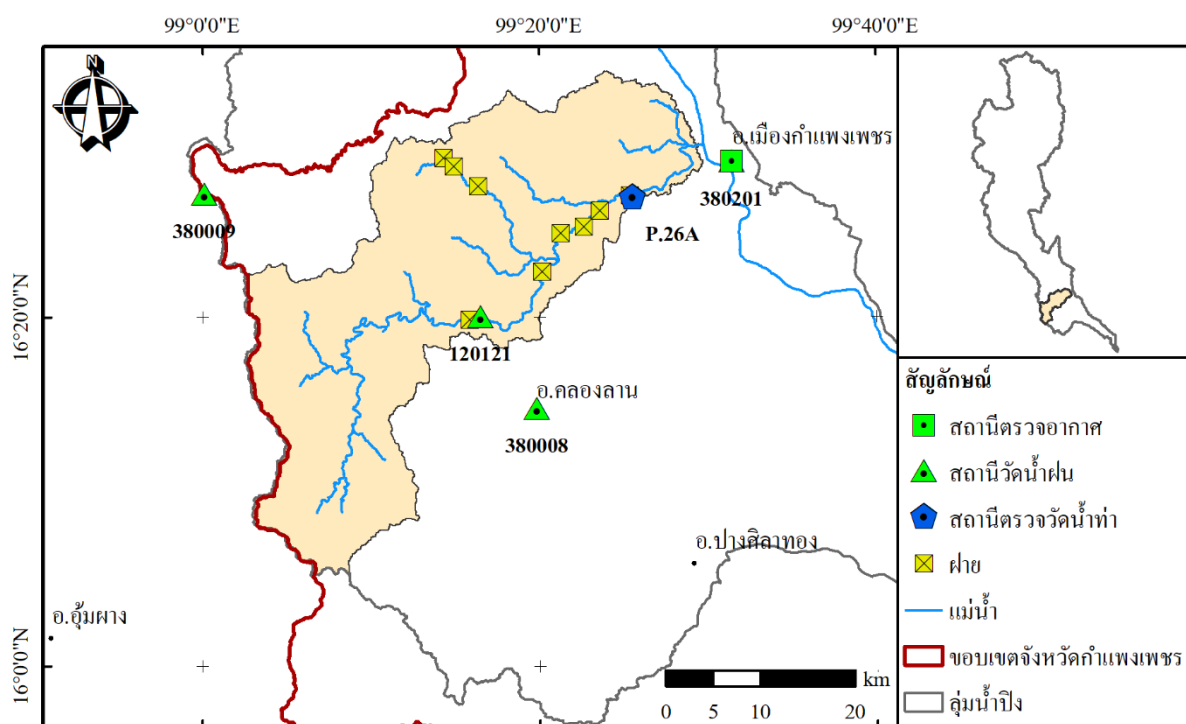
การไหลของน้ำท่าในลุ่มน้ำคลองสวนหมากมีความซับซ้อน เนื่องจากตลอดแนวคลองสวนหมากมีอาคารชลศาสตร์หลายตัวกั้นลำน้ำเป็นช่วง เมื่อมีฝนตกหนักมักจะส่งผลให้เกิดน้ำท่าไหลบ่าชะล้างหน้าดินและพัดพาตะกอนลงสู่คลองสวนหมาก ซึ่งเป็นผลให้พื้นที่หน้าตัดลำน้ำบริเวณเหนือฝายมีขนาดเล็กลง ปัญหาการทับถมของตะกอนด้านเหนือฝายทำให้ฝายต่างๆ มีประสิทธิภาพในการระบายน้ำลดลงทำให้เกิดน้ำล้นตลิ่งและไหลเข้าน้ำท่วมในเขตเทศบาลเมืองนครชุมและพื้นที่ใกล้เคียงเป็นประจำเกือบทุกปี อีกทั้งยังขาดระบบเตือนภัยน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพ เหตุการณ์น้ำท่วมในแต่ละครั้งจึงก่อให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน รวมทั้งผลผลิตทางการเกษตรในเขตเทศบาลเมืองนครชุมและพื้นที่ใกล้เคียง ดังนั้น การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าลุ่มน้ำคลองสวนหมากจึงเป็นงานที่ท้าทายและมีความจำเป็นต่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำอย่างยิ่ง

จุดประสงค์หลักของการศึกษานี้ ต้องการประเมินผลการจำลองน้ำท่าทั้งรายวันและรายเดือนด้วยแบบจำลอง SWAT โดยอ้างอิงข้อมูลน้ำท่าตรวจวัดจากสถานีบ้านใหม่ (P.26A) ของกรมชลประทานบริเวณใกล้จุดออกของลุ่มน้ำคลองสวนหมาก ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2560 ทั้งนี้ คำนีทางสถิติที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) ค่าดัชนีประสิทธิภาพ Nash-Sutcliffe (Nash-Sutcliffe efficient, NSE) และค่าร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (Percent bias, PBIAS) ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการศึกษานี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้แบบจำลองอุทกวิทยาให้เห็นแนวทางใน

การเลือกช่วงเวลาของการคำนวณ (Time interval) ให้เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ศึกษา และสามารถนำผลการคำนวณไปใช้เพื่อสนับสนุนการวางแผนและบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในกลุ่มน้ำคลองสวนหมากให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้

2. พื้นที่ศึกษา

กลุ่มน้ำคลองสวนหมากตั้งอยู่ตอนล่างของกลุ่มน้ำปิง และอยู่ทางฝั่งขวาของแม่น้ำปิง มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 1,213 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 0.76 ล้านไร่ พื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำอยู่ในเขตจังหวัดกำแพงเพชร ดังแสดงในรูปที่ 1 แม่น้ำสายหลักของกลุ่มน้ำนี้ คือ คลองสวนหมากมีต้นน้ำจากอุทยานแห่งชาติคลองวังเจ้าทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของกลุ่มน้ำปิง ไหลจากด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้มายังทิศตะวันออกผ่านพื้นที่ราบตอนกลางและตอนล่างของกลุ่มน้ำแล้วไหลลงสู่แม่น้ำปิงที่อำเภอนครชุม คลองสวนหมากไหลผ่านพื้นที่ 6 ตำบลได้แก่ ตำบลคลองน้ำไหล ตำบลสีกงาม ตำบลโป่งน้ำร้อน ตำบลนาบ่อคำ ตำบลท่าขุนรามและตำบลนครชุม [7] สภาพภูมิอากาศในพื้นที่ศึกษาได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงเหนือที่พัดจากประเทศจีนในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ทำให้มีอากาศหนาวเย็น ส่วนช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากฝั่งทะเลอันดามันทำให้เกิดฝนตก นอกจากนี้ ช่วงเดือนตุลาคมซึ่งได้รับอิทธิพลจากลมพายุดีเปรสชันจากทะเลจีนใต้ ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีสะสม 1,399 มิลลิเมตร และอุณหภูมิเฉลี่ยช่วงระหว่าง 22.6-31.5 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีประมาณ 459 ล้าน ลบ.ม. จากข้อมูลน้ำท่าตรวจวัด ณ สถานีบ้านใหม่ (P.26A)



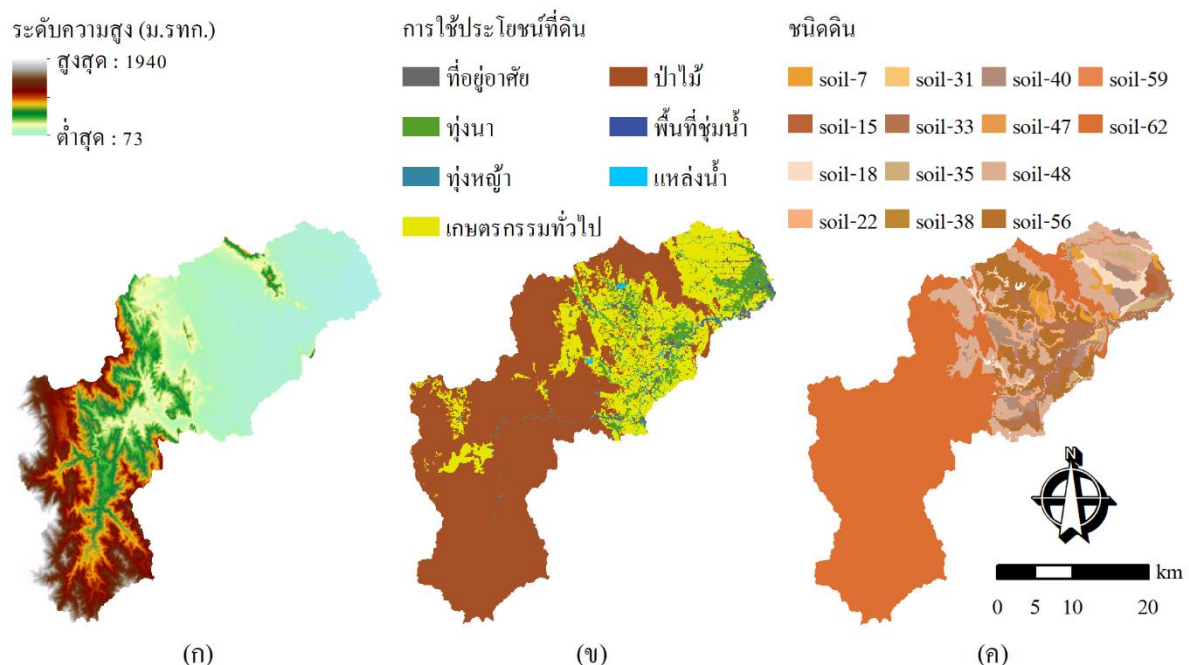
รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝนและสถานีตรวจวัดน้ำท่า

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1. การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง SWAT แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลเชิงพื้นที่ และข้อมูลอนุกรมเวลา ข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับการนำเข้าแบบจำลอง SWAT ประกอบด้วย ข้อมูลแผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (Digital elevation model: DEM) ความละเอียด 30x30 เมตร ปี พ.ศ. 2558 รวบรวมมาจากกรมชลประทาน ดังแสดงในรูปที่ 2(ก) ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) และชนิดดิน (Soil type) มาตราส่วน 1:50,000 สํารวจโดยกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ. 2558 ดังแสดงในรูปที่ 2(ข) และ 2(ค) ตามลำดับ พื้นที่ลุ่มน้ำคลองสวนหมากสามารถจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 7 ประเภท ประกอบด้วย ที่อยู่อาศัย ทุ่งนา ทุ่งหญ้า เกษตรกรรมทั่วไป ป่าไม้ พื้นที่ชุ่มน้ำ และแหล่งน้ำ พื้นที่ส่วนใหญ่ของกลุ่มน้ำเป็นดินกลุ่มชุดดินที่ 62 (soil-62) พื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (Slope complex) เป็นกลุ่มชุดดินที่อยู่ในพื้นที่ที่มีความลาดชันมากกว่า 35% และเป็นพื้นที่ที่กรมพัฒนาที่ดินไม่ได้มีการสำรวจดิน ซึ่งพบในพื้นที่ตอนบนของพื้นที่ศึกษา ครอบคลุมพื้นที่ประมาณ 655 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 60.3% ของลุ่มน้ำ

ข้อมูลอนุกรมเวลาประกอบด้วยข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และการแผ่รังสีดวงอาทิตย์รายวัน รวบรวมจากสถานีตรวจอากาศกำแพงเพชร อ.เมืองกำแพงเพชร (380201) ของกรมอุตุนิยมวิทยา ระหว่างปี พ.ศ. 2551-2560 นอกจากนี้ ข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ใช้ในการศึกษา ยังได้รวบรวมจาก สถานี อ.คลองลาน (380008) และอ.คลองขลุง (380009) ของกรมอุตุนิยมวิทยา และสถานีฝายคลองสวนหมาก อ.คลองลาน (12121) ดังแสดงในรูปที่ 1 และข้อมูลอุทกวิทยาที่ใช้ คือ ปริมาณน้ำท่าตรวจวัดรายวัน ระหว่างปี พ.ศ. 2551-2560 รวบรวมจากสถานีบ้านใหม่ (P.26A) ซึ่งอยู่ในความดูแลของกรมชลประทาน



รูปที่ 2 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (ก) แผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (ข) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน (ค) แผนที่ชนิดดิน

3.2. การสร้างแบบจำลอง SWAT

การจำลองสภาพทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำคลองสวนหมากด้วยแบบจำลอง SWAT เริ่มด้วยการนำเข้าข้อมูลแผนที่แบบจำลองระดับความสูงเชิงเลขพร้อมกำหนดขนาดของพื้นที่รับน้ำด้านเหนือน้ำเพื่อเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นลำน้ำในกระบวนการสร้างขอบเขตกลุ่มน้ำ (Watershed delineation) จากนั้นแบบจำลอง SWAT จะสร้างเส้นโครงข่ายลำน้ำ และแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยๆ พร้อมกับกำหนดจุดออกของกลุ่มน้ำ นอกจากนี้ แบบจำลอง SWAT ประมวลผลจากข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชันของผิวดิน สำหรับการสร้างหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrological response unit, HRU) เพื่อให้การคำนวณสภาพทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำมีความหลากหลายทางกายภาพ ซึ่งเป็นเทคนิคที่สำคัญของแบบจำลองประเภทการกระจายค่าสัมประสิทธิ์พารามิเตอร์ หลังจากที่ได้แบบจำลอง SWAT ได้จำลองสภาพทางอุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษาจากข้อมูลเชิงพื้นที่แล้ว ขั้นตอนต่อไปนำเข้าข้อมูลอนุกรมเวลาของชุดข้อมูลตรวจวัดอุตุนิยมิวิทยารายวัน ซึ่งประกอบไปด้วย ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม และการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ขั้นตอนสุดท้ายคือ ตั้งให้แบบจำลอง SWAT คำนวณหาปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือน พร้อมกำหนดช่วงเวลาการคำนวณเป็น ปี พ.ศ. 2551-2560 โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยารายวันช่วง ปี พ.ศ. 2551-2552 เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการประมวลผล (Warm up) ของแบบจำลอง SWAT ขั้นตอนนี้มีความสำคัญ เพราะเป็นการคำนวณค่าเริ่มต้น (Initial condition) ของกระบวนการทางอุทกวิทยา หรือค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง SWAT ซึ่งคำนวณจากข้อมูลตรวจวัดอุตุนิยมิวิทยา ในทางตรงกันข้าม หากไม่ได้กำหนดช่วงเริ่มการประมวลผล ค่าพารามิเตอร์จะใช้ค่าดั้งเดิม (Default) ของแบบจำลอง SWAT เป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าที่ประมาณมาจากพื้นที่อื่น การสร้างแบบจำลอง SWAT จำเป็นต้องมีกระบวนการปรับเทียบและสอบเทียบ เพื่อให้ได้ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองที่เหมาะสมในการคำนวณน้ำท่า ในการศึกษาครั้งนี้จึงแบ่งชุดข้อมูลน้ำท่าออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน คือ ชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่าตรวจวัด ปี พ.ศ. 2553-2556 และ พ.ศ. 2557-2560 สำหรับเปรียบเทียบกับผลการคำนวณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT ที่ได้จากการปรับเทียบและสอบเทียบ ตามลำดับ

3.3. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์

แบบจำลอง SWAT ประกอบด้วยพารามิเตอร์จำนวนมากที่ส่งผลต่อกระบวนการทางอุทกวิทยา ดังนั้น การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์จึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเพื่อค้นหาพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการจำลองปริมาณน้ำท่า [8] ในการศึกษาครั้งนี้ให้สนใจผลจากการจำลองปริมาณน้ำท่าทั้งรายวันและรายเดือนในกลุ่มน้ำคลองสวนหมาก การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ ดำเนินการด้วยโปรแกรม SWAT-CUP และได้เลือกพารามิเตอร์จำนวน 24 ตัว ในกระบวนการทางอุทกวิทยา ได้แก่ น้ำท่าผิวดิน ประกอบด้วย ตัวเลขเส้นโค้งไหลบ่าสำหรับสภาพความชื้นแบบที่ 2 (Runoff curve number for moisture condition II, CN2) สัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านได้ประสิทธิภาพในลำน้ำสาขา (Effective hydraulic conductivity in the tributary channel, CH_K1) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งสำหรับลำน้ำสาขา (Manning's n value for the tributary channel, CH_N1) ความลาดชันเฉลี่ย (Average slope steepness, HRU_SLP) สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งการไหลบ่าบนผิวดิน (Manning's n for overland flow, OV_N) ความยาวของความลาดชันเฉลี่ย (Average slope length, SLSUBBSN) และ สัมประสิทธิ์การไหลของน้ำท่าผิวดิน (Surface runoff lag coefficient, SURLAG) การคายระเหย ประกอบด้วย ปริมาณเก็บกักน้ำของเรือนยอดสูงสุด (Maximum canopy storage, CANMX) และสัมประสิทธิ์ชดเชยการระเหยจากผิวดิน (Soil evaporation compensation coefficient, ESCO) ความชื้นในดิน ประกอบด้วย ปริมาณน้ำในดินที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ (Available water capacity of the soil, SOL_AWC) การสะท้อนของรังสีอาทิตย์ของดิน (Moist soil albedo, SOL_ALB) ความหนาแน่นรวมของดิน (Moist bulk density, SOL_BD) สัมประสิทธิ์ความซึมของดินในสภาพอิ่มตัว (Saturated hydraulic conductivity, SOL_K) และ ปัจจัยชดเชยการดูดซึมน้ำของพืช (Plant uptake

compensation factor, EPCO) น้ำใต้ดิน ประกอบด้วย ปัจจัยการไหลพื้นฐาน (Baseflow factor, ALPHA_BF) เวลาการไหลของน้ำใต้ดิน (Groundwater delay time, GW_DELAY) สัมประสิทธิ์ของน้ำใต้ดิน (Groundwater “Revap” coefficient, GW_REVAP) ปริมาณการให้น้ำจำเพาะของชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้น (Special yield of the shallow aquifer, GW_SPYLD) จุดเริ่มเปลี่ยนของน้ำในชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นเป็นการไหลพื้นฐาน (Threshold water in shallow aquifer for baseflow, GWQMN) สัมประสิทธิ์ของการไหลลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน (Aquifer percolation coefficient, RCHRG_DP) และ จุดเริ่มเปลี่ยนของน้ำในชั้นน้ำใต้ดินระดับตื้นสำหรับกระบวนการ “Revap” (Threshold water in shallow aquifer for “Revap”, REVAPMN) การเคลื่อนย้ายมวลน้ำ ประกอบด้วย ปัจจัยการไหลพื้นฐานสำหรับกักเก็บน้ำบริเวณตลิ่งแม่น้ำ (Baseflow factor for bank storage, ALPHA_BNK) สัมประสิทธิ์ของการซึมผ่านได้ประสิทธิภาพในลำน้ำสายหลัก (Effective hydraulic conductivity in the main channel, CH_K2) ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งสำหรับลำน้ำสายหลัก (Manning’s n value for the main channel, CH_N2) ในส่วนคำอธิบายของพารามิเตอร์สามารถศึกษาได้จากคู่มือประกอบแบบจำลอง SWAT [9] และช่วงค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ความอ่อนไหวสามารถศึกษาได้จากบทความที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลอง SWAT เช่น การศึกษาของ Rostamian และคณะ [10] และ Me และคณะ [2] เป็นต้น

หลังจากกำหนดช่วงค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ทั้ง 24 ตัว ในการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์กับปริมาณน้ำท่าทั้งรายวันและรายเดือน ณ ตำแหน่งสถานีบ้านใหม่ (P.26A) แบบ Global sensitivity analysis โดยกำหนดรอบการคำนวณที่ 500 รอบ ในโปรแกรม SWAT-CUP โดยใช้ดัชนีทางสถิติในการประเมินความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่อการจำลองปริมาณน้ำท่า 2 ตัว คือ P-value และ t-stat [5] พารามิเตอร์ที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 และค่าสัมบูรณ์ของ t-stat มีค่ามาก จะถูกประเมินว่าเป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการจำลองปริมาณน้ำท่า พารามิเตอร์กลุ่มที่มีความอ่อนไหวมากจะนำมาพิจารณาในการปรับค่าพารามิเตอร์ก่อนจนกระทั่งผลการจำลองปริมาณน้ำท่ามีความใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าตรวจวัด จากนั้นจึงปรับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ เพื่อให้ได้แบบจำลอง SWAT ที่มีประสิทธิภาพในการจำลองปริมาณน้ำท่ามากขึ้น

3.4. การประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง

การประเมินผลการจำลองปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT ในการศึกษาได้เปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าจำลองกับปริมาณน้ำท่าตรวจวัดจากสถานีบ้านใหม่ (P.26A) ในกระบวนการเปรียบเทียบและสอบเทียบแบบจำลอง SWAT ซึ่งใช้ข้อมูลระหว่างปี พ.ศ. 2553-2556 และ พ.ศ. 2557-2560 ตามลำดับ ดัชนีทางสถิติที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองประกอบด้วย สัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) ดัชนีประสิทธิภาพ Nash-Sutcliffe (NSE) ร้อยละความเอนเอียงของการประมาณ (PBIAS) ดังแสดงในสมการที่ (1)-(3) ตามลำดับ

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n ((O_i - \bar{O}) \times (S_i - \bar{S}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \times \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \right]^2 \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$PBIAS = \left| \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \right| \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ O_i คือ ค่าปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด $\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าจากการตรวจวัด S_i คือ ค่าปริมาณน้ำท่าการคำนวณด้วยจากแบบจำลอง $\bar{S}$ คือ ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำท่าการคำนวณด้วยจากแบบจำลอง i คือ ลำดับที่ของข้อมูล และ n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

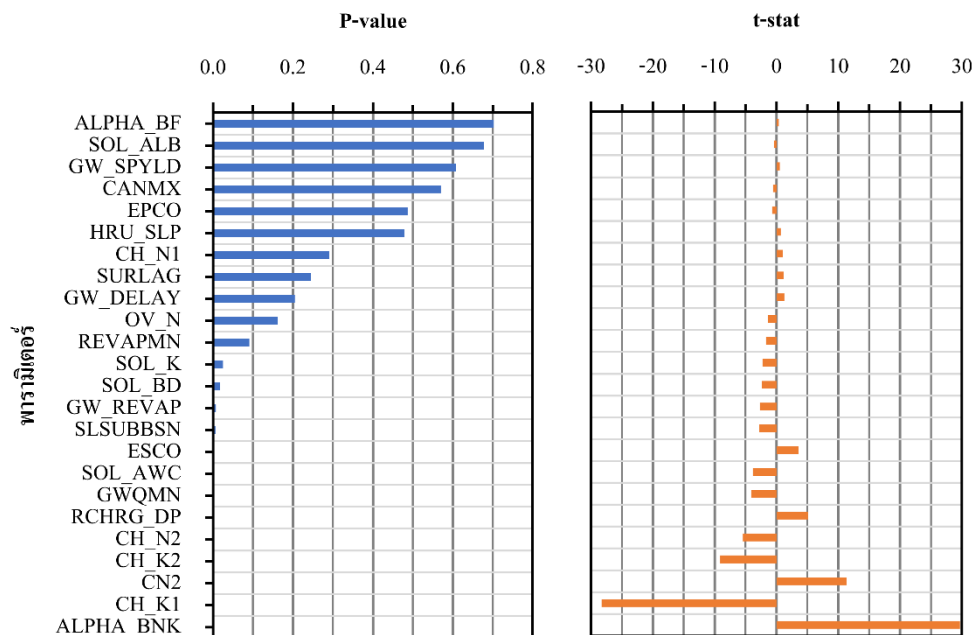
หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองอ้างอิงจาก Moriasi และคณะ [11] สำหรับดัชนี R^2 และ NSE แนะนำให้เกณฑ์ระดับดีมากเมื่อค่าดัชนีมากกว่า 0.85 ดีเมื่อค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 0.70 ถึง 0.80 น่าพอใจเมื่อค่าดัชนีอยู่ระหว่าง 0.50 ถึง 0.70 และไม่น่าพอใจเมื่อค่าดัชนีน้อยกว่า 0.50 สำหรับดัชนี PBIAS ใช้เกณฑ์ระดับดีมาก ดี น่าพอใจ และไม่น่าพอใจ เมื่อค่าดัชนีน้อยกว่า 5% อยู่ระหว่าง 5% ถึง 10% อยู่ระหว่าง 10% ถึง 15% และมากกว่า 15% ตามลำดับ

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

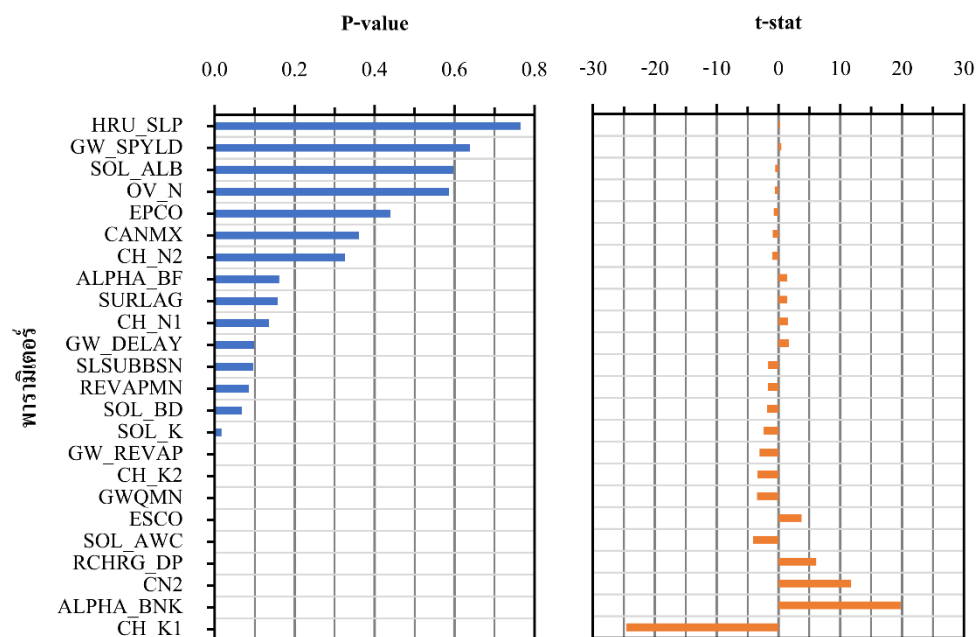
4.1. ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนโดยอาศัยโปรแกรม SWAT-CUP แสดงดังรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จะเห็นได้พารามิเตอร์ที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.05 จำนวน 13 ตัว (ALPHA_BK CH_K1 CN2 CH_K2 CH_N2 RCHRG_DP GWQMN SOL_AWC ESCO SLSUBBSN GW_REVAP SOL_BD และ SOL_K) เป็นพารามิเตอร์ที่มีความอ่อนไหวต่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวัน สำหรับการจำลองปริมาณน้ำท่ารายเดือน พบว่ามีพารามิเตอร์จำนวน 10 ตัว (CH_K1 ALPHA_BNK CN2 RCHRG_DP SOL_AWC ESCO GWQMN CH_K2 GW_REVAP และ SOL_K) ที่มีอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่า ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือน มีข้อที่น่าสนใจคือ พารามิเตอร์ CH_N2 มีความอ่อนไหวมากต่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวัน แต่มีความอ่อนไหวปานกลางสำหรับการจำลองปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือน ผลการศึกษานี้ ชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์มีความสำคัญ เมื่อสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยา

หากพิจารณาจากค่าสัมบูรณ์ของดัชนี t-stat ที่มากที่สุดสามลำดับแรกของผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ต่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือน พบว่า เป็นพารามิเตอร์ตัวเดียวกัน คือ ALPHA_BNK CH_K1 และ CN2 พารามิเตอร์ ALPHA_BNK ใช้อธิบายการกักเก็บน้ำใต้ผิวดินและไหลออกสู่แม่น้ำรวมเป็นน้ำท่า โดยการศึกษาของ Phiri และคณะ [4] ได้อธิบายพารามิเตอร์ ALPHA_BNK จะมีความอ่อนไหวต่อการไหลของน้ำท่าโดยเฉพาะในพื้นที่ราบน้ำท่วมถึงและมีเหตุการณ์น้ำท่วมซ้ำซาก ซึ่งสอดคล้องกับพื้นที่ตอนล่างของกลุ่มน้ำคลองสวนหมากที่เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมเกือบทุกปี พารามิเตอร์ CH_K1 อธิบายการไหลซึมของน้ำท่าในแม่น้ำสาขาลงสู่แม่น้ำใต้ดินและพารามิเตอร์ CN2 เป็นตัวแปรสำหรับอธิบายการไหลของน้ำท่าผิวดิน ผลของการศึกษานี้ มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Tobin และ Bennett [6] ซึ่งพบว่า พารามิเตอร์ CN2 มีความอิทธิพลต่อปริมาณน้ำท่า เพราะพารามิเตอร์ CN2 เกี่ยวข้องกับความชื้นในดินซึ่งมีส่วนควบคุมปริมาณน้ำท่า



รูปที่ 3 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อปริมาณน้ำท่ารายวันจาก SWAT-CUP

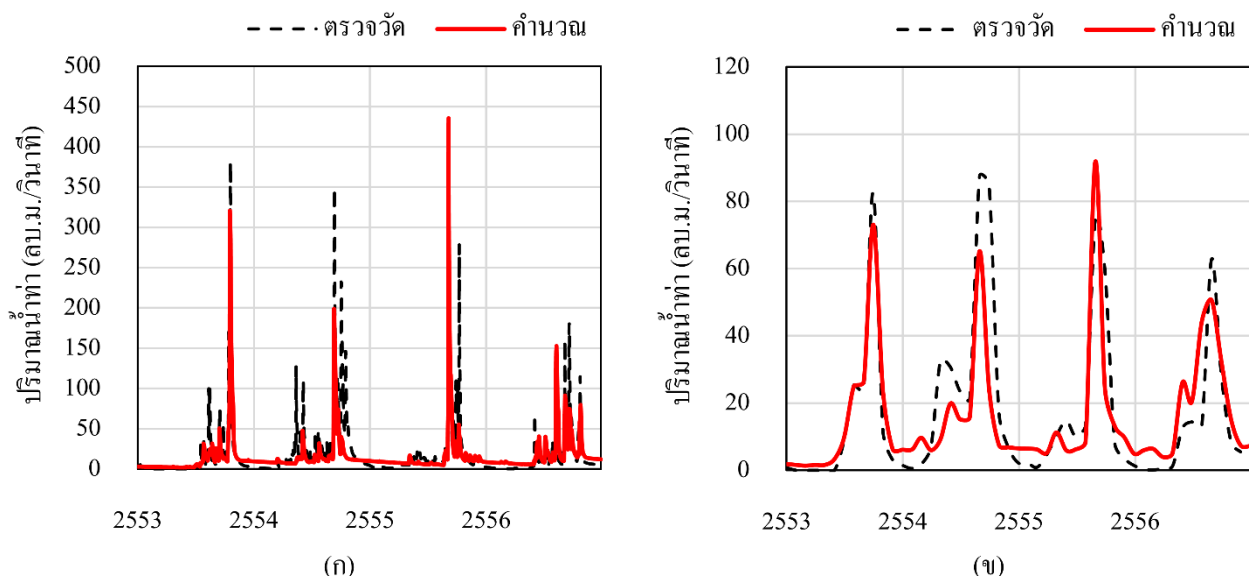


รูปที่ 4 ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อปริมาณน้ำท่ารายเดือนจาก SWAT-CUP

4.2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่า

ผลการจำลองปริมาณน้ำจากแบบจำลอง SWAT ได้นำมาเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำท่าตรวจวัดที่สถานีบ้านใหม่ (P.26A) ทั้งรายวันและรายเดือน ผลการเปรียบเทียบและสอบเทียบค่าปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT แสดงดังรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ และ

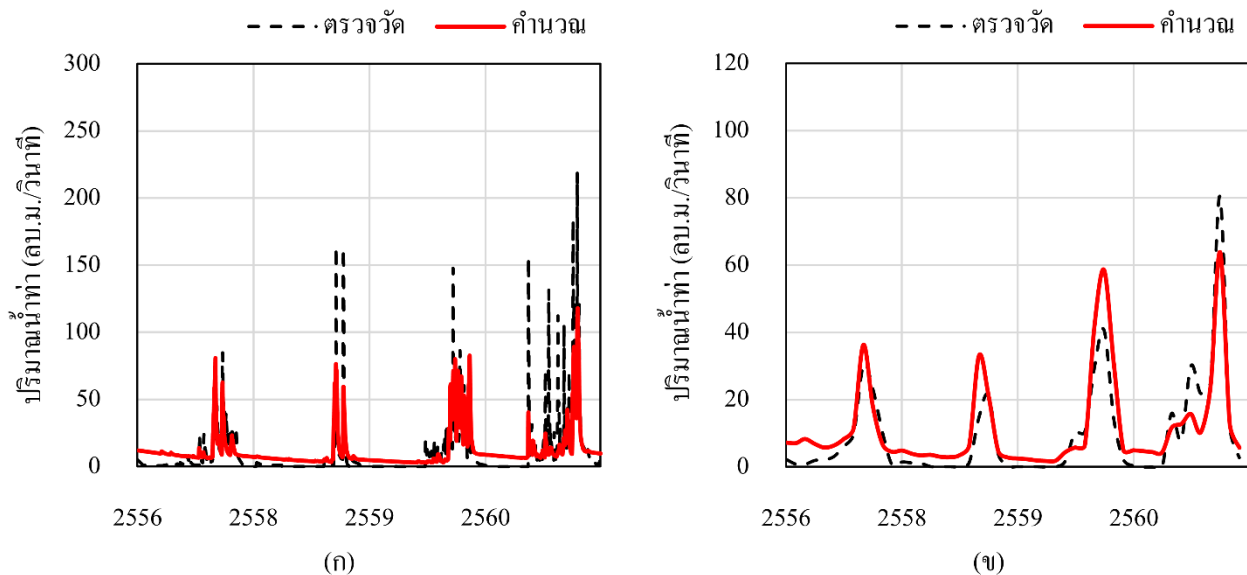
ค่าดัชนีทางสถิติจากการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT แสดงดังตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันมีค่าดัชนี R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.564 0.563 และ 6.25% ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบ และมีค่าดัชนี R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.539 0.542 และ 26.28% ตามลำดับ สำหรับการสอบเทียบ พบว่า แบบจำลอง SWAT มีประสิทธิภาพในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายเดือนดีกว่ารายวัน โดยมีค่าดัชนี R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.688 0.694 และ 4.83% ตามลำดับ สำหรับการเปรียบเทียบ และมีค่าดัชนี R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.810 0.796 และ 25.89% ตามลำดับ สำหรับการสอบเทียบ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายเดือนตลอดช่วงการคำนวณ (พ.ศ. 2553-2560) พบว่า แบบจำลอง SWAT มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก มีค่าดัชนี R^2 และ NSE มากกว่า 0.70 และค่า PBIAS น้อยกว่า 10% อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนของการศึกษา อาจเกิดได้จากข้อมูลน้ำท่าตรวจวัด เพราะปริมาณและการเคลื่อนตัวของน้ำท่าในลุ่มน้ำคลองสวนหมากได้รับผลกระทบจากอาคารชลศาสตร์ที่กั้นตามลำน้ำ การไหลของน้ำท่าจึงไม่เป็นการไหลตามธรรมชาติ



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำท่า P.26A กับค่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณจากแบบจำลอง SWAT
(ก) แบบรายวัน (ข) แบบรายเดือน

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนเปรียบเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำตรวจวัด ณ สถานีบ้านใหม่ (P.26A)

ช่วง	รายวัน			รายเดือน		
	R^2	NSE	PBIAS	R^2	NSE	PBIAS
ปรับเทียบ (พ.ศ. 2553-2556)	0.564	0.563	6.25%	0.688	0.694	4.83%
สอบเทียบ (พ.ศ. 2557-2560)	0.539	0.542	26.28%	0.810	0.796	25.89%
ทั้งหมด (พ.ศ. 2553-2560)	0.560	0.558	5.13%	0.724	0.723	5.90%



รูปที่ 6 การสอบเทียบค่าปริมาณน้ำท่าจากสถานีวัดน้ำท่า P.26A กับค่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณจากแบบจำลอง SWAT
(ก) แบบรายวัน (ข) แบบรายเดือน

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

แบบจำลองอุทกวิทยา SWAT มีประสิทธิภาพในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายเดือนดีกว่ารายวันในกลุ่มน้ำคลองสวนหมาก โดยประเมินผลจากการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าตรวจวัดจากสถานีบ้านใหม่ (P.26A) กับปริมาณน้ำท่าคำนวณจากแบบจำลอง SWAT ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2560 พบว่า ประสิทธิภาพของแบบจำลองในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ (R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.56 0.56 และ 5.13% ตามลำดับ) และการจำลองปริมาณน้ำท่ารายเดือนอยู่ในเกณฑ์ดี (R^2 NSE และ PBIAS เท่ากับ 0.72 0.72 และ 5.90% ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามพบว่า พารามิเตอร์ของแบบจำลอง SWAT บางตัวมีความอ่อนไหวต่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันและรายเดือนต่างกัน เช่น พารามิเตอร์ CH_N2 มีความอ่อนไหวมากต่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวัน แต่มีความอ่อนไหวปานกลางต่อการจำลองปริมาณน้ำท่าแบบรายเดือน ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์จึงเป็นสิ่งสำคัญและควรดำเนินการก่อนปรับเทียบแบบจำลอง การใช้แบบจำลองอุทกวิทยาในการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัดต้องคำนึง คือ ปริมาณและการเคลื่อนตัวของน้ำท่าในกลุ่มน้ำคลองสวนหมากไม่เป็นการไหลตามธรรมชาติ เนื่องจากได้รับผลกระทบจากอาคารชลศาสตร์ที่กั้นตามลำน้ำ การศึกษานี้ แนะนำให้มีการบูรณาการแบบจำลองอุทกวิทยาและแบบจำลองชลศาสตร์ เพื่อเป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในกลุ่มน้ำคลองสวนหมากให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอประกาศว่าบทความนี้ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่สนับสนุนการร่วมมือด้านการวิจัยระหว่างสถาบัน และขอขอบพระคุณ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Terrier, M. *et al.* Streamflow naturalization methods: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 2021, 66 (1), pp. 12-36. DOI: 10.1080/02626667.2020.1839080.
- [2] Me, W. *et al.* Effects of hydrologic conditions on SWAT model performance and parameter sensitivity for a small, mixed land use catchment in New Zealand. *Hydrology and Earth System Sciences*, 2015, 19, pp. 4127-4147. DOI: 10.5194/hess-19-4127-2015.
- [3] Arnold, J. G. *et al.* Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*, 1998, 34 (1), 73-89. DOI: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.
- [4] Phiri, W. K. *et al.* A pseudo-reservoir concept in SWAT model for the simulation of an alluvial floodplain in a complex tropical river system. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2021, 33 (2021) 100770, pp. 1-18. DOI: 10.1016/j.ejrh.2020.100770.
- [5] Abbaspour, K. C. *et al.* A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 2015, 524, pp. 733-752, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.03.027.
- [6] Tobin, K. J. and Bennett M. Improving SWAT model calibration using soil merge (SMERGE). *Water*, 2020, 12 (2039), pp. 1-21. DOI: 10.3390/w12072039.
- [7] Ruthamnong, S. Geomatics for analysis of flood and drought risk areas in Klong Suan Mak Basin, Kamphaeng Phet Province. *The Golden Teak: Humanity and Social Science Journal*, 2017, 23 (2), pp. 86-103.
- [8] Lohpaisankrit, W. and Prasanchum, H. Catchment-scale flood hazard mapping in the lower areas of Lam Pao River basin, Thailand. *Engineering Access*, 2021, 8 (1), pp. 53-60. DOI: 10.14456/mijet.2022.7.
- [9] Neitsch, S.L. *et al.* *Soil and water assessment tool: theoretical documentation*, Texas: Texas A&M University, 2009.
- [10] Rostamian, R. *et al.* Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 2008, 53 (3), pp. 977-988. DOI: 10.1623/hysj.53.5.977.
- [11] Moriasi, D. N. *et al.* Hydrologic and water quality models: performance measures and evaluation criteria. *Transaction of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2015, 58 (6), pp. 1763-1785. DOI: 10.13031/trans.58.10715.