การจำลองปริมาณน้ำท่าลุ่มน้ำลำเชียงไกรโดยใช้แบบจำลอง SWAT

Runoff Simulation of Lam Chiang Krai Watershed Using SWAT Model

กฤต มิ่งขวัญ[1,*] หริส ประสารฉ่ำ[1] และ สมพินิจ เหมืองทอง[2]

[1] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
**Corresponding author; E-mail address: krit0850129287@gmail.com*

บทคัดย่อ

อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรเกิดทำนบดินทรุดตัวอาจเนื่องจากสภาพอุทกวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปจากการออกแบบ ประกอบกับต้องรองรับปริมาณน้ำฝนที่ตกต่อเนื่องจากพายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดน้ำท่วมหนักรุนแรงในลุ่มน้ำลำเชียงไกรปี พ.ศ.2564 ทั้งนี้การจำลองเพื่อเรียนรู้สภาพอุทกวิทยาเป็นอีกวิธีหนึ่งในการช่วยวางแผนจัดการอ่างเก็บน้ำ การศึกษาครั้งนี้ ได้จำลองน้ำท่าเข้าสู่อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรด้วย SWAT model ร่วมกับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำต่าง ๆ ผลการศึกษาพบว่า SWAT model ให้ผลการจำลองน้ำท่าที่ค่าความสัมพันธ์ R^2 = 0.72 และ NSE = 0.71 เมื่อเทียบกับข้อมูลน้ำท่าของอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร ส่วนผลการศึกษาน้ำท่าสูงสุดใช้การแจกแจงล็อกเพียร์ซันประเภทสามเพื่อการประมาณปริมาณน้ำท่าเข้าอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรที่คาบการเกิดซ้ำ 25, 50 และ 100 ปี ซึ่งผลจากการศึกษานี้สามารถเสนอแนะแนวทางการป้องกันการทรุดตัวของทำนบดินและเพิ่มประสิทธิภาพอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร, แบบจำลองทางอุทกวิทยา, การแจกแจงล็อกเพียร์ซันประเภทสาม, SWAT model

Abstract

Lam Chiang Krai Reservoir caused a dam to collapse, possibly due to a change of hydrological conditions from its design and the high amount of rainfall due to Tropical Storm Dian Mu causing severe flooding in the Lam Chiang Krai Basin in 2021. The simulation that helps to learn the hydrological conditions is another method to support reservoir management plans. This study simulates the runoff entering Lam Chiang Krai Reservoir using the SWAT model together with the analysis of the extreme runoff with different return periods. The results showed that the SWAT model gave the simulated results of the runoff at the relation of R^2 = 0.72 and NSE = 0.71 compared to the actual data measured at the Lam Chiang Krai Reservoir station. The results of the extreme runoff study use the Log Pearson distribution (type III) for estimating the amount of runoff in the Lam Chiang Krai Reservoir at return periods of 25, 50 and 100 years. Also, the results of this study can be suggested to prevent dam subsidence and increase the efficiency of Lam Chiang Krai Reservoir in the future.

Keywords: Lam Chiang Krai Reservoir, Hydrologic model, Log Pearson distribution (type III), SWAT model

1. บทนำ

การเกิดอุทกภัย สาเหตุจากทั้งธรรมชาติและจากฝีมือมนุษย์ เช่น การเกิดฝนตกหนักต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน การเกิดน้ำเท้อด้านท้ายน้ำ และน้ำทะเลหนุน ทั้งนี้อุทกภัยทำให้เกิดความเสียหายทั้งต่อชีวิต ทรัพย์สิน และสิ่งแวดล้อมตามธรรมชาติ รวมไปถึงความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ดังเช่น เหตุการณ์อุทกภัยเมื่อวันที่ 26 กันยายน 2564 อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่าง ตำบลบัลลังก์ อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา ข้อมูลจากศูนย์อุทกวิทยาชลประทาน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง กรมชลประทาน พบว่ามีมวลน้ำเหนือสันอ่างเต็มพื้นที่กว่า 6,000 ไร่ ปริมาณน้ำกว่า 40 ล้านลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 135% เกินความจุกักเก็บ 27.7 ล้านลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีปริมาณน้ำมากที่สุดในรอบ 50 ปี นับตั้งแต่ก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ ทั้งนี้สาเหตุเนื่องจากมวลน้ำฝนสะสมจากอิทธิพลของพายุโซนร้อนเตี้ยนหมู่ (Diànmu) ในพื้นที่ตอนบน อำเภอด่านขุนทด และอำเภอเทพารักษ์ ไหลมาสมทบกัน จึงส่งผลให้อาคารระบายน้ำล้นปกติและอยู่ระหว่างการก่อสร้างได้ถูกกระแสน้ำกัดเซาะทำนบดินจนชำรุด เป็นผลให้มวลน้ำไหลทะลักออกมาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ระดับน้ำในลำเชียงไกรและลำน้ำสาขามีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และส่งผลกระทบต่อพื้นที่ลุ่มต่ำตอนล่างเป็นวงกว้าง

จากเหตุการณ์อุทกภัยดังกล่าว บทความนี้จึงได้จำลองสภาพทางอุทกวิทยา และลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำลำเชียงไกรด้วยแบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) ซึ่งพัฒนาโดย Arnold et al. [1-3] โดยการกระจายพารามิเตอร์ตามสภาพทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งแบบจำลอง SWAT สามารถใช้ในการคาดการณ์ผลกระทบการ

เปลี่ยนแปลงสภาพอากาศและการใช้ที่ดินต่อปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอนและสารเคมีจากเกษตรกรรม โดยมีกระบวนการคำนวณที่มีประสิทธิภาพและมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เป็นที่ยอมรับทั้งในระดับสากลและในระดับภูมิภาคของประเทศไทย [4-6] โดยการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินค่าชุดตัวแปรของแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าของลุ่มน้ำลำเชียงไกร และการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำต่าง ๆ โดยวิธีการแจกแจงล็อคเพียร์ซันประเภทสาม ทั้งนี้ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลเพื่อการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่วมที่จะส่งผลทำให้อ่างเก็บน้ำเกิดความเสียหายได้ในอนาคต

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูล การตั้งค่าพื้นฐานในแบบจำลอง SWAT การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร การสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง รวมถึงการคาดการณ์ปริมาณน้ำท่าสูงสุด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

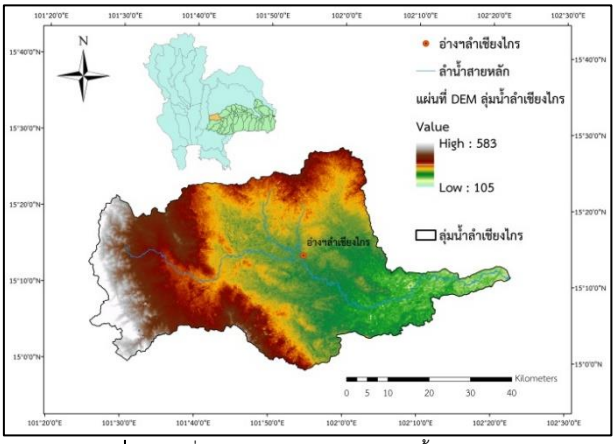
2.1 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลสำหรับใช้ในแบบจำลอง SWAT แบ่งออกเป็น ข้อมูลกายภาพของลุ่มน้ำ และข้อมูลลักษณะอากาศรายวัน โดยข้อมูลกายภาพประกอบด้วย ระดับผิวดิน ชนิดดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน ส่วนข้อมูลลักษณะอากาศ ได้แก่ ข้อมูลฝน อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีแสงอาทิตย์ และความเร็วลม ส่วนกรณีที่ไม่มีข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวันหรือมีข้อมูลที่ขาดหายไปบ้าง การศึกษานี้จะประมาณค่าจากแบบจำลอง SWAT ด้วยสถิติข้อมูลสภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ โดยรายละเอียดข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลอง SWAT ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสำหรับใช้ในแบบจำลอง SWAT

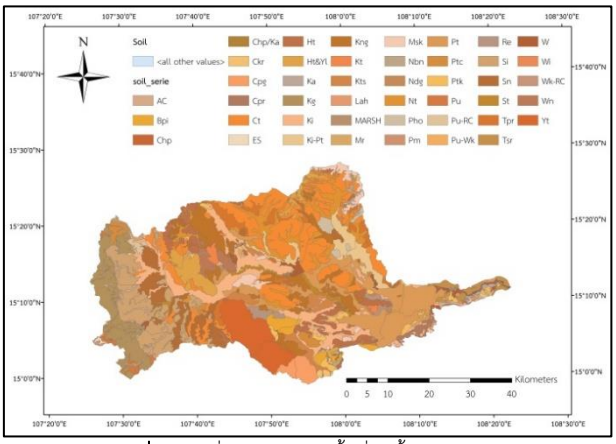
ที่	ชนิดของข้อมูล	ปีข้อมูล (พ.ศ.)	ที่มา
1	ระดับความสูงเชิงเลข 30 ม. x 30 ม.	2557	กรมการพัฒนาที่ดิน
2	ข้อมูลชุดดิน	2561	กรมการพัฒนาที่ดิน
3	ข้อมูลการใช้ที่ดิน	2562	กรมการพัฒนาที่ดิน
4	ฝน และลักษณะอากาศ รายวัน	2551 - 2563	กรมอุตุนิยมวิทยา
5	น้ำท่ารายวัน	2551 - 2563	กรมชลประทาน

การศึกษาเลือกใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข Digital Elevation Model (DEM) ของกรมการพัฒนาที่ดิน 30 ม. X 30 ม. เนื่องจากมีความสอดคล้องกับตำแหน่งทางกายภาพของพื้นที่ในลุ่มน้ำลำเชียงไกร เช่น ค่าระดับดิน ตำแหน่งอ่างเก็บน้ำ เส้นแนวลำน้ำ และแนวถนน ของข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Geographic Information System (GIS) ที่ได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ร่วมกับการสำรวจภาคสนาม การวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า ค่าระดับความสูงของพื้นที่ลุ่มน้ำลำเชียงไกรอยู่ระหว่าง 105-583 ม.รทก. ดังแสดงในรูปที่ 1 ค่าระดับเฉลี่ยทั้งลุ่มน้ำประมาณ 215 ม.รทก. โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 78 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด มีค่าระดับความสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 144-240 ม.รทก.



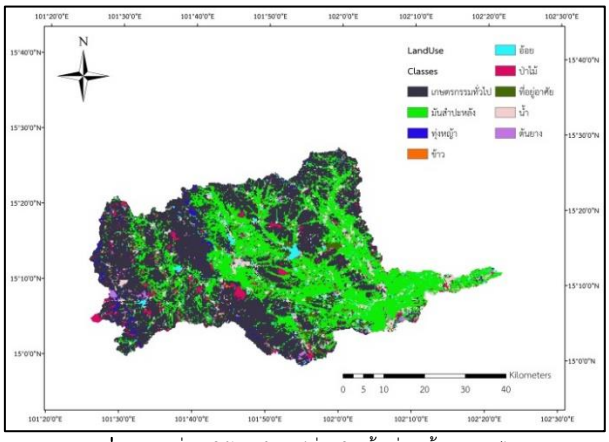
รูปที่ 1 แผนที่แสดงเขตและความสูงลุ่มน้ำลำเชียงไกร

ข้อมูลชนิดดิน จากข้อมูลชุดดิน (Soil Series) ซึ่งเป็นหน่วยจำแนกดินที่ละเอียดที่สุด ของกรมพัฒนาที่ดิน การวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำลำเชียงไกร ประกอบด้วยชุดดินทั้งหมดจำนวน 44 ชุดดิน ดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนใหญ่เป็นชุดดินจัตุรัส และชุดดินสีคิ้ว โดยครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 10.3 และ 7.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2 แผนที่ชนิดของดินในพื้นที่ลุ่มน้ำลำเชียงไกร

ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ใช้ในการศึกษานี้ ถูกจำแนกเป็นกลุ่มใหญ่ทั้งสิ้น 9 กลุ่ม ซึ่งข้อมูลการใช้ที่ดินที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ข้อมูลปี พ.ศ. 2562 ดังแสดงในรูปที่ 3

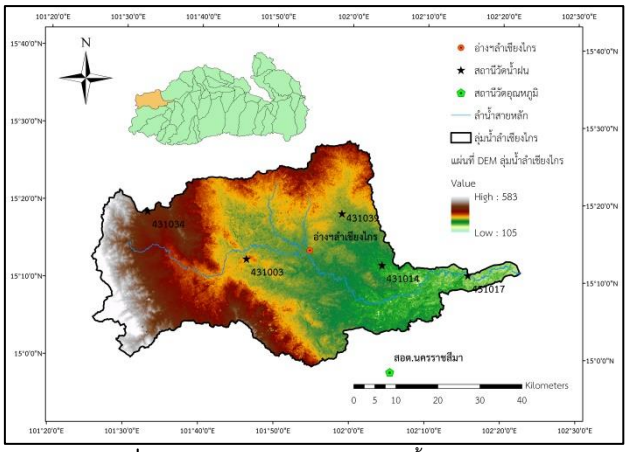


รูปที่ 3 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำลำเชียงไกร

ข้อมูลน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา รวบรวมได้จาก 5 สถานี กระจายทั่วลุ่มน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4 ทั้งนี้ ข้อมูลภูมิอากาศรวบรวมได้จากสถานีตรวจอากาศนครราชสีมา ส่วนข้อมูลน้ำท่าที่ไหลลงอ่างฯ ได้ข้อมูลจากอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่าง ตำบลบัลลังค์ อำเภอโนนไทย จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งอยู่ในช่วงตอนกลางของลำน้ำลำเชียงไกร และเพื่อให้ข้อมูลน้ำฝนอยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับข้อมูลลุ่มน้ำและข้อมูลการใช้ที่ดิน จึงได้ทำการวิเคราะห์น้ำฝนด้วยวิธีธีเอสเสน (Thiessen Method) [7]

ตารางที่ 2 ข้อมูลสถานีอุต-อุทกวิทยา

ที่	รหัสสถานี	ที่ตั้งสถานี	ประเภทสถานี
1	431003	อ.ด่านขุดทด จ.นครราชสีมา	น้ำฝน
2	431014	อ.โนนไทย จ.นครราชสีมา	น้ำฝน
3	431017	อ.โนนสูง จ.นครราชสีมา	น้ำฝน
4	431034	อ.เทพารักษ์ จ.นครราชสีมา	น้ำฝน
5	431039	อ.พระทองคำ จ.นครราชสีมา	น้ำฝน
6	431201	สอต.นครราชสีมา จ.นครราชสีมา	น้ำฝน,ภูมิอากาศ
7	ลำเชียงไกร	อ.โนนไทย จ.นครราชสีมา	น้ำท่า

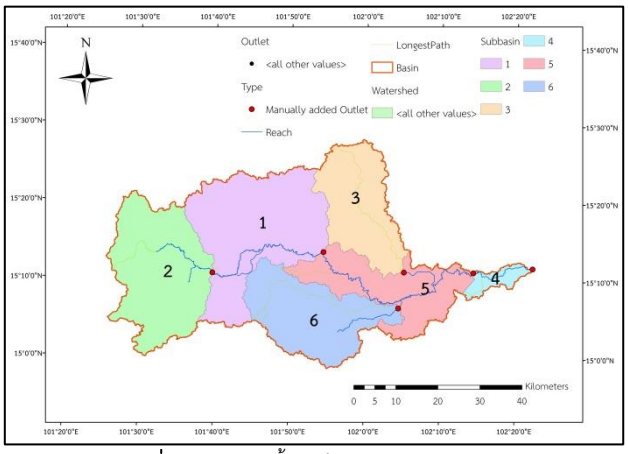


รูปที่ 4 ตำแหน่งสถานีอุต-อุทกวิทยา ลุ่มน้ำลำเชียงไกร

2.2 การตั้งค่าพื้นฐานในแบบจำลอง SWAT

แบบจำลอง SWAT ที่ใช้คือ ARCSWAT Version 2012.10.15 โดยการตั้งค่าพื้นฐานในแบบจำลอง เริ่มจากการกำหนดให้แบบจำลอง SWAT ทำการสร้างเส้นแนวลำน้ำและแบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะมีการแบ่งออกเป็นพื้นหน่วยตอบสนองทางอุทกวิทยา (Hydrologic Response Units : HRUs) ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชั้นผิวดิน จากนั้นจึงแบ่งกลุ่มค่าความลาดชันระดับผิวดินเป็น 2 กลุ่ม ที่ค่าความชัน 0-5% และ <5% [8] เพื่อเป็นตัวแทนของพื้นที่ราบลุ่ม ลาดชันและพื้นที่ภูเขา ตามลำดับ ส่วนการคำนวณเริ่มที่ HRUs รวมกันเป็นลุ่มน้ำย่อยและเคลื่อนที่ไปสู่ลำน้ำในลำดับถัดไป โดยใช้เกณฑ์การแบ่ง HRUs ตามพื้นที่ครอบคลุมของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชันของผิวดินที่มีค่าเกิน 10% ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย ซึ่งถ้าครอบคลุมพื้นที่ไม่ถึง 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยก็จะไม่นำมาพิจารณาในการแบ่งกลุ่ม HRUs ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้มีจำนวน HRUs มากเกินความจำเป็น ซึ่งจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณมาก โดยผลลัพธ์ที่ได้ก็ไม่แตกต่างไปมาก [9]

เมื่อทำการแบ่งเส้นลำน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแล้ว พบว่า มีความสอดคล้องกับข้อมูล GIS เส้นแนวลำน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำที่รวบรวมได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำรวมจากแบบจำลอง SWAT คำนวณได้ 2,837 ตร.กม. และพื้นที่ลุ่มรวมจากกรมชลประทานมีขนาดเท่ากับ 2,959 ตร.กม. มีพื้นที่แตกต่างกันเพียง 4.3% จากนั้นทำการแบ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยได้ทั้งหมด 6 ลุ่มน้ำย่อย แสดงดังรูปที่ 5 และมีจำนวน HRUs ทั้งสิ้น 67 หน่วย โดยในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะมี HRUs อยู่ในช่วงระหว่าง 5-16 หน่วย



รูปที่ 5 การแบ่งลุ่มน้ำย่อยโดยแบบจำลอง SWAT

ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ และข้อมูลความเร็วลมรายวัน ได้จากแบบจำลอง Weather Generator ซึ่งเป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศใน SWAT ทั้งนี้การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติข้อมูลลักษณะภูมิอากาศย้อนหลัง 13 ปี ระหว่างปี พ.ศ.2551-2563 จากสถานีตรวจอากาศหลักในลุ่มน้ำลำเชียงไกรและพื้นที่ใกล้เคียง

2.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่า จากแบบจำลอง SWAT-CUP Version 5.1.6.2 (SWAT Calibration and Uncertainty Procedures) [10] โดยทำการวิเคราะห์ที่อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่าง ใช้ข้อมูลน้ำท่ารายเดือนที่ไหลลงอ่างเก็บน้ำ ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2551 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2563 รวม 156 เดือน ส่วนข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินปี พ.ศ. 2562 ใช้เป็นข้อมูลทดสอบทำการวิเคราะห์ซ้ำ เพื่อศึกษาความอ่อนไหวของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำท่า 8 ตัวแปร [11] จำนวน 500 ครั้ง SWAT-CUP ส่วนการแสดงผลอยู่ในรูปแบบของกราฟ Dotty Plots ซึ่งเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและ Objective Function พิจารณาจากการกระจายตัวของตัวแปร การศึกษาความอ่อนไหวของตัวแปรในเบื้องต้นใช้ค่า NSE (Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient) เป็นค่า Objective Function ซึ่งเป็นค่าแกนตั้งใน Dotty Plot ส่วนแกนนอนเป็นค่าตัวแปรแต่ละตัวที่แปรผันไปในช่วงขอบเขตที่ได้ระบุไว้ นอกจากการพิจารณาผลจาก Dotty Plot แล้ว SWAT-CUP ยังแสดงผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรในรูปแบบของ Global

Sensitivity Analysis โดยแสดงผลในรูปแบบของตารางแสดงค่า t-Stat และ P-Value ซึ่งค่าสถิติทั้งสองเป็นค่าที่ได้มาจากการทดสอบสมมติฐานว่าตัวแปรที่พิจารณา มีความสัมพันธ์กับค่า Objective Function โดยการสร้างสมการความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการถดถอยเชิงซ้อน ซึ่งสามารถทดสอบสถิติได้โดยพิจารณาจากค่า t-Stat มากโดยไม่พิจารณาเครื่องหมาย หมายถึงตัวแปรนั้นมีความอ่อนไหวต่อ Objective Function มาก และค่า P-Value เข้าใกล้ศูนย์ หมายถึงตัวแปรตัวนั้นมีความอ่อนไหวต่อ Objective Function อย่างมีระดับนัยสำคัญมาก [12] การศึกษานี้จะพิจารณาผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรจากทั้ง Dotty Plot และ Global Sensitivity Analysis

2.4 การสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง ใช้ผลการศึกษาจากแบบจำลอง SWAT-CUP 2012 Version 5.1.6.2 โดยใช้เทคนิค Sequential Uncertainty Fitting version 2 (SUFI2) ในการคำนวณ เช่น เดียวกับการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรจากข้อมูลที่มีการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาชุดตัวแปรที่เหมาะสมกับการประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างฯ รายเดือน ณ อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่าง ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2551-2558 หลังจากนั้นจึงใช้ค่าชุดตัวแปรทำการตรวจสอบแบบจำลองในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2559-2563 ภายใต้สภาพการใช้ที่ดินคงที่ในปี พ.ศ.2562 โดยใช้สถิติทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองที่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานอุทกวิทยา จำนวน 3 ตัว ได้แก่ R^2 (Coefficient of Determination), NSE (Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient) และ PBIAS (Percent Bias) [12,13,14] แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}} \right)^2 \quad (1)$$

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

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

เมื่อ i คือ ลำดับที่ของข้อมูล, n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, O_i คือ ค่าจากการตรวจวัด, $\bar{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดทั้งหมด, P_i คือ ค่าจากแบบจำลอง และ $\bar{P}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลองทั้งหมด ทั้งนี้ SWAT-CUP ให้ผลการสอบเทียบแบบจำลองในรูปแบบช่วงของตัวแปรที่เหมาะสมพร้อมกับการแสดงค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการใช้ชุดตัวแปรดังกล่าว โดยแสดงผลการจำลองเป็นช่วง 95% ของความไม่แน่นอนจากการทำนาย (95% Prediction Uncertainty, 95PPU) ซึ่งช่วง 95PPU สามารถคำนวณได้ที่ค่าปริมาณน้ำท่า ณ ตำแหน่งที่สอดคล้องกับค่าร้อยละสะสมของการแจกแจงแบบปกติที่ระดับ 2.5% และ 97.5% จากผลการคำนวณซ้ำในช่วงตัวแปรที่พิจารณา โดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ (Latin Hypercube Sampline) [12,14] จากผลการคำนวณช่วง 95PPU นี้ SWAT-CUP จะแสดงผลของความไม่แน่นอนจากการทำนายในรูปแบบของค่า p-Factor และ r-Factor โดยค่า p-Factor เป็นค่าที่แสดงถึงร้อยละของข้อมูลจริง (ค่าตรวจวัด) ที่ปรากฏอยู่ในช่วง 95PPU และ r-Factor คำนวณได้จากสัดส่วนของช่วงความกว้างเฉลี่ยของ 95PPU กับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจริง [12,14] โดยช่วงตัวแปรที่ดีที่สุดตามทฤษฎีจะต้องได้ค่า p-Factor = 100% และ r-Factor เข้าใกล้ศูนย์ซึ่งความเป็นจริงไม่สามารถเป็นได้ เนื่องจากค่า p-Factor จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ r-Factor มีค่ามาก คำตอบที่ดีที่สุดจึงถูกกำหนดเป็นช่วงของตัวแปรที่ให้ค่า p-Factor สูงที่สุด และ r-Factor ต่ำที่สุด โดยค่าที่แนะนำได้แก่ p-Factor ควรมีค่ามากกว่า 0.70 และ r-Factor ควรมีค่าน้อยกว่า 1.50 [14] นอกจากนั้นแล้ว SWAT-CUP สามารถแสดงผลของค่าชุดตัวแปรที่ดีที่สุด (Best Simulation Parameters) ซึ่งเป็นชุดตัวแปรที่ให้ค่า Objective Function สูงที่สุดซึ่งเป็นชุดตัวแปรที่ดีที่สุดสามารถนำไปใช้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในลำดับต่อไป

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ โดยใช้ทฤษฎีการแจกแจงความถี่ล็อกเพียร์ซันประเภทสาม (Log Pearson Type III Distribution) [15,16] U.S Water Resources Council เป็นทฤษฎีแจกแจงความถี่มาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ขนาดน้ำท่วมด้วยหลักสถิติการเกิด ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนข้อมูลน้ำท่าสูงสุดรายปีเป็นค่าล็อกการิธึมของข้อมูลน้ำท่า หรือ Q_i เป็นน้ำท่าสูงสุดรายปีและเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของ Log Q_i ซึ่งต้องใช้ค่าจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Log mean} = \overline{\log Q} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\log Q_i}{N} \quad (4)$$

$$\text{Log standard deviation} = S_{\log Q} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}\left[\log Q_i - \overline{\log Q}\right]^2}{N-1}} \quad (5)$$

$$\text{log skew coefficient} = G_{\log Q} = \frac{N\sum_{i=1}^{M}\left[\log Q_i - \overline{\log Q}\right]^3}{(N-1)(N-2)\left(S_{\log Q}\right)^3} \quad (6)$$

เมื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ได้แล้ว คำนวณขนาดของปริมาณน้ำท่าสูงสุดรายปี Q_{Tr} ที่รอบปีการเกิดซ้ำ Tr ปี จากสมการ

$$\text{Log}Q_{Tr} = \overline{\log Q} + K_{Tr}\left(S_{\log Q}\right) \quad (7)$$

เมื่อค่า K_{Tr} คือค่าแฟคเตอร์เรียกว่า Skew Curve Factor หาได้จากตารางค่า K_{Tr} สำหรับใช้กับฟังก์ชันการแจกแจงแบบล็อกเพียร์ซันประเภทสาม ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่า G_{LogQ} และค่า Tr ทั้งนี้เมื่อคำนวณค่า LogQ_{Tr} ได้แล้วให้ถอดค่าล็อกเพื่อให้ได้ค่า Q_{Tr}

3. ผลการศึกษา

ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร ผลการสอบเทียบ และการตรวจสอบแบบจำลอง แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 ผลการสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง

การใช้แบบจำลอง SWAT-CUP คำนวณซ้ำโดยแปรผันชุดตัวแปรจำนวน 500 ครั้ง ในช่วงของชุดตัวแปรที่พิจารณา สำหรับอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร ได้ผลการสอบเทียบแบบจำลองได้ค่า p-Factor และ r-Factor เท่ากับ 0.87 และ 1.11 ตามลำดับ ส่วนค่า NSE ที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.82 โดยเมื่อพิจารณาจากค่า r-Factor ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1.5 แสดงให้เห็นว่าช่วงความกว้างเฉลี่ยของ 95PPU จากการใช้ชุดตัวแปรในช่วงจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด (แสดงในตารางที่ 4) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ [14] เมื่อพิจารณาค่า p-Factor ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.70 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองในช่วง 95PPU มีความคลาดเคลื่อนที่น้อยเมื่อเทียบกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง [14] ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า NSE ที่มีค่ามากกว่า 0.50 ซึ่งคำนวณได้จากชุดตัวแปรที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่าให้ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [13,14] โดยได้เลือกชุดตัวแปรที่ดีที่สุดนี้ สำหรับการตรวจสอบแบบจำลองในลำดับต่อไป

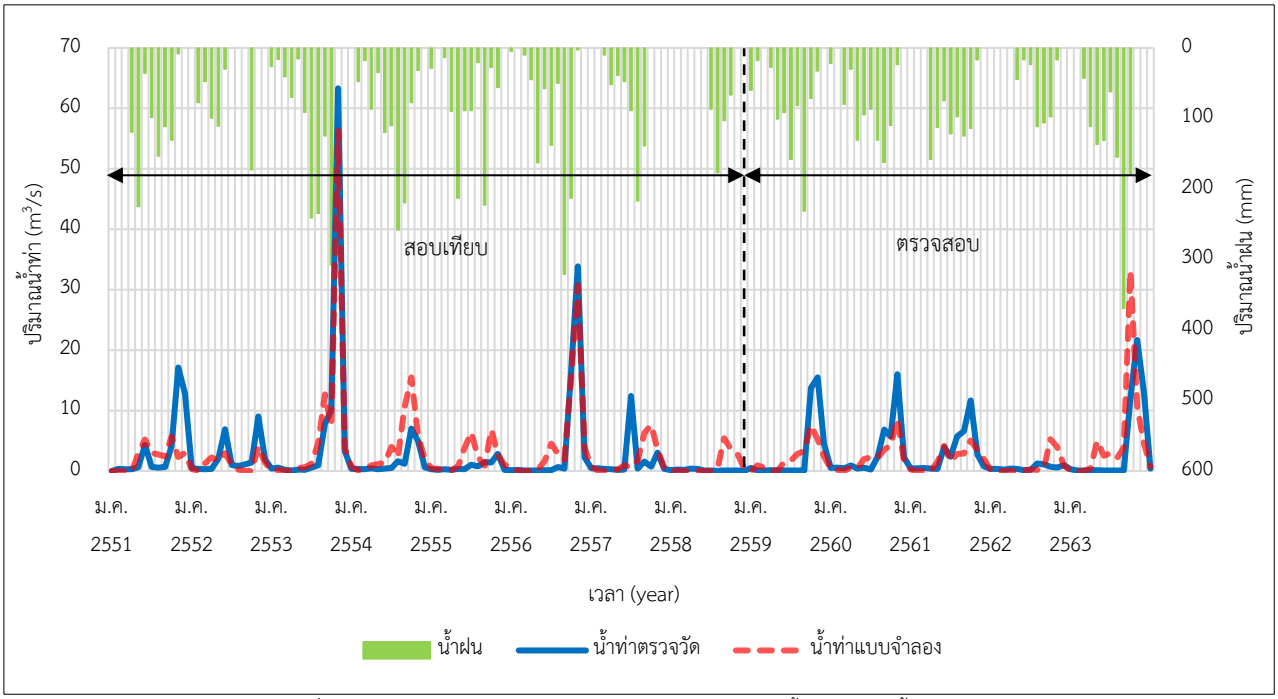
ตารางที่ 3 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง SWAT ข้อมูลน้ำท่าของอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่าง

สถิติทดสอบ	สอบเทียบ (2551-2558)	ตรวจสอบ (2559-2563)	ทั้งหมด (2551-2563)
R^2	0.82	0.37	0.72
NSE	0.82	0.25	0.71
PBIAS	-14.56	5.1	-7.01

ตารางที่ 4 ผลการสอบเทียบแบบจำลองโดย SWAT-CUP

ตัวแปร	ค่าที่ดีที่สุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1:R_CN2.mgt	0.018	-0.020	0.020
2:V_ALPHA_BF.gw	0.273	0.000	1.000
3:V_GW_DELAY.gw	255.500	0.000	500.000
4:V_GWQMN.gw	4375.000	0.000	5000.000
5:A_SOL AWC(..).sol	0.254	0.000	2.000
6:R_ESCO.hru	0.328	0.100	0.350
7:R_CH_N2.rte	0.518	0.000	0.800
8:R_SLSUBBSN.hru	45.700	10.000	150.000

การทดสอบในช่วงตรวจสอบแบบจำลองใช้ข้อมูลระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2559-2563 ได้ผลการศึกษาดังแสดงในตารางที่ 3 และรูปที่ 7 พบว่าแบบจำลอง SWAT ให้ผลการจำลองน้ำท่าในช่วงสอบเทียบได้ค่า R^2 และ NSE มากกว่า 0.70 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ผลการวิเคราะห์ในช่วงตรวจสอบให้ค่าที่ต่ำกว่าปริมาณน้ำท่าจริง ส่วนผลต่างของปริมาณน้ำท่าโดยรวมจากค่า PBIAS พบว่ามีค่าแตกต่างกันไม่เกิน 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ดี



รูปที่ 7 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสำหรับปริมาณน้ำท่า อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกร

3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ

การศึกษาปริมาณน้ำท่าสูงสุดรายปี โดยใช้ค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ได้จากแบบจำลดง SWAT ของแต่ละปี ซึ่งเรียงลำดับปีที่มีปริมาณน้ำมากที่สุดไปหาน้อยที่สุด พบว่า ในช่วง 13 ปี มีปริมาณน้ำมากที่สุดลำดับที่ 1 ใน ปี 2553 เท่ากับ 88.22 m^3/s ลำดับที่ 2 ในปี 2563 เท่ากับ 66.03 m^3/s และมีค่าน้อยที่สุดในปี 2562 เท่ากับ 11.18 m^3/s ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าล๊อกการิธึมปริมาณน้ำท่าสูงสุดรายปี

ลำดับ	ปี	น้ำท่าสูงสุด (m^3/s)	Log Q (m^3/s)	(log Q - Avg (log Q))^2	(log Q - Avg (log Q))^3
1	2553	88.22	1.946	1.375	1.612
2	2563	66.03	1.820	1.096	1.147
3	2556	61.76	1.791	1.036	1.054
4	2554	44.39	1.647	0.764	0.668
5	2551	27.48	1.439	0.444	0.295
6	2559	26.47	1.423	0.422	0.274
7	2560	26.04	1.416	0.413	0.265
8	2555	25.82	1.412	0.408	0.261
9	2561	23.72	1.375	0.363	0.218
10	2557	21.66	1.336	0.317	0.178
11	2552	14.94	1.174	0.161	0.065
12	2558	12.83	1.108	0.112	0.038
13	2562	11.18	1.049	0.076	0.021

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดรายปีด้วยทฤษฎีการแจกแจงความถี่ล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม โดยใช้ปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT ที่อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่าง ได้ผลการวิเคราะห์ค่าปริมาณน้ำท่าสูงสุดรายปีดังตารางที่ 5 และผลคำนวณค่าพารามิเตอร์ได้ค่า $\overline{\log Q} = 0.5822$, $S_{\log Q} = 0.7630$, และ $G_{\log Q} = 1.0398$ ส่วนผลการคำนวณหาปริมาณน้ำท่าสูงสุด (Q_{Tr}) ที่รอบปีการเกิดซ้ำ (Tr) 25, 50 และ 100 ปี ได้ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่รอบปีการเกิดซ้ำ25 ,50 ,100 ปี

Tr (ปี)	K_{Tr}	$K_{Tr} \times S_{LogQ}$	Avg (log Q) (m^3/s)	Q_{Tr} (m^3/s)	Q_{Tr} (mcm)
25	2.034	1.552	2.325	211.29	18.26
50	2.525	1.927	2.700	500.68	43.26
100	2.996	2.286	3.059	1,145.87	99.00

ส่วนค่า K_{Tr} ในตารางที่ 6 ได้จากการเปิดค่า Frequency Factors K for Gamma and log-Pearson Type III Distributions เพื่อนำมาคูณค่า S_{LogQ} บวกค่า Avg (log Q) และถอดค่าล๊อกออกจะได้ค่า Q_{Tr} ที่รอบปีการเกิดซ้ำที่ 25, 50 และ 100 ปี ซึ่งได้ผลการคำนวณเท่ากับ 211.29 m^3/s, 500.68 m^3/s และ 1,145.87 m^3/s ตามลำดับ

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT เพื่อการจำลองปริมาณน้ำท่ารายเดือนในลุ่มน้ำลำเชียงไกร จังหวัดนครราชสีมา โดยวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรทางกายภาพที่ใช้ในแบบจำลอง สอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง ได้ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงอ่างฯ ในช่วงระหว่างปี พ.ศ.2551-2563 พบว่า CN2, SOL_AWC และ CH_N2 เป็นตัวแปรที่มีความอ่อนไหวต่อการจำลองน้ำท่ามากที่สุด ตามลำดับ และผลการสอบเทียบแบบจำลองระหว่างปี พ.ศ. 2551-2558 และตรวจสอบแบบจำลองระหว่างปี พ.ศ.2559-2563 ที่อ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่าง สรุปได้ค่า R^2 = 0.72 และ NSE = 0.71 และเมื่อพิจารณาค่า PBIAS พบว่า ปริมาณน้ำท่าที่ประมาณได้จากแบบจำลอง SWAT ในช่วงการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองมีค่าแตกต่างกันไม่เกิน ±15% อยู่ในเกณฑ์ที่ดี [13] ซึ่งสามารถนำชุดตัวแปรนี้ไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป

ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าสูงสุดที่คาบการเกิดซ้ำ โดยใช้ทฤษฎีการแจกแจงความถี่ล๊อกเพียร์ซันประเภทสาม (Log Pearson Type III Distribution) พบว่า ที่รอบปีการเกิด 25, 50 และ 100 ปี มีปริมาณน้ำท่าสูงสุดรายปีที่ได้จากแบบจำลอง SWAT มีค่าเท่ากับ 18.26 mcm ,43.26 mcm และ 99.00 mcm ตามลำดับ ซึ่งความจุของอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่างอยู่ที่ 27.70 mcm. และปริมาณน้ำของรอบปีการเกิดซ้ำที่ 50 ปี มีมากถึง 43.26 mcm เกินความจุของอ่างเก็บน้ำในปัจจุบันเป็นปริมาณมากสอดคล้องกับเหตุการณ์ที่เกิดในปัจจุบัน ดังนั้นอ่างเก็บน้ำลำเชียงไกรตอนล่างควรมีมาตรการเพื่อป้องกันการเกิดน้ำท่วมฉับพลันเนื่องจากพายุฝน เช่น การเสริมระดับกักเก็บน้ำ การเพิ่มความแข็งแรงและความมั่นคงของอาคารระบายน้ำล้น การบำรุงรักษาตัวเขื่อนให้ให้มีสภาพสมบูรณ์ การติดตั้งเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อนเพิ่มเติม การดูแลรักษาสภาพคลองส่งน้ำและอาคารชลประทานต่าง ๆ เป็นต้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปประกอบการคำนวณออกแบบอาคารชลประทานและการตัดสินใจได้

แบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่ต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานเป็นจำนวนมากเพื่อนำมาจำลองปริมาณการไหลของน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำที่ทำการศึกษา และมีการสอบเทียบการตรวจสอบเพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ซึ่งต้องมีปัจจัยสำคัญสำหรับการสอบเทียบและการตรวจสอบ นั้นคือ ปริมาณน้ำท่าจากสถานีตรวจวัด ซึ่งพื้นที่ลุ่มน้ำลำเชียงไกรมีสถานีตรวจวัดที่น้อยมาก ส่วนใหญ่สถานีจะอยู่ในบริเวณปลายลำน้ำ ส่วนบริเวณต้นลำน้ำนั้นไม่มีซึ่งจะเป็นการตรวจวัดปริมาณน้ำจากอ่างเก็บเก็บน้ำเป็นส่วนมาก ในการจัดทำแบบจำลองควรมีสถานีวัดน้ำก่อนเข้าอ่างฯ และหลังอ่างฯ ในการวิเคราะห์เพื่อให้เกิดความถูกต้องของข้อมูลและสามารถตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำก่อนเข้าและหลังปล่อยออกให้สอดคล้องกับสภาพพื้นที่จริงให้มากที่สุด อันจะส่งผลให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น สนับสนุนการทำวิจัย สำนักงานชลประทานที่ 8 และศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา กรมพัฒนาที่ดิน สนับสนุนข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] Kim, J., et al. (2021). Improvement of Downstream Flow by Modifying SWAT Reservoir Operation Considering Irrigation Water and Environmental Flow from Agricultural Reservoirs in South Korea, *Water 2021*, 13, 2543.

[2] Phiri, W.K. et al. (2021). 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*, 33, 100770.

[3] Kim, S., et al. (2022). Evaluation of Agricultural Water Supply and Selection of Deficient Districts in Yeongsan River Basin of South Korea Considering Supply Priority, *Water 2022*, 14, 298.

[4] Kwarteng, E.A., et al. (2021). Coupling SWAT and Bathymetric Data in Modelling Reservoir Catchment Hydrology, *Spatial Information Research*, 29, pp. 55-69.

[5] Sharlene, L., et al. (2021). Use of the SWAT model for Estimating Reservoir Volume in the Upper Navet Watershed in Trinidad, *SN Applied Sciences*, 3, 163.

[6] Leta, M.K., Demissie, T.A., Tränckner, J., (2021). Hydrological Responses of Watershed to Historical and Future Land Use Land Cover Change Dynamics of Nashe Watershed, Ethiopia, *Water 2021*, 13, 2372.

[7] Tesema, T.A., Leta, O.T., (2020). Sediment Yield Estimation and Effect of Management Options on Sediment Yield of Kesem Dam Watershed, Awash Basin, Ethiopia, *Scientific African*, 9, e00425

[8] วนัชพร แมงสาโมง และฮาซัน คอแด๊ะ. (2561). การศึกษาความอ่อนไหวของค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง SWAT ต่อปริมาณน้ำท่าและปริมาณน้ำใต้ดิน: กรณีศึกษาลุ่มน้ำเพชรบุรี. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*, ปีที่ 10, ฉลับที่ 2, หน้า 80-92.

[9] Tasdighi, A., Arabi, M., Harmel, D., (2018). A probabilistic appraisal of rainfall-runoff modeling approaches within SWAT in mixed land use watersheds, *Journal of Hydrology*, 564, pp. 476-489.

[10] Abbaspour, K.C. (2013). SWAT-CUP 2012, SWAT Calibration and Uncertainty Programs – A User Manual, pp. 6-19.

[11] Samuel, S.G., Shaibu, A.G., Raymond, A.K., (2020). Application of SWAT hydrological model for assessing water availability at the Sherigu catchment of Ghana and Southern Burkina Faso, *Hydro Research*, 3, pp. 124-133

[12] Achamyeleh, G., Leon, D., Yali, E., (2019). Techniques for calibration and validation of SWAT model in data scarce arid and semi-arid catchments in South Africa, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 25, 100621.

[13] Moriasi, D.N., Gitau, M.W., Pai, N. and Daggupati, N. (2015). Hydrologic and water quality models: performance measures and evaluation criteria. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.*, 58, pp. 1763-1785

[14] Mtibaa, S., & Asano, S., (2022). Hydrological evaluation of radar and satellite gauge-merged precipitation datasets using the SWAT model: Case of the Terauchi catchment in Japan, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101134

[15] ขนิษฐา บุญมา และสมฤทัย ทะสดวก. (2564, มิถุนายน). การทดสอบการแจกแจงความถี่สำหรับสภาพการไหลต่ำสุดในลุ่มน้ำยม. *เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 26*, การประชุมรูปแบบออนไลน์.

[16] ภัทราพร แสงทอง และปรียาพร โกษา. (2557). การประเมินปริมาณาท่าด้วยแบบจำลอง SWAT กรณีศึกษาพื้นที่ลุ่มน้ำลำพระเพลิงตอนบน. *วารสารวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรม พระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2, หน้า 165-176.