การวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าด้วยแบบจำลอง SWAT เพื่อประเมินสภาพความปลอดภัยของเขื่อน: กรณีศึกษา อ่างเก็บน้ำลำคันฉู จังหวัดชัยภูมิ

Analysis of Runoff by SWAT Model to Assess Dam Safety Situation: A Case Study of Lam Khan Chu Reservoir, Chaiyaphum Province

พิษณุ ศรีศุภอรรถ[1,*] และ หริส ประสารฉ่ำ[1]

[1] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
**Corresponding author; E-mail address: phitsanue56s@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงที่เกิดพายุรุนแรง มีโอกาสส่งผลต่อความไม่ปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ โดยเฉพาะการพิจารณาปริมาณน้ำใต้ดินบริเวณโครงสร้างสันเขื่อน การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ซึ่งตั้งอยู่ในลุ่มน้ำชี ระหว่าง พ.ศ. 2561-2563 ซึ่งครอบคลุมช่วงพายุโนอีล โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT จำลองสภาพน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำเทียบกับข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่บันทึกจากอ่างเก็บน้ำ และนำผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ใต้ผิวดินเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดบริเวณสันเขื่อน ผลการศึกษาพบว่า การปรับเทียบและสอบเทียบความแม่นยำของแบบจำลองแสดงค่าดัชนี R^2 เท่ากับ 0.74 และ NSE เท่ากับ 0.72 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เมื่อนำผลลัพธ์ที่ได้เข้าแบบจำลอง SWAT-Check ประเมินปริมาณน้ำใต้ดิน โดยหาความสัมพันธ์กับค่าระดับน้ำใต้ดินที่อ่านได้จากเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนบ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน โดยแสดงค่าดัชนี R^2 เท่ากับ 0.51 ซึ่งแสดงถึงนัยยะสำคัญว่าปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำส่งผลต่อปริมาณน้ำใต้ดินที่กระทำต่อบริเวณสันเขื่อน วิธีการและผลการศึกษานี้จึงคาดว่าเป็นแนวทางในการนำ SWAT และ SWAT-Check เพื่อใช้วิเคราะห์ในการหาค่าน้ำใต้ดินในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อนเพื่อวัตถุประสงค์ในการประเมินสภาพความปลอดภัยของเขื่อน

คำสำคัญ: อ่างเก็บน้ำลำคันฉู, ปริมาณน้ำท่า, ความปลอดภัยของอ่างเก็บน้ำ, แบบจำลอง SWAT

Abstract

The runoff that flows into the reservoir during severe storms has the potential to affect the safety of large-sized reservoirs, especially considering the amount of groundwater around the dam ridge structure. The objective of this study was to assess the runoff in the Lam Kan Chu Reservoir located in the Chi River Basin during 2018-2020, covering the period of the tropical storm Noul. The SWAT model was applied to simulate the condition of runoff flowing into the reservoir compared to the recorded data from the reservoir, and the results of the analysis of the lateral flowing into the subsurface were compared with the measurements at the dam ridge. The results of the study found that calibration and validation accuracy of the model showed an index of R^2 of 0.74 and NSE of 0.72, which was good. When the results were taken into the SWAT-Check model, the groundwater content was assessed and correlated with the groundwater level readings from the groundwater level dam behavior measurement instrument. The results indicated an R^2 index of 0.51, which implied that the runoff in the reservoir affected the groundwater acting on the dam crest. The methods and results of this study are therefore expected to be a guideline for applying SWAT and SWAT-Check to analyze the level and groundwater in medium and small reservoirs that are not equipped with dam behavior measurement tools for the purpose of assessing the condition of dam safety.

Keywords: Lam Khan Chu Reservoir, Runoff, Reservoir Safety, SWAT Model

1.บทนำ

ในปี พ.ศ. 2561-2563 ลุ่มน้ำลำคันฉูประสบภัยน้ำท่วมอย่างรุนแรง โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2563 ที่มีพายุโนอีล สร้างความเดือดร้อนและความเสียหายต่อประชาชนในพื้นที่เป็นอย่างมาก สาเหตุการเกิดน้ำท่วมมาจากการที่ฝนตกหนักในพื้นที่ท้ายอ่างเก็บน้ำและเหนืออ่างเก็บน้ำ จนทำให้ระดับในอ่างเก็บน้ำลำคันฉูมีระดับเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ปริมาณน้ำใกล้เคียงกับระดับเก็บกักสูงสุด ซึ่งอ่างเก็บน้ำจำเป็นต้องทำการระบายน้ำเต็มประสิทธิภาพเพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัย จากงานวิจัยอิทธิพลการลดระดับน้ำต่อเสถียรภาพความลาดของเขื่อนดินแบบแบ่งส่วน ได้สรุปผลการทดสอบว่า การลดลงของระดับน้ำในเขื่อนส่งผลต่อเสถียรภาพความลาดชันของเขื่อน โดยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยของเขื่อนมีค่าลดลงอย่างมาก [1] สำหรับการศึกษาเสถียรภาพของอ่างเก็บน้ำในต่างประเทศได้มีการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางอุทกวิทยาเพื่อวิเคราะห์ถึงปริมาณผิวดินและใต้ดินในช่วงที่เกิดพายุซึ่งคาดว่าจะส่งผลกระทบต่ออ่างเก็บน้ำ [2] ดังนั้น อ่างเก็บน้ำที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ ซึ่งจำเป็นต้องเตรียมการวางแผนถึงเสถียรภาพของอ่างเก็บน้ำเป็นพิเศษเพื่อรองรับปริมาณน้ำท่าที่เข้ามาปริมาณมาก หากได้มีการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินโดยอาศัยแบบจำลองทางอุทกวิทยาที่มีประสิทธิภาพ และได้รับการยอมรับ ตัวอย่างเช่น แบบจำลอง Soil and Water Assessment Tool (SWAT) โดยผลที่ได้รับจากการศึกษาคาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำและความปลอดภัยของเขื่อน

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ (1) เพื่อประเมินปริมาณน้ำท่าไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ระหว่างปี พ.ศ. 2561-2563 ซึ่งครอบคลุมช่วงพายุโนอึล โดยประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT โดยอาศัยแบบจำลอง SWAT-Check เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำที่ไหลลงสู่ใต้ผิวดิน (Lateral flow) (2) เพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำใต้ดินที่ได้จากแบบจำลอง SWAT-Check กับค่าที่อ่านได้เครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) เพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT-Check ไปวิเคราะห์ค่าน้ำใต้ดิน ในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กของกรมชลประทาน ที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ด้านเสถียรภาพและความปลอดภัยเขื่อน

2. อ่างเก็บน้ำลำคันฉู

อ่างเก็บน้ำลำคันฉูเป็นเขื่อนดิน อยู่ในจังหวัดชัยภูมิ อยู่ในลุ่มน้ำลำคันฉู ดังแสดงในรูปที่ 1 เพื่อช่วยเหลือแก้ไขสภาพการขาดแคลนน้ำที่ใช้ในการอุปโภคบริโภคและการเกษตร 43,000 ไร่ เป้าหมายคือ พื้นที่ริมฝั่งลำคันฉู ซึ่งอยู่ในความดูแลของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาชีบน กรมชลประทาน โดยอ่างเก็บน้ำลำคันฉู อายุเขื่อน 24 ปี (นับตั้งแต่ปีก่อสร้างปี พ.ศ. 2533 ถึงปี พ.ศ. 2565) เป็นอ่างที่มีความสูงของเขื่อน 26 เมตร มีระดับสันเขื่อน 269 ม.รทก. ระดับน้ำสูงสุดเท่ากับ 266.87 ม. รทก. ระดับเก็บกักปกติ 265 ม.รทก. ระดับเก็บกักต่ำสุด 253 ม.รทก. มีความจุอ่างใช้งานได้เท่ากับ 42.6 ล้าน ลบ.ม.โดยอ่างเก็บน้ำลำคันฉูในพื้นที่อำเภอเทพสถิตและอำเภอบำเหน็จณรงค์

อ่างเก็บน้ำลำคันฉูมีการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน [5,6] โดยติดตั้งอุปกรณ์ 5 ประเภท ดังแสดงในรูปที่ 2 รายละเอียดดังนี้

1.เครื่องมือวัดการเคลื่อนตัวของดิน (Inclinometer) เป็นอุปกรณ์วัดการเคลื่อนตัว ติดตั้ง 2 จุด เก็บข้อมูลการเคลื่อนตัวของดินเป็นรายวัน

2.บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดระดับน้ำในบ่อ เพื่อตรวจสอบระดับน้ำใต้ดิน (Ground Water Table) ติดตั้งจำนวน 5 จุด เก็บข้อมูลระดับน้ำใต้ดินเป็นรายวัน

3.เครื่องมือวัดแรงดันน้ำใต้ดิน (Piezometer) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดค่าแรงดันน้ำ (Pore Water Pressure) ในชั้นดิน ณ ระดับความลึกต่างๆ ติดตั้ง 2 จุด เก็บข้อมูลแรงดันน้ำเป็นรายวัน

4.เครื่องมือวัดอัตราการไหลของน้ำผ่านตัวเขื่อน (Seepage Flow Meter) เครื่องมือสำหรับวัดอัตราการไหลซึมของน้ำผ่านตัวเขื่อน ติดตั้ง 1 จุด เก็บข้อมูลอัตราการไหลของน้ำเป็นรายวัน

5.เซนเซอร์ วัดระดับน้ำ (Water Level Sensor) ใช้สำหรับวัดระดับน้ำ โดยค่าที่ได้จะเป็นค่า analog ติดตั้ง 1 จุด เก็บข้อมูลระดับน้ำเป็นรายวัน



รูปที่ 1 แผนที่ลุ่มน้ำลำคันฉู

3. วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาประกอบด้วยขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล การตั้งค่าพื้นฐานในแบบจำลอง SWAT การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร การสอบเทียบแบบจำลอง และการตรวจสอบแบบจำลอง โดยได้แสดงรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT สองกลุ่มใหญ่ ได้แก่ ข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำ และ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน ข้อมูลกลุ่มแรกประกอบไปด้วย ข้อมูลระดับผิวดิน ชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลกลุ่มที่สอง ได้แก่ ข้อมูลน้ำฝน อุณหภูมิสูงสุดต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีแสงอาทิตย์ และความเร็วลม ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวันหรือข้อมูลขาดหาย แบบจำลอง SWAT สามารถประมาณค่าดังกล่าวจากสถิติข้อมูลสภาพอากาศพื้นฐานในแต่ละพื้นที่ได้ แบบจำลองย่อยดังกล่าวเรียกว่า Weather Generator รายละเอียดของข้อมูล [3] ที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT ของการศึกษานี้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลอง SWAT

ที่	ชนิดของข้อมูล	ช่วงเวลา (พ.ศ.)	ที่มา
1	ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) 30 ม. x 30 ม.	2558	กรมชลประทาน
2	ข้อมูลชุดดิน	2561	กรมการพัฒนาที่ดิน
3	ข้อมูลการใช้ที่ดิน	2562	กรมการพัฒนาที่ดิน
4	ข้อมูลฝนและอุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด รายวัน	2561 - 2563	กรมอุตุนิยมวิทยา
5	ข้อมูลน้ำท่ารายวัน	2561 - 2563	กรมชลประทาน

การศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) จาก กรมชลประทาน 30 ม. X 30 ม. เนื่องจากผลการเปรียบเทียบตำแหน่งทางกายภาพของสภาพลุ่มน้ำ (ค่าระดับดิน ตำแหน่งอ่างเก็บน้ำ เส้นแนวลำน้ำ แนวถนน ฯลฯ) กับข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ที่ได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง [11] ประกอบกับผลการสำรวจภาคสนาม ให้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่า โดยที่ระดับสูงสุดของพื้นที่อยู่ที่ประมาณ +981 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง (รทก.) ได้แก่ พื้นที่ด้านตะวันตกของลุ่มน้ำลำคันคันฉู

ข้อมูลชนิดดินที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ข้อมูลชุดดิน (Soil Series) ซึ่งเป็นหน่วยจำแนกดินที่ละเอียดที่สุด ที่ได้ทำการสำรวจข้อมูลโดยกรมพัฒนาที่ดินของประเทศไทย จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าในลุ่มน้ำลำคันฉูประกอบด้วยชุดดินทั้งหมดจำนวน 17 ชนิด โดยส่วนใหญ่ เป็นชุดดินดินร่วนละเอียด ดินร่วน ครอบคลุมพื้นที่อำเภอบำเหน็จณรงค์และอำเภอเทพสถิต ร้อยละ 32.48 และ 10.52 ตามลำดับ

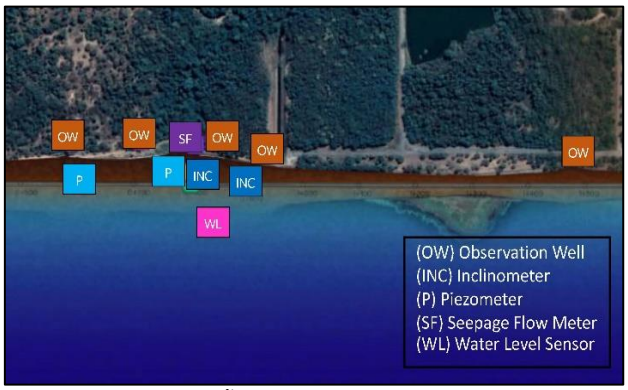
ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ใช้ในการศึกษานี้ ถูกจำแนกเป็นกลุ่มใหญ่ทั้งสิ้น 10 กลุ่ม ซึ่งข้อมูลการใช้ที่ดินที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ข้อมูลปี พ.ศ. 2562

ข้อมูลน้ำฝนและข้อมูลน้ำท่าถูกคัดเลือกเพื่อให้อยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับข้อมูลการใช้ที่ดิน เพื่อให้การคำนวณเป็นไปอย่างน่าเชื่อถือมากที่สุด ข้อมูลน้ำฝนรวบรวมได้ทั้งสิ้น 3 สถานีกระจายทั่วทั้งลุ่มน้ำศึกษา ดังแสดงในรูปที่ 3 ข้อมูลอุณหภูมิรวบรวมได้จากสถานีตรวจอากาศจังหวัดชัยภูมิซึ่งตั้งอยู่ทางทิศตะวันออกนอกขอบเขตพื้นที่ศึกษา ข้อมูลน้ำท่าจะใช้ข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ระหว่างวันที่ 1 มกราคม

2561 ถึง 31 ธันวาคม 2563 ซึ่งได้จากความสัมพันธ์ของระดับน้ำและความจุแปลงเป็นปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำที่ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยเจ้าหน้าที่อ่างเก็บน้ำของกรมชลประทาน รายละเอียดของข้อมูลสถานีอุตุ-อุทกวิทยา แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลสถานีอุตุ-อุทกวิทยาที่ใช้ในการศึกษา

ที่	รหัสสถานี	ที่ตั้งสถานี	ประเภทสถานี
1	403007	อ.บำเหน็จณรงค์ จ.ชัยภูมิ	น้ำฝน
2	403015	อ.เทพสถิต จ.ชัยภูมิ	น้ำฝน
3	403019	อ.ซับใหญ่ จ.ชัยภูมิ	น้ำฝน



รูปที่ 2 จุดติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน
https://dms.gfe.co.th/

3.2 หลักการคำนวณแบบจำลอง SWAT

การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง SWAT แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนพื้นดิน (Land Phase) และส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำ (Routing Phase) โดยการวิเคราะห์ในส่วนพื้นดินจะเป็น การศึกษาวงจรอุทกวิทยาเพื่อประเมินหาปริมาณน้ำท่า ปริมาณตะกอน ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส และสารเคมีจากการเกษตรที่จะไหลลงสู่ลำน้ำหลักของแต่ละลุ่มน้ำย่อย [4] การวิเคราะห์ ของส่วนการเคลื่อนที่ในลำน้ำจะคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำ ตะกอน ไนโตรเจน ฯลฯ ไปตามลำน้ำ ตลอดทั้งโครงข่ายระบบน้ำของลุ่มน้ำลำคันฉู โดยแบบจำลอง SWAT ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ ARCSWAT Version 2012.10.15 การตั้งค่าพื้นฐานเริ่มจากกำหนดให้แบบจำลอง SWAT ทำการสร้างเส้นแนวลำน้ำ แบ่งพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยและกำหนดจุดออกของน้ำท่า จากแถบคำสั่ง Watershed delineation ป้อนข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความชัน โดยใช้แถบคำสั่ง HRU analysis และป้อนข้อมูลฝนและอากาศ โดยใช้แถบคำสั่ง Write input table เมื่อป้อนข้อมูลครบแล้ว SWAT จะทำการคำนวณปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายวันในรูปแบบของ Access file การกำหนดหน่วยการตอบสนองทางอุทกวิทยา เป็นการกำหนดความละเอียดของหน่วยพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยให้พื้นที่ลุ่มน้ำ สามารถมีลักษณะ HRU ที่หลากหลาย เช่น ตามลักษณะประเภทของ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ลักษณะของกลุ่มชุดดิน ความลาดชันของพื้นที่จริงให้มากที่สุดเป็นต้น ซึ่งการกำหนด HRU มีผลต่อผลที่ได้จากการประเมิน ของแบบจำลอง SWAT ค่อนข้างมาก การสร้างไฟล์นำเข้าของแบบจำลอง SWAT เมื่อกระบวนการข้างต้นเสร็จสิ้นขั้นตอนต่อไปเป็นการสร้างไฟล์นำเข้าข้อมูลการกำหนด ลักษณะข้อมูลภูมิอากาศ สร้างไฟล์ข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง SWATและการแก้ไขไฟล์ข้อมูลนำเข้าของ แบบจำลอง SWAT



รูปที่ 3 แผนที่อ่างเก็บน้ำลำคันฉู

3.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร

เมื่อนำเข้าข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาเข้าสู่แบบจำลอง SWAT ผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองจะเกี่ยวข้องกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของลุ่มน้ำ [10] ในการศึกษานี้ให้ความสนใจเพียงข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวัน ซึ่งปริมาณน้ำท่ารายวันจะแปรผันตามค่าตัวแปรต่าง ๆ ของแบบจำลองที่ส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าในอ่างเก็บน้ำลำคันฉู โดยค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับแก้ได้มีเป็นจำนวนมาก พารามิเตอร์แต่ละตัวจะส่งผลต่อกระบวนการทางอุทกวิทยา การศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรโดยการใช้แบบจำลอง SWAT-CUP Version 5.1.6.2 (SWAT Calibration and Uncertainty Procedures) โดยทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรที่มีผลต่อปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉู และการใช้ที่ดินของปี พ.ศ. 2562 เป็นข้อมูลทดสอบทำการวิเคราะห์ซ้ำเพื่อศึกษาความอ่อนไหวของตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำท่า 8 ตัวแปร

3.4 การสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง

เมื่อคำนวณปริมาณน้ำท่าได้แล้ว ต้องมีการตรวจสอบ ความถูกต้องของแบบจำลองโดยการนำค่าที่ได้มา เปรียบเทียบกับข้อมูลจริง เรียกว่าการปรับเทียบ แบบจำลอง (Model Calibration) ถ้าแตกต่างกันมาก จะต้องปรับค่าตัวแปร จนกว่าผลลัพธ์ที่คำนวณออกมา ใกล้เคียงกับข้อมูลจริง หรือเป็นค่าที่ยอมรับได้โดยจะตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง [8,9] จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ความเกณฑ์ของค่า R^2 และ NSE ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า ข้อมูลมีความสอดคล้องกัน มีความสัมพันธ์กันมาก และถ้ามีค่าน้อยอาจเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ข้อมูลมีความสัมพันธ์กันน้อย อยู่โดยจะใช้ค่า SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Procedures) ช่วยในการปรับเทียบแบบจำลอง สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าสถิติเปรียบเทียบทั้งสองสมการได้แก่

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

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

เมื่อ i คือ ลำดับที่ของข้อมูล, n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, Oi คือ ค่าจากการตรวจวัด, $\overline{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดทั้งหมด, Pi คือ ค่าจากแบบจำลองและ $\overline{P}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลองทั้งหมด จากข้อมูลที่มีการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาชุดตัวแปรที่เหมาะสมกับการประเมินปริมาณน้ำท่ารายวันไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ในวันที่ 1 มกราคม 2561 – 31 ธันวาคม 2563 หลังจากนั้นจะใช้ค่าชุดตัวแปรดังกล่าวทำการสอบเทียบ (Calibrate) ในวันที่ 1 มกราคม 2561 – 31 ธันวาคม 2562 และทำการตรวจสอบ (Validate) ในวันที่ 1 มกราคม 2563 – 31 ธันวาคม 2563

3.5 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำใต้ดินจากแบบจำลอง SWAT และระดับน้ำใต้ดินจากเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน

ในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ข้อมูลจากแบบจำลอง SWAT-Check ใช้ค่า Lat Q คือปริมาณน้ำใต้ดินที่ได้จากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับตรวจวัดระดับน้ำในบ่อหรือหลุมเจาะ ในอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ติดตั้งจำนวน 5 จุด แต่ละจุดที่ติดตั้งระดับห่างกัน 1-5 เมตร ในการศึกษาครั้งนี้เลือกบ่อที่จุดติดตั้งอยู่ที่ระดับความลึกที่สุด ที่ระดับติดตั้ง +237.64 ม.รทก.เพื่อตรวจวัดค่าน้ำใต้ดินในจุดที่ลึกที่สุด นำข้อมูลมาสร้างกราฟ Scatter plot เพื่อนำค่ามาวิเคราะห์สมการถดถอย ค่า R^2 เพื่อหาค่าความสัมพันธ์กันของทั้ง 2 ข้อมูล

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง

จากการใช้แบบจำลอง SWAT-CUP ทำการคำนวณซ้ำโดยแปรผันชุดตัวแปรจำนวน 500 ครั้ง ในช่วงของชุดตัวแปรที่พิจารณาโดยได้ผลการวิเคราะห์ r-Factor < 1.5 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และ p-Factor < 0.7 [7] แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำท่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าตรวจวัดจริงเล็กน้อย สำหรับชุดข้อมูลในชุดข้อมูลฝนสถานีวัดน้ำฝนทั้ง 3 สถานี และชุดข้อมูลปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำ และผลการสอบเทียบแบบจำลองโดย SWAT-CUP ที่ใช้พารามิเตอร์จำนวน 8 ค่า ได้แก่

(1) Initial SCS runoff curve number for moisture condition II (CN2)
(2) Manning's N value for the main channel (CH_N2)
(3) Available water capacity of the soil layer (SOL_AWC)
(4) Average slope length (SLSUBBSN)
(5) Threshold depth of water in the shallow aquifer required for return flow to occur (GWQMN)
(6) Soil evaporation compensation factor (ESCO)
(7) Groundwater delay (GW_Delay)
(8) Base flow alpha factor (Alpha_BF)

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรความอ่อนไหวด้วย SWAT-CUP แสดงให้เห็นว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการปรับค่าปริมาณน้ำท่าลำดับแรกคือ CN2 ลำดับที่สองคือ ALPHA_BF และลำดับที่สาม คือ GW_DELAY โดยแสดงค่าที่ดีที่สุด เท่ากับ -0.097, 0.635 และ 221.099 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลทำให้การคำนวณจากแบบจำลองใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3

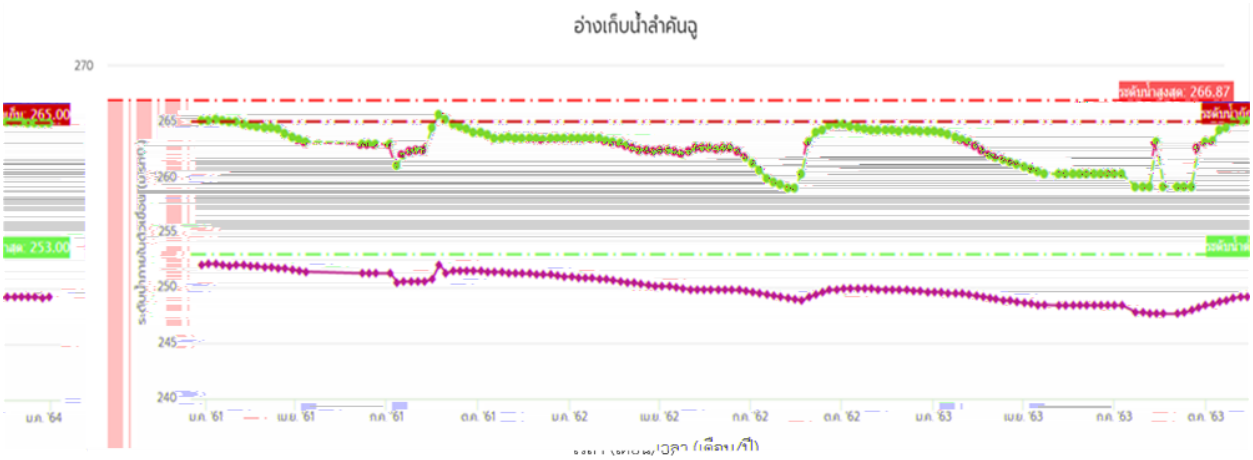
ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง จะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าทางสถิติใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการวัดจริงของอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ค่า R^2 เท่ากับ 0.74 ค่า NSE เท่ากับ 0.72 ซึ่งค่าอยู่ในเกณฑ์ดี ทำให้พบว่า ข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้มีความน่าเชื่อถือสอดคล้องกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งกราฟเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำท่ามีรูปร่างใกลบงา:กรน บ ภ น

4.2 ผลการวิเคราะห์แบบจำลอง SWAT-Check

นำค่าที่ได้จากการแบบจำลอง SWAT ของอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ในปี พ.ศ. 2561-2563 นำเข้าข้อมูลในแบบจำลอง SWAT-Check แยกตามรายปี โดยจะได้ค่า Precipitation (Rain), Surface Runoff (Surf Q), Lateral Flow (Lat Q), Water Yield (Yield), Evapotranspiration (ET) รายละเอียดดังนี้ แสดงในตารางที่ 5 จากผลที่แสดงในแบบจำลอง SWAT-Check พบว่า ในปีพ.ศ. 2561 และ พ.ศ. 2563 ที่มีค่า Rain ปริมาณมากในช่วงที่มีพายุ เท่ากับ 919.90 มม.และ 931.00 มม. ตามลำดับ ค่า Lat Q จะมีปริมาณแปรผันและสอดคล้องกัน ค่าเท่ากับ 31.02 มม.และ 31.80 มม. ตามลำดับ ถ้าเปรียบเทียบกับ พ.ศ. 2562 ค่า Rain ปริมาณน้อย ค่า Lat Q จะมีปริมาณน้อยตาม ทำให้พบว่าค่า Rain จะแปรผันโดยตรงกับค่า Lat Q โดยจะแสดงผลแบบจำลอง SWAT-Check แต่ละปีพ.ศ. 2561-2563 ดังรูปที่ 5-7 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลแบบจำลอง SWAT-Check

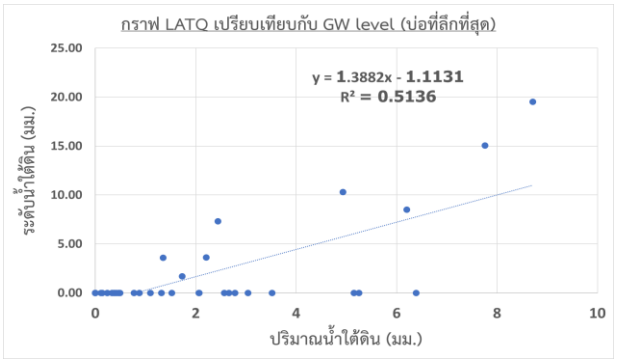
ตัวแปร/ปี	2561	2562	2563
Rain (มม.)	919.90	553.80	931.00
Surf Q (มม.)	94	38.79	172.45
Lat Q (มม.)	31.02	16.13	31.80



รูปที่ 8 ผลการอ่านค่าบ่อวัดระดับน้ำใต้ดินจาก Website เครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน

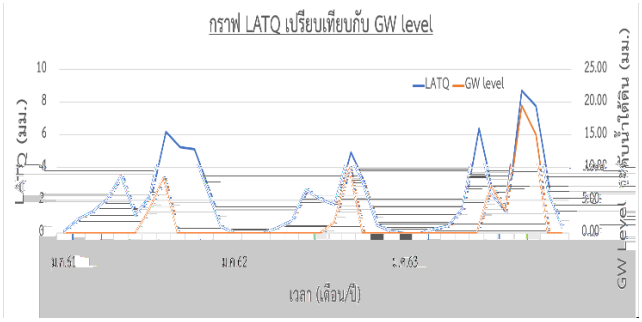
4.4 ความสัมพันธ์ค่า Lat Q จากแบบจำลอง SWAT- Check กับ ค่าบ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well)

นำข้อมูลค่า Lat Q ที่ได้จากแบบจำลอง SWAT-Check นำค่ารายเดือนเปรียบเทียบกับที่อ่านได้จากบ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) เพื่อนำไปหาค่าความถดถอย (Regression Analysis) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Lat Q เป็นตัวแปรต้น กับระดับใต้ดินจากเครื่องมือวัดเป็นตัวแปรตาม ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 กราฟ Scatter plot ค่า Lat Q กับ ค่าที่อ่านได้เครื่องมือวัด

จากกราฟ Scatter plot ค่า Lat Q กับ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) ค่า R^2 เท่ากับ 0.51 ค่าประสิทธิภาพผลของแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ทำให้พบว่าปริมาณน้ำใต้ดินรายเดือน (มม.) จากค่า LAT Q ผลแบบจำลอง SWAT-Check มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับค่าระดับน้ำใต้ดินที่เพิ่มขึ้น (มม.) จากการตรวจวัดของบ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) โดยเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 กราฟค่า Lat Q กับ ค่าที่อ่านได้เครื่องมือวัดเปรียบเทียบรายเดือน

จากกราฟค่า Lat Q กับ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) จะมีค่าสัมพันธ์สอดคล้องกันในช่วงเดือนสิงหาคม กันยายน และตุลาคม เป็นช่วงฤดูฝนที่มีฝนตกหนักและพายุเข้า ทำให้เครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) ตรวจพบและอ่านระดับน้ำใต้ดินที่เพิ่มขึ้นได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะช่วงในปีพ.ศ. 2563 ที่พายุโพดุลเข้าในเดือนสิงหาคมและกันยายน กราฟค่า Lat Q กับ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกันและกราฟไปในทิศทางเดียวกัน แสดงให้เห็นว่า ผลของแบบจำลอง SWAT ที่หาปริมาณน้ำท่าเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉู ค่า R^2 เท่ากับ 0.74 และ ค่า NSE เท่ากับ 0.72 มีข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้มีความน่าเชื่อและแบบจำลอง SWAT มีความสัมพันธ์แบบมีนัยสำคัญกับแบบจำลอง SWAT-Check

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT ในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายวันในอ่างเก็บน้ำลำคันฉู เพื่อทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปรทางกายภาพที่ใช้ในแบบจำลอง รวมถึงการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร กับปริมาณน้ำท่ารายวันที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉู จากการเก็บข้อมูล พบว่า CN2, SOL_AWC และ GW_DELAY คือตัวแปรที่มีความอ่อนไหวต่อการจำลองน้ำท่ามากที่สุดตามลำดับ จากผลการสอบเทียบแบบจำลอง ข้อมูลวันที่ 1 มกราคม 2561 – 31 ธันวาคม 2562 และตรวจสอบแบบจำลอง ข้อมูลวันที่ 1 มกราคม 2563 – 31 ธันวาคม 2563 เปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำลำคันฉูจากการเก็บข้อมูล สรุปได้ว่า ในภาพรวมให้ผลอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยพิจารณาค่า R^2 และ NSE เท่ากับ 0.74 และ 0.72 ตามลำดับ อยู่ในเกณฑ์ที่ดีซึ่งสามารถนำชุดตัวแปรนี้ไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป

ผลได้จากความสัมพันธ์ของกราฟ ค่า Lat Q ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) R^2 เท่ากับ 0.51 ค่าประสิทธิภาพผลของแบบจำลองอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ จะพบว่าค่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT-Check มีความเชื่อถือและมีความสอดคล้องกับค่าที่อ่านได้จริงกับเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน บ่อวัดระดับน้ำใต้ดิน (Observation Well) เพราะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันจากกราฟผลการศึกษาครั้งนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำแบบจำลอง SWAT-Check ไปใช้หาระดับน้ำใต้ดินในอ่างเก็บน้ำขนาดกลางและขนาดเล็กของกรมชลประทาน ที่ไม่ได้ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน สำหรับใช้เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้านความปลอดภัยเขื่อน ซึ่งผู้วิจัยจะได้

ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติม เพื่อทำให้ผลการศึกษาในประเด็นนี้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้พบว่ามีข้อสังเกตในบางประเด็น เนื่องจากแบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่ต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานเป็นจำนวนมาก ในวิเคราะห์การสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ความละเอียดและความถูกต้องของข้อมูลจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อนำมาวิเคราะห์ โดยปัจจัยที่ผลต่อแบบจำลอง ในลุ่มน้ำลำคันฉูบริเวณอ่างเก็บน้ำลำคันฉูจะไม่มีสถานีตรวจวัดน้ำท่าโดยตรง ดังนั้นในการศึกษาในลำดับถัดไป จำเป็นต้องพิจารณานำข้อมูลจากสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำท่าในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงกับอ่างเก็บน้ำที่มีความละเอียดและยาวนานเพียงพอ สำหรับนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลอง SWAT เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการศึกษามากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยค้นคว้า ขอขอบคุณ คณะอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานวิทยาเขตขอนแก่น สนับสนุนและให้ความรู้ทำงานวิจัย สำนักงานชลประทานที่ 6 ศูนย์อุทกวิทยาชลประทานภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา และกรมพัฒนาที่ดิน สนับสนุนข้อมูลค้นคว้าทำงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] มนชล ศรีชัยกูล และ วีรยา ฉิมอ้อย , (2563). อิทธิพลการลดระดับน้ำต่อเสถียรภาพความลาดของเขื่อนดินแบบแบ่งส่วน, *เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, บทความที่ 50

[2] Douglas D. Woolridge, Jeffrey D. Niemann, Mark A. Perry, Kallie E. Bauer, and William T. McCormick III, 2020. Identifying Runoff Production Mechanisms for Dam Safety Applications in the Colorado Front Range. *Journal of Hydrologic Engineering*, ISSN 1084-0699, 1-12.

[3] ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ และ เจริญ สารตัน, 2556, การประเมินปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำแม่แจ่มโดยใช้แบบจำลอง SWAT, *เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 5*, บทความที่ 128.

[4] ปิยะวัฒน์ วุฒิชัยกิจเจริญ และ นรินทร์ แก้วฟั่น, 2557, การประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอยในลุ่มน้ำแม่แจ่มโดยใช้แบบจำลอง SWAT, *เอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมแหล่งน้ำแห่งชาติ ครั้งที่ 19*, บทความที่ 5.

[5] สำนักออกแบบและสถาปัตยกรรม กรมชลประทาน(สามเสน). 2550. *เอกสารบรรยายเรื่องโครงสร้างเขื่อนดินและการติดตั้งเครื่องมือการตรวจวัดพฤติกรรมเขื่อน.*

[6] ส่วนความปลอดภัยเขื่อนสำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยากรมชลประทาน (สามเสน). 2559. *คู่มือวัดพฤติกรรมเขื่อน.*

[7] Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B., 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology 524*, 733-752.

[8] Shrestha B., Babel M. S., Maskey S., van Griensven A., Uhlenbrook S., Green A., & Akkharath I, 2013. Impact of Climate Change on Sediment Yield in The Mekong River Basin: A case Study of The Nam Ou Basin, Lao PDR. *Hydrol. Earth Syst.* Sci., 17(1), 1-20

[9] Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. L., 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations, *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, ISSN 0001-2351, 50(3), 885-900

[10] Arnold, J.G., R.Srinivansan, K.W.King and R.H.Griggs. 1995. *SWAT Soil and Water Assessment Tool*: Draft Users Manual. Available source: ftp://ftp.brc.tamus.edu/pub/swat/doc/swat2000theory.pdf, March 27, 2001

[11] Luo, Y., B. Su, J. Yuan, H. Li, and Q. Zhang. 2011. *GIS Techniques for Watershed Delineation of SWAT Model in Plain Polders*. (Procedia Environmental Sciences) 10(1): 2050-2057