Bå 9 • ss 9N AI ÷5N 8Aa 9ì ø1(÷5@°#” ‘#” ß5@ñ#žÀ¡#” ó”‘_sTá „ #žÑ C ßS • ß9ì SN 8A I@ñ#

÷ÿÑ .P ð

•a‘(ú á ”à

ó ß 1(ðø P ß •` ü mð å ú P €Æ ó ú å ú ú a@ OBî ÷ î ì ô€ –

ปริมาณฝนภาคพื้นดินของกรมอุตุนิยมวิทยาในประเทศไทย เป็นการตรวจวัดความสูงของฝนที่ตกลงบนพื้นที่ด้วยเครื่องมือวัดปริมาณน้ำฝน (Rain Gauge) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร หรือนิ้ว เป็นต้นซึ่งข้อมูลที่วัดได้จะเป็นปริมาณฝนที่ตกลงสู่พื้นดินโดยตรง แต่ปริมาณฝนที่ได้เป็นเพียงตัวแทนของข้อมูล ณ บริเวณที่ทำการตรวจวัดเท่านั้น ไม่สามารถเป็นตัวแทนบริเวณที่อยู่ห่างไกลจากสถานีตรวจวัดน้ำฝนได้ [1] การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนโดยใช้ดาวเทียมอุตุนิยมวิทยาเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถตรวจวัดปริมาณฝนได้ครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วถึง โดยเฉพาะบริเวณที่ไม่มีสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน เช่น บริเวณพื้นที่ป่า บริเวณพื้นที่เขาสูง ซึ่งไม่สะดวกในการตั้งสถานีภาคพื้นดิน [2] สำหรับโครงการ GSMap (Global Satellite Mapping of Precipitation) นั้นมีวัตถุประสงคเพื่อสร้างภาพถ่ายปริมาณฝนทั่วโลกที่มีความแม่นยำและมีรายละเอียดสูง โดยมีแนวคิดในการทำการวิเคราะห์หาอัตราการตกของฝนจากเครื่องมือหลายชวงคลื่นและจากดาวเทียมหลายดวง รวมทั้งข้อมูลในชวงคลื่นไมโครเวฟจากดาวเทียมที่มีวงโคจรต่ำ และชุดข้อมูลในชวงคลื่นอินฟราเรดที่ติดตั้งบนดาวเทียมค้างฟ้า[3]

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำท่าในพื้นที่ลุ่มน้ำลำพะเนียงโดยประเมินปริมาณน้ำท่าจากการใช้ชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลฝนดาวเทียม GSMap จำนวน 55 จุด ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ ระหว่าง ค.ศ. 2010 - 2020 ด้วยแบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ซึ่งเป็นแบบจำลองอุทกวิทยาที่จำลองลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำแบบกระจายพารามิเตอร์ตามสภาพทางกายภาพของพื้นที่จริง โดยผลการศึกษานี้จะถูกนำไปประยุกต์ใช้สนับสนุนการวางแผนบริหารจัดการน้ำ ในพื้นที่ที่ขาดแคลนข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการวางแผนและกำหนดยุทธศาสตร์ การจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำลำพะเนียงในอนาคต ให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

2. พื้นที่ศึกษา

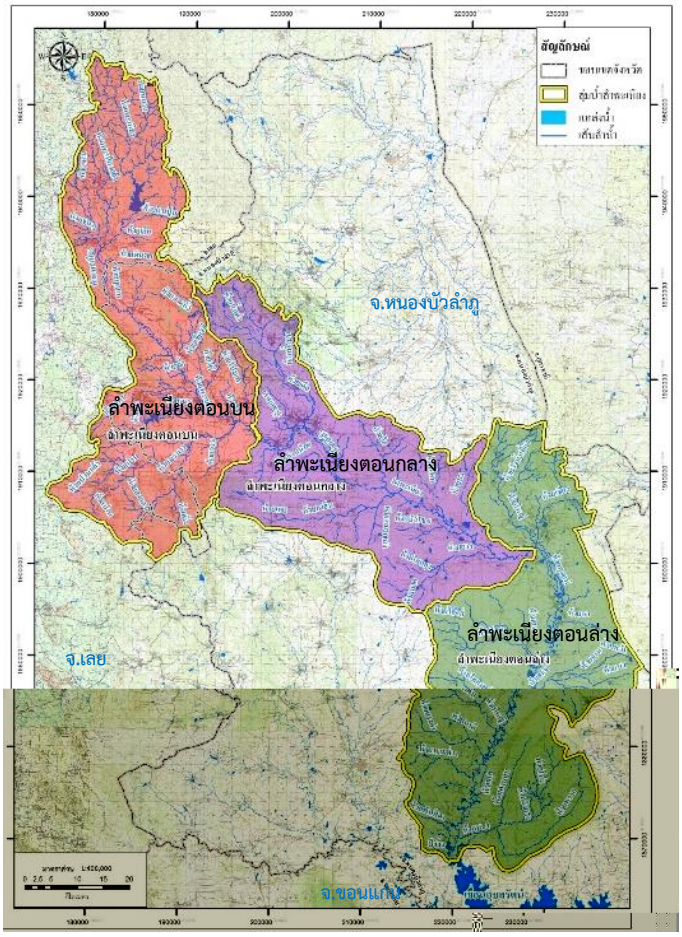
ลุ่มน้ำลำพะเนียงตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดหนองบัวลำภู และจังหวัดเลย ซึ่งเป็นจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 1,936.63 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 1.21 ล้านไร่ ขนาดพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 3.93 ของพื้นที่ลุ่มน้ำชี โดยพื้นที่ลุ่มน้ำลำพะเนียงมีต้นน้ำเริ่มจากเทือกเขาภูข้าวในจังหวัดเลย แล้วไหลในแนวตะวันออกเฉียงใต้ผ่านตัวจังหวัดหนองบัวลำภู และไหลลงสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนอุบลรัตน์บริเวณอำเภอศรีบุญเรือง จังหวัดหนองบัวลำภู ลำน้ำสายหลักลำพะเนียงมีความยาวประมาณ 285 กิโลเมตร ลุ่มน้ำสาขาลำพะเนียงสามารถแบ่งออกเป็น 3 ลุ่มย่อย ได้แก่ ลำพะเนียงตอนบน มีพื้นที่ประมาณ 637.54 ตารางกิโลเมตร ลำพะเนียงตอนกลาง มีพื้นที่ 538.39 ตารางกิโลเมตร และลำพะเนียงตอนล่าง มีพื้นที่ 714.83 ตารางกิโลเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 สภาพภูมิอากาศของพื้นที่ลุ่มน้ำลำพะเนียงเป็นแบบมรสุมเขตร้อน โดยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปีอยู่ระหว่าง 1,244.4 - 1,419.10 มิลลิเมตร

3. วิธีการศึกษา

วิธีการศึกษาประกอบด้วยขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล การตั้งค่าพื้นฐานในแบบจำลอง SWAT การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝน การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของตัวแปร การสอบเทียบแบบจำลอง และการตรวจสอบแบบจำลอง โดยได้แสดงรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT สองกลุ่มใหญ่ ได้แก่ ข้อมูลทางกายภาพของลุ่มน้ำ และ ข้อมูลสภาพภูมิอากาศรายวัน ข้อมูลกลุ่มแรกประกอบไปด้วย ข้อมูลระดับผิวดิน ชนิดดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน ข้อมูลเส้นลำน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำ ข้อมูลกลุ่มที่สอง ได้แก่ อุณหภูมิสูงสุดต่ำสุด ความชื้นสัมพัทธ์ รังสีแสงอาทิตย์ ความเร็วลม ข้อมูลน้ำฝนสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้น ข้อมูลน้ำฝนจากดาวเทียม GSMap_NRT รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง SWAT ของการศึกษานี้แสดงไว้ในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลอง SWAT

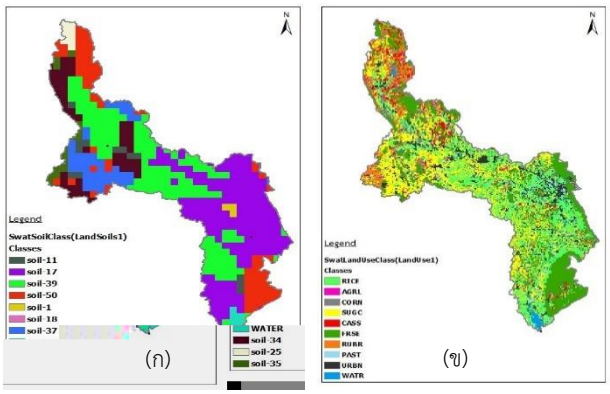
ที่	ชนิดของข้อมูล	ช่วงเวลา (ค.ศ.)	ที่มา
1	ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) 30 ม. x 30 ม.	2020	กรมการพัฒนาที่ดิน
2	ข้อมูลชุดดิน	2018	กรมการพัฒนาที่ดิน
3	ข้อมูลการใช้ที่ดิน	2019	กรมการพัฒนาที่ดิน
4	ข้อมูลเส้นลำน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำ	-	กรมชลประทาน
5	ข้อมูลสภาพอากาศ	2010 - 2020	กรมอุตุนิยมวิทยา
6	ข้อมูลฝนรายวันจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้น	2010 - 2020	กรมอุตุนิยมวิทยา
7	ข้อมูลฝนรายวันจากผลิตภัณฑ์ฝนดาวเทียม GSMap_NRT	2010 - 2020	https://sharaku.eorc.jaxa.jp/GSMaP/index.htm
8	ข้อมูลน้ำท่ารายวัน	2010 - 2020	กรมชลประทาน

การศึกษานี้เลือกใช้ข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข (DEM) จากกรมพัฒนาที่ดิน 30 ม. X 30 ม. เนื่องจากผลการเปรียบเทียบตำแหน่งทางกายภาพของสภาพลุ่มน้ำ (กับข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ GIS) ที่ได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ประกอบกับผลการสำรวจภาคสนาม ให้ผลเป็นที่น่าพอใจที่สุด

ข้อมูลชนิดดินที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ข้อมูลชุดดิน (Soil Series) ซึ่งเป็นหน่วยจำแนกดินที่ละเอียดที่สุด ที่ได้ทำการสำรวจข้อมูลโดยกรมพัฒนาที่ดิน ของประเทศไทย จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าในพื้นที่ลุ่มน้ำลำพะเนียง ประกอบด้วยชุดดินทั้งหมดจำนวน 22 ชุดดิน โดยส่วนใหญ่ เป็นชุดดินร้อยเอ็ด และชุดดินโคราช ดังแสดงในรูปที่ 2

ข้อมูลการใช้ที่ดินที่ใช้ในการศึกษานี้ ถูกจำแนกเป็นกลุ่มใหญ่ทั้งสิ้น 10 กลุ่ม ซึ่งข้อมูลการใช้ที่ดินที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แก่ข้อมูลปี ค.ศ. 2019 โดยกรมพัฒนาที่ดิน ดังแสดงในรูปที่ 2

ข้อมูลน้ำฝนภาคพื้นและข้อมูลน้ำท่าถูกคัดเลือกเพื่อให้อยู่ในช่วงที่สอดคล้องกับข้อมูลการใช้ที่ดิน เพื่อให้การคำนวณเป็นไปอย่างน่าเชื่อถือมากที่สุด ข้อมูลน้ำฝนรวบรวมได้ทั้งสิ้น 9 สถานีกระจายทั่วทั้งลุ่มน้ำศึกษา ข้อมูลสภาพอากาศรวบรวมได้ทั้งสิ้น 1 สถานี ข้อมูลน้ำท่าที่มีความสมบูรณ์ในลุ่มน้ำศึกษารวบรวมได้ทั้งสิ้น 2 สถานี ได้แก่ สถานี E.64 และ E.68A ซึ่งอยู่ในช่วงต้นและช่วงกลางของลำน้ำลำพะเนียง ตามลำดับ รายละเอียดของข้อมูลสถานีอุตุ-อุทกวิทยาในลุ่มน้ำศึกษาแสดงไว้ในตารางที่ 2 และรูปที่ 4



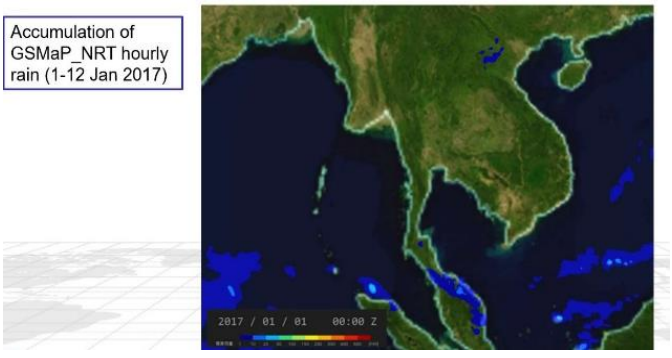
รูปที่ 2 Digital elevation model (ก) ข้อมูลชุดดิน (ข) ข้อมูลการใช้ที่ดิน

ตารางที่ 2 ข้อมูลสถานีอุตุ-อุทกวิทยาที่ใช้ในการศึกษา

ที่	รหัสสถานี	ที่ตั้งสถานี	ประเภทสถานี
1	นาด้วง	อ.นาด้วง จ.เลย	น้ำฝน
2	เอราวัณ	อ.เอราวัณ จ.เลย	น้ำฝน
3	สุวรรณคูหา	อ.สุวรรณคูหา จ.หนองบัวลำภู	น้ำฝน
4	นาวัง	อ.นาวัง จ.หนองบัวลำภู	น้ำฝน
5	นากลาง	อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู	น้ำฝน
6	เมือง	อ.เมือง จ.หนองบัวลำภู	น้ำฝน,สภาพอากาศ
7	ศรีบุญเรือง	อ.ศรีบุญเรือง จ.หนองบัวลำภู	น้ำฝน
8	โนนสัง	อ.โนนสัง จ.หนองบัวลำภู	น้ำฝน
9	นิคมฯโนนสัง	อ.โนนสัง จ.หนองบัวลำภู	น้ำฝน
10	E.64	อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู	น้ำท่า
11	E.68A	อ.เมือง จ.หนองบัวลำภู	น้ำท่า

3.2 ข้อมูลฝนโครงการ GSMap

โครงการ GSMap (Global Satellite Mapping of Precipitation) ปัจจุบันอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบของ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบด้านกิจกรรมอวกาศของประเทศญี่ปุ่น โดยข้อมูลปริมาณฝนมีกริดที่มีความละเอียดทางราบ (Horizontal resolution) เท่ากับ 10 กม. × 10 กม. และมีช่วงเวลาของข้อมูลรายชั่วโมง โดยเริ่มเก็บข้อมูลมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2000 ให้แผนที่ปริมาณน้ำฝนทั่วโลกที่มีความแม่นยำสูงและมีค่าความละเอียดสูง ประเมินค่าโดยใช้ข้อมูลเครื่องวัดคลื่นวิทยุแบบหลายคลื่นความถี่และอัลกอริธึม การดึงข้อมูลปริมาณน้ำฝนขึ้นอยู่กับแบบจำลองทางกายภาพ ปริมาณน้ำฝนที่เชื่อถือได้ ข้อมูลครอบคลุมโดยใช้เรดาร์ฝนและคลื่นอินฟาเรดจากดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 การศึกษาครั้งนี้ใช้ข้อมูลปริมาณฝนรายวันในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2010 – 2020 จำนวน 55 จุด ระหว่างพิกัด 17°42’18.4”,101°54’50.5” – 16°48’40.5”,102°35’6.7” ครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำ จากการสำรวจของผลิตภัณฑ์ฝนดาวเทียม GSMap_NRT ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ปริมาณน้ำฝนสะสมรายชั่วโมง GSMaP_NRT (1-12 มกราคม 2017)

รูปที่ 4 สถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินและสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap

3.3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝน

การตรวจสอบความสัมพันธ์และเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2010 – 2020 ที่ได้จากสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดิน โดยวิธี Point to Pixel จำนวน 9 สถานี ซึ่งใช้การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ R^2(Coefficient of Determination) ในเวลาและตำแหน่งใกล้เคียงกันดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝน

ที่	สถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน	สถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap
1	นาด้วง	NP.08
2	เอราวัณ	NP.16
3	สุวรรณคูหา	NP.10
4	นาวัง	NP.18
5	นากลาง	NP.26
6	เมือง	NP.28
7	ศรีบุญเรือง	NP.44
8	โนนสัง	NP.51
9	นิคมฯโนนสัง	NP.50

3.4 การตั้งค่าพื้นฐานในแบบจำลอง SWAT

Soil and Water Assessment Tool (SWAT) เป็นแบบจำลองทางอุทกวิทยา สามารถใช้เชื่อมโยงได้กับข้อมูลระบบ GIS โดย SWAT เป็นแบบจำลองประเภทจำลองแบบกระบวนการทางอุทกในระดับพื้นที่ลุ่มน้ำ (River Basin Scale Model) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อศึกป

0-8%, 8-30% และ >30% ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ราบลุ่ม ลาดชั้น และภูเขา ตามลำดับการคำนวณต่างๆ จะเริ่มที่ HRUs นี้แล้วรวมกันเป็นลุ่มน้ำย่อย และเคลื่อนที่ไปสู่แม่น้ำในลำดับถัดไป การศึกษานี้ ใช้ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำต่ำสุดในการสร้างเส้นลำน้ำเท่ากับ 100 ตร.กม. ใช้เกณฑ์ในการแบ่งHRUs ตามพื้นที่ครอบคลุมของ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชนิดดิน และความลาดชันของผิวดินที่มีค่าเกิน 10% ของแต่ละพื้นที่ลุ่มน้ำย่อย (ถ้าครอบคลุมพื้นที่ไม่ถึง 10% ของพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยจะไม่นำมาพิจารณาในการแบ่งกลุ่มHRUs) เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้มีจำนวน HRUs มากเกินความจำเป็น ซึ่งจะทำให้ใช้เวลามากในการคำนวณโดยที่ได้ผลลัพธ์ไม่แตกต่างไปมากโดยคู่มือการใช้แบบจำลอง SWAT แนะนำค่าไว้ที่ประมาณ 5-20% [6] เมื่อทำการแบ่งเส้นลำน้ำและพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยแล้วพบว่า มีความสอดคล้องกับข้อมูล GIS เส้นแนวลำน้ำและขอบเขตลุ่มน้ำ ที่รวบรวมได้จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำรวมจากแบบจำลอง SWAT คำนวณได้ 1,922 ตร.กม. และพื้นที่ลุ่มรวมจากสำนักทรัพยากรน้ำแห่งชาติ มีขนาดเท่ากับ 1,936 ตร.กม. (แตกต่างกัน 0.72%) โดยแบ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยได้ทั้งหมด 3 ลุ่มน้ำย่อย และมีจำนวน HRUs ทั้งสิ้น 76 หน่วย โดยในแต่ละลุ่มน้ำย่อยจะมี HRUs อยู่ในช่วงระหว่าง 13-31 หน่วย

การศึกษานี้ใช้แบบจำลอง Weather Generator ซึ่งเป็นแบบจำลองสภาพภูมิอากาศที่ถูกติดตั้งมาในแบบจำลอง SWAT ในการสังเคราะห์ข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ และข้อมูลความเร็วลม รายวัน โดยใช้สถิติข้อมูลสภาพภูมิอากาศย้อนหลัง 11 ปี (ค.ศ.2010 - 2020) จากสถานีภูมิอากาศหลักในพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 1 สถานี ดังตารางที่ 2 เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับแบบจำลอง Weather Generator

ในส่วนของผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT จะมีการนำเข้าข้อมูลน้ำฝนแบ่งเป็น 2 ชนิดข้อมูล คือ ปริมาณน้ำฝนสถานีภาคพื้นดิน (SWAT1) และปริมาณน้ำฝนจากสถานีจำลอง GSMap (SWAT2) จากนั้นจึงนำผลที่ได้ทั้ง 2 ชุดข้อมูล ทำการสอบเทียบและตรวจสอบกับสถานี E.64 และ E.68A ดังแสดงในรูปที่ 5

3.5 การสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลอง

การสอบเทียบแบบจำลอง สามารถใช้ผลการศึกษาจาก แบบจำลอง SWAT-CUP 2012 Version 5.1.6.2 โดยใช้เทคนิค Sequential Uncertainty Fitting version 2 (SUFI2) ในการคำนวณ จากข้อมูลที่มีการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาชุดตัวแปรที่เหมาะสมกับการประเมินปริมาณน้ำท่ารายเดือน ณ สถานี E.64 และ E.68A ในช่วงปี ค.ศ. 2010 - 2016 ในชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินทั้ง 9 สถานี เปรียบเทียบกับชุดข้อมูลฝนดาวเทียม GSMap จำนวน 55 จุด หลังจากนั้นจะใช้ค่าชุดตัวแปรดังกล่าวทำการตรวจสอบแบบจำลองในช่วง ค.ศ. 2017 - 2020 โดยใช้สถิติทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองที่เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในงานอุทกวิทยา [7, 8] จำนวน 3 ตัว ได้แก่ R^2 (Coefficient of Determination), NSE (Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient) และ PBIAS (Percent Bias) แสดงดังสมการต่อไปนี้

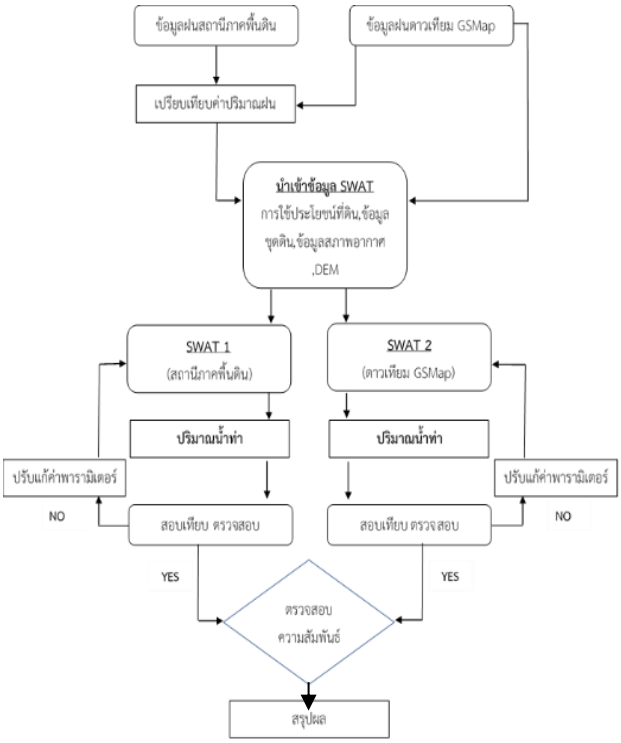
$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P})}} \right)^2 \quad (2)$$

$$NSE = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \right) \quad (3)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)}{\sum_{i=1}^{n}(O_i)} \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ i คือ ลำดับที่ของข้อมูล, n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด, O_i คือ ค่าจากการตรวจวัด, $\overline{O}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลตรวจวัดทั้งหมด, P_i คือ ค่าจากแบบจำลองและ $\overline{P}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลจากแบบจำลองทั้งหมด SWAT-CUP ให้ผลการสอบเทียบแบบจำลองในรูปแบบของช่วงของตัวแปรที่เหมาะสมพร้อมกับการแสดงค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการใช้ชุดตัวแปรดังกล่าว

ผลการสอบเทียบสามารถแสดงผลการจำลองเป็นช่วง 95% ของความไม่แน่นอนจากการทำนาย (95% Prediction Uncertainty, 95PPU) ซึ่งช่วง 95PPU สามารถคำนวณได้ที่ค่าปริมาณน้ำท่า ณ ตำแหน่งที่สอดคล้องกับค่าร้อยละสะสมของการแจกแจงแบบปกติที่ระดับ 2.5% และ 97.5% จากผลการคำนวณซ้ำในช่วงตัวแปรที่พิจารณา โดยใช้การสุ่มตัวอย่างแบบละตินไฮเปอร์คิวบ์ (Latin Hypercube Sampline) [9] จากผลการคำนวณช่วง 95PPU นี้ SWAT-CUP จะแสดงผลของความไม่แน่นอนจากการทำนายในรูปแบบของค่า p-Factor และ r-Factor โดยค่า p-Factor เป็นค่าที่แสดงถึงร้อยละของข้อมูลจริง (ค่าตรวจวัด) ที่ปรากฏอยู่ในช่วง 95PPU และ r-Factor คำนวณได้จากสัดส่วนของช่วงความกว้างเฉลี่ยของ 95PPU กับค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลจริง [9] โดยช่วงตัวแปรที่ดีที่สุดตามทฤษฎีจะต้องได้ค่า p-Factor = 100% และ r-Factor เข้าใกล้ศูนย์ซึ่งความเป็นจริงไม่สามารถเป็นได้ เนื่องจากค่า p-Factor จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ r-Factor มีค่ามาก คำตอบที่ดีที่สุดจึงถูกกำหนดเป็นช่วงของตัวแปรซึ่งให้ค่า p-Factor สูงที่สุดและ r-Factor ต่ำที่สุด โดยค่าที่แนะนำได้แก่ p-Factor ควรมีค่ามากกว่า 0.70 และ r-Factor ควรมีค่าน้อยกว่า 1.50 [10] นอกจากนี้แล้ว SWAT-CUP ยังสามารถแสดงผลของค่าชุดตัวแปรที่ดีที่สุด (Best Simulation Parameters) ซึ่งเป็นชุดตัวแปรที่ให้ค่า Objective Function สูงที่สุดซึ่งเป็นชุดตัวแปรที่ดีที่สุดสามารถนำไปใช้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในลำดับต่อไป ขั้นตอนการดำเนินงานของการศึกษานี้แสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการศึกษา

4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน

เปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยในช่วงระหว่างปี ค.ศ. 2010 – 2020 จากสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap กับปริมาณฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดินจำนวน 9 สถานี มีรายละเอียดดังตารางที่ 4 ซึ่งผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำฝนจากสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap รวมทุกสถานีมีปริมาณมากกว่าฝนจากสถานีวัดฝนภาคพื้นดินรวมทุกสถานี ได้ค่า R^2 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยจะเห็นได้ว่า สถานีนาด้วงกับ NP.08 สถานีสุวรรณคูหากับ NP.10 และสถานีเมืองกับ NP.28 ให้ค่า R^2 อยู่ในกลุ่มที่สูงที่สุด คือ 0.927 0.965 และ 0.927 ตามลำดับ อันเนื่องมาจากความใกล้เคียงกันของปริมาณน้ำฝนที่วัดค่าได้ในช่วงระยะเวลาเดียวกัน ส่วนในกลุ่มที่ให้ค่า R^2 ที่ลดลงมานั้นเกิดจากปริมาณน้ำฝนที่วัดได้ของทั้งสองชุดข้อมูลมีค่าที่วัดได้เฉลี่ยต่อเดือนใกล้เคียงกันแต่ช่วงเวลาของฝนที่ตกอยู่คนละช่วงกัน อาทิเช่น สถานีโนนสังกับ NP.51 มีปริมาณฝนเฉลี่ยอยู่ที่ 1,066 มม. และ 1,022 มม. ตามลำดับ ให้ค่า R^2 ที่ 0.832 เป็นต้น โดยสามารถแสดงการเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 6

4.2 ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT

4.2.1 ค่าชุดตัวแปรที่ดีที่สุด (Best Simulation Parameters)

จากการใช้แบบจำลอง SWAT-CUP ทำการคำนวณซ้ำโดยแปรผันชุดตัวแปรจำนวน 500 ครั้ง ในช่วงของชุดตัวแปรที่พิจารณาโดยได้ผลการวิเคราะห์ r-Factor < 1.5 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และ p-Factor < 0.7 แสดงให้เห็นว่าปริมาณน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีความคลาดเคลื่อนจากค่าตรวจวัดจริงเล็กน้อย สำหรับชุดข้อมูลในชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินทั้ง 9 สถานี และชุดข้อมูลฝนดาวเทียม GSMap จำนวน 55 จุด ของสถานี E.64 และ E.68A ได้ผลการคำนวณค่าที่ดีที่สุด (Best Simulation Parameters) ซึ่งเป็นชุดตัวแปรที่ให้ค่า Objective Function สูงที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยแต่ละสถานี

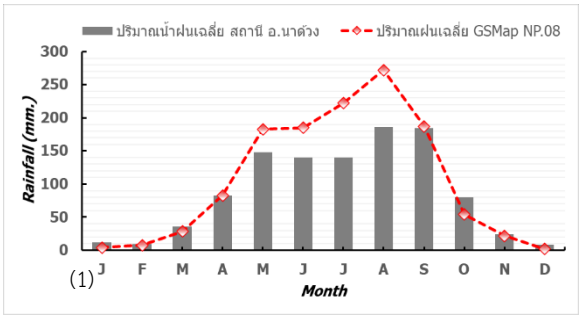
ที่	สถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	สถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	R^2 (Coefficient of Determination)
1	นาด้วง	1,051	NP.08	1,250	0.927
2	เอราวัณ	1,209	NP.16	1,162	0.905
3	สุวรรณคูหา	1,628	NP.10	1,259	0.965
4	นาวัง	1,145	NP.18	1,180	0.925
5	นากลาง	944	NP.26	1,203	0.840
6	เมือง	1,285	NP.28	1,221	0.927
7	ศรีบุญเรือง	1,073	NP.44	1,057	0.893
8	โนนสัง	1,066	NP.51	1,022	0.832
9	นิคมฯโนนสัง	834	NP.50	1,002	0.850

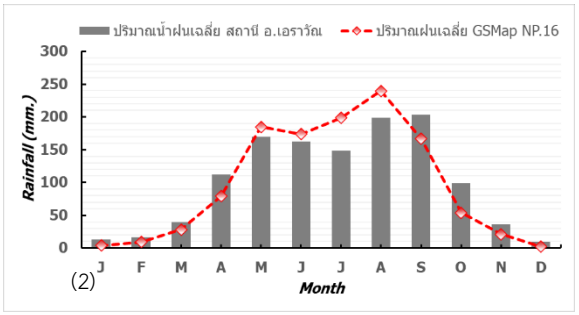
ตารางที่ 5 ผลการคำนวณค่าตัวแปรที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินทั้ง 9 สถานี (SWAT1)

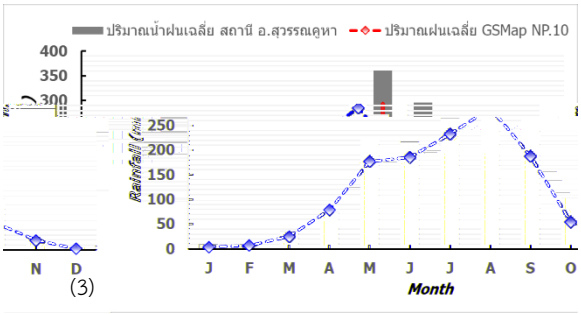
ตัวแปร	ค่าที่ดีที่สุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
r__CN2.mgt	0.00237	-0.006291	0.081191
v__ALPHA_BF.gw	0.843527	0.443401	1.330599
v__GW_DELAY.gw	20.8144	-176.8923	241.092285
v__GWQMN.gw	779.33667	312.2746	1437.72547
v__SOL_AWC.sol	0.950928	0.6972	1.0918
v__ESCO.bsn	0.397246	-0.0126	0.6626
v__CH_N2.rte	0.298478	0.116256	0.328884
v__SLSUBBSN.hru	44.768093	-31.66524	89.46524

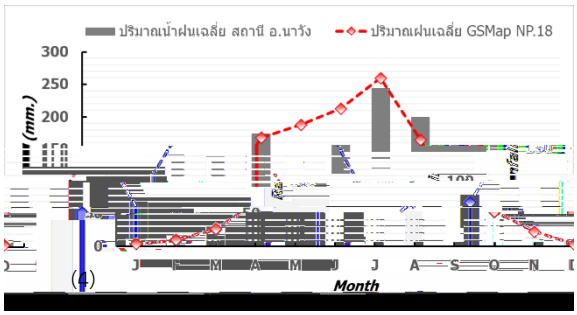
ตารางที่ 6 ผลการคำนวณค่าตัวแปรที่ดีที่สุดสำหรับชุดข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap จำนวน 55 สถานี (SWAT2)

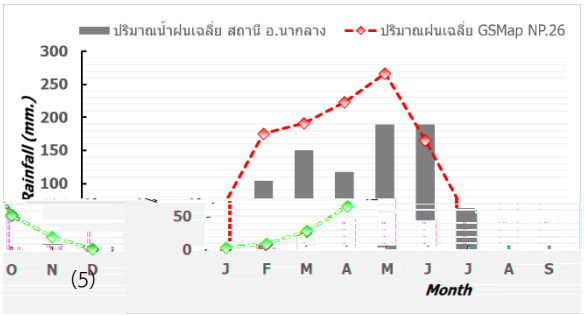
ตัวแปร	ค่าที่ดีที่สุด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
r__CN2.mgt	-0.00335	-0.050	0.100
v__ALPHA_BF.gw	0.893	0.000	1.000
v__GW_DELAY.gw	32.93999	30.000	450.000
v__GWQMN.gw	932.599976	20.000	2000.000
v__SOL_AWC.sol	0.8015	0.5000	1.000
v__ESCO.bsn	0.335	0.000	1.000
v__CH_N2.rte	0.5611	0.010	0.300
v__SLSUBBSN.hru	85.739998	10.000	150.000

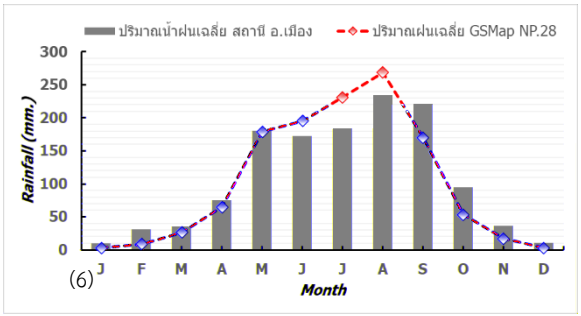


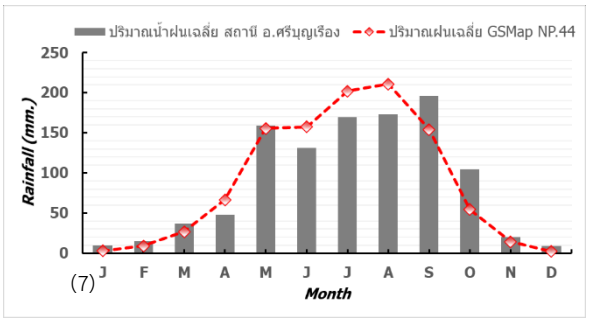


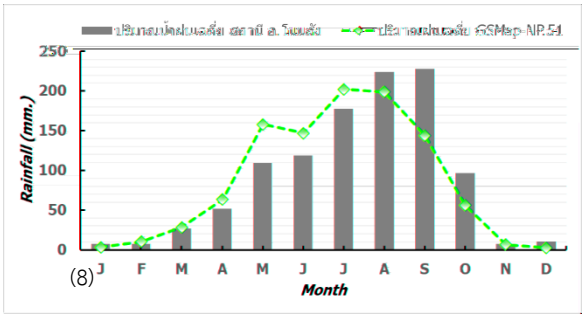


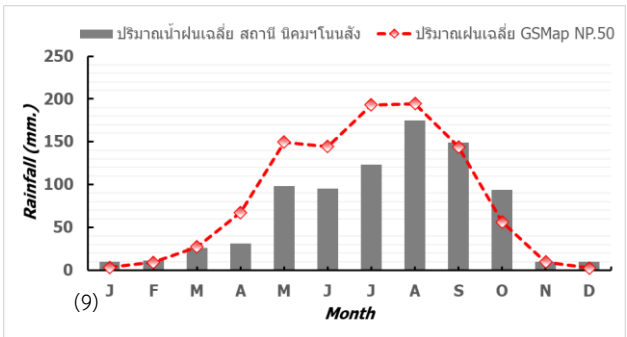












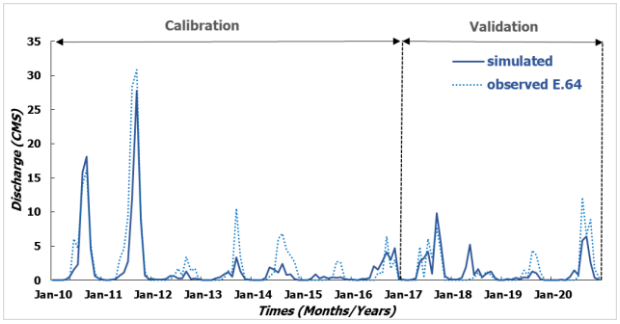
รูปที่ 6 ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยจากข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดินและสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap ทั้ง 9 สถานี

ตารางที่ 7 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง SWAT สำหรับชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินทั้ง 9 สถานี ข้อมูลน้ำท่า สถานี E.64 (SWAT1)

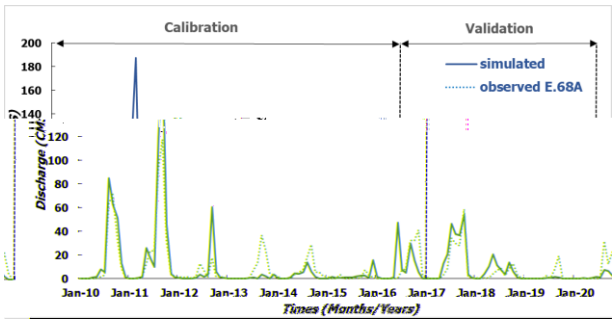
สถิติทดสอบ	สอบเทียบ (2010-2016)	ตรวจสอบ (2017-2020)	ทั้งหมด (2010-2020)
R^2	0.798	0.552	0.764
NSE	0.639	0.226	0.589
PBIAS	30.4	12.1	25.0

ตารางที่ 8 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง SWAT สำหรับชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินทั้ง 9 สถานี ข้อมูลน้ำท่า สถานี E.68A (SWAT1)

สถิติทดสอบ	สอบเทียบ (2010-2016)	ตรวจสอบ (2017-2020)	ทั้งหมด (2010-2020)
R^2	0.783	0.688	0.765
NSE	0.759	0.694	0.752
PBIAS	-7.3	1.0	-5.0



รูปที่ 7 การปรับเทียบค่าแบบจำลอง SWAT สำหรับชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินทั้ง 9 สถานี ข้อมูลน้ำท่า สถานี E.64 (SWAT1)



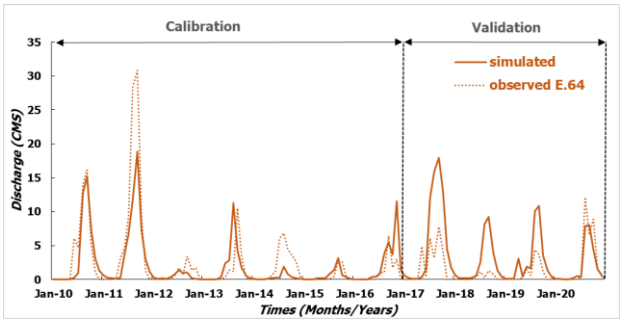
รูปที่ 8 การปรับเทียบค่าแบบจำลอง SWAT สำหรับชุดข้อมูลฝนสถานีภาคพื้นดินทั้ง 9 สถานี ข้อมูลน้ำท่า สถานี E.68A (SWAT1)

ตารางที่ 9 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง SWAT สำหรับข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap 55 สถานี ข้อมูลน้ำท่า สถานี E.64 (SWAT2)

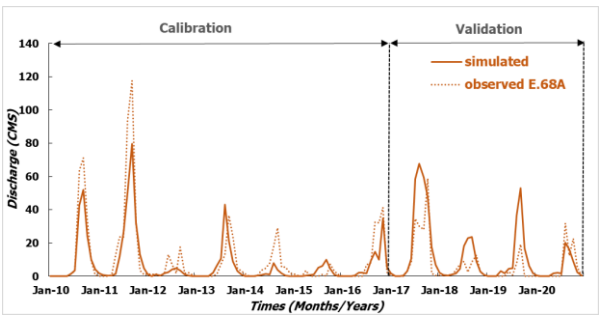
สถิติทดสอบ	สอบเทียบ (2010-2016)	ตรวจสอบ (2017-2020)	ทั้งหมด (2010-2020)
R^2	0.661	0.437	0.476
NSE	0.270	0.381	0.325
PBIAS	21.0	-111.1	-13.3

ตารางที่ 10 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง SWAT สำหรับข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap 55 สถานีข้อมูลน้ำท่า สถานี E.68A (SWAT2)

สถิติทดสอบ	สอบเทียบ (2010-2016)	ตรวจสอบ (2017-2020)	ทั้งหมด (2010-2020)
R^2	0.832	0.626	0.643
NSE	0.514	0.572	0.542
PBIAS	28.6	-71.0	1.4



รูปที่ 9 การปรับเทียบค่าแบบจำลอง SWAT สำหรับข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap 55 สถานี ข้อมูลน้ำท่า สถานี E.64 (SWAT2)



รูปที่ 10 การปรับเทียบค่าแบบจำลอง SWAT สำหรับข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap จำนวน 55 ข้อมูลน้ำท่า สถานี E.68A (SWAT2)

4.2.2 ผลการสอบเทียบและตรวจสอบ

จากค่าชุดตัวแปรที่ดีที่สุดทั้ง 2 ชุดข้อมูลดังกล่าวเมื่อนำมาปรับแก้ค่าตัวแปรในแบบจำลอง SWAT และทดสอบในช่วงสอบเทียบและตรวจสอบของสถานี E.64 และ E.68A จากการศึกษาพบว่า ผลการคำนวณปริมาณน้ำท่าจากแบบจำลอง SWAT โดยชุดข้อมูลจากสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน(SWAT1) โดยรวมจะเห็นได้ว่าปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองมีค่าทางสถิติใกล้เคียงกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการวัดจริง ค่า R^2 เท่ากับ 0.764 และ 0.765 ค่า NSE เท่ากับ 0.589 และ 0.752 ส่วนค่าผลต่างของปริมาณน้ำท่าโดยรวมจาก PBAIS ของทั้งสองสถานีมีค่าไม่เกิน ±25% ดังแสดงในตาราง ที่ 7 และตารางที่ 8 ซึ่งกราฟเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำท่าของข้อมูลทั้งสองสถานีมีรูปร่างใกล้เคียงกันและเป็นไปในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูป ที่ 7 และรูปที่ 8 และเมื่อพิจารณาชุดข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap(SWAT2) ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลองกับปริมาณน้ำท่าที่ได้จากการวัดจริงจากทั้งสองสถานีให้ค่าทางสถิติที่ลดลงบางสถานีโดยในสถานี E.64 ค่า R^2 เท่ากับ 0.476 ค่า NSE เท่ากับ 0.325 และสถานี E.68A ค่า R^2 เท่ากับ 0.643 ค่า NSE เท่ากับ 0.542 ส่วนค่าผลต่างของปริมาณน้ำท่าโดยรวมจาก PBAIS ของทั้งสองสถานีมีค่าไม่เกิน ±25% ดังแสดงในตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ซึ่งกราฟเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำท่าของข้อมูลทั้งสองสถานีมีรูปร่างใกล้เคียงกันและเป็นไปในทิศทางเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 โดยรวมแล้วจะเห็นได้จากที่กล่าวมาข้างต้นจากชุดข้อมูลทั้งสถานีวัดน้ำฝนภาคพื้นดิน (SWAT1)และชุดข้อมูลสถานีวัดน้ำฝนจำลอง GSMap(SWAT2) ได้ปริมาณน้ำท่าที่ใกล้เคียงกันอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลอง SWAT มาเป็นเครื่องมือในการจำลองปริมาณน้ำท่ารายเดือนในลุ่มน้ำลำพะเนียง บูรณาการร่วมกับข้อมูลทางกายภาพ ข้อมูลสภาพอากาศ ปริมาณฝนสะสมรายเดือนจากสถานีตรวจวัดภาคพื้นดิน 9 สถานี และจากสถานีจำลอง GSMap 55 สถานี ที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันระหว่างปี ค.ศ. 2010 – 2020 ให้ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนได้ค่า R^2 อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จากผลการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองจนได้ชุดพารามิเตอร์ที่ใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงในพื้นที่ รวมถึงการพิสูจน์ความสอดคล้องกันของข้อมูลและความน่าเชื่อถือของแบบจำลองด้วยค่าทางสถิติซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลอง SWAT เป็นแบบจำลองที่มีความเหมาะสมและความถูกต้องสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับชุดข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากสถานีภาคพื้นดินและจากสถานีจำลอง GSMap ในการประเมินน้ำท่าพื้นที่ที่ขาดแคลนสถานีตรวจวัดได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตามควรจะมีการปรับแก้ค่าปริมาณฝนที่ได้จากผลิตภัณฑ์ GSMap ก่อนเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นของชุดข้อมูลให้สูงยิ่งขึ้น โดยผลการศึกษานี้คาดว่าจะถูกนำไปประยุกต์ใช้สนับสนุนการวางแผนบริหารจัดการน้ำกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในพื้นที่ที่ขาดแคลนข้อมูลอุตุ-อุทกวิทยา เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการวางแผนและกำหนดยุทธศาสตร์ การจัดการทรัพยากรน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำลำพะเนียงในอนาคต ให้เป็นไปอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น เป็นอย่างสูงที่ได้ให้คำแนะนำในการใช้แบบจำลองเป็นอย่างดีและให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทำวิจัย กรมชลประทาน กรมพัฒนาที่ดิน และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูล และบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน ที่ทำให้บทความนี้มีความสมบูรณ์และมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] สัญชัย เอี่ยมประเสริฐ (2554). การเปรียบเทียบวิธีประมาณค่าน้ำฝนรายวัน ด้วยวิธีสารสนเทศภูมิศาสตร์บริเวณพื้นที่ราบลุ่มน้ำเจ้าพระยา วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,*สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์*

[2] Chokngamwong R. and Chiu Long S. 2008**.** Thailand Daily Rainfall and Comparison with TRMM Products. *Journal of Hydrometeorology*: 256-266.

[3] ฟาตา มรรษทวี,สุกฤษฎิ์ เกิดแสง, ภัทร สุขทวี, ณัฐพงศ์ แป้นทอง, อนุชิต วงศาโรจน์ (2560).การประเมินค่าปริมาณฝนจากชุดข้อมูล GSMaP ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.*การประชุมวิชาการทรัพยากรธรรมชาติ สารสนเทศภูมิศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม นเรศวร ครั้งที่ 2*, 15 ธันวาคม 2560 ,หน้า 116-121.

[4] Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams, 2005.Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation: Version 2005.USDA *Agricultural Research Service and Texas A&M Blackland Research Center*, TempleTexas.

[5] FAO, 1995. The Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties. CD-ROM, Version 3.5. Rome, Italy.

[6] Arnold J. G., Kinirly J.R., Srinivasan R., Williams J.R., Haney E.B., Neitsch S.L., 2011. Soil and Water Assessment Tool Input/Output File Documentation Version 2009, *Texas Water Resources Institute Technical Report No. 365*. Texas A&M University System College Station, Texas.

[7] 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

[8] 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

[9] Abbaspour, K. C., 2014. SWAT-CUP 2012: SWAT Calibration and Uncertainty Program – A User Manual, Eawag: