



การจำลองปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอดีตในมิติเชิงเวลาด้วยแบบจำลองทางอุทกวิทยา HEC-HMS
ในพื้นที่ลุ่มน้ำเลย ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A

Simulating the maximum historical water level in the temporal dimension with the HEC-HMS
hydrological model in the Loei River Basin at the Kh.28A water gauge station.

ชัชชัย พิรภมร¹ สมภพ เพชรดี² และ โกเมธ พรหมจะบก³

^{1,2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย

E-mail:chatchai.pee@lru.ac.th

โทรศัพท์: 0849552532

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประเมินปริมาณน้ำท่าในเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลย ณ สถานีวัดน้ำของกรมชลประทาน Kh.28A อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย โดยใช้แบบจำลอง Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอดีตที่เกินความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A ของปี พ.ศ.2545 ,พ.ศ.2554 ,พ.ศ.2560 ที่เป็นเหตุทำให้เกิดน้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมพื้นที่ โดยอาศัยข้อมูลตรวจวัดปริมาณฝนรายวันโดยจะใช้ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันย้อนหลัง 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556 ใช้วิธีของธีเอสเซน (Thiessen polygon) ทำการหาปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ได้เท่ากับ 126.83 มิลลิเมตร และพื้นที่ย่อยที่ล้อมรอบแต่ละสถานีมีพื้นที่ทั้งหมด 3,959.31 ตารางกิโลเมตร สำหรับพารามิเตอร์ภายในแบบจำลอง HEC-HMS เพื่อให้ผลการคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดมากที่สุด ซึ่งมีผลดังนี้ 1) วิธีการสูญเสียทางอุทกวิทยา โดยใช้ Deficit and constant loss มี 4 พารามิเตอร์คือ Initial deficit มีค่าอยู่ระหว่าง 64.80-111.78 mm , Maximum Storage มีค่าอยู่ระหว่าง 142.60-195.50 mm, Constant Rate มีค่าอยู่ระหว่าง 0.518-3.11 mm/hr และ % Impervious มีค่าอยู่ระหว่าง 5.94-18.30 % 2) วิธีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน โดยใช้ Clark Unit Hydrograph มี 2 พารามิเตอร์คือ Time of concentration มีค่าอยู่ระหว่าง 42.32-159.20 hr และ Storage coefficient ค่าอยู่ระหว่าง 3.29-21.0 hr 3) วิธีการหาปริมาตรของน้ำที่สะสมในชั้นดิน โดยใช้ Linear Reservoir Baseflow มี 3 พารามิเตอร์คือ Ground water มีค่าอยู่ระหว่าง 5-15 m³/s , Ground water Fraction มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.09 และ Ground water coefficient มีค่าอยู่ระหว่าง 30.40-176.50 4) วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำท่วม โดยใช้ Muskingum Routing มี 3 พารามิเตอร์คือ K มีค่าอยู่ระหว่าง 3.54-30.68, X มีค่าเท่ากับ 0.25 และ Number of subreaches มีค่าเท่ากับ 1 ในการสอบเทียบแบบจำลอง และการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง HEC-HMS ได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ R² เท่ากับ 0.72 ค่า NSE เท่ากับ 0.67 และ R² เท่ากับ 0.71 ค่า NSE เท่ากับ 0.64 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถยอมรับได้ สำหรับปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอดีต ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ของปี พ.ศ.2545 ,พ.ศ.2554 ,พ.ศ.2560 พบว่าปริมาณน้ำท่าในช่วงวันที่ 4 กันยายน พ.ศ.2545 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 1,021.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และวันที่ 12 กันยายน พ.ศ.2554 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 862.90 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเกินความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A สำหรับปริมาณน้ำท่าในช่วงวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ.2560 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 588.40 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าต่ำกว่าความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A

คำสำคัญ: การประเมินปริมาณน้ำท่า, แบบจำลอง HEC-HMS

Abstract

The study aims to assess the water quantity situation in the Loei River Basin at the Kh.28A water measurement station of the Department of Irrigation, located in Wang Saphung District, Loei Province. It utilizes the Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) to evaluate the maximum water levels in the past that exceeded the capacity of the Loei River at the Kh.28A station. This overflow resulted in flooding of the surrounding areas. The assessment incorporates meteorological data, including daily rainfall measurements over the past 30 years from 1992 to 2022, and land use data from the Department of Land Development in 2013. The Thiessen polygon method was used to calculate the average rainfall, resulting in 126.83 millimeters. The total area surrounding each station was 3,959.31 square kilometers. The HEC-HMS model utilizes several parameters to ensure accurate calculations: Deficit and constant loss hydrological method, including initial deficit (64.80-111.78 mm), maximum storage (142.60-195.50 mm), constant rate (0.518-3.11 mm/hr), and % impervious (5.94-18.30 %). Excess rainfall transformation using Clark Unit Hydrograph, with parameters including time of concentration (42.32-159.20 hr) and storage coefficient (3.29-21.0 hr). Calculation of cumulative soil water volume using Linear Reservoir Baseflow, including groundwater (5-15 m³/s), groundwater fraction (0.06-0.09), and groundwater coefficient (30.40-176.50). Flood routing using Muskingum Routing, with parameters including K = (3.54-30.68), X = (0.25), and number of subreaches (1). The statistical comparison and performance evaluation of the HEC-HMS model at the Kh.28A water measurement station yielded R² values of 0.72 and 0.71, and NSE values of 0.67 and 0.64, respectively, indicating good agreement and acceptable performance (R² and NSE > 0.65). Regarding the maximum water levels in the past at the Kh.28A water measurement station for the years 1992, 1999, and 2005, it was found that on September 4, 1992, the water level was 1,021.60 cubic meters per second, on September 12, 1999, it was 862.90 cubic meters per second, and on October 10, 2005, it was 588.40 cubic meters per second, all exceeding the capacity of the Loei River at the Kh.28A station.

Keywords: Assessment the amount of runoff, Modeling System HEC-HMS

บทนำ

ขบวนการการเกิดน้ำท่า (Runoff process) เมื่อฝนตกลงบนผิวดินหากหักปริมาณการกักเก็บบนผิวดิน (Surface Storage) การซึมลงไปในดินและการระเหยแล้ว ที่เหลือจะเป็นน้ำท่าผิวดิน (Surface Runoff) (วรารุช วุฒินิธิชัย, 2545) สำหรับการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อบรรเทาปัญหาอุทกภัยหรือภัยแล้ง อาจกล่าวได้ว่าข้อมูลปริมาณน้ำท่าซึ่งโดยทั่วไปจะติดตั้งสถานีตรวจวัดตามจุดต่าง ๆ ที่สำคัญของแม่น้ำนั้น นับเป็นฐานข้อมูลที่สำคัญที่จะต้องนำมาวิเคราะห์ ทั้งนี้เพื่อประกอบการพิจารณาและตัดสินใจที่เหมาะสมในการพัฒนาโครงการทรัพยากรน้ำ หรือบริหารจัดการน้ำให้เกิดความเหมาะสม (อารียา ฤทธิมา, 2561) องค์ความรู้ด้านอุทกวิทยาจึงมีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำเพื่อติดตามศึกษาและเรียนรู้ถึงพฤติกรรมของน้ำเช่นปริมาณ

น้ำที่สามารถนำไปใช้ได้มากนักน้อยเพียงใดช่วงเวลาใดจะมีน้ำและไม่มีน้ำ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการวางแผนการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด (กิตติเวช ชันติวิชัย, 2563) ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาปริมาณน้ำท่า ณ สถานีวัดน้ำท่า Kh.28A อำเภอวังสะพุง โดยใช้ข้อมูลในพื้นที่ลุ่มน้ำเลย มีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 3,965.34 ตารางกิโลเมตร ซึ่งครอบคลุม 9 อำเภอในเขตของจังหวัดเลย โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ที่อยู่ในเขตแม่น้ำเลยจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และมีพื้นที่เศรษฐกิจที่อยู่ใกล้แม่น้ำเลย สำหรับอำเภอวังสะพุง ณ สถานีวัดน้ำท่า Kh.28A ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวมักจะได้รับผลกระทบจากปริมาณน้ำท่าที่มากเกินไปเอ่อล้นเข้าท่วมอยู่เป็นประจำในช่วงฤดูฝน พัฒนศักดิ์ แสนมาตย์. (2550) ได้กล่าวว่าในการออกแบบทางอุทกวิทยานั้นจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่มีการตรวจวัดปริมาณของน้ำท่าที่ยาวนานและต่อเนื่อง ในบางครั้งข้อมูลที่มีการบันทึกไว้ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากสถานีในพื้นที่ลุ่มน้ำมีจำนวนจำกัด หรือการบันทึกข้อมูลทางอุทกวิทยาขาดหายไปในช่วงเวลา การออกแบบทางอุทกวิทยาจึงมีความจำเป็นจำเป็นต้องใช้ข้อมูลลักษณะทางอุทกวิทยาของลุ่มน้ำและข้อมูลปริมาณน้ำฝนเพื่อใช้ในการประเมินน้ำท่าในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำฝนและน้ำท่า (rainfall-runoff relationship) Lohpaisankrit et al. (2021) ได้ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง HEC-HMS ในการจำลองการเกิดอุทกภัยในพื้นที่ห้วยสังกะ จังหวัดกาฬสินธุ์ เป็นลุ่มน้ำเพื่อการเกษตรขนาดเล็ก (193 ตารางกิโลเมตร) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองกับอ่างเก็บน้ำที่ไม่มีสถานีตรวจวัด ซึ่งใช้ข้อมูลเหตุการณ์น้ำท่วม 4 เหตุการณ์ โดยมีผลจากการจำลองของแบบจำลอง HEC-HMS เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ตรวจวัดได้มีประสิทธิภาพในการทำงานที่เชื่อถือ และมีค่าทางสถิติในการตรวจสอบแบบจำลอง HEC-HMS อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงมีการทดสอบและประยุกต์ใช้แบบจำลอง Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) เพื่อใช้ในการประเมินปริมาณน้ำท่า ที่มีลักษณะภูมิประเทศส่วนใหญ่เป็นภูเขา และสามารถในการประมวลผลผลลัพธ์ได้รวดเร็ว มีค่าปริมาณน้ำท่าที่ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง (Khadka and Bhaukajee, 2018). และใช้โปรแกรม QGIS ช่วยในการประมาณค่าพารามิเตอร์จากแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลสภาพทั่วไปของพื้นที่ลุ่มน้ำได้แก่ ระดับความสูงเชิงตัวเลข ใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดิน ประกอบกับข้อมูลสภาพภูมิอากาศ เพื่อให้ทราบถึงปริมาณน้ำท่าที่มีอยู่ ณ สถานีวัดน้ำท่า Kh.28A อำเภอวังสะพุง ในแม่น้ำเลยและสามารถนำไปบริหารจัดการน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

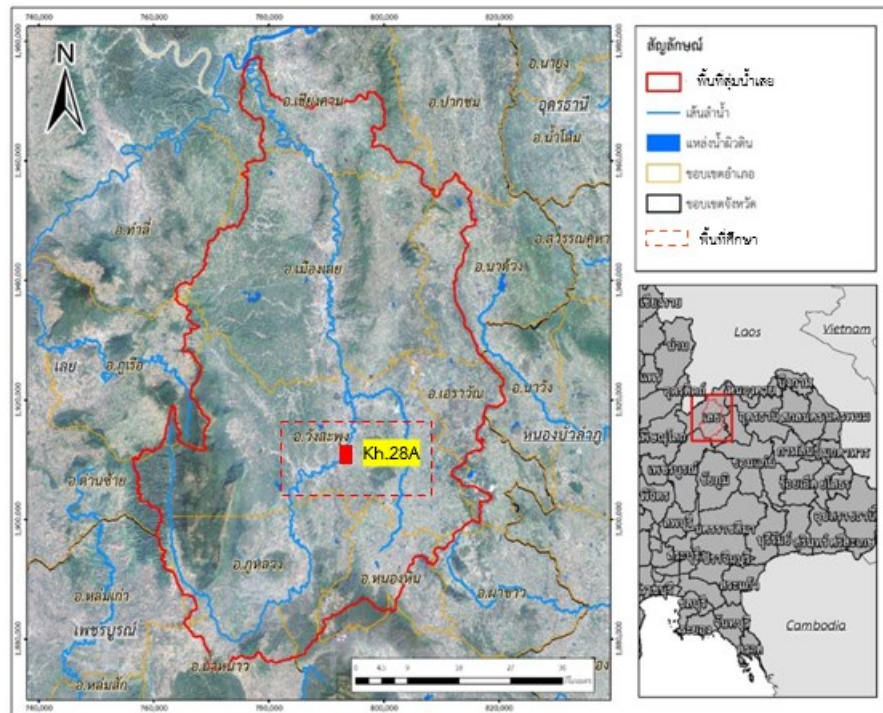
วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอดีตด้วยแบบจำลอง HEC-HMS ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ของปี พ.ศ.2545 ,พ.ศ.2554 ,พ.ศ.2560

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาจะมีขอบเขตครอบคลุมพื้นที่ลุ่มน้ำเลยซึ่งมีพื้นที่ 3,964.34 ตารางกิโลเมตร โดยมีพื้นที่ในบริเวณจังหวัดเลยได้แก่ อำเภอเชียงคาน อำเภอเมืองเลย อำเภอนาดัง อำเภอภูเรือ อำเภอด่านซ้าย อำเภอวังสะพุง อำเภอเอราวัณ อำเภอภูหลวง และอำเภอหนองหิน ดังรายละเอียดแสดงในภาพที่ 1 เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของลุ่มน้ำเลยเป็นภูเขาสูงมีพื้นที่ค่อนข้างลาดชันลักษณะลุ่มน้ำยาวรี (แบบขนนก) ทำให้น้ำไหลหลากอย่างรวดเร็วเมื่อเกิดฝนตกหนัก และสภาพป่าไม้ต้นน้ำลำธารมีพื้นที่ป่าค่อนข้างน้อยเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินไปทำการเกษตรค่อนข้างมากทำให้การซึมซับน้ำของดินลดน้อยลง ทำให้มักจะประสบอุทกภัยอยู่เป็นประจำโดยมีลำน้ำสายหลักที่สำคัญคือ ลำน้ำเลย ซึ่งจะไหลมาจากอำเภอภูหลวง ผ่านสถานีวัดน้ำท่า Kh.28A ของกรมชลประทานที่อำเภอวังสะพุง ออกไปบรรจบกับลำน้ำโขงที่บริเวณอำเภอเชียงคานซึ่งอยู่ทางด้านทิศเหนือ



ภาพที่ 1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

2. การรวบรวมข้อมูล

2.1 การใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจะใช้ข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝนรายวันของกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเลย จำนวน 10 สถานี ช่วงปีสถิติข้อมูลที่นำมาใช้ระยะเวลา 30 ปี (2535-2565) รายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 และปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของ 10 สถานีดังแสดงในตารางที่ 2 โดยเดือนกันยายนเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกมากที่สุดในรอบปี

ตารางที่ 1 รายชื่อสถานีวัดน้ำฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา

ที่	รหัสสถานี	ตำแหน่งที่ตั้งสถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ช่วงปีสถิติข้อมูลที่นำมาใช้
1	353001	อ.วังสะพุง	17.186	101.466	2535-2565
2	353003	อ.เชียงคาน	17.898	101.666	2535-2565
3	353004	อ.ท่าลี่	17.624	101.421	2535-2565
4	353006	อ.ภูเรือ	17.455	101.362	2535-2565
5	353011	อ.ภูกระดึง	16.884	101.885	2535-2565
6	353015	อ.ปากชม	18.022	101.887	2535-2565
7	353024	อ.เอราวัณ	17.310	101.940	2535-2565
8	353026	อ.หนองหิน	17.127	101.850	2535-2565
9	353301	สถานีเกษตรเลย	17.418	101.697	2535-2565
10	021503	อ.ภูหลวง	17.053	101.516	2535-2565

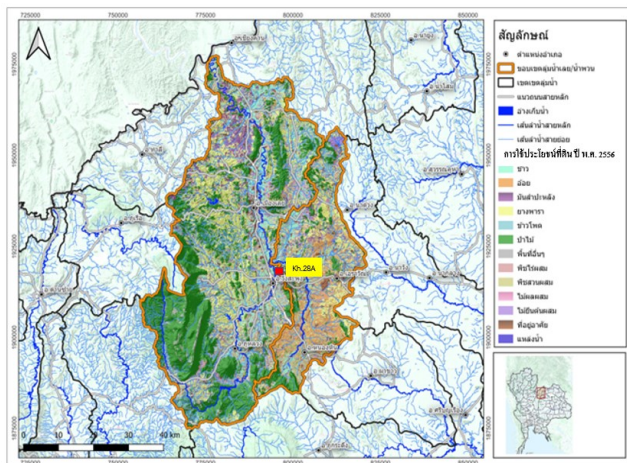
2.2 ข้อมูลทางกายภาพพื้นที่ของกลุ่มน้ำเลย จะใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลแผนที่กลุ่มชุดดินมาตราส่วน 1:25,000 ในพื้นที่ศึกษาที่จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556 ข้อมูลระดับความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Model, DEM) ขนาดความละเอียด 5 เมตร x 5 เมตร

ตารางที่ 2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

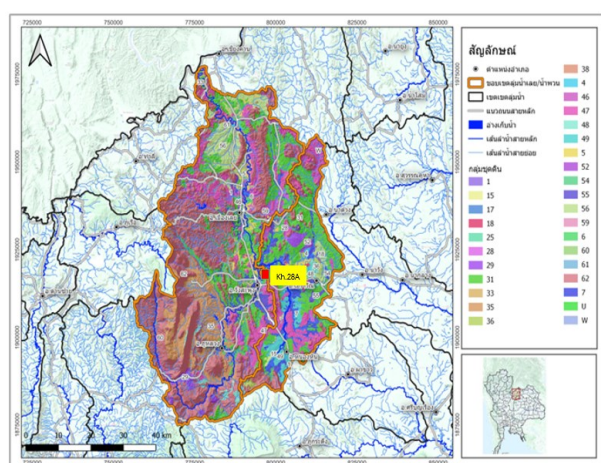
ลำดับที่	รหัสสถานี	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)											
		ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	353001	9.02	21.34	58.37	98.55	168.98	136.79	124.48	177.44	243.99	124.89	22.86	4.88
2	353003	9.41	15.47	41.79	88.23	179.58	148.64	158.46	224.85	229.67	111.08	24.64	7.22
3	353004	8.28	15.43	51.6	90.14	155.43	123.6	114.22	156.97	213.49	119.83	20.23	6.15
4	353006	5.13	19.67	65.63	100.44	178.88	153.36	162.63	227.67	289.26	119.17	27.5	6.65
5	353011	8.09	42.96	85.19	181.47	291.09	183.71	172.97	281.78	392.04	256.06	58.79	10.21
6	353015	6.84	18.51	51.75	107.48	180.42	163.88	145.7	198.23	243.06	125.94	21.92	8.15
7	353024	8.16	11.93	46.21	86.43	175.67	152.39	165.53	223.4	212.3	117.53	14.97	4.5
8	353026	7.02	22.61	41.49	92.92	170.28	201.36	234.73	316.02	329.33	117.71	23.48	5.74
9	353301	8.30	30.44	54.33	169.78	178.65	172.01	168.88	271.54	297.87	185.64	30.22	7.89
10	21503	9.32	38.76	82.33	181.65	298.79	190.66	183.78	291.56	430.98	375.64	68.22	15.25

3.กรอบแนวคิดการวิจัย

สำหรับการประเมินปริมาณน้ำท่า (Runoff) ณ สถานีวัดน้ำของกรมชลประทาน Kh.28A ในอำเภอสว่างซำ ต้องอาศัยข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Meteorological Data) ได้แก่ข้อมูลตรวจวัดปริมาณฝนรายวันโดยจะใช้ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันย้อนหลัง 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 ที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 10 สถานี ข้อมูลตรวจวัดอัตราการไหลและระดับน้ำรายวันตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 ที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A และข้อมูลสภาพโครงข่ายลำน้ำเลย อุณหภูมิสูงสุด ต่ำสุด และโปรแกรม QGIS สำหรับจัดทำข้อมูลทางกายภาพ (Physical Geography Data) ได้แก่ ข้อมูลขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำ, ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ขนาดความละเอียด 5 เมตร x 5 เมตร ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลประเภทกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษาที่จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556 โดยมีแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลย และเปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ที่ดินในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลยดังภาพที่ 2 และภาพที่ 3 เพื่อนำมาใช้สร้างแบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS

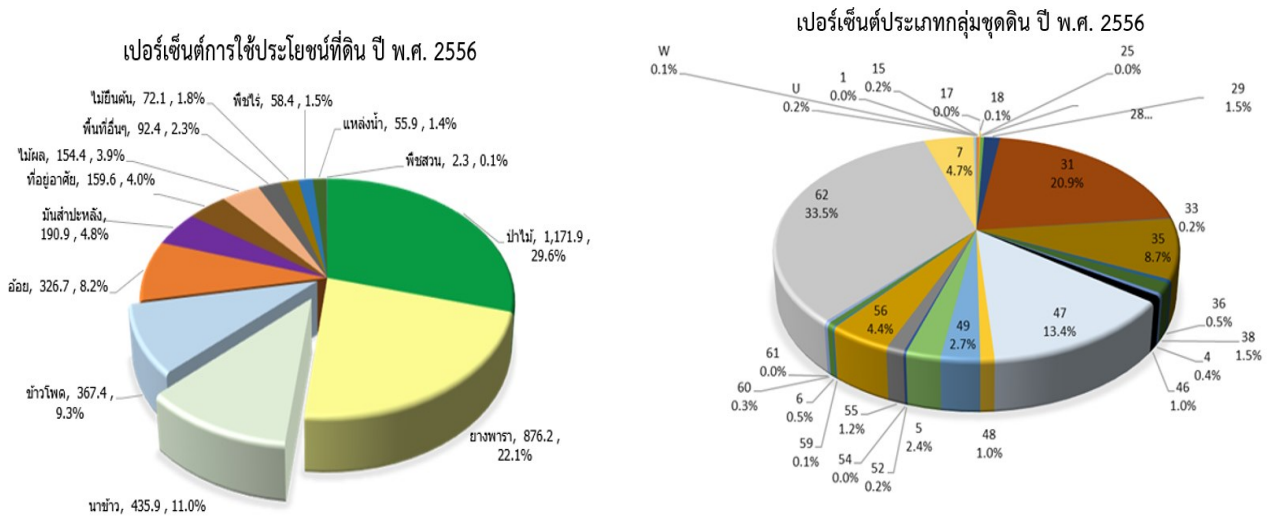


(ก) แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556



(ข) แผนที่ประเภทกลุ่มชุดดินกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556

ภาพที่ 2 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดินและแผนที่ประเภทกลุ่มชุดดินในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลยกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556

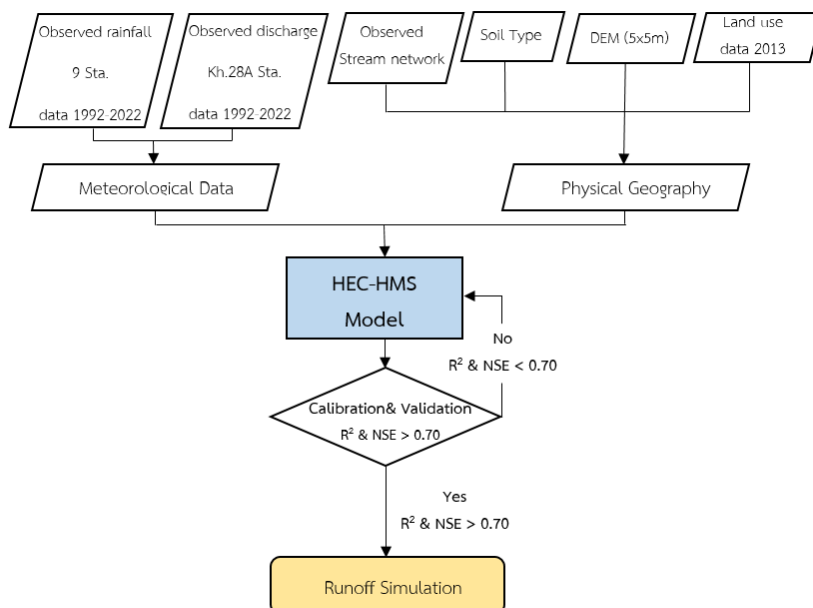


(ก) เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ที่ดินกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556 (ข) เปอร์เซ็นต์ประเภทกลุ่มชุดดินกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556

ภาพที่ 3 เปอร์เซ็นต์การใช้ประโยชน์ที่ดินและเปอร์เซ็นต์ประเภทกลุ่มชุดดิน ในขอบเขตพื้นที่ลุ่มน้ำเลย กรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556

4.วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับการขั้นตอนในการวิเคราะห์ของแบบจำลองเพื่อให้ได้ปริมาณน้ำท่าที่มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด จำเป็นต้องมีการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองของค่าดัชนีทางสถิติ ตามกรอบแนวคิดของการวิจัยแสดงได้ดังภาพที่ 4



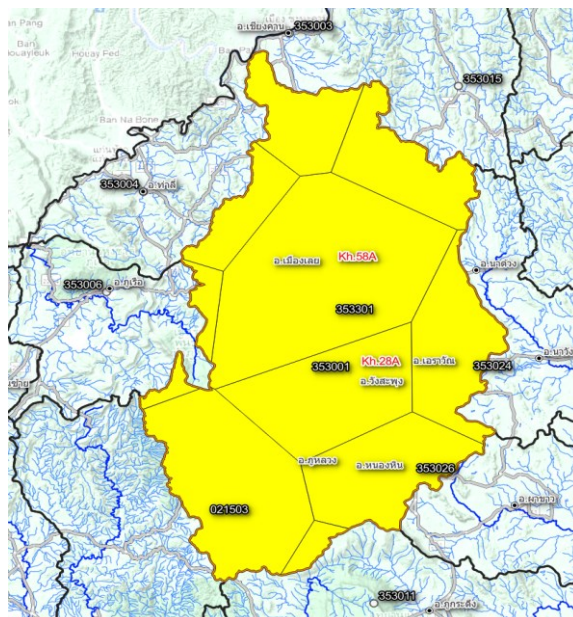
ภาพที่ 4 แผนภาพกรอบแนวคิดทางการวิจัยที่ทำการศึกษา

4.1 การหาค่าเฉลี่ยของน้ำฝน (Effective depth of rainfall)

วิธีของธีเอสเซน (Thiessen method) เป็นวิธีที่ให้ค่าน้ำหนักของข้อมูลน้ำฝนแต่ละสถานี จำนวนสถานีตามสัดส่วนของพื้นที่ที่อยู่ล้อมรอบสถานีนั่นๆ ซึ่งการกำหนดพื้นที่ที่ล้อมรอบสถานีวัดน้ำฝนจะกำหนดได้จากการแบ่งพื้นที่เป็นรูปหลายเหลี่ยมของธีเอสเซน (Thiessen polygon) ดังภาพที่ 3 ปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่หาได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าปริมาณน้ำฝน และค่าน้ำหนักของแต่ละสถานี ซึ่งค่าน้ำหนักหาได้จากสัดส่วนของพื้นที่ย่อยที่ล้อมรอบแต่ละสถานีต่อพื้นที่ทั้งหมด 3,959.31 ตารางกิโลเมตร ดังตารางที่ 3 สำหรับข้อมูลน้ำฝนที่หายไปบางส่วนจะถูกเติมด้วยข้อมูลตรวจวัดปริมาณน้ำฝนรายวันเฉลี่ยจากสถานีใกล้เคียงจะประเมินโดยวิธี Inverse Distance Weight (IDW) ในโปรแกรม QGIS

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n P_i A_i \quad (1)$$

โดยที่ A คือพื้นที่ทั้งหมดที่ต้องการหาค่าฝนเฉลี่ย
 P_i คือปริมาณฝนในแต่ละสถานี
 A_i คือพื้นที่ย่อยของแต่ละสถานี
 N คือจำนวนสถานีวัดน้ำฝนทั้งหมด





สถานีวัดน้ำฝน	ปริมาณฝนเฉลี่ย (มม.)	พื้นที่ย่อย (ตร.ม)	weight factor	\bar{P}
353001	99.30	516.91	0.13	12.96
353003	103.25	250.86	0.06	6.54
353004	89.61	176.87	0.04	4.00
353006	113.00	91.91	0.02	2.62
353011	163.70	45.80	0.01	1.89
353015	105.99	320.46	0.08	8.58
353024	101.59	374.01	0.09	9.60
353026	130.22	415.68	0.10	13.67
353301	131.30	1,094.69	0.28	36.30
21503	180.58	672.11	0.17	30.65
ผลรวม		3,959.31		126.83

4.2 แบบจำลองอุทกวิทยา HEC-HMS

แบบจำลอง Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) เป็นแบบจำลองที่ออกแบบมาสำหรับจำลองกระบวนการทางอุทกวิทยาของระบบโครงข่ายลุ่มน้ำโดย Hydrologic Engineering Center of U.S. Army Corps of Engineering (Feldman, 2000) ถูกออกแบบให้จำลองกระบวนการของน้ำฝนและน้ำท่า (Halwatura, & Najim, 2013). ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์น้ำฝนที่ให้เกิดปริมาณน้ำท่าและการไหลในสภาพทั่วไปและสภาพที่มีการควบคุม เกิดขึ้นในแต่ละลุ่มน้ำย่อย (Scharffenberg, et al., 2018) แบบจำลอง HEC-HMS สามารถคำนวณปริมาณน้ำท่า โดยการสร้างลุ่มน้ำย่อยจะมีลุ่มน้ำย่อยจำนวน 29 ลุ่มน้ำย่อยมีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งหมด 3,964.34 ตารางกิโลเมตร จะอาศัยข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข (Digital Elevation Model, DEM) ที่อยู่ในรูปแบบราสเตอร์ (Raster) ในการกำหนดขอบเขตลุ่มน้ำและเครือข่ายของลำน้ำ โดยข้อมูล DEM ที่ใช้จะมีความละเอียดในแนวราบขนาด 5 เมตร X 5 เมตร และการนำเข้าข้อมูลข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (Meteorological Data) ได้แก่ ข้อมูลตรวจวัดปริมาณฝนรายวันโดยจะใช้ปริมาณฝนเฉลี่ยรายวันย้อนหลัง 30 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 ที่สถานีวัดน้ำฝนจำนวน 10 สถานี ข้อมูลตรวจวัดอัตราการไหลและระดับน้ำรายวันตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ถึง พ.ศ. 2565 ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A สำหรับข้อมูลน้ำฝนจะมีการตรวจสอบความน่าเชื่อถือโดยใช้วิธีการวิเคราะห์หดรังกราฟพหุทวี (Double-mass curve) และการนำเข้าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินและข้อมูลกลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษาที่จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ. 2556

4.3 การสอบเทียบและการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง HEC-HMS จะได้เป็นข้อมูลปริมาณน้ำฝนรายชั่วโมงซึ่งจะถูกแปลงโดยแบบจำลองให้เป็นกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า จะต้องมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์ลักษณะทางกายภาพของลุ่มน้ำและลำน้ำ โดยต้องมีการสอบเทียบและตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองที่สถานีวัดน้ำท่า Kh.28A ได้เลือกวิธีในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และมีพารามิเตอร์ที่ต้องสอบเทียบทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ประกอบด้วย 1) วิธีการสูญเสียทางอุทกวิทยา โดยใช้ Deficit and constant loss สำหรับคำนวณหาโดยใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากการใช้ที่ดินและกลุ่มดิน มี 4 พารามิเตอร์คือ Initial deficit, Maximum Storage, Constant Rate และ % Impervious 2) วิธีการหาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน โดยใช้ Clark Unit Hydrograph มี 2 พารามิเตอร์คือ Time of concentration และ Storage coefficient 3) วิธีการหาปริมาตรของน้ำที่สะสมในชั้นดิน โดยใช้ Linear Reservoir Baseflow มี 3 พารามิเตอร์คือ Ground water, Ground water Fraction และ Ground water coefficient 4) วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำท่าวม โดยใช้ Muskingum Routing มี 3 พารามิเตอร์คือ K, X และ Number of subreaches และจะใช้วิธี Trial- and-error เพื่อให้กระบวนการสอบเทียบและการตรวจสอบประสิทธิภาพจะต้องได้ค่าเหมาะสม และน่าเชื่อถือที่สุดของแบบจำลอง HEC-HMS

สำหรับการสอบเทียบแบบจำลองจะใช้ช่วงระยะเวลาของข้อมูลอัตราการไหลรายวัน ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 จนถึงปี พ.ศ.2550 และการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองจะใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวัน ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 จนถึงปี พ.ศ.2564 โดยจะอาศัยค่าทางสถิติ 2 ค่า คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination, R^2) และค่า Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) ในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าจากแบบจำลองและค่าตรวจวัดซึ่งแสดงสมการได้ดังนี้:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \left(P_{sim_i} - \bar{P}_{sim} \right) \left(P_{obs_i} - \bar{P}_{obs} \right) \right]^2}{\sum_{i=1}^N \left(P_{sim_i} - \bar{P}_{sim} \right)^2 \sum_{i=1}^N \left(P_{obs_i} - \bar{P}_{obs} \right)^2} \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N \left(P_{obs_i} - P_{sim_i} \right)^2}{\sum_{i=1}^N \left(P_{obs_i} - \bar{P}_{obs} \right)^2} \quad (2)$$

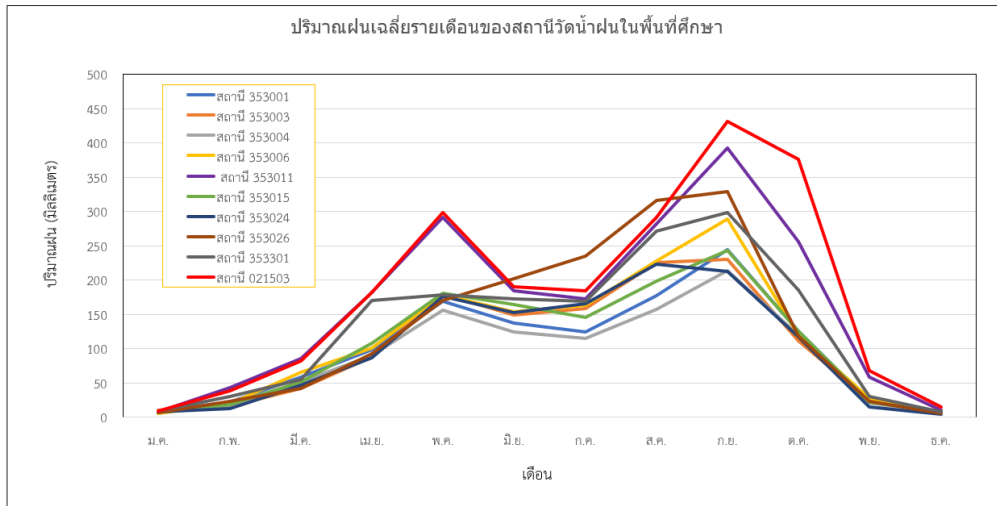
เมื่อ P_{obs_i} คือ ค่าที่ได้จากการตรวจวัด ที่ข้อมูล i
 \bar{P}_{obs} คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด
 P_{sim_i} คือ ค่าที่ได้จากแบบจำลอง ที่ข้อมูล i
 \bar{P}_{sim} คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบจำลอง
 i คือ ลำดับของข้อมูล
 N คือ จำนวนของข้อมูล

โดยค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หากค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าปัจจัยทั้งสองมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่มีความแม่นยำหรือใกล้เคียงกันมาก และค่า NSE ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกับข้อมูลจากการตรวจวัดจริงหรือมีความแม่นยำสูง

ผลการวิจัย

1. ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของรายสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

ผลข้อมูลการตรวจวัดปริมาณฝนรายวันของกรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดเลย จำนวน 9 สถานี ช่วงปีสถิติข้อมูลที่ใช้ระยะเวลา 30 ปี (2535-2565) ได้ทำการปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของ 9 สถานีดังภาพที่ 4 โดยในเดือนกันยายนจะเป็นเดือนที่มีฝนตกชุกมากที่สุดในรอบปี และสถานี 353011 จะมีปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในเดือนกันยายนมากที่สุดอยู่ที่ 392.04 มิลลิเมตร



ภาพที่ 4 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนของรายสถานีวัดน้ำฝนในพื้นที่ศึกษา

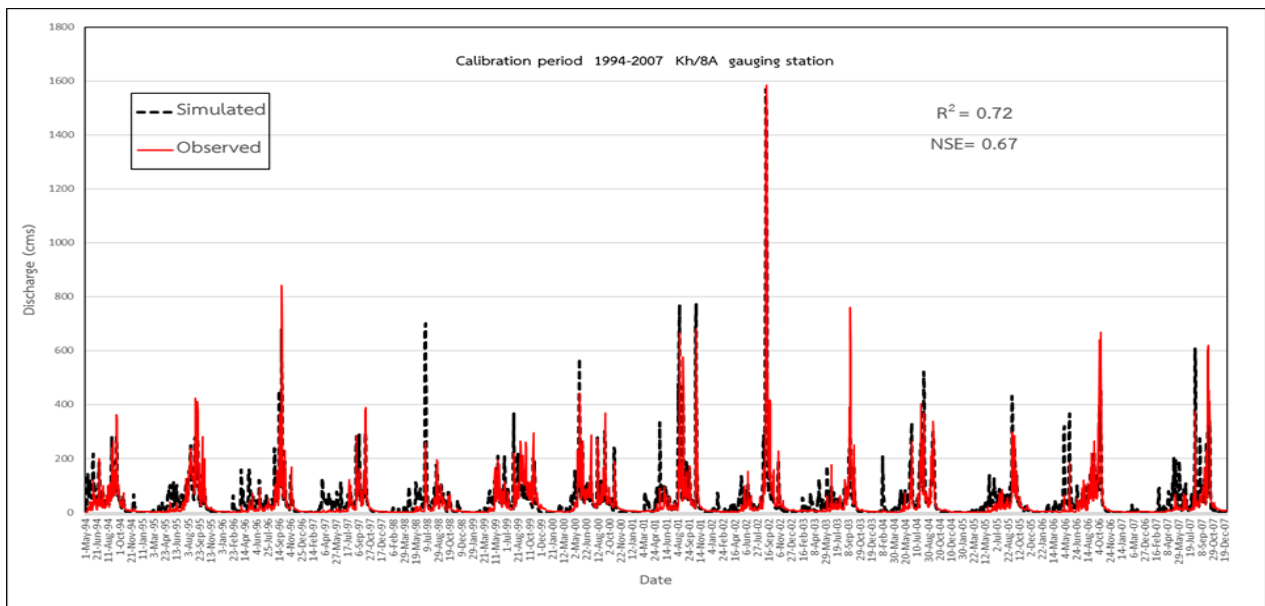
2. การสอบเทียบและการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง

ผลการสอบเทียบทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ประกอบด้วย 1) วิธีการสูญเสียทางอุทกวิทยา โดยใช้ Deficit and constant loss มี 4 พารามิเตอร์คือ Initial deficit มีค่าอยู่ระหว่าง 64.80-111.78 mm , Maximum Storage มีค่าอยู่ระหว่าง 142.60-195.50 mm, Constant Rate มีค่าอยู่ระหว่าง 0.518-3.11 mm/hr และ % Impervious มีค่าอยู่ระหว่าง 5.94-18.30 % 2) วิธีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน โดยใช้ Clark Unit Hydrograph มี 2 พารามิเตอร์คือ Time of concentration มีค่าอยู่ระหว่าง 42.32-159.20 hr และ Storage coefficient ค่าอยู่ระหว่าง 3.29-21.0 hr 3) วิธีการหาปริมาตรของน้ำที่สะสมในชั้นดิน โดยใช้ Linear Reservoir Baseflow มี 3 พารามิเตอร์คือ Ground water มีค่าอยู่ระหว่าง 5-15 m³/s , Ground water Fraction มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.09 และ Ground water coefficient มีค่าอยู่ระหว่าง 30.40-176.50 4) วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำท่วม โดยใช้ Muskingum Routing มี 3 พารามิเตอร์คือ K มีค่าอยู่ระหว่าง 3.54-30.68, X มีค่าเท่ากับ 0.25 และ Number of subreaches มีค่าเท่ากับ 1 ดังแสดงในตารางที่ 4

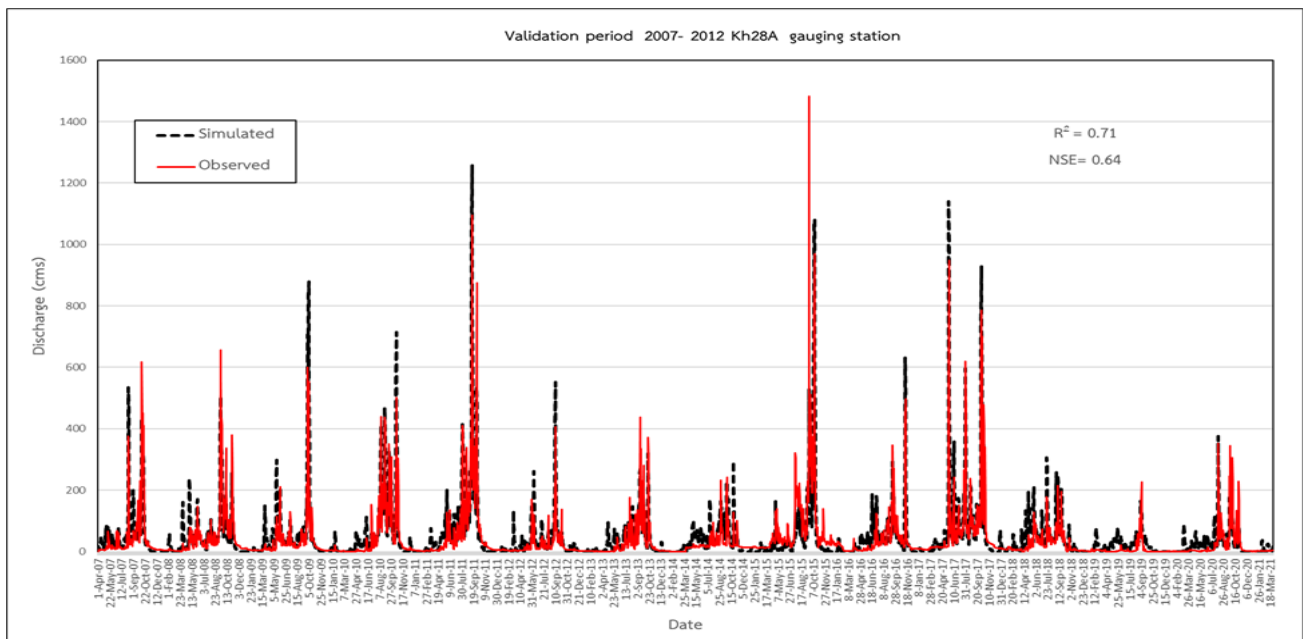
สำหรับผลการสอบเทียบ (Calibration) และการตรวจสอบ (Validation) ประสิทธิภาพแบบจำลอง HEC-HMS โดยใช้ข้อมูลอัตราการไหลรายวันที่ไหลผ่าน ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 จนถึงปี พ.ศ.2550 ทำการสอบเทียบกับแบบจำลองที่มีความสัมพันธ์ทางสถิติ R² เท่ากับ 0.72 และค่า NSE เท่ากับ 0.67 โดยกราฟแสดงผลการสอบเทียบแบบจำลองในภาพที่ 5 และการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองข้อมูลอัตราการไหลรายวัน ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 จนถึงปี พ.ศ.2564 ทำการตรวจสอบกับแบบจำลอง ซึ่งได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ R² เท่ากับ 0.71 และค่า NSE เท่ากับ 0.64 โดยกราฟแสดงผลการสอบเทียบแบบจำลองในภาพที่ 6 จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ R² และ NSE ของทั้งการสอบเทียบและการตรวจสอบแบบจำลองแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลรายวันที่ได้จากการตรวจวัดจริง (Observed) และอัตราการไหลรายวันที่คำนวณด้วยแบบจำลอง HEC-HMS (Simulated) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถยอมรับได้ (R² และ NSE > 0.65) ทำให้มีความมั่นใจว่าแบบจำลอง HEC-HMS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองสภาพสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 4 ผลสรุปช่วงตัวแปรที่เหมาะสมที่เป็นผลจากการสอบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HEC-HMS

Item	Model	Parameter	Minimum	Maximum	Fitting Parameter
1	Deficit and constant loss	Initial deficit	0 mm	500 mm	64.80-111.78 mm
		Maximum Storage	0 mm	1,000 mm	142.60-195.50 mm
		Constant Rate	0 mm/hr	300 mm/hr	0.518-3.11 mm/hr
		% Impervious	0%	100%	5.94-18.30%
2	Clark Unit Hydrograph	Time of concentration	0.1 hr	500 hr	42.32-159.20 hr
		Storage coefficient	0 hr	150 hr	3.29-21.0 hr
3	Linear Reservoir Baseflow	Ground water	0 m ³ /s	100,000m ³ /s	5-15 m ³ /s
		Ground water Fraction	0	1	0.06-0.09
		Ground water coefficient	0 hr	15,000 hr	30.40-176.50
4	Muskingum Routing	K	0.1 hr	150 hr	3.54-30.68
		X	0	0.5	0.25
		Number of subreaches	1	100	1



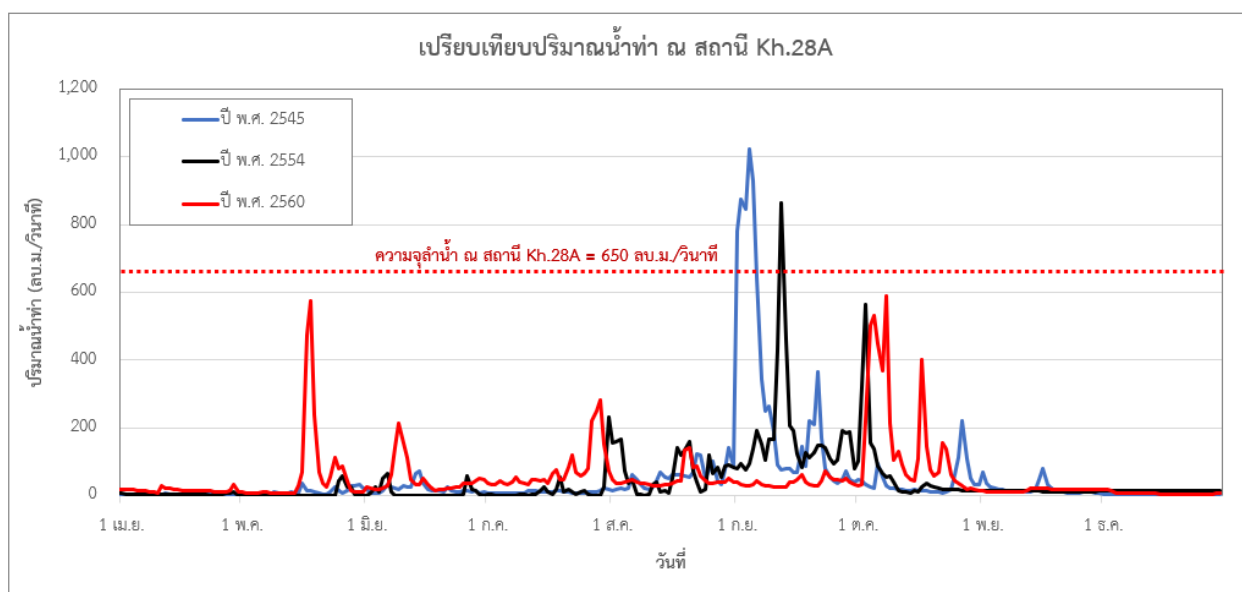
ภาพที่ 5 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง HEC-HMS ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ตั้งแต่ปี พ.ศ.2537 จนถึงปี พ.ศ.2550



ภาพที่ 6 ผลการตรวจสอบแบบจำลอง HEC-HMS ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ตั้งแต่ปี พ.ศ.2551 จนถึงปี พ.ศ.2564

2. ผลการเปรียบเทียบปริมาณน้ำท่า

จากผลการจำลองปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอดีตด้วยแบบจำลอง HEC-HMS ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ของปี พ.ศ.2545 ,พ.ศ. 2554 ,พ.ศ.2560 ในช่วงระหว่างเดือนเมษายน ถึง ธันวาคม ดังภาพที่ 7 พบว่าปริมาณน้ำท่าในช่วงวันที่ 4 กันยายน พ.ศ.2545 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 1,021.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และวันที่ 12 กันยายน พ.ศ.2554 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 862.90 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเกินความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A ที่มีค่าความจุของลำน้ำเลยเท่ากับ 650 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ สำนักงานชลประทานที่ 5) จึงทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ดังกล่าว สำหรับปริมาณน้ำท่าในช่วงวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ.2560 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 588.40 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าต่ำกว่าความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A จึงไม่ทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำท่วมในพื้นที่ดังกล่าว



ภาพที่ 7 ผลการจำลองปริมาณน้ำท่าสูงสุดด้วยแบบจำลอง HEC-HMS ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ของปี พ.ศ.2545 ,พ.ศ.2554 , พ.ศ.2560

อภิปรายผล

ในการปรับแต่งพารามิเตอร์ภายในแบบจำลอง HEC-HMS เพื่อให้ผลการคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดมากที่สุด โดยใช้ขั้นตอน 4 วิธีการ และใช้การสอบเทียบทั้งหมด 12 พารามิเตอร์ ซึ่งมีผลดังนี้ 1) วิธีการสูญเสียทางอุทกวิทยา โดยใช้ Deficit and constant loss มี 4 พารามิเตอร์คือ Initial deficit มีค่าอยู่ระหว่าง 64.80-111.78 mm , Maximum Storage มีค่าอยู่ระหว่าง 142.60-195.50 mm, Constant Rate มีค่าอยู่ระหว่าง 0.518-3.11 mm/hr และ % Impervious มีค่าอยู่ระหว่าง 5.94-18.30 % 2) วิธีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน โดยใช้ Clark Unit Hydrograph มี 2 พารามิเตอร์คือ Time of concentration มีค่าอยู่ระหว่าง 42.32-159.20 hr และ Storage coefficient ค่าอยู่ระหว่าง 3.29-21.0 hr 3) วิธีการหาปริมาตรของน้ำที่สะสมในชั้นดิน โดยใช้ Linear Reservoir Baseflow มี 3 พารามิเตอร์คือ Ground water มีค่าอยู่ระหว่าง 5-15 m³/s , Ground water Fraction มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.09 และ Ground water coefficient มีค่าอยู่ระหว่าง 30.40-176.50 4) วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำท่วม โดยใช้ Muskingum Routing มี 3 พารามิเตอร์คือ K มีค่าอยู่ระหว่าง 3.54-30.68, X มีค่าเท่ากับ 0.25 และ Number of subreaches มีค่าเท่ากับ 1

จากผลการใช้แบบจำลอง HEC-HMS ปริมาณน้ำท่า ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A มีการสอบเทียบแบบจำลองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ R² เท่ากับ 0.72 และค่า NSE เท่ากับ 0.67 และการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ R² เท่ากับ 0.71 และค่า NSE เท่ากับ 0.64 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถยอมรับได้ (R² และ NSE > 0.65) ทำให้มีความมั่นใจว่าแบบจำลอง HEC-HMS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองสภาพสถานการณ์ต่าง ๆ ได้อย่างถูกต้องและน่าเชื่อถือ สำหรับผลการจำลองปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอดีตด้วยแบบจำลอง HEC-HMS ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ของปี พ.ศ.2545 ,พ.ศ.2554 ,พ.ศ.2560 ในช่วงระหว่างเดือนเมษายน ถึง ธันวาคม พบว่าปริมาณน้ำท่าในช่วงวันที่ 4 กันยายน พ.ศ.2545 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 1,021.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และวันที่ 12 กันยายน พ.ศ.2554 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 862.90 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเกินความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A จึงทำให้เกิดเหตุการณ์น้ำล้นตลิ่งเข้าท่วมในพื้นที่ดังกล่าว

สรุปผลการวิจัย

จากการแบ่งพื้นที่เป็นรูปหลายเหลี่ยมของธีเอสเซน (Thiessen polygon) ทำให้ทราบปริมาณฝนเฉลี่ยบนพื้นที่ 126.83 มิลลิเมตร ซึ่งหาได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างค่าปริมาณน้ำฝน และค่าน้ำหนักของแต่ละสถานี ซึ่งค่าน้ำหนักหาได้จากสัดส่วนของพื้นที่ย่อยที่ล้อมรอบแต่ละสถานีต่อพื้นที่ทั้งหมด 3,959.31 ตารางกิโลเมตร สำหรับพารามิเตอร์ภายในแบบจำลอง HEC-HMS เพื่อให้ผลการคำนวณที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลจากสถานีตรวจวัดมากที่สุด ซึ่งมีผลดังนี้ 1) วิธีการสูญเสียทางอุทกวิทยา โดยใช้ Deficit and constant loss มี 4 พารามิเตอร์คือ Initial deficit มีค่าอยู่ระหว่าง 64.80-111.78 mm , Maximum Storage มีค่าอยู่ระหว่าง 142.60-195.50 mm, Constant Rate มีค่าอยู่ระหว่าง 0.518-3.11 mm/hr และ % Impervious มีค่าอยู่ระหว่าง 5.94-18.30 % 2) วิธีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำฝนส่วนเกิน โดยใช้ Clark Unit Hydrograph มี 2 พารามิเตอร์คือ Time of concentration มีค่าอยู่ระหว่าง 42.32-159.20 hr และ Storage coefficient ค่าอยู่ระหว่าง 3.29-21.0 hr 3) วิธีการหาปริมาตรของน้ำที่สะสมในชั้นดิน โดยใช้ Linear Reservoir Baseflow มี 3 พารามิเตอร์คือ Ground water มีค่าอยู่ระหว่าง 5-15 m³/s , Ground water Fraction มีค่าอยู่ระหว่าง 0.06-0.09 และ Ground water coefficient มีค่าอยู่ระหว่าง 30.40-176.50 4) วิธีการเคลื่อนตัวของน้ำท่วม โดยใช้ Muskingum Routing มี 3 พารามิเตอร์คือ K มีค่าอยู่ระหว่าง 3.54-30.68, X มีค่าเท่ากับ 0.25 และ Number of subreaches มีค่าเท่ากับ 1 ในการสอบเทียบแบบจำลองและการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลอง HEC-HMS ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A มีการ

สอบเทียบแบบจำลองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ R^2 เท่ากับ 0.72 และค่า NSE เท่ากับ 0.67 และการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองได้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ R^2 เท่ากับ 0.71 และค่า NSE เท่ากับ 0.64 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและสามารถยอมรับได้ (R^2 และ $NSE > 0.65$) ทำให้มีความมั่นใจว่าแบบจำลอง HEC-HMS สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการจำลองปริมาณน้ำท่าสูงสุดในอดีต ณ สถานีวัดน้ำ Kh.28A ของปี พ.ศ.2545, พ.ศ.2554, พ.ศ.2560 พบว่าปริมาณน้ำท่าในช่วงวันที่ 4 กันยายน พ.ศ.2545 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 1,021.60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และวันที่ 12 กันยายน พ.ศ.2554 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 862.90 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเกินความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A สำหรับปริมาณน้ำท่าในช่วงวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ.2560 มีปริมาณน้ำท่าเท่ากับ 588.40 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าต่ำกว่าความจุของลำน้ำเลยที่สถานีวัดน้ำ Kh.28A

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การสอบเทียบและการตรวจสอบประสิทธิภาพแบบจำลองทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองที่สามารถนำไปประยุกต์หาปริมาณน้ำท่าสูงสุดได้ และยังสามารถคาดการณ์เหตุการณ์ของน้ำท่วมในพื้นที่แม่น้ำเลยที่อำเภอวังสะพุงได้
2. ทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่าง ๆ ในแบบจำลองของพื้นที่แม่น้ำเลยอำเภอวังสะพุงได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. ในการสอบเทียบและทวนสอบแบบจำลองสำหรับการศึกษารั้งต่อไปควรคำนวณค่า PBIAS เพื่อทราบระดับความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ที่มีต่อแบบจำลอง และควรใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีข้อมูลย้อนหลังหลายปีในการสอบเทียบแบบจำลอง
2. สามารถเป็นแนวทางสำหรับบริหารจัดการน้ำในพื้นที่แม่น้ำเลยได้ในการทำวิจัยครั้งต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- กิตติเวช ชันติวิชัย. (2563). ระบบอุทกวิทยา. สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ธีรเมธ หิรัญพัฒนานนท์ และวรพงษ์ โล่ไพศาลฤกษ์. (2563). สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น จ.ขอนแก่น. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25
- พัฒนศักดิ์ แสนมาตย์. (2550). การศึกษาคุณลักษณะทางอุทกวิทยาของกลุ่มน้ำยมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HEC-HMS. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วรารุณ วุฒินิชย์. (2545). อุทกวิทยาทางวิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์ปฏิบัติการน้ำอัจฉริยะ สำนักงานชลประทานที่ 5 กรมชลประทาน. Available from: <https://www.rid5.net/water/>
- อารีญา ฤทธิมา. (2561). อุทกวิทยา. ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- Feldman, A.D.: Hydrologic modeling system (HEC-HMS): Technical reference manual. USA; 2000.
- Halwatura, D., & Najim, M. M. M. (2013). Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. Environmental Modelling and Software, 46, 155–162. form <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.006>
- Khadka, J. and Bhaukajee, J. (2018). Rainfall-runoff simulation and modelling using HEC-HMS and HEC-RAS models: case studies from Nepal and Sweden. Master Thesis, Lund University, Sweden.
- Lambin, F., Turner, B.L., Geista, H.J., Agbolac, S.B., Angelsen, A., & Bruce, J.W. (2000) Causes of land-use and land-cover change : moving beyond the myths. Global Environmental Chang.



- Lohpaisankrit, W., Hiranwattananon, T., and Tumma, N. (2021). Application of a rainfall-runoff model for flood generation in the Huai Sangka catchment Thailand. Engineering and Applied Science Research. Vol 48(2) (pp. 121–130). Available from: <https://doi.org/10.14456/easr.2021.14>
- Scharffenberg, B., Bartles, M., Brauer, T., Fleming, M. & Karlovits, G. (2018). Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, User’s Manual. New York: US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC).