



การประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงด้วยข้อมูลการตรวจวัด  
ฝนทั่วโลก

## Estimation of Total Suspended Solids in Pung River using Global Precipitation Measurement Data

ประวิทย์ อ่องอารีย์<sup>1\*</sup> ชฎาพร พรหมสาขา<sup>1</sup> ทิตติยา วงศ์ลีดา<sup>1</sup> และณัฐพัชร์ บัวทองจันทร์<sup>1</sup>

Received: February 2018; Accepted: March, 2018

### บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความเป็นไปได้ของการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในลำน้ำพุงด้วยข้อมูลการตรวจวัดฝนทั่วโลก (GPM) โดยทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดตามความยาวลำน้ำ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มกับปริมาณของแข็งแขวนลอยด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ และสร้างตัวแบบการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงด้วยการจัดการข้อมูลวิธีกลุ่ม (GMDH) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของตัวแบบที่ใช้ข้อมูลจีพีเอ็มเป็นตัวแปรนำเข้า ผลการศึกษาพบว่าค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงตามความยาวลำน้ำ โดยบริเวณต้นน้ำพบปริมาณของแข็งแขวนลอยต่ำกว่าบริเวณปลายน้ำ นอกจากนี้ข้อมูลจีพีเอ็มมีราย 37 และ 14 วัน มีความสัมพันธ์กับค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระดับปานกลาง และพบว่าการใช้ข้อมูลจีพีเอ็มเป็นตัวแปรนำเข้าของตัวแบบประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงมีประสิทธิภาพปานกลาง โดยให้ค่าประมาณและค่าข้อมูลจริงไปในทิศทางเดียวกันและมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการทดสอบอยู่ระหว่าง 0.41 - 0.89

คำสำคัญ: ของแข็งแขวนลอย; ตัวแบบคอมพิวเตอร์; ลำน้ำ; การจัดการข้อมูลวิธีกลุ่ม; จีเอ็มดีเอช

<sup>1</sup> Faculty of Science and Technology, Sakon Nakhon Rajabhat University

\* Corresponding Author E - mail Address: prawit@snru.ac.th

## Abstract

The object of this research was investigated the possibility of using Global Precipitation Measurement Data (GPM) for estimating total suspended solids (TSS) in Pung River. The longitudinal change of TSS and the correlations between GPM data and TSS were examined. Moreover, the estimating models of TSS, which use GPM data as input data were developed, by using a Group Method of Data Handling (GMDH). The results indicated that the TSS levels in Pung River change along the length of the channel, the upstream location had TSS value lower than the end of the river. Intermediate level of relationship between 3-days, 7-days, and 14-days of GPM precipitation and TSS values were disclosed. The TSS models using GPM data as input data had moderate efficiency; the estimated values and the actual values varied in the same way. The validated models had the coefficient of determination of 0.41 - 0.89.

**Keywords:** Suspended Solids; Computational Model; Channel; Group Method of Data Handling; GMDH

## บทนำ

ลำน้ำพุงเป็นลำน้ำหลักในกลุ่มน้ำพุงอันมีต้นกำเนิดของสายน้ำในพื้นที่อำเภอกุศุดาบ จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีสภาพพื้นที่เป็นที่ราบลอนคลื่น สลับกับเทือกเขา ลำน้ำพุงจึงมีความลาดชันสูงในช่วงต้นน้ำ และเป็นที่ตั้งของเขื่อนน้ำพุงในการกักเก็บน้ำและผลิตไฟฟ้า และทอดตัวผ่านพื้นที่อำเภอภูพาน อำเภอเต่างอย อำเภอโคกศรีสุพรรณ และอำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร ก่อนที่ไหลสู่ทะเลสาบหนองหาร รวมความยาวตลอดลำน้ำกว่า 64 กิโลเมตร ลำน้ำพุงจึงเป็นดังสายเลือดหลักที่หล่อเลี้ยงให้ความชุ่มชื้นแก่จังหวัดสกลนครตอนล่าง และยังเป็นต้นน้ำสำคัญที่เติมเต็มทะเลสาบหนองหาร ซึ่งเป็นทะเลสาบน้ำจืดใหญ่ที่สุดเป็นลำดับสองของประเทศไทยและมีพื้นที่กว่า 77,000 ไร่ ทะเลสาบหนองหารจึงเป็นแหล่งน้ำสำคัญในการหล่อเลี้ยงเมืองสกลนครและยังเป็นแหล่งรองรับน้ำหลากเพียงแห่งเดียวของเมืองสกลนคร จึงสำคัญต่อทั้งวิถีชีวิตและสภาพสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น

อย่างไรก็ตามลำน้ำพุงมีแนวพาดผ่านเทือกเขาภูพานลงสู่บริเวณที่ราบเชิงเขา โดยมีเปลี่ยนแปลงระดับความสูงการไหลจาก 300 เมตร (ร.ท.ก.) สู่มวล 190 เมตร (ร.ท.ก.) อย่างรวดเร็วภายในระยะทางเพียง 12 กิโลเมตร กระแสน้ำในลำน้ำตอนต้นจึงมีความเร็วสูงและมักเกิดการกัดเซาะดินชายตลิ่ง ส่งผลให้เกิดปริมาณของแข็งแขวนลอยในลำน้ำเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การใช้ที่ดินปัจจุบันได้ใช้ประโยชน์ที่ดินในบริเวณลุ่มน้ำนี้มีอย่างหลากหลาย ทั้งเป็นพื้นที่เพาะปลูกพืช เลี้ยงสัตว์ อยู่อาศัย พาณิชยกรรม ป่าเสื่อมโทรม และป่าอนุรักษ์ ซึ่งต่างเป็นกิจกรรมของมนุษย์ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมในหลายประเด็น [1] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนในแม่น้ำ เนื่องจากการใช้ที่ดินในลักษณะพื้นดินโล่ง ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อน [2] รวมทั้งการบุกรุกเบิกแผ้วถางที่ดินซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพจากป่า

ที่มีพืชพันธุ์ปกคลุมเป็นพื้นที่การใช้ประโยชน์ของมนุษย์ ส่งผลต่อปริมาณตะกอนแขวนลอยที่เกิดจากการกัดกร่อนหน้าดินได้เช่นกัน [3] นอกจากนี้การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรประเภทการเพาะปลูกยังคงเป็นสาเหตุหลักของปริมาณตะกอนในลำน้ำ [4] การเกิดพายุฝนหรือฤดูมรสุมยังส่งเสริมผลให้เกิดตะกอนจากการใช้ดินที่เปิดโล่งและพัดพาตะกอนไปยังแหล่งน้ำได้ [5] การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศโลกยังอาจส่งผลให้ปริมาณฝนที่ตกในพื้นที่มีแนวโน้มสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีการกัดเซาะหน้าดินมากขึ้นตามปริมาณน้ำที่มากขึ้น เกิดการพัดพาของแข็งแขวนลอยจากหน้าดินในพื้นที่เกษตรกรรมหรือพื้นที่ป่าเสื่อมโทรมลงสู่ลำน้ำพุ และไหลพัดพาลงสู่ทะเลสาบหนองหาร นำไปสู่เกิดภาวะการกักตุนและคั่งเขินในทะเลสาบหนองหาร ก่อให้เกิดผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อการใช้ประโยชน์ของชุมชนท้องถิ่นโดยรอบทะเลสาบหนองหาร

การวิจัยนี้เล็งเห็นความสำคัญของทะเลสาบหนองหารซึ่งเป็นแหล่งน้ำสำคัญในท้องถิ่นและกำลังประสบปัญหาการคั่งเขินที่ทวีความรุนแรงขึ้น ส่งผลให้ประชาชนในท้องถิ่นได้รับผลกระทบทั้งทางตรงและทางอ้อมอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ข้อมูลปริมาณฝนที่ได้จากการข้อมูลการตรวจวัดฝนทั่วโลก (Global Precipitation Measurement: GPM) เพื่อประมาณค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids: TSS) ในลำน้ำพุ โดยทำการสร้างตัวแบบทางคอมพิวเตอร์ (Computational Model) เพื่อเผยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ด้วยการจัดการข้อมูลวิธีกลุ่ม (Group Method of Data Handling) หรือจีเอ็มดีเอช (GMDH) ซึ่งเป็นวิธีการทางเหมือนข้อมูลวิธีการหนึ่ง โดยคาดหวังว่าผลที่ได้จะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุ และนำไปสู่การทำนายปริมาณตะกอนที่ไหลลงสู่หนองหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม่นยำและสามารถแก้ไขปัญหาคั่งเขินของทะเลสาบหนองหารได้ต่อไปในอนาคต

## การตรวจวัดฝน

ข้อมูลปริมาณน้ำฝนเป็นข้อมูลทางอุทก - อุตุนิยมวิทยาที่มีการตรวจวัดและใช้งานในการศึกษาต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง เนื่องจากปริมาณน้ำฝนเป็นความชุ่มชื้นหลักที่หล่อเลี้ยงมนุษย์ชาติมาตั้งแต่อดีต อย่างไรก็ตามปริมาณฝนที่มากเกินไปเกินความต้องการก็อาจส่งผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สินได้เช่นกัน ฝนจึงเป็นตัวแปรที่สำคัญในการศึกษาหรือทำนายค่าทางอุทก-อุตุนิยมวิทยาที่มักถูกนำมาใช้งานอยู่เสมอ

การตรวจวัดปริมาณฝนมีการพัฒนามาอย่างยาวนานโดยในปัจจุบันมีวิธีการที่เป็นที่นิยม 3 วิธีการ ได้แก่

1. การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนภาคพื้นดิน วิธีการนี้เป็นวิธีการดั้งเดิมและพื้นฐานที่สุด โดยมีวิธีการที่นิยมใช้งาน เช่น การใช้มาตรวัดน้ำฝน (Rain Gauges) ดิสโดรมิเตอร์ (Disdrometer) และเรดาร์ภาคพื้นดิน (Ground Radar) เป็นต้น แม้วิธีการนี้จะถูกใช้อย่างยาวนานแต่ยังเป็นที่นิยมใช้งานในปัจจุบันเนื่องจากให้ผลที่แม่นยำ อีกทั้งยังมีการพัฒนารูปแบบการวัดให้มีความแม่นยำสูงขึ้นอยู่เสมอ เช่น การพัฒนามาตรวัดฝนขนาด 100 ตารางเมตร [6] หรือการพัฒนากรุปมาตรวัดฝนที่ควบคุมคุณภาพด้วยการสื่อสารระยะไกลแบบเชื่อมต่อด้วยคลื่นไมโครเวฟ [7] เป็นต้น

2. การตรวจวัดด้วยข้อมูลดาวเทียม วิธีการนี้เป็นวิธีการโดยอ้อมโดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากดาวเทียมที่โคจรในระดับต่ำหลากหลายรูปแบบ เช่น การถ่ายภาพช่วงคลื่นมองเห็นด้วยตา (Visible) การถ่ายภาพแบบอินฟราเรด หรือการตรวจวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น [8] ซึ่งวิธีการเหล่านี้มิได้วัด

ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงพื้นโลกโดยตรงแต่ใช้วิธีการคำนวณและประมาณค่าจากข้อมูลที่ได้รับจากดาวเทียม วิธีการนี้มีข้อดีคือสามารถให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าการตรวจวัดด้วยสถานีภาคพื้นและยังสามารถแสดงผลเชิงเวลาได้อีกด้วย ปัจจุบันมีระบบข้อมูลฝนจากดาวเทียมที่เป็นที่นิยมใช้งาน เช่น GPM TMPA 3B42 PERSIANN-CDR และ RRFA-S เป็นต้น [9] - [11]

การตรวจวัดฝนทั่วโลกหรือจีพีเอ็ม (Global Precipitation Measurement: GPM) เป็นระบบการตรวจวัดฝนด้วยข้อมูลดาวเทียมแบบใกล้เวลาจริง (Near Real Time) โดยพัฒนามาจากโครงการตรวจวัดฝนในภูมิภาคเขตร้อน (Tropical Rainfall Measuring Mission) หรือทีอาร์เอ็มเอ็ม (TRMM) ที่ปฏิบัติการตรวจวัดฝนด้วยข้อมูลดาวเทียมในเขตภูมิภาคเขตร้อนตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 - 2015 ระบบจีพีเอ็มนี้ประกอบด้วย ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติวงโคจรต่ำหลายดวงจากชาติต่าง ๆ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป ญี่ปุ่น ฝรั่งเศส และอินเดีย จึงสามารถประมาณค่าฝนได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุกภูมิภาคทั่วโลกตั้งแต่ละติจูด 60° เหนือ ถึง 60° ใต้ อย่างไรก็ตามระบบนี้มีดาวเทียมสำคัญซึ่งเป็นผลผลิตจากการร่วมมือระหว่างองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (NASA) และองค์การวิจัยและพัฒนาการสำรวจอวกาศญี่ปุ่น (JAXA) คือ ดาวเทียมจีพีเอ็มหลัก (GPM Core Satellite) ซึ่งได้ติดตั้งอุปกรณ์ขั้นสูงสำหรับการประมาณค่าฝน 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องจับภาพด้วยไมโครเวฟ (Microwave Imager) และเรดาร์ตรวจจับฝนแบบสองความถี่ (Dual-Frequency Precipitation Radar) [12] จึงนับว่าดาวเทียมนี้เป็นดาวเทียมตรวจวัดฝนที่มีประสิทธิภาพสูงดวงหนึ่ง

3. การตรวจวัดฝนด้วยแบบจำลองฝน วิธีการนี้เป็นการประมาณค่าฝนจากข้อมูลอุณหภูมิต่าง ๆ และคำนวณด้วยตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่อิงวิธีการทางสถิติ ความน่าจะเป็น และทฤษฎีทางอุทก - อุณหภูมิตฤษฎี วิธีการนี้นอกจากสามารถบ่งบอกปริมาณฝนทั้งเชิงพื้นที่และเชิงเวลาในทุกภูมิภาคทั่วโลก ปัจจุบันมีแบบจำลองที่เป็นที่ยอมรับ ได้แก่ แบบจำลองจีซีเอ็ม (General Circulation Model: GCM) และแบบจำลองการแยกแยะวิเคราะห์ (Reanalysis Model) อย่างไรก็ตามข้อมูลจากแบบจำลองฝนยังไม่สามารถให้ข้อมูลในเวลาจริงหรือใกล้เคียงเวลาจริง เนื่องจากต้องอาศัยการรวบรวมข้อมูล อีกทั้งต้องใช้เวลาในการคำนวณและปรับแก้ข้อมูลเป็นระยะเวลาอันยาวนาน ทั้งนี้ทั่วไปแล้วข้อมูลฝนจากแบบจำลองจะใช้เวลาประมาณ 120 วันในการประมาณค่า

บทความวิจัยนี้ได้เลือกใช้การวัดฝนทั่วโลก เนื่องจากเป็นระบบตรวจวัดน้ำฝนที่สามารถให้ข้อมูลได้ในทุกภูมิภาคทั่วโลกแบบใกล้เคียงเวลาจริง มีความละเอียดของการประมาณค่าฝนเชิงพื้นที่ละเอียดถึง 0.1 องศา และให้ข้อมูลฝนเชิงพื้นที่อันแม่นยำและเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง

### การจัดการข้อมูลวิธีการกลุ่ม

การจัดการข้อมูลวิธีการกลุ่มหรือจีเอ็มดีเอช (Group Method of Data Handling: GMDH) เป็นหนึ่งในวิธีการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) ด้วยคอมพิวเตอร์ นิยมใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีลักษณะความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเส้นตรง โดยมีฟังก์ชันพื้นฐานในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังสมการที่ (1)

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i f_i \quad (1)$$

ฟังก์ชันพื้นฐานของจีเอ็มดีเอชที่มีความยืดหยุ่นจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครือข่ายประสาท (Artificial Neural Networks) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรู้จักกันในชื่อเครือข่ายแบบพหุนาม (Polynomial Neural Networks) หรือพีเอ็นเอ็น (PNN) [13] โดยมีฟังก์ชันพื้นฐานที่เป็นที่นิยมและรู้จักกันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ฟังก์ชันพหุนามของโคโมโกรอฟ-กาบอร์ (Kolmogorov-Gabor Polynomial) [14] ดังสมการที่ (2)

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n a_{ijk} x_i x_j x_k + \dots \quad (2)$$

## วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. พื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้มีพื้นที่ศึกษาบริเวณลุ่มน้ำพุงช่วงหลังเขื่อนน้ำพุงจนถึงทะเลสาบหนองหาร โดยมีพื้นที่ประมาณ 778 ตารางกิโลเมตร ลุ่มน้ำนี้มีความลาดเอียงไปทางทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือ และเชื่อมต่อกับแม่น้ำโขงผ่านลุ่มน้ำก่ำ ลุ่มน้ำพุงเป็นลุ่มน้ำขนาดเล็กมีลำน้ำพุงที่มีความยาวประมาณ 64 กิโลเมตร เป็นลำน้ำสายหลัก มีจุดกำเนิดจากเทือกเขาภูพานและไหลมาทางทิศตะวันออกและตะวันออกเฉียงเหนือ ก่อนที่จะไหลขึ้นไปทางทิศเหนือลงสู่ทะเลสาบหนองหารบริเวณอำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร ดังแสดงในรูปที่ 1 (เส้นประแสดงขอบเขตลุ่มน้ำพุง) บริเวณช่วงตอนต้นของลำน้ำพุงเป็นบริเวณเทือกเขาจึงมีความลาดชันของการไหลสูงถึงร้อยละ 1 ส่งผลให้กระแสน้ำในลำน้ำพุงมีความเร็วการไหลค่อนข้างสูง และอาจก่อให้เกิดการกัดเซาะหน้าดินกลายเป็นของแข็งแขวนลอยพัดพาสูงทำให้น้ำสำหรับช่วงกลางน้ำและท้ายน้ำนั้น ลำน้ำพุงได้ทอดตัวผ่านบริเวณที่ราบเชิงเขา จึงมีความชันน้อยกว่าช่วงต้นน้ำโดยมีความชันเฉลี่ยเพียงร้อยละ 0.3 และมีลักษณะลำน้ำเป็นแบบทางน้ำโค้งควัดซึ่งเป็นลักษณะของลำน้ำที่มักพบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับการไหลอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ลำน้ำพุงช่วงนี้มีลักษณะการใช้ที่ดินเป็นการใช้เพื่อการเกษตรและที่นันทกรว้าง ดังนั้นจึงอาจมีโอกาสเกิดการกัดเซาะหน้าดินกลายเป็นของแข็งแขวนลอยลงสู่ลำน้ำพุงได้เช่นเดียวกัน

### 2. ขั้นตอนการศึกษา

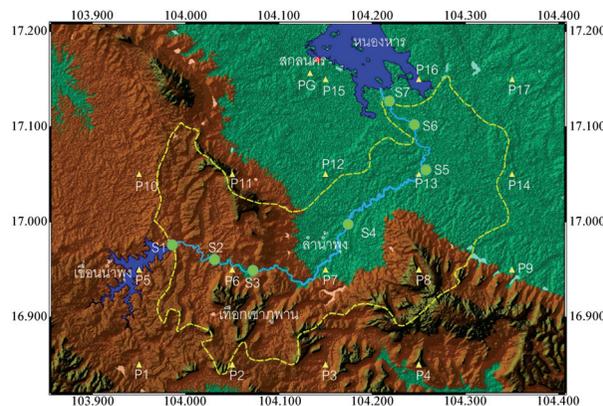
การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายในการศึกษาความเป็นไปได้ของการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงด้วยข้อมูลฝน จึงเลือกใช้ข้อมูลฝนจากระบบจีเอ็มเอ็มแบบใกล้เวลาจริง 18 ชั่วโมง (GPM IMERG Late-Run) เนื่องจากสามารถบ่งบอกปริมาณฝนเชิงพื้นที่ได้ดีกว่าการใช้ข้อมูลฝนจากสถานีมาตรวัดฝนแบบจุดเดียว (Single Point Station) และสามารถให้ข้อมูลได้ใกล้เคียงเวลาจริงซึ่งได้ดำเนินการศึกษาครอบคลุมทั้งฤดูแล้งและฤดูฝนเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนมีนาคม - กันยายน พ.ศ. 2560 ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษา 4 ขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดตามความยาวลำน้ำพุงเพื่อวิเคราะห์บริเวณพื้นที่ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงจากลำน้ำพุงในบริเวณที่มีสะพานพาดผ่านลำน้ำพุงจำนวน 6 สถานี (สถานี S2 - S7) และจากบริเวณต้นน้ำอีก 1 สถานี (สถานี S1) ดังแสดงในรูปที่ 1 ทุก 14 วัน และทำการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยวิธีการอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 - 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [15]

2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มและข้อมูลฝนจากมาตรวัดฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยทำการเปรียบเทียบความแตกต่างและความสัมพันธ์ของข้อมูลฝนระหว่างสถานีตรวจวัดฝนที่อยู่ใกล้จุดข้อมูลของจีพีเอ็มมากที่สุด ได้แก่ สถานีอุตุนิยมวิทยาสกลนคร (สถานี PG) และจุด P15 สำหรับข้อมูลจากจีพีเอ็ม ดังรูปที่ 1

2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างง่ายระหว่างตัวแปรทั้งสองเพื่อแสดงทิศทางและระดับความสัมพันธ์ที่มีต่อกัน

2.4 สร้างตัวแบบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงด้วยการจัดการข้อมูลวิธีกลุ่มแบบเครือข่ายประสาท (GMDH Neural Network) ด้วยซอฟต์แวร์ GMDH Shell DS รุ่น 3.8.3 โดยออกแบบให้มีชั้นการคำนวณ (Layer) เท่ากับ 5 ชั้น แต่ละชั้นมีจำนวนโหนด (Node) เท่ากับ 10 โหนด ซึ่งการสร้างตัวแบบความสัมพันธ์สำหรับประมาณค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดตลอดทั้งความยาวลำน้ำตั้งแต่สถานี S2 - S7 นี้ ใช้ข้อมูลจีพีเอ็มที่ครอบคลุมพื้นที่ศึกษาลำน้ำจำนวน 17 จุด (จุด P1 - P17) ดังรูปที่ 1 ข้อมูลที่ถูกใช้เป็นตัวแปรนำเข้าเป็นข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 3 7 และ 14 วัน ของทั้ง 17 จุด โดยข้อมูลเหล่านี้จำนวนร้อยละ 60 ถูกสุ่มเป็นข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ในการสร้างตัวแบบ และข้อมูลที่เหลืออีกร้อยละ 40 ถูกใช้เป็นข้อมูลทดสอบความแม่นยำของตัวแบบ



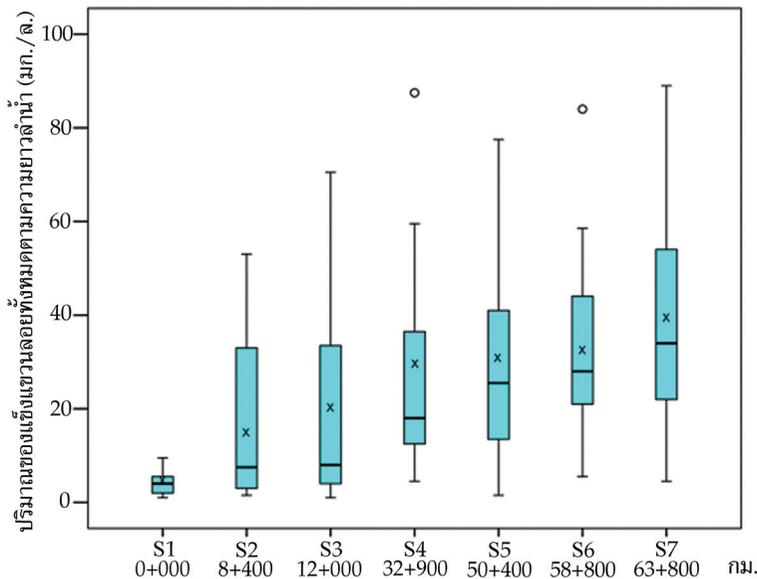
- ▲ คือ ตำแหน่งข้อมูลฝน (จุด P1 - P17 เป็นตำแหน่งข้อมูลฝนจากจีพีเอ็ม และสถานี PG เป็นข้อมูลฝนจากสถานีตรวจวัดฝนภาคพื้นของกรมอุตุนิยมวิทยา)
  - คือ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อตรวจวัดปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) ในลำน้ำพุง
- รูปที่ 1 บริเวณพื้นที่ศึกษา ตำแหน่งข้อมูลฝน และตำแหน่งการเก็บตัวอย่างน้ำ

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยตามความยาวลำน้ำพุง
 

จากการเก็บตัวอย่างน้ำในลำน้ำพุงทุก 14 วัน ตั้งแต่วันที่ 25 มีนาคม - 23 กันยายน พ.ศ. 2560 จำนวน 13 ครั้ง ณ บริเวณสถานี S1 - S7 ดังรูปที่ 1 (ยกเว้นวันที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เนื่องจากเกิดเหตุการณ์น้ำท่วมจังหวัดสกลนครจึงไม่สามารถเก็บตัวอย่างน้ำได้) พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอย

ทั้งหมดบริเวณสถานี S1 - S7 มีค่าเท่ากับ 4.3 15.8 20.5 29.0 29.8 32.5 และ 39.4 มก./ล. ตามลำดับ โดยสามารถแสดงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเทียบกับความยาวลำน้ำพุงได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งสังเกตได้ว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดบริเวณต้นน้ำจะมีค่าน้อยกว่าบริเวณปลายน้ำ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความยาวลำน้ำ



รูปที่ 2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดตามความยาวลำน้ำพุง

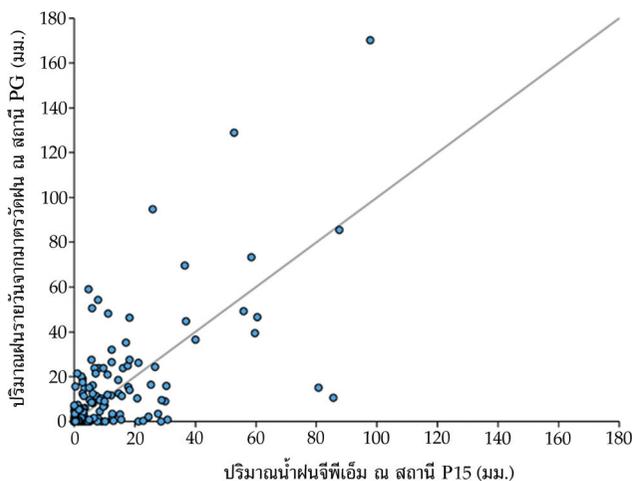
นอกจากนี้พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจากสถานีหนึ่งไปยังสถานีหนึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.5 4.7 8.5 0.8 2.7 และ 6.9 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อเทียบกับระยะทางการไหลของน้ำ พบว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเท่ากับ 1.36 1.31 0.41 0.04 0.32 และ 1.38 มก./ล.-กม. ดังตารางที่ 1 ซึ่งพบว่าช่วงการไหลจากสถานี S3 ไปยัง S6 มีการอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดเพิ่มขึ้นค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงสถานี S4 ไปยัง S5 ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นน้อยมากเพียง 0.04 มก./ล.-กม. ทั้งนี้อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากลำน้ำพุงช่วงดังกล่าวมีลักษณะการไหลของลำน้ำเป็นแบบทางน้ำโค้งตัว (Meandering Channel) ซึ่งมักเกิดขึ้นในลำน้ำที่มีการไหลจากบริเวณที่สูงสู่บริเวณที่ราบอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการกัดเซาะของกระแสน้ำเพื่อสลายพลังงานและรักษาเสถียรภาพการไหล ลักษณะทางน้ำแบบนี้มักเกิดในบริเวณช่วงกลางน้ำหรือท้ายน้ำ และมักเกิดการทับถมของตะกอนบริเวณโค้งน้ำด้านหนึ่งและเกิดการกัดเซาะบริเวณโค้งน้ำอีกด้านหนึ่ง เนื่องจากความเร็วการไหลในหน้าตัดการไหลเดียวกันมีความแตกต่างกันสูง [16] ด้วยเหตุนี้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำช่วงนี้จึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำ เนื่องจากเกิดการกัดเซาะและทับถมของตะกอนและของแข็งแขวนลอยไปพร้อมกัน ซึ่งแตกต่างกับช่วงต้นน้ำ (สถานี S1 - S3) ที่มีลักษณะของลำน้ำเป็นแบบการไหลลัดเลาะตามช่องเขาและร่องน้ำ และช่วงท้ายน้ำ (สถานี S6 - S7) ที่มีลักษณะของลำน้ำค่อนข้างตรง จึงทำให้ตะกอนและของแข็งแขวนลอยในลำน้ำทั้ง 2 ช่วงนี้เกิดการตกตะกอนและทับถมได้น้อย ส่งผลให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของแข็งแขวนลอยมีการเพิ่มขึ้นสูงกว่าบริเวณการลำน้ำแบบโค้งตัว

ตารางที่ 1 การเปลี่ยนแปลงและอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของเชิงแขวนลอยทั้งหมดตามระยะทาง

| พารามิเตอร์                      | สถานีต้นทาง, สถานีปลายทาง |        |        |        |        |        |
|----------------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                  | S1, S2                    | S2, S3 | S3, S4 | S4, S5 | S5, S6 | S6, S7 |
| ระยะทาง (กม.)                    | 8.4                       | 3.6    | 20.9   | 17.5   | 8.4    | 5.0    |
| การเปลี่ยนแปลง (มก./ล.)          | 11.5                      | 4.7    | 8.5    | 0.8    | 2.7    | 6.9    |
| อัตราการเปลี่ยนแปลง (มก./ล.-กม.) | 1.36                      | 1.31   | 0.41   | 0.04   | 0.32   | 1.38   |

2. ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มและข้อมูลฝนรายวัน

ข้อมูลฝนที่ถูกเลือกใช้ในการประมาณค่าปริมาณของเชิงแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุง สำหรับการศึกษาครั้งนี้คือข้อมูลฝนจากระบบจีพีเอ็มแบบใกล้เวลาจริง 18 ชั่วโมง ซึ่งเป็นข้อมูลฝนรายวันเชิงพื้นที่แบบความละเอียด 0.1 องศา การวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบข้อมูลฝนนี้กับปริมาณฝนรายวันที่ตรวจวัดด้วยมาตรวัดฝน โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูลจีพีเอ็มจุดที่ P15 กับข้อมูลฝนรายวันของสถานีอุตุนิยมวิทยาสกลนคร (จุด PG) เนื่องจากทั้ง 2 มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 1 ผลการเปรียบเทียบพบว่าข้อมูลทั้งสองมีความแตกต่างกันมากโดยจุดความสัมพันธ์ของข้อมูลทั้งสองไม่อยู่ในแนวเส้นเฉียงความสัมพันธ์แบบ 1 ต่อ 1 ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลทั้งสองมีความคลาดเคลื่อนไปจากกันสูง ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากข้อมูลฝนจากระบบจีพีเอ็มเป็นข้อมูลแบบใกล้เวลาจริงซึ่งอาจมีการคลาดเคลื่อนเล็กน้อยเมื่อเทียบกับข้อมูลแบบเสร็จสมบูรณ์ (Final Run) [17] นอกจากนี้แม้สถานีอุตุนิยมวิทยาสกลนครจะตั้งอยู่บริเวณเดียวกันจุดข้อมูลฝนของจีพีเอ็มจุดที่ P15 แต่ทั้งสองมีระยะทางห่างกันถึง 2 กิโลเมตร จึงอาจทำให้ข้อมูลฝนมีความคลาดเคลื่อนไปจากกันได้ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสหสัมพันธ์เพียร์สันโปรดักส์โมเมนต์ พบว่าข้อมูลทั้งสองมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.69 ซึ่งแสดงว่าข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์กันปานกลาง [18] อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มและฝนที่ตรวจวัดด้วยมาตรวัดฝน

### 3. ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มและปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 3 7 และ 14 วัน และปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์เพียร์สันโปรดักส์โมเมนต์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงของสถานี S2 - S7 กับข้อมูลจีพีเอ็มเฉลี่ยราย 1 3 7 และ 14 วัน มีค่าพิสัยสัมบูรณ์ในช่วง 0.026 - 0.21, 0.11 - 0.45, 0.26 - 0.43 และ 0.31 - 0.57 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 วันในระดับต่ำ และมีความสัมพันธ์สูงขึ้นไปกับข้อมูลจีพีเอ็มราย 3 7 และ 14 วัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสัมพันธ์ของข้อมูลจีพีเอ็มราย 7 และ 14 วัน มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่าความสัมพันธ์ของข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 วันอย่างชัดเจน ทั้งนี้อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นที่รับน้ำต้องใช้ระยะเวลารวมตัว (Time of Concentration) ระยะเวลาหนึ่งที่พัดพาของแข็งแขวนลอยลงสู่ลำน้ำ ดังนั้นปริมาณฝนราย 1 วัน จึงมีความสัมพันธ์กับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในระดับต่ำกว่าข้อมูลฝนระยะคาบเวลาอื่น เนื่องจากการไหลรวมตัวของน้ำหลากจากบริเวณพื้นที่รับน้ำลงสู่ลำน้ำมีระยะเวลาน้อยกว่าคาบเวลาอื่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาทิศทางความสัมพันธ์ยังพบว่าข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 วัน เป็นตัวแปรเดียวที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ติดลบ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำลดลง ทั้งนี้อาจเป็นผลอันเนื่องมาจากฝนที่ตกในระยะ 1 วัน มีระยะเวลารวมตัวต่ำจึงมีช่วงระยะเวลาของการไหลลงสู่ลำน้ำอย่างจำกัด เมื่อเทียบกับน้ำหลากที่เกิดจากฝนที่มีระยะเวลารวมตัวที่สูงกว่า การกัดเซาะและพัดพาของแข็งแขวนลอยจึงเกิดเพียงเล็กน้อย ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำไหลหลากที่เกิดจากฝนราย 1 วัน จึงมีความเข้มข้นต่ำกว่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในลำน้ำ และเกิดการเจือจางให้ปริมาณของแข็งแขวนลอยในลำน้ำมีค่าลดน้อยลง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 วันติดลบ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงกลางน้ำและท้ายน้ำที่มักมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำสูง

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของข้อมูลจีพีเอ็มเฉลี่ยและปริมาณของแข็งแขวนลอย ณ สถานีต่าง ๆ

| ระยะเวลาฝนรวม | สถานี S2 | สถานี S3 | สถานี S4 | สถานี S5 | สถานี S6 | สถานี S7 |
|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 วัน         | 0.17     | 0.19     | -0.026   | -0.20    | -0.21    | -0.14    |
| 3 วัน         | 0.45     | 0.42     | 0.27     | 0.11     | 0.12     | 0.16     |
| 7 วัน         | 0.33     | 0.29     | 0.26     | 0.34     | 0.43     | 0.35     |
| 14 วัน        | 0.50     | 0.57*    | 0.40     | 0.38     | 0.31     | 0.39     |

\* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

### 4. การสร้างตัวแบบการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดด้วยข้อมูลจีพีเอ็ม

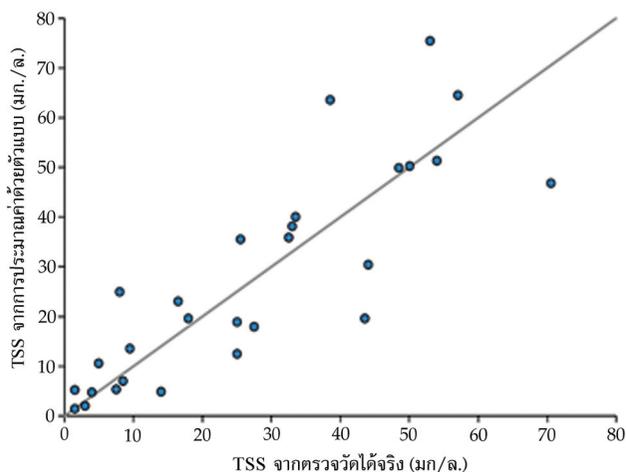
จากข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 3 7 และ 14 วัน และข้อมูลปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงสามารถนำมาสร้างเป็นตัวแบบสำหรับการประมาณค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุง ณ สถานีต่าง ๆ จำนวน 6 ตัวแบบ ได้แก่ ตัวแบบของสถานี S2 S3 S4 S5 S6 และ S7 โดยในขั้นต้นแบบเรียนรู้ (Model Learning) ตัวแบบของสถานี S2 - S7 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )

อยู่ในระดับสูงมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.00 0.99 1.00 0.99 0.94 และ 0.99 ตามลำดับ โดยมีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAE) ต่ำเพียง 0.00 0.21 0.00 1.56 4.85 และ 0.02 มก./ล. ตามลำดับ และเมื่อทดสอบตัวแบบด้วยข้อมูลที่ตัวแบบไม่เคยพบมาก่อน พบว่าตัวแบบสามารถประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงได้ใกล้เคียงกับข้อมูลจริงในระดับปานกลางค่อนข้างไปทางสูง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจของการทดสอบตัวแบบของสถานี S2 - S7 เท่ากับ 0.72 0.73 0.89 0.41 0.68 และ 0.72 ตามลำดับ และมีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 6.28 10.57 7.47 9.04 6.35 และ 9.75 มก./ล. ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

นอกจากนี้การทดสอบแบบตัวแบบทั้ง 6 ตัวแบบ ด้วยแผนภาพการกระจายข้อมูลจริง (Actual Data) และค่าทำนาย (Prediction Data) จากตัวแบบพบว่าข้อมูลฝนจากระบบจีพีเอ็ม มีศักยภาพในการใช้ประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงได้ในระดับปานกลาง โดยค่าจากการทำนายและข้อมูลจริงมีแนวโน้มทิศทางไปในทางเดียวกัน แต่มีกระจายตัวออกห่างจากเส้นคาดหวังความสัมพันธ์ 1 ต่อ 1 (เส้นทึบ) โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลที่มีค่าสูงจะมีแนวโน้มความคลาดเคลื่อนสูงกว่าข้อมูลที่มีค่าต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนั้นจึงอาจมีตัวแปรอื่นส่งอิทธิพลต่อปริมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงที่มิได้ใช้นำมาเป็นตัวแปรในการศึกษานี้ เช่น อัตราการไหล ความเร็วน้ำ ขนาดของอนุภาค ความชื้นในดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพตัวแบบการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุง ณ สถานีต่าง ๆ

| พารามิเตอร์                   | ตัวแบบการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุง ณ สถานี |       |      |      |      |      |
|-------------------------------|---|-------|------|------|------|------|
|                               | S2  | S3    | S4   | S5   | S6   | S7   |
| R <sup>2</sup> ตัวแบบเรียนรู้ | 1.00  | 0.99  | 1.00 | 0.99 | 0.94 | 0.99 |
| MAE ตัวแบบเรียนรู้ (มก./ล.)   | 0.00  | 0.21  | 0.00 | 1.56 | 4.85 | 0.02 |
| R <sup>2</sup> ทดสอบตัวแบบ    | 0.72  | 0.73  | 0.89 | 0.41 | 0.68 | 0.72 |
| MAE ทดสอบตัวแบบ (มก./ล.)      | 6.28  | 10.57 | 7.47 | 9.04 | 6.35 | 9.75 |



รูปที่ 4 แผนภาพการกระจายข้อมูลจริงและค่าทำนายจากตัวแบบ

## สรุป

ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงช่วงต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน ในช่วงต้นน้ำบริเวณเขื่อนน้ำพุงมีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดต่ำ แต่เมื่อลำน้ำพุงไหลผ่านเทือกเขาภูพานลงสู่บริเวณที่ราบเชิงเขาพบว่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงบริเวณที่ไหลผ่านเทือกเขาและบริเวณท้ายน้ำมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าช่วงกลางน้ำ ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากบริเวณช่วงกลางน้ำลำน้ำพุง (ช่วงสถานี S4 - S5) มีลักษณะลำน้ำเป็นแบบโค้งควัด ส่งผลให้เกิดการกัดเซาะและทับถมตะกอนไปพร้อมกัน ซึ่งแตกต่างกับช่วงต้นน้ำที่ลำน้ำทอดตัวลัดเลาะไปตามช่องเขาและท้ายน้ำที่ลำน้ำค่อนข้างตรง ลำน้ำในช่วงต้นน้ำและท้ายน้ำจึงมีการตกตะกอนทับถมน้อยกว่าจึงมีอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูงกว่าช่วงกลางน้ำ

นอกจากนี้พบว่าข้อมูลจีพีเอ็มรายวันและข้อมูลฝนจากมาตรวัดฝนรายวันมีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง อีกทั้งยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มราย 3 7 และ 14 วันกับปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในระดับปานกลางเช่นกัน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจีพีเอ็มราย 1 วันนั้นมีความสัมพันธ์กันต่ำ

การสร้างตัวแบบการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงด้วยข้อมูลจีพีเอ็ม ณ ตำแหน่งต่าง ๆ บนลำน้ำพุง พบว่าตัวแบบที่ได้มีความสามารถในการประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดได้ถูกต้องในระดับปานกลาง โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) การทดสอบอยู่ระหว่าง 0.41 - 0.89 และมีค่าคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 6.28 - 10.57 มก./ล. ดังนั้นข้อมูลฝนจากระบบจีพีเอ็มจึงมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการนำมาใช้เป็นตัวแปรนำเข้าในการประมาณค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุง อย่างไรก็ตามควรมีการพิจารณาเพิ่มเติมจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้นเพื่อให้ตัวแบบมีปริมาณข้อมูลในการเรียนรู้หลากหลายรูปแบบมากขึ้น และสามารถปรับปรุงตัวเองให้มีประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อข้อมูลที่ไม่เคยพบ ซึ่งจะส่งผลให้การประมาณค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำพุงมีความแม่นยำมากขึ้น รวมทั้งพิจารณาการใช้ตัวแปรอื่นเข้ามาร่วมในการสร้างตัวแบบ เช่น อัตราการไหล ความเร็วของน้ำ ความชื้นในดิน และการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น เพื่อให้ตัวแบบมีความครอบคลุมไปยังตัวแปรที่อาจมีอิทธิพลต่อปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดในลำน้ำ

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์หนองหารศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร และได้รับการสนับสนุนข้อมูลปริมาณน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา และขอขอบพระคุณสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่สนับสนุนการใช้ห้องปฏิบัติการในการดำเนินการวิจัย

## References

- [1] Camacho, C. and Pérez-Barahona, A. (2015). Land use Dynamics and the Environment. **Journal of Economic Dynamics and Control**. Vol. 52, pp. 96-118. DOI: 10.1016/j.jedc.2014.11.013
- [2] Bussi, G., Dadson, S. J., Prudhomme, C., and Whitehead, P. G. (2016). Modelling the Future Impacts of Climate and Land-Use Change on Suspended Sediment Transport in the River Thames (UK). **Journal of Hydrology**. Vol. 542, pp. 357-372. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.09.010
- [3] van Maren, D. S., Oost, A. P., Wang, Z. B., and Vos, P. C. (2016). The Effect of Land Reclamations and Sediment Extraction on the Suspended Sediment Concentration in the Ems Estuary. **Marine Geology**. Vol. 376, pp. 147-157. DOI: 10.1016/j.margeo.2016.03.007
- [4] Tiecher, T., Minella, J. P. G., Caner, L., Evrard, O., Zafar, M., Capoane, V., Le Gall, M., and Santos, D. (2017). Quantifying Land use Contributions to Suspended Sediment in a Large Cultivated Catchment of Southern Brazil (Guaporé River, Rio Grande do Sul). **Agriculture, Ecosystems and Environment**. Vol. 237, pp. 95-108. DOI: 10.1016/j.agee.2016.12.004
- [5] Abbott, S., Julian, J. P., Kamarinas, I., Meitzen, K. M., Fuller, I. C., McColl, S. T., and Dymond, J. R. (2017). State-Shifting at the Edge of Resilience: River Suspended Sediment Responses to Land use Change and Extreme Storms. **Geomorphology**. Vol. 305, pp. 49-60. DOI: 10.1016/j.geomorph.2017.09.004
- [6] Grimaldi, S., Petroselli, A., Baldini, L., and Gorgucci, E. (2018). Description and Preliminary Results of a 100 Square Meter Rain Gauge. **Journal of Hydrology**. Vol. 556, pp. 827-834. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.09.076
- [7] Bianchi, B., Rieckermann, J., and Berne, A. (2013). Quality Control of Rain Gauge Measurements Using Telecommunication Microwave Links. **Journal of Hydrology**. Vol. 492, pp. 15-23. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.03.042
- [8] Islam, T., Hu, Y., Kokhanovsky, A., and Wang, J. (2018). **Remote Sensing of Aerosols, Clouds, and Precipitation**. Chapter 11 - Measurement of Precipitation from Satellite Radiometers (Visible, Infrared, and Microwave): Physical Basis, Methods, and Limitations Atul K. Varma, pp. 223-248. 1<sup>st</sup> Edition. Elsevier.
- [9] Gado, T. A., Hsu, K., and Sorooshian, S. (2017). Rainfall Frequency Analysis for Ungauged sites Using Satellite Precipitation Products. **Journal of Hydrology**. Vol. 554, pp. 646-655. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.09.043
- [10] Darand, M., Amanollahi, J., and Zandkarimi, S. (2017). Evaluation of the Performance of TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) Estimation Over Iran. **Atmospheric Research**. Vol. 190, pp. 121-127. DOI: 10.1016/j.atmosres.2017.02.011

- [11] Tan, M. L. and Santo, H. (2018). Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR Satellite Precipitation Products Over Malaysia. **Atmospheric Research**. Vol. 202, pp. 63-76. DOI: 10.1016/j.atmosres.2017.11.006
- [12] Tapiador, F. J., Turk, F. J., Petersen, W., Hou, A. Y., García-Ortega, E., Machado, L. A. T., Angelis, C., Salio, P., Kidd, C., Huffman, G., and de Castro, M. (2012). Global Precipitation Measurement: Methods, Datasets and Applications. **Atmospheric Research**. Vol. 104, pp. 70-97. DOI: 10.1016/j.atmosres.2011.10.021
- [13] Dorn, M., Braga, A. L. S., Llanos, C. H., and Coelho, L. S. (2012). A GMDH Polynomial Neural Network-Based Method to Predict Approximate Three - Dimensional Structures of Polypeptides. **Expert Systems with Applications**. Vol. 39, Issue 15, pp. 12268-12279. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.04.046
- [14] Schmidhuber, J. (2015). **Deep Learning in Neural Networks: An Overview**. Neural Networks, Vol. 61, pp. 85-117
- [15] Rice, E. W. and American Public Health Association (Eds.). (2012). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** (22. ed). Washington, DC: American Public Health Association
- [16] Nelson, J. M. and Smith, J. D. (1989). **Flow in Meandering Channels with Natural Topography**. In Ikeda, S. and Parker G. (Eds.), River Meandering. American Geophysical Union
- [17] Wang, Z., Zhong, R., Lai, C., and Chen, J. (2017). Evaluation of the GPM IMERG Satellite-Based Precipitation Products and the Hydrological Utility. **Atmospheric Research**. Vol. 196, pp. 151-163. DOI: 10.1016/j.atmosres.2017.06.020
- [18] Hinkle, D. E., Wiersma, W., and Jurs, S. G. (2002). **Applied Statistics for the Behavioral Sciences** (5 edition). Boston: Houghton Mifflin