



การประมาณค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำป่าวโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2

วิทยานิพนธ์
ของ
จุฬาลักษณ์ นนตะพันธ์

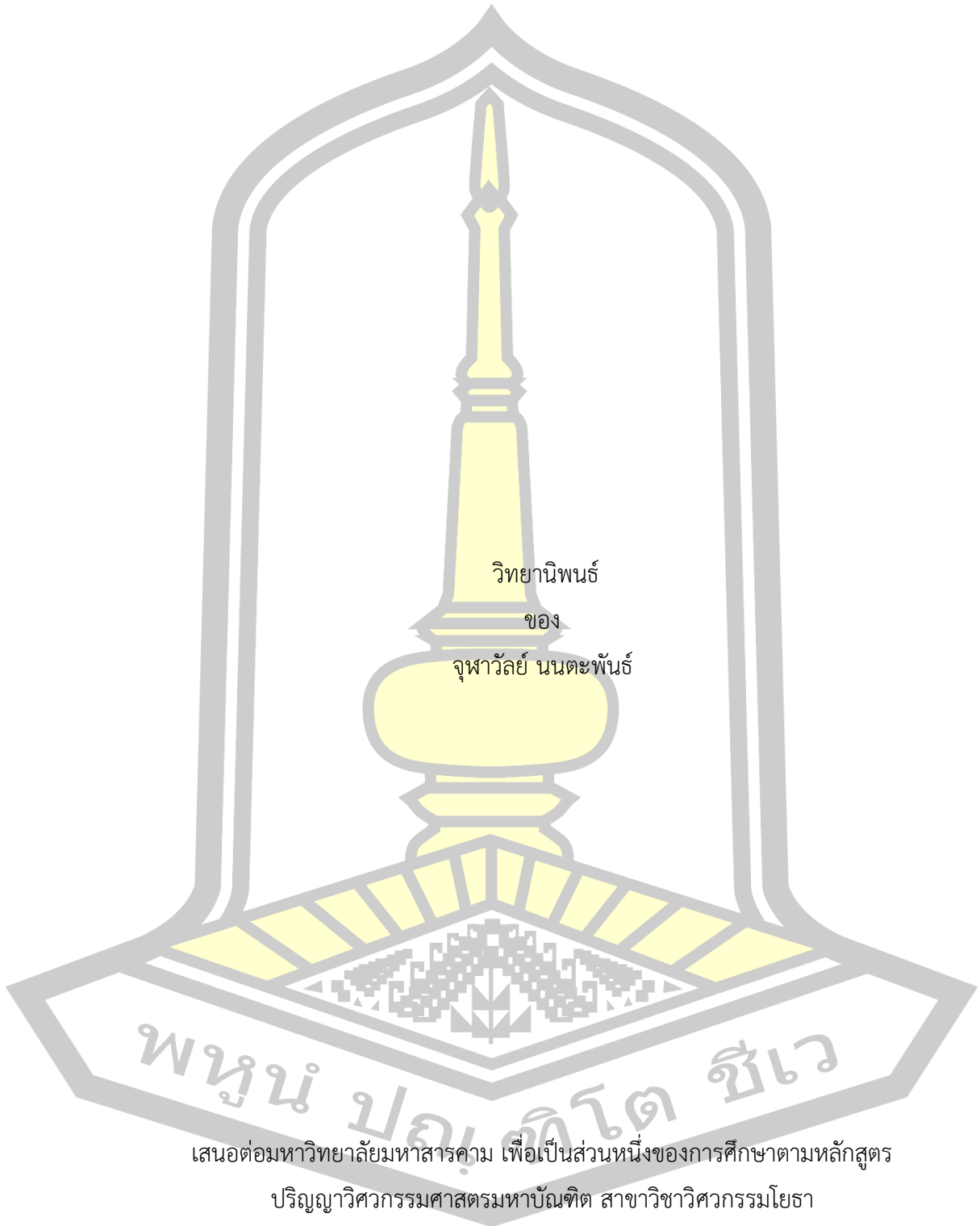
พหุ ประจักษ์ วิเว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มกราคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การประมาณค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำป่าโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2



เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

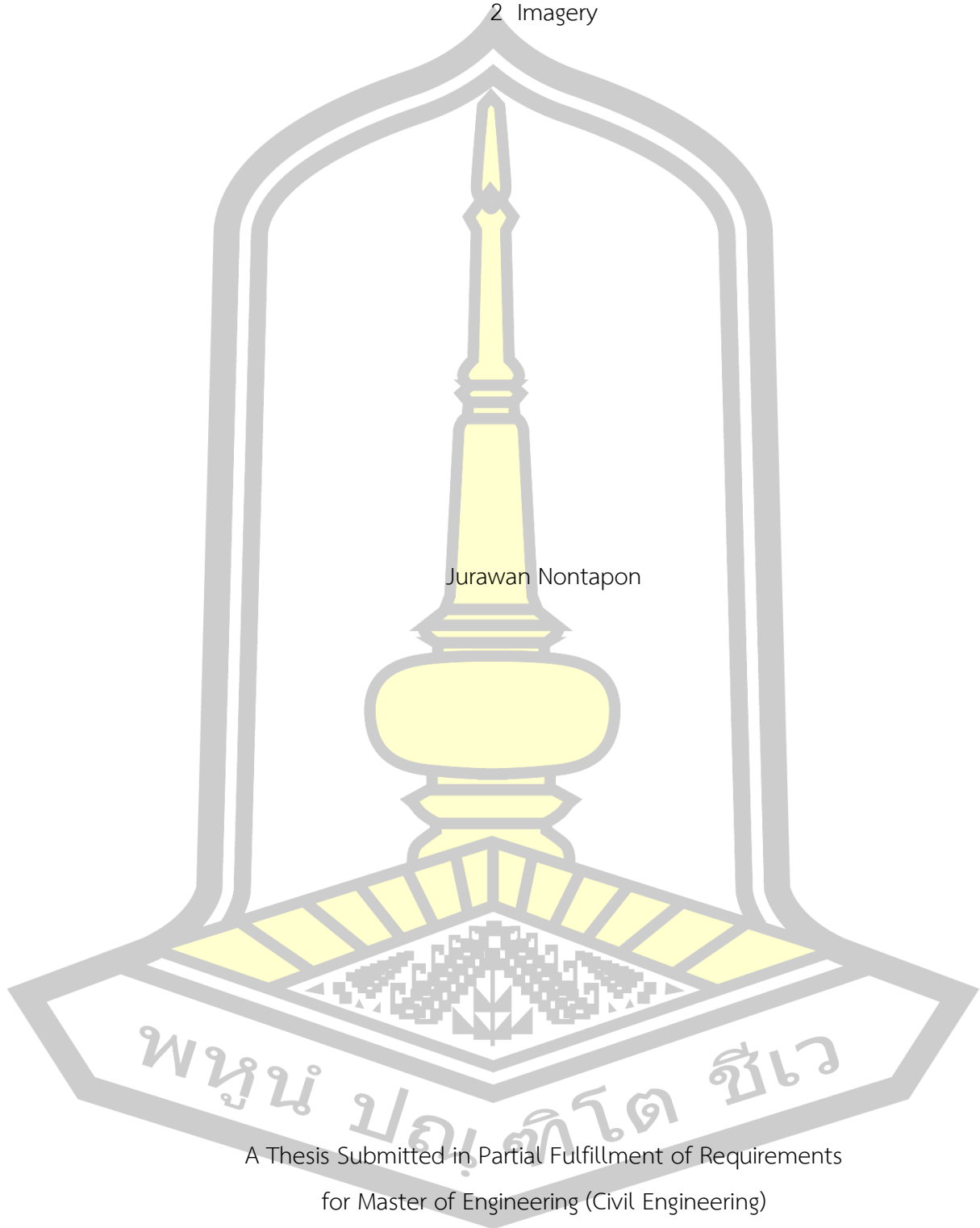
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

มกราคม 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Estimation of Suspended Sediment Concentration along the Pao River using Sentinel-

2 Imagery



Jurawan Nontapon

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Civil Engineering)

January 2020

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวจุฬาวลัย นนตะ
พันธ์ แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. สมพินิจ เหมือนทอง)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. ศิวา แก้วปลั่ง)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. รัตนา หอมวิเชียร)

.....กรรมการ

(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ศ. ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประมาณค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำปาวโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม sentinel-2		
ผู้วิจัย	จุฬารัตน์ นนตะพันธ์		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิลา แก้วปลั่ง		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2563

บทคัดย่อ

การติดตามและตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยมีความสำคัญมากสำหรับการจัดการอ่างเก็บน้ำ โดยการตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยแบบดั้งเดิมต้องใช้การสุ่มเก็บตัวอย่างน้ำในแม่น้ำซึ่งต้องใช้เวลาและงบประมาณมาก การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ข้อมูลสเปกตรัมจากการรับรู้จากระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ร่วมกับการเรียนรู้ของเครื่องจักร (machine learning) เพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำปาว โดยใช้อัลกอริทึมแบบลดถอยด้วยการเรียนรู้ของเครื่องจักร 3 วิธี (แบบจำลองเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Model) การวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลอง Support Vector Machine : SVM เพื่อประเมินอัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยแม่น้ำปาว ผลการศึกษาพบว่าแบบจำลอง Support Vector Machine ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีค่าเฉลี่ยของรากที่สองของกำลังสองของความคลาดเคลื่อน (RMSE) ต่ำที่สุดและมีความสัมพันธ์ทางสถิติสูงสุด ($R^2 = 0.863$; $RMSE = 11.9$) สำหรับข้อมูลทั้งหมดของค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำปาว (0 ถึง 90 mg/l) ในช่วงระยะเวลาของการศึกษา วิธีการที่นำเสนอในการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการผสมผสานการเรียนรู้ของเครื่องจักรกับภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 สำหรับการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำอื่น ๆ ถึงแม้ว่ายังมีปัจจัยบางอย่างที่มีอิทธิพลที่จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงความแม่นยำของการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ

คำสำคัญ : การรับรู้ระยะไกล, ดาวเทียม Sentinel-2, ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย, การเรียนรู้ของเครื่องจักร

TITLE Estimation of Suspended Sediment Concentration along the Pao River using Sentinel-2 Imagery

AUTHOR Jurawan Nontapon

ADVISORS Assistant Professor Siwa Kaewplang , Ph.D.

DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Civil Engineering

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2020

ABSTRACT

Monitoring and quantifying suspended sediment concentration (SSC) along the rivers provide important information for reservoir management. Traditional monitoring based on in situ measurements of SSC through in-situ sampling in rivers is expensive and time-consuming to perform. The objective of this study was to use spectral information provided by remote sensing from Sentinel-2 images in combination with machine learning to estimate SSC in the pao river. Three machine-learning regression algorithms (multiple linear regression, deep learning, and Support Vector Machine : SVM) were evaluated and a suitable model created to estimate SSC of the pao river. The results show that the Support Vector Machine model gave the most balanced results, with the lowest RMSE values and a high statistical correlation ($R^2=0.863$; RMSE = 11.9) for the whole range of SSC (0 to 90 mg/l) measured at this station during the studied period. The methodology presented in this study can be used as a guideline for the combination of machine learning with Sentinel-2 images for estimating

Keyword : Remote sensing, Sentinel-2 data, Suspended Sediment Concentration (SSC), Machine learning

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยการให้ความช่วยเหลือแนะนำของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวา แก้วปลั่ง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตรวจสอบ และแก้ไขร่างวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพินิจ เหมืองทอง ที่กรุณาให้เกียรติเป็นประธานโดยมี รองศาสตราจารย์ ดร. อนงค์ฤทธิ์ แข็งแรง และรองศาสตราจารย์ ดร. รัตนา หอมวิเชียรเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมถึงบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยได้ นายอภิรักษ์ ศรีสุข (สบ.9 ลำปาง โครงการส่งน้ำและรักษาลำปาง) นายพงษ์พัฒน์ สัจจา (พนักงานเทศบาลท่าคันโท) เจ้าหน้าที่บัณฑิตมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ทุกท่านที่ให้ความสะดวกด้านอำนวยความสะดวก และประสานงาน ในการทำวิทยานิพนธ์ให้ผู้เขียนตลอดมาตลอดจนค้นคว้าหาข้อมูลในการจัดทำวิทยานิพนธ์ของผู้เขียนครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของคุณพระศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้เขียนขอให้เป็นกตเวทิตาแต่บิดา มารดา ครอบครัวของผู้เขียน ตลอดจนผู้เขียนหนังสือ และบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียนจนสามารถให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

จุฬาวลัย นนตะพันธ์

พูน ปณ ทัโต ชีเว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำการศึกษา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย.....	2
1.4 สถานที่ทำการวิจัย.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความหมายของตะกอน.....	4
2.2 กระบวนการกัดเซาะพังทลาย.....	4
2.3 กระบวนการพัดพาและทับถมของตะกอน.....	4
2.4 ผลของการตตะกอน.....	6
2.5 เครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนแบบสะสมตามจุด (Point-integrating sampler).....	7
2.6 การเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย.....	7
2.7 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง.....	8
2.8 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing).....	9

2.9 ความหมายของรีโมทเซนซิง.....	9
2.10 หลักการของรีโมทเซนซิง.....	10
2.11 Deep learning.....	13
2.12 แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM.....	14
2.13 ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models).....	16
2.14 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance).....	17
2.15 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE).....	19
2.16 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2).....	19
2.17 ดาวเทียม Sentinel - 2.....	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	23
3.1 พื้นที่ศึกษา.....	23
3.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....	28
3.3 การเก็บข้อมูลสนาม.....	29
3.4 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง.....	31
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
3.7 แผนการศึกษา.....	35
3.8 งบประมาณ.....	37
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	38
4.1 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 1 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.....	39
4.2 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.....	40
4.3 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 3 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.....	42
4.4 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 4 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.....	44
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 อภิปรายผลการศึกษา.....	46

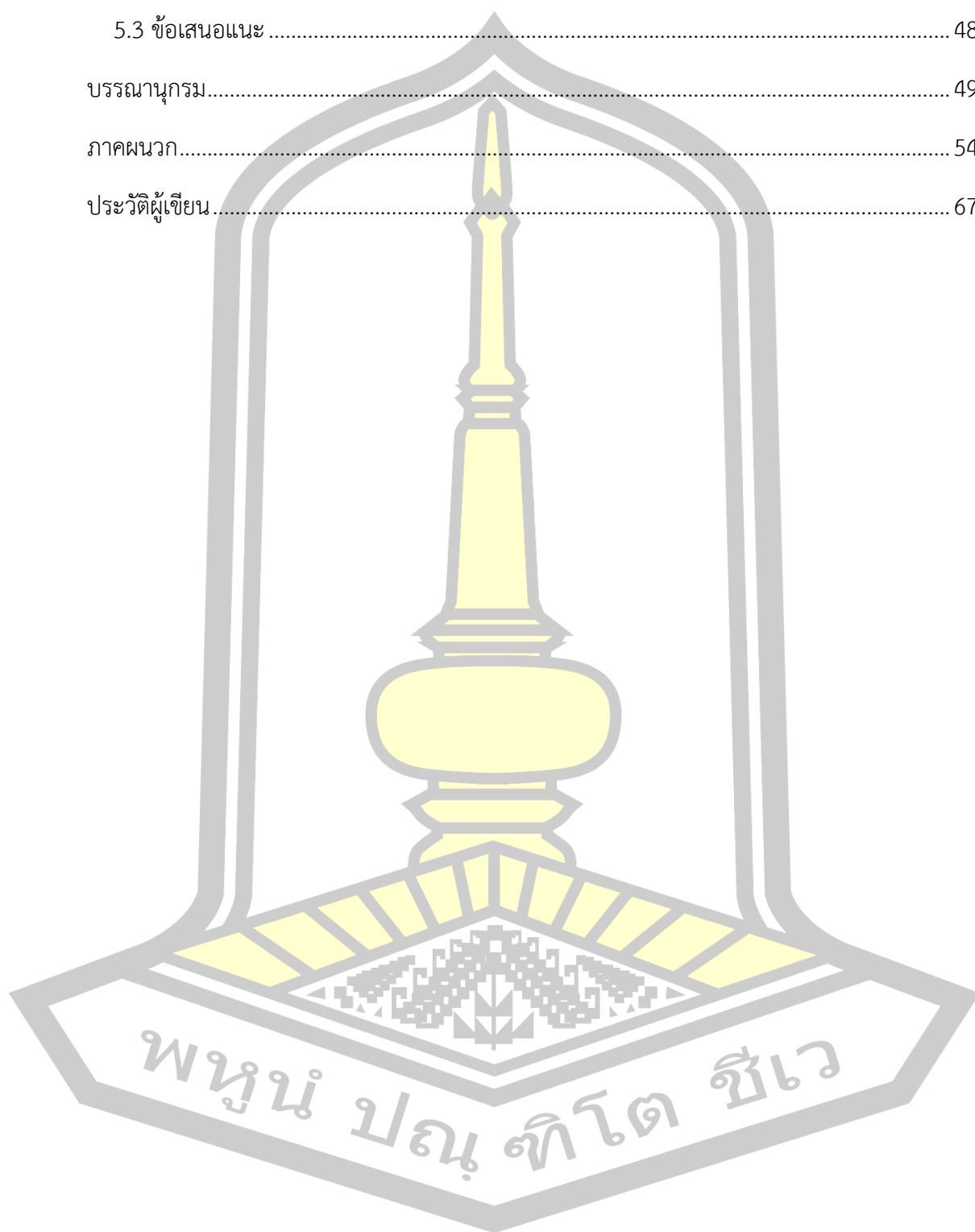
5.2 สรุปผลการวิจัย..... 47

5.3 ข้อเสนอแนะ 48

 บรรณานุกรม..... 49

 ภาคผนวก..... 54

 ประวัติผู้เขียน 67

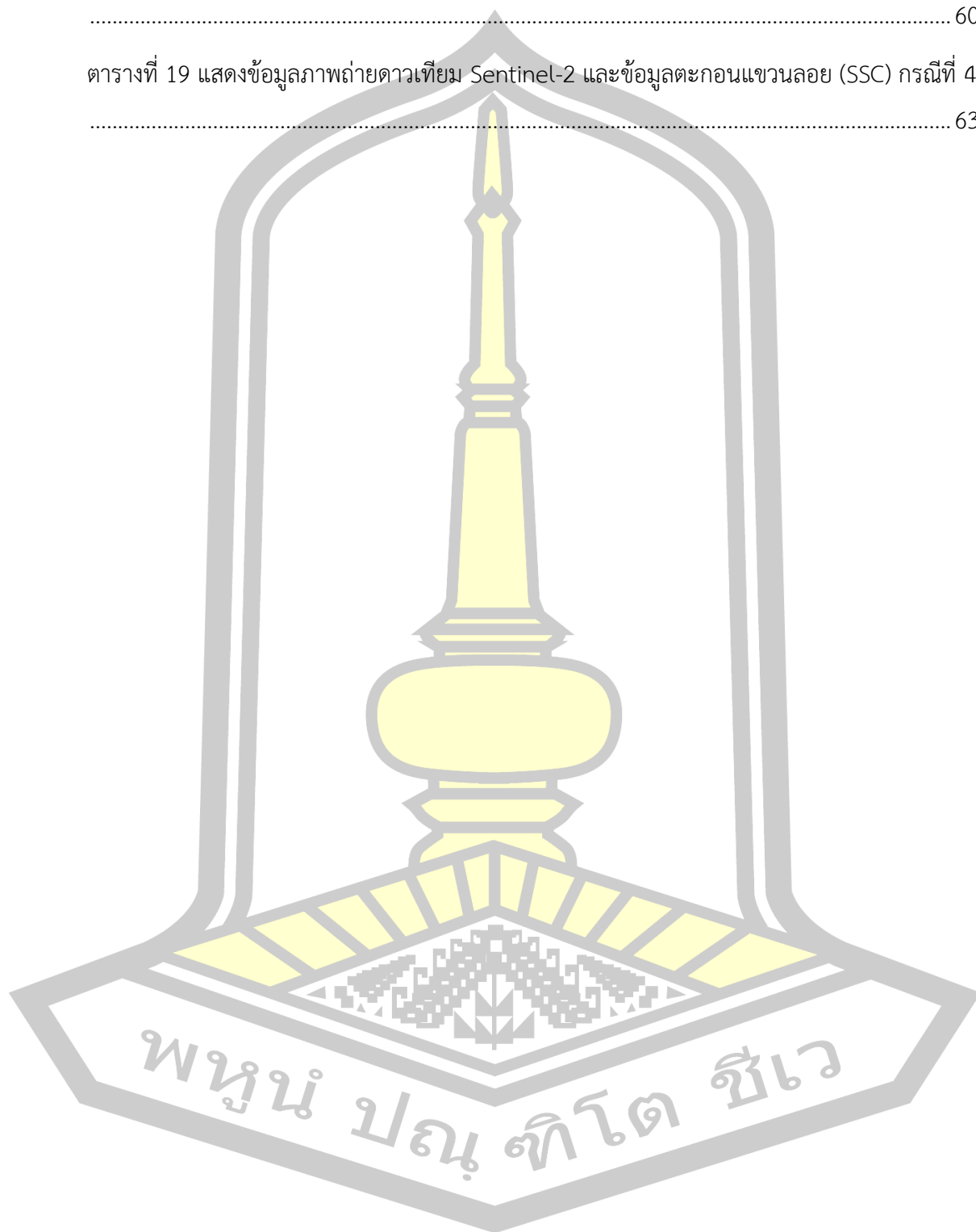


สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 wavelengths and bandwidths of MSI instrument spatial resolutions	20
ตารางที่ 2 แสดงจุดเก็บข้อมูลตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษา	24
ตารางที่ 3 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล.....	30
ตารางที่ 4 ข้อมูลภาคสนามในช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงเมษายน 2562.....	31
ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในงานวิจัย	34
ตารางที่ 6 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2561	35
ตารางที่ 7 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562	35
ตารางที่ 8 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562	36
ตารางที่ 9 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562	36
ตารางที่ 10 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562	37
ตารางที่ 11 ตารางแสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์.....	37
ตารางที่ 12 ผล RMSE และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 1 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.....	39
ตารางที่ 13 ผล RMSE1 และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.....	41
ตารางที่ 14 ผล RMSE และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 3 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.....	43
ตารางที่ 15 ผล RMSE และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 4 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.....	44
ตารางที่ 16 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 1	56
ตารางที่ 17 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 2	58

ตารางที่ 18 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 3
 60

ตารางที่ 19 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 4
 63



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 การตัดพาของตะกอนแขวนลอยในกระแสน้ำ	5
ภาพที่ 2 การเกิดและการทับถมตัวของตะกอน.....	6
ภาพที่ 3 การสำรวจข้อมูลระยะไกล (การรับรู้ระยะไกล)	10
ภาพที่ 4 กระบวนการทำงานของ deep learning.....	14
ภาพที่ 5 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ.....	15
ภาพที่ 6 การคำนวณ Maximum Margin.....	16
ภาพที่ 7 แสดงจุดเก็บข้อมูลตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษา	24
ภาพที่ 8 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 1 ลำน้ำปาว	25
ภาพที่ 9 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 2 ลำพันขาด	26
ภาพที่ 10 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 3 ห้วยสังกะ	27
ภาพที่ 11 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 4 ห้วยสังเคียบ	28
ภาพที่ 12 แสดงการปรับแก้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ด้วยเทคนิค Semi-Automatic Classification Plugin ของข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2.....	33
ภาพที่ 13 แสดงการ Resampling Resolution ข้อมูลโดยใช้โดยใช้โปรแกรม Qgis 3.47 ของข้อมูลภาพดาวเทียม Sentinel-2	33
ภาพที่ 14 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล	34
ภาพที่ 15 แสดง Scattering plots ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 1 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.40	
ภาพที่ 16 แสดง Scattering plots ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ	42
ภาพที่ 17 แสดง Scattering plots ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ	43
ภาพที่ 18 แสดง Scattering plots ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 4 รายละเอียดจุดภาพ 10 m. ด้วย (a) แบบจำลอง Generalized Linear Model (b) แบบจำลอง Deep Learning.....	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการทำการศึกษา

ปริมาณตะกอนแขวนลอย ในลำน้ำบ่งบอกถึงอัตราการกัดเซาะและการพังทลายของดิน ที่ถูกพัดพาปะปนกับกระแสน้ำ เมื่อความเร็วของกระแสน้ำลดลงตะกอนแขวนลอยจะเกิดการทับถมในน้ำ ส่งผลให้เกิดการสะสมของตะกอนแขวนลอย ซึ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาในลำน้ำ ส่งผลกระทบเชิงลบต่อระบบนิเวศน์ทางน้ำและคุณภาพน้ำ ทำให้ปริมาณน้ำต้นทุนของอ่างเก็บน้ำลดลง ดังนั้นความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการประเมินคุณภาพน้ำ [1-3]

ในปัจจุบันการศึกษาข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) ในลำน้ำและอ่างเก็บน้ำมีความสำคัญอย่างมาก เนื่องจากตะกอนแขวนลอย (SSC) ที่สะสมในลำน้ำ ส่งผลกระทบถึงปริมาณน้ำต้นทุนและอายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำ แต่รายงานการติดตามข้อมูลตะกอนแขวนลอยในกลุ่มน้ำโขงซิมูล และการหาความสัมพันธ์ระหว่างตะกอนแขวนลอยกับพารามิเตอร์ทางกายภาพกลุ่มน้ำในกลุ่มน้ำชีโดยใช้โปรแกรม R ของกรมชลประทาน แม่น้ำลำปาว สถานีที่ (E65) มีการเก็บข้อมูลหาค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) เพียงครั้งเดียวในปี 2554

การตรวจวัดค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ ต้องทำการออกภาคสนามเก็บตัวอย่างน้ำ และนำน้ำเข้าหาปริมาณตะกอนแขวนลอย (SSC) ในห้องปฏิบัติการซึ่งทุกขั้นตอนต้องใช้เวลารวมหลายวัน [4, 5] และหากต้องการสำรวจภาคสนามเพื่อให้ข้อมูลค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยกับลำน้ำที่มีความยาวมาก ๆ ต้องใช้แรงงาน เวลาและงบประมาณสูง โดยเฉพาะหากต้องการข้อมูลปริมาณตะกอนในอดีตก็ไม่สามารถเก็บข้อมูลย้อนหลังได้ ดังนั้นเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม โดยเฉพาะกับพื้นที่ขนาดใหญ่ เพราะเป็นวิธีการที่ลดระยะเวลาและแรงงานในการสำรวจ [6-8]

หลายรายงานการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการรับรู้ระยะไกลสามารถใช้ในการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ โดยใช้ค่าการสะท้อนแสงของช่วงคลื่นที่ตามองเห็นได้ (Red Green Blue, RGB) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared, NIR) เพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในลำน้ำ [3, 9-19].

จากรายงานการวิจัยของ [20] ได้พัฒนาอัลกอริธึมที่มีประสิทธิภาพสามารถนำข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลจากภาพถ่ายดาวเทียมมาวิเคราะห์ประมาณหาค่าความเข้มข้นของตะกอน

แขวนลอยในแม่น้ำที่เหมาะสมในระดับ 0-1200 mg / l แต่ใช้ข้อมูลตะกอนในการศึกษาเพียง 5 ตัวอย่าง และรายงานการวิจัยของ [21] ทำการประมาณหาค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย(ssc) ในแม่น้ำโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ภาพเดียว พบว่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยอยู่ในช่วง 0-60 mg/ l รายงานการวิจัยของ [22] ทำการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) จากภาพ Landsat ETM + โดยช่วงค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) อยู่ระหว่าง 22–2610 mg/l จากใช้ข้อมูลสถานีจำนวน 10 สถานี ตามแนวแม่น้ำแยงซีตอนบน และรายงานการวิจัยของ [23] ได้ใช้ภาพ Landsat ETM + ที่ครอบคลุม 16 สถานีตามแนวแม่น้ำตอนบน และตอนกลางของแยงซี เพื่อค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) จากการศึกษาพบว่า Landsat ETM+ ช่วงคลื่น Band 4 (NIR) เหมาะสมที่สุดสำหรับประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย

รายงานวิจัยของ [11, 24] ทำการพัฒนาแบบจำลองการทำนายประเภท Non-parametric techniques จากข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้กระบวนการ Machine learning (ML) เช่น k-nearest neighbor (KNN), artificial neural network (ANN), support vector machine (SVM) และ random forest (RF)

จากหลายรายงานการศึกษาที่กล่าวมา พบว่ามีความเป็นไปได้ที่จะทำการศึกษาเรื่องการประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) โดยจะทดสอบในลำน้ำปาว จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อประมาณค่าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) ในลำน้ำปาว โดยใช้แบบจำลอง การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และ การจำแนกแบบป่าสุ่ม (Random forest : RF) และทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ RMSE

1.2 วัตถุประสงค์

ประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ

1.3 ขอบเขตและข้อจำกัดของการวิจัย

1.3.1 ทำการประมาณความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยจากค่าการสะท้อนแสงข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2 โดยใช้แบบจำลองการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) และ การ

จำแนกแบบป่าสุ่ม (Random forest : RF) ทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ Root Mean Square Error (RMSE)

1.3.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงระหว่างเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน 2561

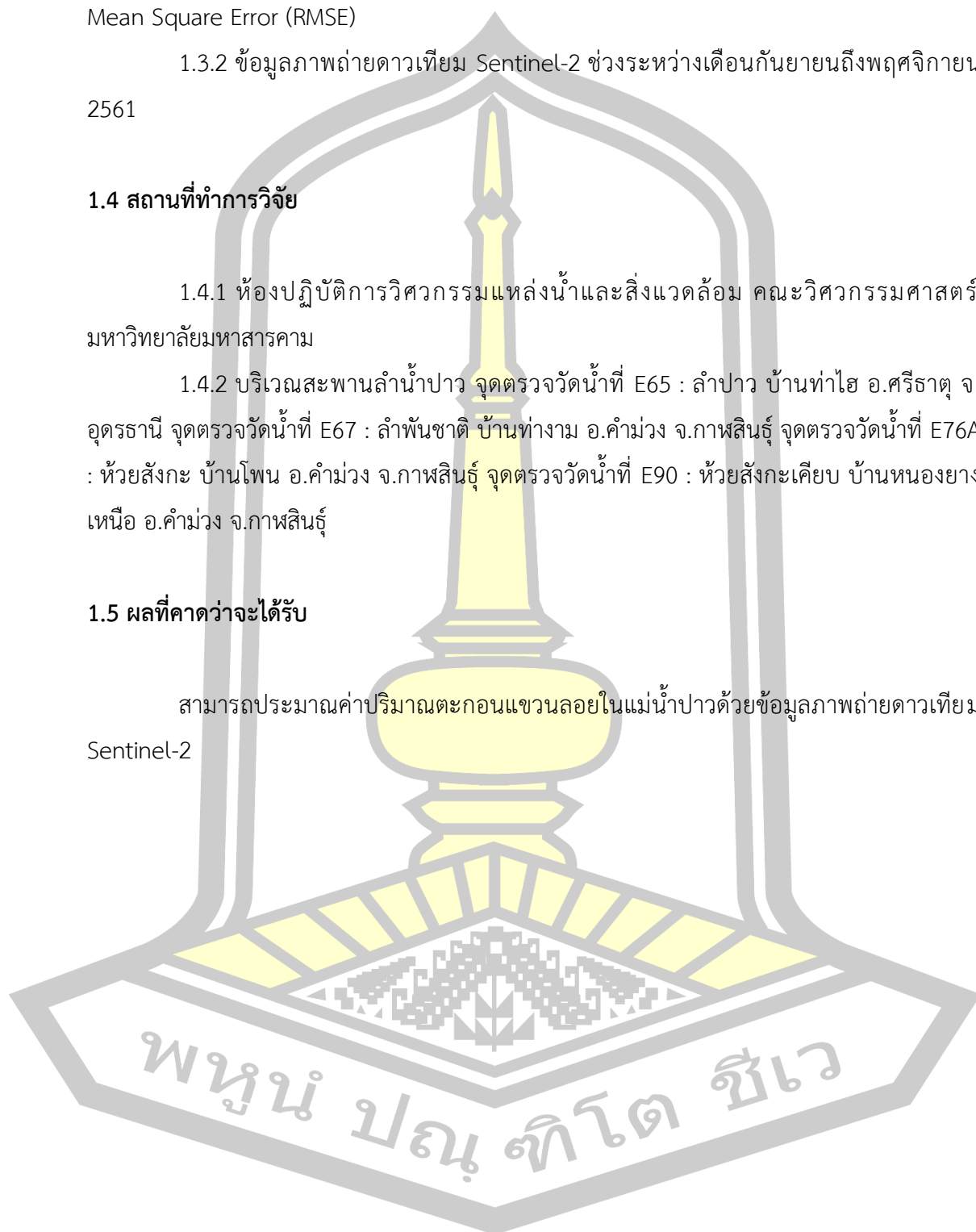
1.4 สถานที่ทำการวิจัย

1.4.1 ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมแหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.4.2 บริเวณสะพานลำน้ำปาว จุดตรวจวัดน้ำที่ E65 : ลำปาว บ้านท่าไฮ อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี จุดตรวจวัดน้ำที่ E67 : ลำพันชาติ บ้านท่างาม อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ จุดตรวจวัดน้ำที่ E76A : ห้วยสังกะ บ้านโพน อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ จุดตรวจวัดน้ำที่ E90 : ห้วยสังกะเคียบ บ้านหนองยางเหนือ อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถประมาณค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำปาวด้วยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2



บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของตะกอน

ตะกอน คือ อินทรีย์วัตถุ หรือ อนินทรีย์วัตถุที่มีขนาดเล็กเช่น กรวด หิน ดิน ทราย ที่เกิดจากกระบวนการสลายตามธรรมชาติ ถูกพัดพาปะปนกับกระแสน้ำ และทับถมกันบริเวณด้านล่างที่กระแสน้ำไหลผ่าน ตะกอนมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับสิ่งปะปนในกระแสน้ำนั้น ๆ เช่น ดิน หิน ทราย หรือตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลาย ลักษณะเป็นสีคล้ำ มีความหยุ่น เรียกว่า โคลน อีกความหมายหนึ่งคือ อนุภาคที่แยกตัวออกมาจากสารละลาย เมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งดังภาพที่ 1 การพัดพาของตะกอนแขวนลอยในกระแสน้ำ [25]

2.2 กระบวนการกัดเซาะพังทลาย

เมื่อกระแสน้ำไหลผ่านพื้นที่ต่าง ๆ ลงสู่ที่ต่ำ ตามความลาดชันของพื้นที่จะทำให้เกิดกระบวนการกัดเซาะพังทลายและสลายตัวของพื้นที่ที่มีน้ำไหลผ่านทำให้เกิด ตะกอนและอนุมูล ที่น้ำสามารถพัดพาเคลื่อนย้ายจากแหล่งน้ำเดิมไปตกตะกอนทับถมยังแหล่งใหม่ ซึ่งบางครั้งก็อยู่ใกล้กับบริเวณเดิมบางครั้งก็ห่างไกลจากต้นกำเนิดมาก และทำให้เกิด ขบวนการกัดเซาะท้องน้ำ และการเซาะพังตลิ่งทั้งสองด้าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ ขนาดของตะกอนความเร็ว ของกระแสน้ำ ปริมาณน้ำ ที่ไหลผ่านและความลาดเอียงของพื้นที่ [25]

2.3 กระบวนการพัดพาและทับถมของตะกอน

2.3.1 การพัดพาโดยกระแสน้ำ เป็นขบวนการที่สำคัญที่สุด ซึ่งแบ่งออกได้เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้ คือ

1. การพัดพาในสภาพสารละลาย (solution load)

สารต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำในรูปของสารละลายและอนุมูล (colloid and ion) จะถูกพัดพาออกไปไกลที่สุด เมื่อพบสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมสารละลายก็จะตกตะกอนลง ได้แก่ อนุมูลโซเดียม แคลเซียม คาร์บอเนต เหล็ก ซิลิกาซิลเฟต และคลอไรด์ เป็นต้น

2. การพัดพาในสภาพแขวนลอย (suspension)

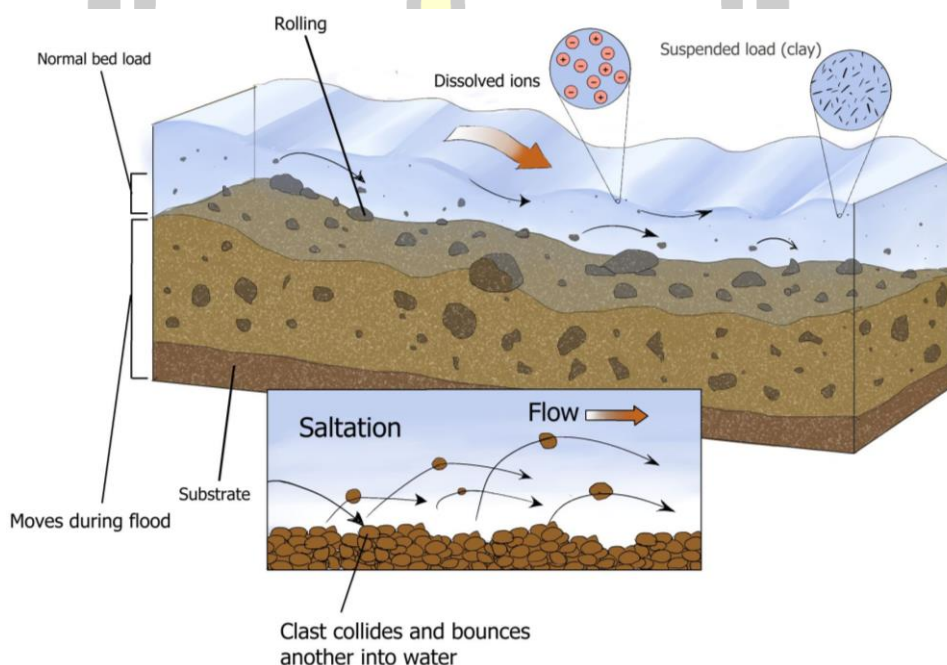
เป็นขบวนการที่น้ำพัดพาอนุภาคเล็ก ๆ ในรูปสารแขวนลอย เช่น อนุภาคดินเหนียวและอนุภาคซิลต์ เป็นต้น จะตกตะกอนเมื่อความเร็วของกระแสน้ำลดลงหรือน้ำหยุดไหล

3. การพัดพาโดยการกระดอน (saltation)

เป็นขบวนการที่อนุภาคเคลื่อนย้ายไปตามพื้นของท้องน้ำ ในลักษณะกระดอนไปตามความลาดชันของพื้นลำธาร อนุภาคที่เคลื่อนย้ายไปมีขนาดเท่าเม็ดทรายหรือขนาดโตกว่าเล็กน้อย ปัจจัยสำคัญที่ควบคุมคือแรงเหวี่ยงของกระแสน้ำ มันจะตกตะกอนเมื่อความเร็วของกระแสน้ำไม่สามารถจะยกอนุภาคเหล่านี้ได้ หรือมีสิ่งกีดขวางทางเดินของมัน

4. การพัดพาโดยกลิ้งไป (rolling)

เป็นการกลิ้งไปโดยไม่มีกำรกระเด็นหรือกระดอนเกิดขึ้นเนื่องจกอนุภาคมีน้ำหนักมากเกินกว่าที่กระแสน้ำจะยกขึ้นได้ เช่น ก้อนหินขนาดโตๆ ขบวนการพัดพาก็ยังขึ้นอยู่กับความลาดชันของพื้นที่ ปริมาณน้ำ หรือลักษณะการไหลของตะกอนจากแหล่งต้นกำเนิดต่าง ๆ [25]

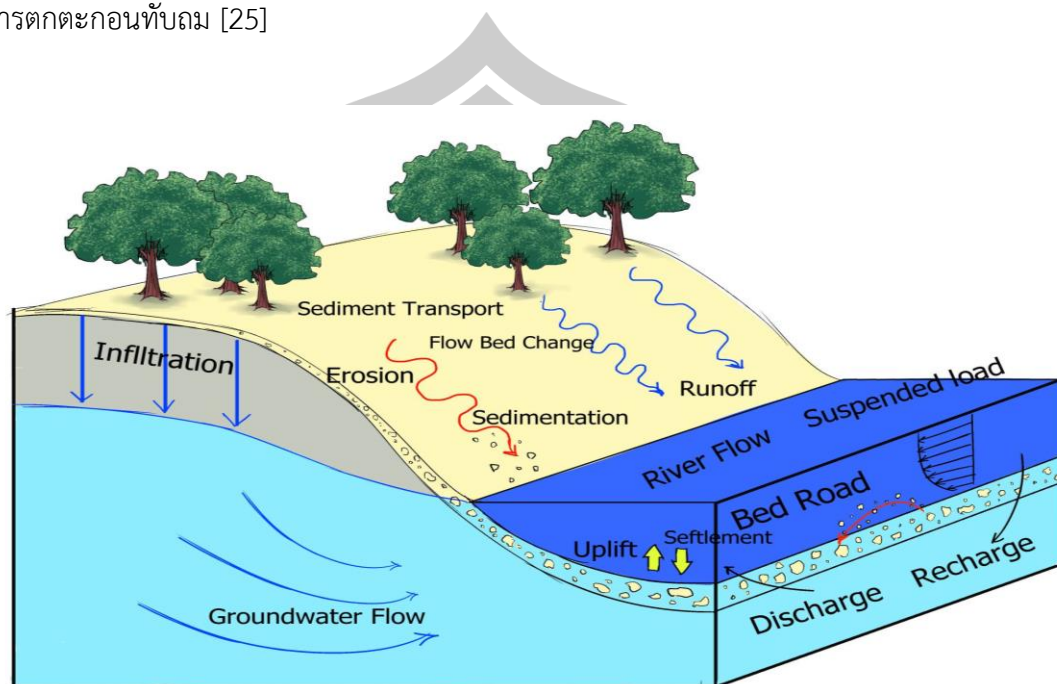


ภาพที่ 1 การพัดพาของตะกอนแขวนลอยในกระแสน้ำ

2.3.2 ขบวนการทับถมตัวของตะกอน

การทับถมตัวของตะกอน แม่น้ำแต่ละสายจะมีความสามารถในการพัดพาอนุภาคได้แตกต่างกันไป ดังนั้นการทับถมจึงแตกต่างกันไปตามขนาดของอนุภาคบริเวณสุดท้ายที่ตะกอนจะไปทับถมกันมากที่สุด คือ ระดับฐานของแม่น้ำ (base level of river) นอกจากนี้ระหว่างทางที่แม่น้ำไหลผ่านก็จะมีการทับถมมาตลอดทาง ในสภาพน้ำนิ่งหรือค่อนข้างจะนิ่ง การตกตะกอนจะมีการแยกขนาดโดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากหรือมีความถ่วงจำเพาะมากจะตกตะกอนก่อน ส่วนตะกอนที่มีขนาดเล็กหรือมีความถ่วงจำเพาะน้อยจะตกตะกอนทีหลัง ลักษณะการตกตะกอนทับถม

เช่นนี้ จะทำให้มีการแยกขนาดขึ้น เรียกว่าการจัดขนาดตามแนวดิ่ง (vertical sorting) สำเหตุของการตกตะกอนทับถม [25]



ภาพที่ 2 การเกิดและการทับถมตัวของตะกอน

2.4 ผลของการตกตะกอน

ตะกอนที่ตกทับถมในลำน้ำ ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ ฝาย และคลองชลประทาน จะก่อให้เกิดผลต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1 ตะกอนที่ตกทับถมในลำน้ำ

ได้แก่แม่น้ำ ลำธาร และลำคลอง ก่อให้เกิดท้องน้ำตื้นเขิน เป็นสาเหตุให้น้ำท่วมสูงกว่าปกติ เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเดินของกระแสน้ำ คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมีผลต่อระบบการหายใจของสัตว์น้ำ เสียค่าใช้จ่ายมากขึ้นในการผลิตน้ำเพื่อการอุปโภคและบริโภค ทำให้ความจุหรือปริมาตรของลำน้ำลดลง ข้อดีของตะกอนที่น้ำพามาตกทับถมแถวที่ลุ่มหรือน้ำท่วมถึง (flood plain) จะเป็นพื้นที่ที่มีธาตุอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.4.2 ตะกอนที่ตกทับถมในทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ

เมื่อน้ำไหลลงสู่ทะเลสาบตามธรรมชาติ หรืออ่างเก็บน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ และความสามารถในการพัดพาก็จะลดลง และตะกอนก็จะเริ่มตกทับถมลงสู่ท้องทะเลสาบและอ่างเก็บน้ำ การเพิ่มของตะกอนไม่เพียงแต่ก่อให้เกิดความตื้นเขินเท่านั้น แต่ยังทำให้ท้องน้ำมีธาตุอาหารเพิ่มขึ้น

ด้วย ซึ่งช่วยให้พีซีเจริญเติบโตได้ดี ทำให้พื้นที่วางไข่ของปลาน้อยลง ตะกอนที่ตกทับถมในอ่างเก็บน้ำ ทำให้อายุการใช้งานของอ่างเก็บน้ำสั้นลง

2.4.3 ตะกอนที่ตกทับถมในคลองชลประทาน

ทำให้ลดอัตราและปริมาตรน้ำที่ไหลไปสู่พื้นที่ชลประทาน

2.4.4 ตะกอนที่ตกทับถมในฝาย

ทำให้น้ำท่วมสูงขึ้น ต้องเสริมคันคลองให้สูงตามสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไป เช่น water table เกิดสันทรายและเกาะแก่งเหนือฝาย [26]

2.5 เครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนแบบสะสมตามจุด (Point-integrating sampler)

เครื่องเก็บตัวอย่างตะกอนแบบสะสมตามจุดมีความสะดวกสบายและใช้งานง่ายได้กว่าเครื่องเก็บตัวอย่างแบบสะสมตลอดความลึก ใช้เป็นตัวแทนความเข้มข้นตะกอนเฉลี่ยที่จุดใดจุดหนึ่งในพื้นที่ศึกษา ยกเว้นระยะใกล้ท้องน้ำ นิยมใช้เก็บตัวอย่างที่ระดับความลึกต่าง ๆ ในเวลาเดียวกัน การเก็บตะกอนนั้นสามารถเริ่มต้นเก็บที่ความลึกเท่าใดก่อนก็ได้ หลังจากนั้นจะเก็บตัวอย่างต่อไปในทิศทางที่ต่ำ ลงหรือสูงขึ้นโดยกำหนดระยะตามแนวตั้งสูงสุดไม่เกิน 360 เซนติเมตร

การเก็บตัวอย่างโดยวิธีจุด (point method) หรือวัดค่าชั่วขณะ (instantaneous) การวัดที่ติดตั้ง (in-situ) และวิธีสูบน้ำ (pumping) อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวิธีจุดของกรมชลประทานนั้นผลิตโดยบริษัท Brinkey and South Pacific ส่วนเครื่องเก็บตัวอย่างรวบรวมตามจุดแบบพิเศษ คือเครื่องสูบน้ำ (pumping sampler) จะดูดน้ำที่ผสมกับตะกอนแขวนลอยผ่านท่อหรือสายยางโดยตั้งปลายท่อไว้ที่เก็บตัวอย่าง การควบคุมความเร็วที่ทางเข้า ทำให้สามารถเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนความเข้มข้นของตะกอนที่ตำแหน่งนั้นได้

เครื่องวัดความเข้มข้นตะกอนในที่ตั้ง “in-situ sediment gauge” ช่วยแก้ปัญหานี้โดยวัดความเข้มข้นตะกอนโดยอ้อม โดยใช้เทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์หาการสูญเสียรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากการสะท้อนแสงของตะกอนแขวน ช่วงคลื่นของรังสีที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของตะกอนแขวนลอย จากช่วงคลื่นของรังสีจะสามารถแปลงเป็นค่าความเข้มข้นตะกอนได้อย่างง่ายดายและรวดเร็วโดยใช้แบบจำลองที่สร้างขึ้นไว้แล้ว [27]

2.6 การเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอย

เริ่มจากหย่อนเครื่องมือที่ใช้เก็บตัวอย่างจากบริเวณผิวน้ำที่ระดับความลึกต่าง ๆ แล้วยกกลับมาয়ระดับผิวน้ำ บรรจุลงภาชนะเก็บตัวอย่าง สามารถเก็บตัวอย่างจากสะพาน หรือเดินตามลำ

น้ำ จุดเก็บตัวอย่างควรอยู่บริเวณกลางน้ำหรือที่จุดซึ่งปริมาณตะกอนแขวนลอยจะเป็นตัวแทนของลำน้ำทั้งหมดได้ ควรเก็บตัวอย่างจากท้ายน้ำขึ้นมาหาต้นน้ำเนื่องจากป้องกันตะกอนแขวนลอยที่เกิดจากการกวนน้ำของผู้เก็บตัวอย่าง ควรล้างภาชนะเก็บตัวอย่างก่อนเก็บตัวอย่างทุกครั้ง เพื่อป้องกันเศษฝุ่นหรือเศษดินในขวดเก็บตัวอย่าง น้ำที่ไหลน้อยจะมีค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยน้อยมาก ฝุ่นผงที่อยู่ภาชนะเก็บตัวอย่างแม้จะมีจำนวนไม่มากแต่ก็อาจส่งผลกระทบต่อผลการวิเคราะห์ผลในห้องทดลองอย่างมาก ควรนึกถึงประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การบรรจุตัวอย่าง ควรให้เต็มถึงระยะประมาณ 5 ซม. จากปากขวด (ที่คอขวด) หากบรรจุจนล้นหรือบรรจุได้น้อยเกินไปควรเก็บตัวอย่างใหม่ ใช้เวลาในการปฏิบัติการเก็บตัวอย่างครั้งก่อนเป็นแนวทาง

2. การบรรจุตัวอย่างไม่ควรใช้เวลาน้อยกว่า 10 วินาที หรือมากกว่า 40 วินาที หากเวลาที่ใช้อยู่ในช่วงที่ระบุนี้ควรเปลี่ยนหัวนอซเซิลทองเหลืองใหม่ หัวนอซเซิลมีสามขนาด และควรเก็บรักษาให้ใช้งานได้โดยสะดวกที่หน้างานนั้น ๆ

3. อย่าให้เครื่องเก็บตัวอย่างกระแทกท้องน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลำน้ำที่ท้องน้ำเป็นทราย อาจกระทบกระเทือนตะกอนท้องน้ำจนทำให้ค่าตะกอนแขวนลอยผิดพลาดได้

4. เลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่างในลำน้ำที่ค่อนข้างตรง และมีความลึกพอที่จะทำการเก็บตัวอย่างได้ หลีกเลี่ยงบริเวณที่ท้องน้ำไม่สม่ำเสมอหรือคดเคี้ยว และให้ห่างไปจากท้ายบริเวณที่ลำน้ำสาขา ไหลมาบรรจบ เพื่อให้ตะกอนผสมเข้าที่ก่อน

5. อย่าให้ตะกอนเย็นจนเป็นน้ำแข็ง หรือถูกแสงแดดโดยตรงจะกระทบกระเทือนผล [27]

2.7 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง

การวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนแขวนลอยในห้องทดลองประกอบด้วย การหาความเข้มข้นโดยน้ำหนักของตะกอนแขวนลอยกับน้ำหนักของของผสมน้ำ-ตะกอน การหาการกระจายขนาดเม็ดตะกอนในตัวอย่างตามความจำเป็น การบันทึกผลการวิเคราะห์ในแบบฟอร์มที่เหมาะสมเพื่อใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาปริมาณตะกอนปริมาณตะกอนแขวนลอยเป็นรายวัน หรือใช้ข้อมูลการกระจายขนาดเม็ดตะกอนในงานวิจัยตะกอนแขวนลอยเชิงประยุกต์ต่อไป ความเข้มข้นของตัวอย่างตะกอนแขวนลอยหาโดยวิธีการกรอง (filtration) ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างและขวดบรรจุ (น้ำ ตะกอน และ ขวด)
2. ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองและถ้วยแก้ว

3. ชั่งน้ำหนักขวดหลังจากกรอง
4. ชั่งน้ำหนักตะกอนแขวนลอยแห้งพร้อมกับกระดาษกรองและถ้วยแก้วหลังจากอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 110° เป็นเวลา 1 ชั่วโมง [27]

2.8 การสำรวจข้อมูลจากระยะไกล (Remote Sensing)

เป็นการสำรวจจากระยะไกล โดยเครื่องมือวัดไม่มีการสัมผัสกับสิ่งที่ต้องการตรวจวัดโดยตรง กระทำการสำรวจโดยให้เครื่องวัดอยู่ห่างจากสิ่งที่ต้องการตรวจวัด โดยอาจติดตั้งเครื่องวัด เช่น กล้องถ่ายภาพ วิทยุที่สูง บนบอลูน บนเครื่องบิน ยาวอวกาศ หรือดาวเทียม แล้วอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ หรือสะท้อนมาจากสิ่งที่ต้องการสำรวจเป็นสื่อในการวัด การสำรวจโดยใช้วิธีนี้เป็นการเก็บข้อมูลที่ได้ออกมาจำนวนมาก ในบริเวณกว้างกว่าการสำรวจภาพสนาม จากการใช้เครื่องมือสำรวจระยะไกล โดยเครื่องมือสำรวจไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับวัตถุตัวอย่าง เช่น เครื่องบินสำรวจเพื่อถ่ายภาพในระยะไกล การใช้ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรทำการเก็บข้อมูลพื้นผิวโลกในระยะไกล [28]

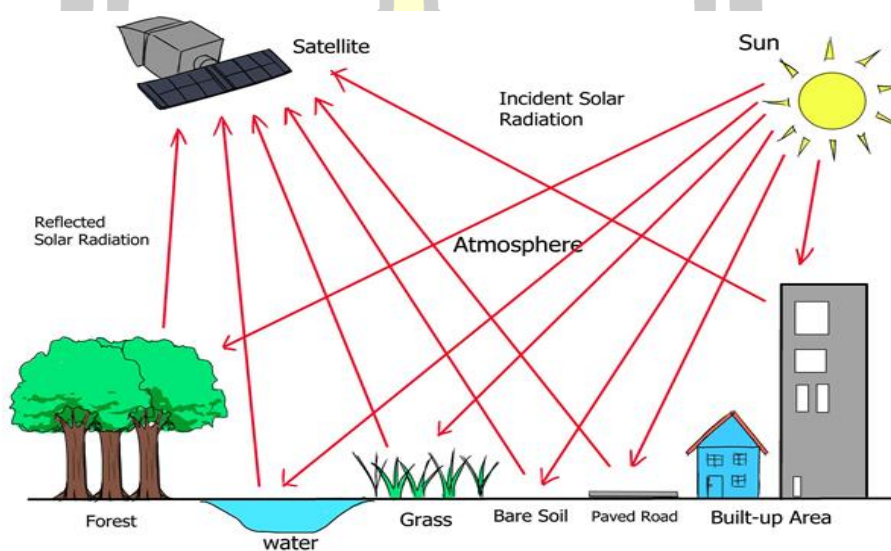
2.9 ความหมายของรีโมทเซนซิง

รีโมทเซนซิง (Remote Sensing) หรือการสำรวจข้อมูลระยะไกล (การรับรู้ระยะไกล) เป็นศัพท์เทคนิคที่ใช้เป็นครั้งแรกในประเทศสหรัฐอเมริกาใน พ.ศ.2503 หมายถึง วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแขนงหนึ่งที่ยึดถือคุณลักษณะของวัตถุ (Object) หรือปรากฏการณ์ (Phenomena) ต่างๆ จากการสะท้อนแสง/หรือ การแผ่รังสีพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) โดยเครื่องวัด/อุปกรณ์บันทึกที่ติดอยู่กับยานสำรวจ การใช้รีโมทเซนซิงเริ่มแพร่หลายนับตั้งแต่สหรัฐอเมริกาได้ส่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรดวงแรก LANDSAT-1 ขึ้นใน พ.ศ.2515

เราสามารถหาคุณลักษณะของวัตถุได้จากลักษณะการสะท้อนหรือการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุนั้น ๆ คือ “วัตถุแต่ละชนิด จะมีลักษณะการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีที่เฉพาะตัวและแตกต่างกันไป ถ้าวัตถุหรือสภาพแวดล้อมเป็นคนละประเภทกัน” คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 3 ลักษณะ คือ ช่วงคลื่น(Spectral) รูปทรงสัญญาณของวัตถุบนพื้นโลก (Spatial) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Temporal) รีโมทเซนซิงจึงเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนก และเข้าใจวัตถุหรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสี

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลหมายถึง ข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพทางเครื่องบินในระดับต่ำ ที่เรียกว่า รูปถ่ายทางอากาศ (Aerial Photo) และข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพจากดาวเทียมในระดับสูงกว่า เรียกว่า ภาพถ่ายจากดาวเทียม (Satellite Image)

องค์ประกอบที่สำคัญของการสำรวจข้อมูลระยะไกล คือ คลื่นแสง ซึ่งเป็นพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติไม่ว่าเป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ หรือเป็นพลังงานจากตัวเอง ซึ่งระบบการสำรวจข้อมูลระยะไกลโดยอาศัยพลังงานแสงธรรมชาติ เรียกว่า Passive Remote Sensing ส่วนระบบบันทึกที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยัง วัตถุเป้าหมาย เรียกว่า Active Remote Sensing เช่น ระบบเรดาร์ เป็นต้น [28]



ภาพที่ 3 การสำรวจข้อมูลระยะไกล (การรับรู้ระยะไกล)

2.10 หลักการของรีโมทเซนซิง

หลักการของรีโมทเซนซิงประกอบด้วยกระบวนการ 2 กระบวนการ ดังต่อไปนี้คือ

2.10.1. การได้รับข้อมูล (Data Acquisition)

เริ่มตั้งแต่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดพลังงาน เช่น ดวงอาทิตย์ เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศ, เกิดปฏิสัมพันธ์กับวัตถุบนพื้นผิวโลก และเดินทางเข้าสู่เครื่องวัด/อุปกรณ์บันทึกที่ติดอยู่กับยานสำรวจ (Platform) ซึ่งโคจรผ่าน ข้อมูลวัตถุหรือปรากฏการณ์บนพื้นผิวโลกที่ถูกบันทึกถูกแปลงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ส่งลงสู่สถานีรับภาคพื้นดิน (Receiving Station) และผลิต

ออกมาเป็นข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลเชิงอนุমান (Analog Data) และข้อมูลเชิงตัวเลข(Digital Data) เพื่อนำไปนำวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

2.10.2. การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) วิธีการวิเคราะห์มีอยู่ 2 วิธี คือ

1. การวิเคราะห์ด้วยสายตา (Visual Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลออกมาในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ไม่สามารถ วัดออกมาเป็นค่าตัวเลขได้แน่นอน
2. การวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์ (Digital Analysis) ที่ให้ผลข้อมูลในเชิงปริมาณ (Quantitative) ที่สามารถแสดงผลการวิเคราะห์ออกมาเป็นค่าตัวเลขได้

การวิเคราะห์หรือการจำแนกประเภทข้อมูลต้องคำนึงถึงหลักการดังต่อไปนี้

- Multispectral Approach คือ ข้อมูลพื้นที่และเวลาเดียวกันที่ถูกบันทึกในหลายช่วงคลื่น ซึ่งในแต่ละช่วงความยาวคลื่น (Band) ที่แตกต่างกันจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานของวัตถุหรือพื้นผิวโลกที่แตกต่างกัน

- Multitemporal Approach คือ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา จำเป็นต้องใช้ข้อมูลหลายช่วงเวลา เพื่อนำมาเปรียบเทียบหาความแตกต่าง

- Multilevel Approach คือ ระดับความละเอียดของข้อมูลในการจำแนกหรือวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งขึ้นอยู่กับประยุคติใช้งาน เช่น การวิเคราะห์ในระดับภูมิภาคก็อาจใช้ข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT ที่มีรายละเอียดภาพปานกลาง (Medium Resolution) แต่ถ้าต้องการศึกษาวิเคราะห์ในระดับจุลภาค เช่น ผังเมือง ก็ต้องใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ให้รายละเอียดภาพสูง (High Resolution) เช่น ข้อมูลจากดาวเทียม SPOT, IKONOS, หรือรูปถ่ายทางอากาศเป็นต้น

2.10.3. ระบบการทำงาน

แบ่งตามแหล่งกำเนิดพลังงานที่ก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มี 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1. Passive remote sensing เป็นระบบที่ใช้กันกว้างขวางตั้งแต่เริ่มแรกจนถึงปัจจุบัน โดยมีแหล่ง พลังงานที่เกิดตามธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน ระบบนี้จะรับและบันทึกข้อมูลได้ ส่วนใหญ่ในเวลากลางวัน และมีข้อจำกัดด้านภาวะอากาศ ไม่สามารถรับข้อมูลได้ในฤดูฝน หรือเมื่อมีเมฆ หมอก ฝน

2. Active remote sensing เป็นระบบที่แหล่งพลังงานเกิดจากการสร้างขึ้นในตัว ของเครื่องมือสำรวจ เช่น ช่วงคลื่นไมโครเวฟที่สร้างในระบบเรดาร์ แล้วส่งพลังงานนั้นไปยังพื้นที่ เป้าหมาย ระบบนี้ สามารถทำการรับและบันทึกข้อมูล ได้โดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา หรือ ด้านสภาวะ ภูมิอากาศ คือสามารถรับส่งสัญญาณได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อีกทั้งยังสามารถทะลุผ่านกลุ่มเมฆ หมอก ฝนได้ในทุกฤดูกาล ในช่วงแรกระบบ passive remote sensing ได้รับการพัฒนามาก่อน และ ยังคงใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ส่วนระบบ active remote sensing มีการพัฒนาจากวงการ

ทหาร แล้วจึงเผยแพร่เทคโนโลยีนี้ต่อกิจการพลเรือนในช่วงหลังการสำรวจในด้านนี้ได้รับความสนใจมากขึ้นโดยเฉพาะกับประเทศในเขตร้อนที่มีปัญหาเหมือง หอมอก ปกคลุมอยู่เป็นประจำ

2.10.4. การวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis)

ภาพถ่ายดาวเทียม ประกอบด้วยวิธีการ ดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสายตา (visual interpretation) เป็นการแปลตีความจากลักษณะองค์ประกอบของภาพ โดยอาศัยการพิจารณาปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่ สี (color, shade, tone) เงา (shadow) รูปทรง (form) ขนาดของวัตถุ (size) รูปแบบ (pattern) ลวดลายหรือลักษณะเฉพาะ (texture) และองค์ประกอบทางพื้นที่ (spatial components) ซึ่งเป็นหลักการตีความ เช่นเดียวกับการแปลภาพถ่ายทางอากาศ

2. การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ (digital analysis and image processing) เป็นการตีความ ค้นหาข้อมูลส่วนที่ต้องการ โดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์และสถิติ ซึ่งการที่มีข้อมูลจำนวนมาก จึงไม่สะดวกที่จะทำการคำนวณด้วยมือได้ ดังนั้นจึงมีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้ ช่วยให้การประมวลผล มีวิธีการแปลหรือจำแนกประเภทข้อมูลได้ 2 วิธีหลัก คือ

- การแปลแบบกำกับดูแล (supervised classification) หมายถึง การที่ผู้แปลเป็นผู้กำหนดตัวอย่างของประเภทข้อมูลให้แก่คอมพิวเตอร์ โดยใช้การเลือกพื้นที่ตัวอย่าง (training areas) จากความรู้ด้านต่าง ๆ เกี่ยวกับพื้นที่ศึกษา รวมทั้งจากการสำรวจภาคสนาม

- การแปลแบบไม่กำกับดูแล (unsupervised classification) เป็นวิธีการที่ผู้แปลกำหนดให้คอมพิวเตอร์แปลข้อมูลเอง โดยใช้หลักการทางสถิติ เพียงแต่ผู้แปลกำหนดจำนวนประเภทข้อมูล (classes) ให้แก่เครื่อง โดยไม่ต้องเลือกพื้นที่ตัวอย่างให้ ผลลัพธ์จากการแปลจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ ก่อนนำไปใช้งานโดยการเปรียบเทียบกับสภาพจริงหรือข้อมูลที่น่าเชื่อถือได้ โดยวิธีการทางสถิติ

2.10.5. คุณสมบัติของภาพจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากร

การบันทึกข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Synoptic view) ภาพจากดาวเทียมภาพหนึ่งๆ ครอบคลุมพื้นที่กว้างทำให้ได้ข้อมูลในลักษณะต่อเนื่องในระยะเวลาบันทึกภาพสั้นๆ สามารถศึกษาสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ในบริเวณกว้างขวางต่อเนื่องในเวลาเดียวกันทั้งภาพ เช่น ภาพจาก LANDSAT MSS และ TM หนึ่งภาพคลุมพื้นที่ 185X185 ตร.กม. หรือ 34,225 ตร.กม. ภาพจาก SPOT คลุมพื้นที่ 3,600 ตร.กม. เป็นต้น

การบันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีระบบกล้องสแกนเนอร์ ที่บันทึกภาพได้หลายช่วงคลื่นในบริเวณเดียวกัน ทั้งในช่วงคลื่นที่เห็นได้ด้วยตาเปล่า และช่วงคลื่นนอกเหนือสายตามนุษย์ ทำให้แยกวัตถุต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกได้อย่างชัดเจน เช่น ระบบ TM มี 7 ช่วงคลื่น เป็นต้น

การบันทึกภาพบริเวณเดิม (Repetitive coverage) ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรมีวงโคจรจากเหนือลงใต้ และกลับมายังจุดเดิมในเวลาท้องถิ่นอย่างสม่ำเสมอและในช่วงเวลาที่แน่นอน เช่น LANDSAT ทุก ๆ 16 วัน MOS ทุก ๆ 17 วัน เป็นต้น ทำให้ได้ข้อมูลบริเวณเดียวกันหลายๆ ช่วงเวลาที่ทันสมัยสามารถเปรียบเทียบและติดตามการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ บนพื้นผิวโลกได้เป็นอย่างดี และมีโอกาสที่จะได้ข้อมูลไม่มีเมฆปกคลุม

การให้รายละเอียดหลายระดับ ภาพจากดาวเทียมให้รายละเอียดหลายระดับ มีผลดีในการเลือกนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาด้านต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ เช่น ภาพจากดาวเทียม SPOT ระบบ PLA มีรายละเอียด 10 ม. สามารถศึกษาตัวเมือง เส้นทางคมนาคมระดับหมู่บ้าน ภาพระบบ MLA มีรายละเอียด 20 ม. ศึกษาการบุกรุกพื้นที่ป่าไม้เฉพาะจุดเล็ก ๆ และแหล่งน้ำขนาดเล็ก และภาพระบบ TM รายละเอียด 30 ม. ศึกษาสภาพการใช้ที่ดินระดับจังหวัด เป็นต้น

ภาพจากดาวเทียมสามารถให้ภาพสีผสม (False color composite) ได้หลายแบบ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการขยายรายละเอียดเฉพาะเรื่องให้เด่นชัดจนสามารถจำแนกหรือมีสีแตกต่างจากสิ่งแวดล้อม

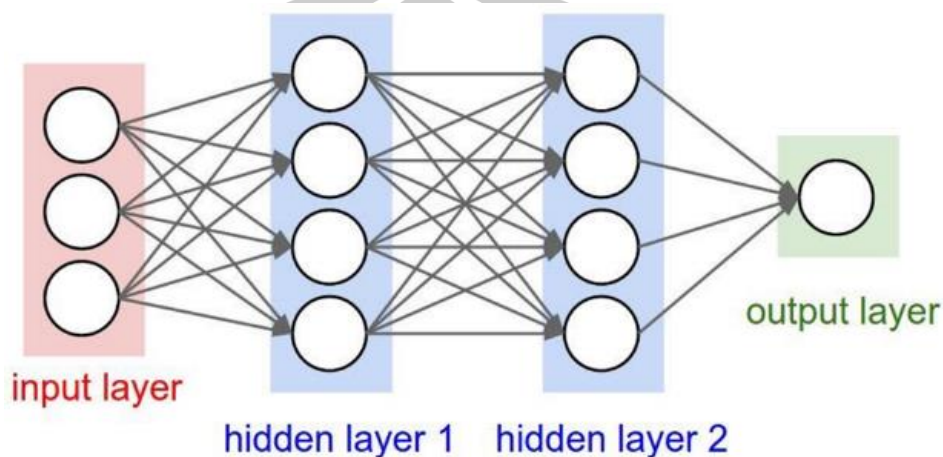
การเน้นคุณภาพของภาพ (Image enhancement) ภาพจากดาวเทียมต้นฉบับสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพให้มีรายละเอียดเพิ่มขึ้น โดยการปรับเปลี่ยนค่าความเข้ม ระดับสีเทา เพื่อเน้นข้อมูลที่ต้องการศึกษาให้เด่นชัดขึ้น

deep learning คือ ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ที่เลียนแบบการทำงานของระบบโครงข่ายประสาท (neurons) ในสมองมนุษย์ ถือเป็นซัพเซตของ machine learning (SENSING), 2557)

2.11 Deep learning

Algorithm ของ deep learning ถูกสร้างขึ้นจากการนำเอา neural network หลายๆ layer มาต่อกัน โดย layer แรกสุดจะทำหน้าที่ในการรับข้อมูล (Input layer) layer สุดท้ายจะทำหน้าที่ส่งผลลัพธ์การประมวลผลออกมา (Output layer) ส่วน layer ว่าง layer แรกสุด และ layer สุดท้าย จะถูกเรียกว่า Hidden layer คำว่า deep learning มีที่มาจากการใช้ layer ของ neural network หลายอันๆมาต่อกัน(มี Hidden layer มากกว่า 2 layer ก็ถือเป็น deep learning แล้ว) เนื่องจาก layer เหล่านี้เป็นโครงสร้างที่ถูกจัดเก็บแบบเป็นกองซ้อน (stack) จึงเปรียบได้ว่า layer ที่จะนวนเยอะๆ ก็จะทำให้มีโครงสร้างที่ลึก(deep) ยิ่งขึ้นนั่นเอง โดย Hidden layer ของแต่ละ layer จะเปรียบเสมือนว่าประกอบด้วย เซลล์ประสาท (neural) จำนวนมาก ซึ่งมีหน้าที่ในการประมวลผล รับข้อมูลจาก layer ที่อยู่เหนือกว่า และส่งข้อมูลที่ประมวลผลเสร็จแล้วไปยัง layer ที่อยู่ล่างกว่า , ข้อดีของการส่งข้อมูลแบบนี้ก็คือ layer แต่ละ layer สามารถที่จะมี ค่าถ่วงน้ำหนัก

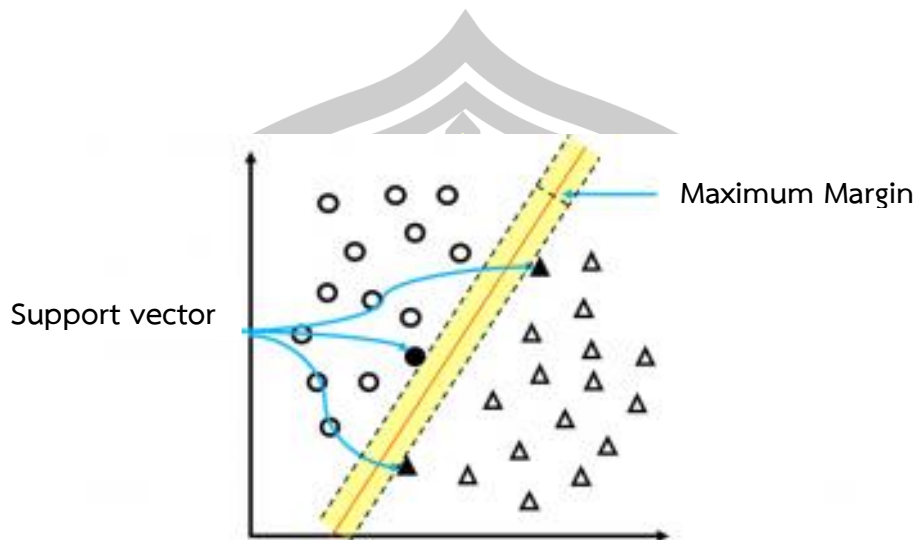
(weight), ค่าความเอนเอียงของข้อมูล (bias) และ วิธีการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (activation function) ที่เป็นอิสระต่อกันได้ ยิ่งเราป้อนข้อมูลให้กับ model มากเท่าไร , layer แต่ละ layer ก็จะสามารถสกัด feature ที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น [29]



ภาพที่ 4 กระบวนการทำงานของ deep learning

2.12 แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM

เป็นตัวจำแนกเชิงเส้น (Linear Classifier) แบบ 2 คลาส ซึ่งเป็นที่ยอมรับถึงประสิทธิภาพของการจำแนกที่เหนือกว่าวิธีการจำแนกอื่น ๆ ข้อได้เปรียบของ SVM คือมีประสิทธิภาพในการจำแนกข้อมูลที่มีมิติจำนวนมากได้ นอกจากนี้การใช้ฟังก์ชันเคอร์เนล (Kernel Function) เพื่อแปลงข้อมูลไปยังมิติที่สูงขึ้นในปริภูมิคุณลักษณะ (Feature Space) สามารถจำแนกข้อมูลที่มีความคลุมเครือได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลักการของ SVM คือการหาเส้นตรงที่มีมาร์จิ้นที่โตที่สุด (Maximum Margin) ที่สามารถแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 คลาส ดังตัวอย่างในภาพที่ 2 เป็นข้อมูลขนาด 2 มิติ โดนถูกจำแนกออกเป็น 2 คลาส ได้แก่ + (O) และคลาส - (Δ) โดยเส้นตรงที่ใช้แบ่งข้อมูลมีมาร์จิ้นเท่ากับ $M=2w$ ซึ่ง เป็นความกว้างระหว่างเส้นตรงกับซัพพอร์ตเวกเตอร์ (Support vector) ของข้อมูลทั้ง 2 คลาส (● และ ▲) การจำแนกเชิงเส้นด้วยมาร์จิ้นที่โตที่สุด



ภาพที่ 5 ตัวอย่างของตัวแบบจำแนก SVM บนข้อมูลขนาด 2 มิติ

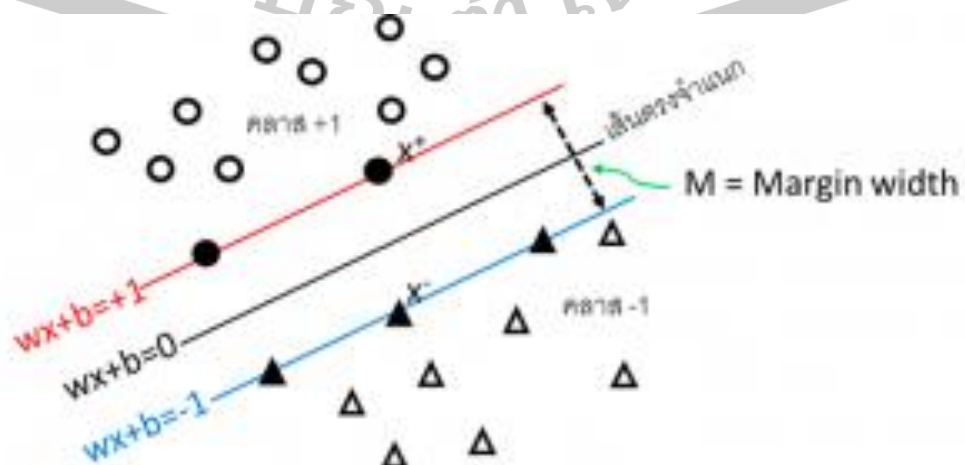
ที่มา: <https://knowledgesnu.ac.th>

การใช้เส้นตรงสำหรับแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่มด้วยมาร์จินที่โตที่สุด (Maximum Margin) เป็นวิธีที่การันตีได้ว่าจะสามารถแยกข้อมูลได้โดยมีความผิดพลาดน้อยที่สุด โดยมี support vector เป็นตัวกำหนดขนาดของ Margin ดังนั้นถ้าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ เส้นตรงจำแนกก็ยังขึ้นอยู่กับ support vector ซึ่งจะยังเป็น Maximum Margin อยู่ในภาพประกอบ 5 เป็นการหา Maximum Margin ในเชิงคณิตศาสตร์ จากภาพประกอบ 5 จะเห็นได้ว่าข้อมูล x จะถูกแบ่งเป็นระนาบบวก และ ระนาบลบ โดยมีสมการคือ $w \cdot x + b \geq 1$ สำหรับคลาส+ และ $w \cdot x + b \leq -1$ สำหรับคลาส - ดังนั้นจะสามารถจำแนกข้อมูลได้โดย

$$+1 \text{ ถ้า } w \cdot x + b \geq +1$$

$$-1 \text{ ถ้า } w \cdot x + b \leq -1$$

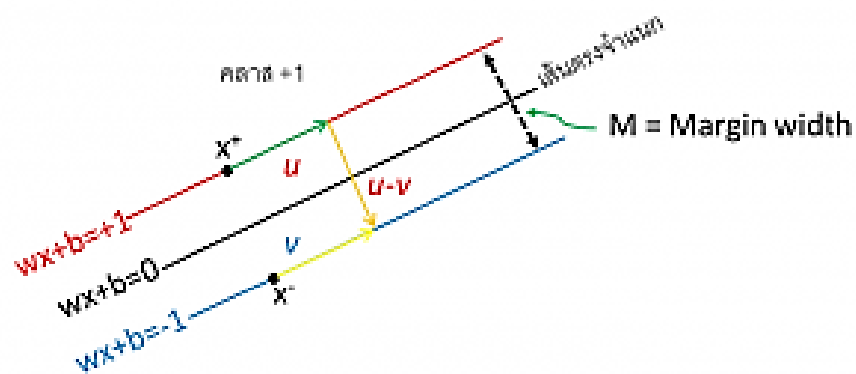
$$\text{ถ้า } -1 < w \cdot x + b \leq +1$$



ภาพที่ 6 การคำนวณ Maximum Margin

ที่มา: <https://knowledgesnu.ac.th>

ในการหาความกว้างมาร์จิน (margin width) กำหนดให้ x^- เป็นจุดอยู่บนระนาบลบ และให้ x^+ เป็นจุดอยู่บนระนาบบวก และทั้งสองจุดใกล้กันมากที่สุด ดังภาพประกอบ 12 จะมีเวกเตอร์ u บนระนาบบวกและทำนองเดียวกันเวกเตอร์ v บนระนาบลบ และมีเวกเตอร์ w ที่เป็นเวกเตอร์น้ำหนักของเส้นจำแนก ดังนั้นจะเกิดเวกเตอร์ตั้งฉากกันจะได้ $(u - v) \cdot w = 0$ การคำนวณหาความกว้างของมาร์จินในภาพที่ 6 ในเทอมของ w และ b



ภาพที่ 7 การหาค่า Margin

ที่มา: <https://knowledgesnu.ac.th>

สามารถหาได้จากระบบสมการต่อไปนี้

$$M = \frac{2}{(w \times w)} \times \sqrt{(w \times w)} = \frac{2}{\sqrt{(w \times w)}}$$

เนื่องจากเราสามารถทราบค่าของเวกเตอร์ w และ ค่าคงที่ b จะทำให้สามารถคำนวณค่า margin M ได้จากสมการ จากนั้นใช้วิธีการค้นหาค่า M ที่มากที่สุดด้วยวิธีต่างๆ เช่น Gradient Descent, Simulated Annealing, Newton method, EM เป็นต้น เพื่อให้ได้ค่าคำตอบที่เหมาะสมต่อไป

2.13 ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models)

ตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไป (Generalized Linear Models: GLMs) เป็นชื่อที่ใช้เรียกกลุ่มของตัว สมมติฐานของตัวแบบเชิงเส้นวางนัยทั่วไปมีดังนี้

1. องค์ประกอบแบบสุ่ม (Random Component) ค่าของ Y เป็นอิสระต่อกัน และมีการแจกแจงแบบใดแบบหนึ่งในวงศ์ชี่กำลัง (Exponential Family)
2. องค์ประกอบแบบเป็นระบบ (Systematic Component) สามารถเขียนตัวแปรต้นให้อยู่ในรูปตัวประมาณเชิงเส้นได้ η โดยที่ $\eta = X\beta$
3. ฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link Function) ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแบบสุ่มและองค์ประกอบแบบเป็นระบบถูกกำหนดด้วย ฟังก์ชันเชื่อมโยง (g) โดยที่ฟังก์ชันเชื่อมโยงนั้นสามารถหาอนุพันธ์ได้ (Differentiable) และเป็น ฟังก์ชันทางเดียว (Monotonic) ได้ตั้งสมการที่ 1 โดยที่

$$E[Y] \equiv \mu = g^{-1}\eta \quad (1)$$

การแจกแจงที่อยู่ในวงศ์ชี่กำลัง (Exponential Family) มีคุณสมบัติ 2 ประการ ดังนี้

1. การแจกแจงสามารถเขียนได้ในรูปแบบของค่าเฉลี่ย และความแปรปรวน
2. ความแปรปรวนเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ย

จากคุณสมบัติข้อที่ 2 เราสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการได้ตั้งสมการที่ 2

$$\text{Var}(Y_i) = \frac{\phi V(\mu_i)}{\omega_i} \quad (2)$$

2.14 การทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ (Statistical significance)

2.14.1 T-Statistic เมื่อเราได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มา จะต้องทำการพิสูจน์ทางสถิติค่าคงที่ (β_0) และสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระทุกค่า ($\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$) ว่ามีนัยสำคัญต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หรือไม่โดยตั้งสมมติฐานดังแสดงสมการที่ 3 และ 4

$$H_0: \beta_i = 0 \quad (3)$$

$$H_a: \beta_i \neq 0 \quad (4)$$

ถ้าเราต้องการยอมรับเงื่อนไข H_0 โดยดูจากค่า T ที่คำนวณได้ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่า T-critical ก็หมายความว่าค่าคงที่ของตัวแปรอิสระตัวนั้นจะไม่มีนัยสำคัญต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก็สามารถตัดออกได้ โดยจะไม่ทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์นั้นมีความเปลี่ยนแปลง

แต่ถ้าต้อง Reject H_0 เมื่อ T ที่คำนวณได้ค่ามากกว่า T -critical ก็หมายความว่าค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระตัวนั้น ๆ มีนัยสำคัญต่อแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่สามารถตัดออกได้นั้นจึงเป็นเหตุผลที่ว่าการศึกษาวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น Regression Analysis จะต้องมีการใช้ T-test หรือมีค่า t ในตารางผลการวิเคราะห์แบบจำลองนั้น ๆ

2.14.2 F-Statistic สุดท้ายเราได้ Model ที่ถือว่าดีที่สุดเท่าที่จะหาได้ แต่ก็ใช้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวจะใช้ในการทำนายค่า Y ได้ถูกต้อง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องพิสูจน์ให้ทราบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวเมื่อนำไปทำนายค่า Y แล้วจะเกิดความคลาดเคลื่อนหรือมี Error มากแค่ไหน ระหว่าง Y และ \hat{Y} มากน้อยแค่ไหน [30]

H_0 : Error ที่เกิดขึ้นที่ (Y) เกิดทั้งหมดมาจากตัวแปรอิสระ

H_a : Error ที่เกิดขึ้นที่ (Y) ส่วนน้อยเท่านั้นที่มาจากตัวแปรอิสระ

หากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่าการยอมรับเงื่อนไข H_0 หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่าต่ำกว่าค่า F-critical ก็ให้ถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนหรือมี Error จนไม่อาจยอมรับให้นำไปใช้ต่อไปได้ ทำให้ไม่สามารถที่จะนำมาวิเคราะห์ต่อไป ในทำนองเดียวกันหากผลการทดสอบด้วย F-Test พบว่า Reject H_0 หรือ F-Statistic ที่ได้มีค่ามากกว่าค่า F-critical ก็ให้ถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวเมื่อนำไปทำนายค่า Y แล้วมีความผิดพลาดน้อยสามารถยอมรับได้

2.14.3 Coefficient of determination จะนำมาเพื่อพิสูจน์ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นดีพอจะใช้ผลการวิเคราะห์ไปทำนาย ค่า Y ในอนาคตได้หรือไม่ ถึงแม้ว่า F-Test จะบอกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้มานั้นมีความผิดพลาดน้อย แต่ถ้าที่มาของการเก็บข้อมูลก่อนการนำไปวิเคราะห์ ไม่เหมาะสม ก็ยังถือว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีตัวนั้นอาจเป็นเพราะความผิดพลาดของข้อมูล

R^2 เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้มานั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ จะมีค่าระหว่าง 0 - 1 ยิ่งมีค่าที่เข้าใกล้ 1 ก็ยิ่งเป็นข้อมูลที่ดี

R^2 - Adjust เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่า R^2 ที่ได้นั้นมีความเหมาะสมจริงหรือไม่ โดยจะทำการลดข้อมูล ที่ได้มาลง 1 ตัว แล้วทำการหาค่า R^2 ใหม่อีกครั้งเรียกว่า Adjust หากมีค่าต่ำกว่า R^2 มากผิดปกติให้สรุปว่า ข้อมูลที่เก็บมานั้นอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำเกินไป หรือ R^2 มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลมากเกินไป มีโอกาสที่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะเกิดการผิดพลาดที่สูง ค่า R^2 -Adjust ที่เหมาะสมจะต้องมีค่าที่ต่ำกว่า R^2 เพียงเล็กน้อยเท่านั้นจึงจะถือว่าแบบจำลองนั้นมีเก็บข้อมูลที่ดี มีจำนวนของข้อมูลที่เพียงพอและเหมาะสม เมื่อใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น Regression analysis แล้วค่า R^2 และ R^2 -Adjust สามารถจะทำให้แบบจำลองที่ได้มานั้นไม่สามารถยอมรับได้ต้องกลับไป

ดำเนินการเก็บข้อมูลเพิ่ม และเริ่มทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง ถึงแม้ว่า F-test จะบอกว่าแบบจำลองที่ได้นั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมากก็ตาม [30]

2.15 รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด (Root Mean Square Error: RMSE)

รากกำลังสองเฉลี่ยผิดพลาด คือ การวัดค่าความแตกต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่ได้จากการประมาณการจากแบบจำลองยกกำลังสอง ถ้าค่า RMSE มีค่าน้อยแสดงว่าแบบจำลองสามารถประมาณค่าได้ใกล้เคียงกับค่าจริง แต่ถ้ามีค่าเท่ากับศูนย์ หมายความว่าไม่เกิดความคลาดเคลื่อนในแบบจำลอง สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 5

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2} \quad (5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนตัวแปร
 \hat{x}_i คือ ค่าพยากรณ์
 x_i คือ ค่าจริง

2.16 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2)

R^2 จะเป็นค่าที่บอกร้อยละของการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ที่เกิดจากอิทธิพลของค่า X ที่ได้จากการคำนวณจากสมการ ดังแสดงในสมการที่ 4

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)^2} \quad (6)$$

เมื่อ y_i คือ ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ได้จากแบบจำลอง
 \bar{y}_i คือ ค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยที่ได้จากการสำรวจในสนาม
 \hat{y}_i คือ สมการถดถอย
 n คือ จำนวนของกลุ่มตัวอย่าง

ถ้าสมการมีค่า R^2 ยังมีค่าสูงยิ่งทำให้เกิดความแม่นยำของการนำสมการไปใช้เพื่อทำนายหรือคาดคะเนผลลัพธ์ย่อมสูงตามไปด้วย โดยทั่วไป สมการที่มักนำไปใช้ควรมีค่า R^2 อย่างน้อย 0.75 หากสูงกว่า 0.90 ถือว่าดีมาก ค่า R^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ถ้าค่าเป็น 0 แสดงว่าไม่มีความสัมพันธ์ใด ๆ ระหว่างตัวแปรตามและอิสระ แต่ถ้าค่าเป็น 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างสมบูรณ์ [31]

2.17 ดาวเทียม Sentinel – 2

ดาวเทียม Sentinel-2 ซึ่งได้ทำการปล่อยขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันอังคารที่ 23 มิ.ย 2558 ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของโครงการ Copernicus โดยได้รับการออกแบบโดย European Space Agency (ESA) และสร้างโดย Airbus Defense and Space ดาวเทียม Sentinel-2 มีพื้นที่ครอบคลุมกว้าง 290 กิโลเมตร Sentinel-2 คือดาวเทียมดวงที่ 2 จากกลุ่มดาวเทียมทั้งหมด 20 ดวง มีเซนเซอร์แบบ Multi-Spectral Instrument (MSI) ซึ่งเป็นเซนเซอร์แบบ push-broom ทำงานโดยการเก็บข้อมูลแถว ๆ ข้อมูลภาพข้ามแนววงโคจรและใช้การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของยานอวกาศไปตามเส้นทางของวงโคจรเพื่อจัดเรียงแถวใหม่สำหรับการได้มา ระยะเวลาสังเกตการณ์โดยเฉลี่ยของแผ่นดินและพื้นที่ชายฝั่งทะเลประมาณ 17 นาที และระยะเวลาการสังเกตสูงสุดคือ 32 นาที มีการโคจรกับมายังพื้นที่เดิมทุก 10 วัน กับดาวเทียม 1 ดวง และ 5 วันกับดาวเทียม 2 ดวง ดังรายละเอียดในตารางที่ 1 ในการนำภาพถ่ายดาวเทียม sentinel – 2 มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ จะต้องทำการผสมสี (Band combination : RGB) หรือทำการรวมแบนด์ (Composite Band) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อนำมาใช้ในการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ คุณสมบัติดาวเทียม sentinel-2 ดังตารางที่ 1 [32]

ตารางที่ 1 wavelengths and bandwidths of MSI instrument spatial resolutions

Sentinel - 2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution(m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.708	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60

Sentinel - 2 Bands	Central Wavelength (μm)	Resolution(m)
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

ที่มา : <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

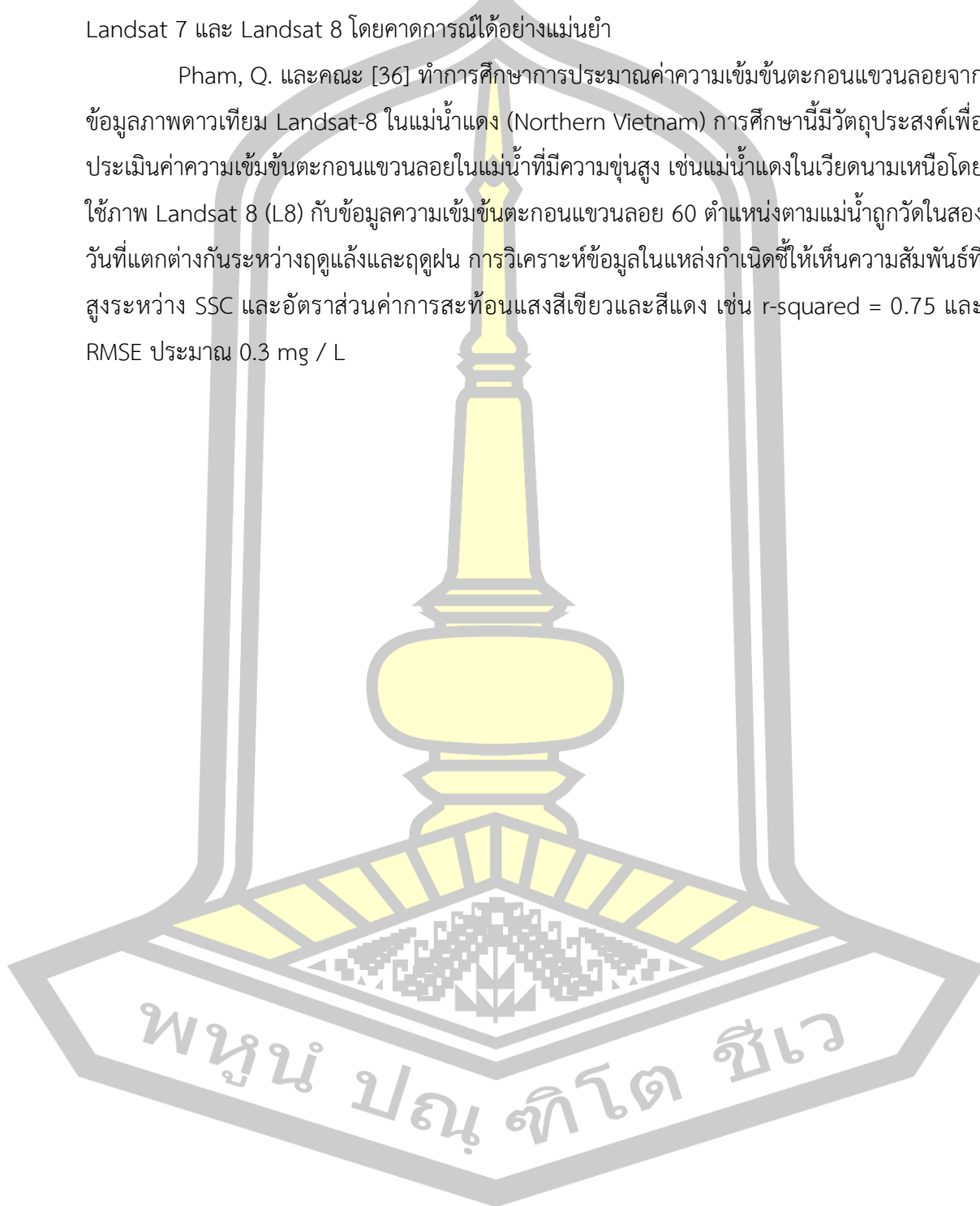
Wang, J.-J. และ X. Lu, [33] ทำการศึกษาการประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของดาวเทียมTerra MODIS ในแม่น้ำแยงซี ประเทศจีน ซึ่งเป็นแม่น้ำที่มีความขุ่นสูง พบว่า ความแตกต่างของการสะท้อนน้ำระหว่างแบนด์ 2 และแบนด์ 5 สามารถให้การประเมิน SSC ที่ค่อนข้างแม่นยำและทำการตรวจสอบความถูกต้องโดยการทำ cross-validation และทำการประเมินประสิทธิภาพด้วย Mean absolute relative error (ARE) และ relative root mean square error (RRMSE) (ได้เท่ากับ 25.5% และ 36.5% ตามลำดับ) ความสัมพันธ์นี้ประสบความสำเร็จในการนำไปใช้กับการประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำแยงซีล่งตอนล่างถึงแม้ว่าค่า SSC จะถูกประเมินต่ำกว่าปกติ การศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า Terra MODIS สามารถนำมาใช้ในการประมาณค่า SSC ในแม่น้ำขนาดใหญ่ที่ขุ่นได้

Yepez, S. และคณะ [34] ทำการศึกษาการประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยโดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 OLI ในแม่น้ำ Orinoco (Venezuela) ในการศึกษาที่ใช้ Landsat-8 ที่ได้จากปี 2013-2015 เพื่อประเมินความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (SSC) ในแม่น้ำโอริโนโคเวเนซุเอลา โดยใช้แบบจำลองการแก้ไขบรรยากาศสามแบบ ประกอบด้วย DOS, FLAASH และ L8SR เพื่อประเมินและแก้ไข ข้อมูลดาวเทียม Landsat-8 ทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อปรับเทียบโมเดลการประมาณค่าข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอยโดยใช้ Bootstrapping Resampling และ Regression Model ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ $R^2 = 0.92$ ($N = 27$) สำหรับช่วงข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอย (18 - 203 mg/L)

Peterson, K. และคณะ [35] ทำการศึกษาการประมาณค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ของรัฐมิสซูรีตอนล่างและแม่น้ำมิสซิสซิปปีตอนกลางโดยใช้วิธี Extreme Learning Machine ตั้งแต่ปี 1982 ถึงปัจจุบัน โดยประมาณค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากข้อมูลการสะท้อนแสง โดยใช้วิธี a feed-forward neural network (FFNN), a

cascade forward neural network (CFNN) และ an extreme learning machine (ELM) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ใช้ ELM สร้าง $R^2 > 0.9$ สำหรับข้อมูลดาวเทียม Landsat 4-5, Landsat 7 และ Landsat 8 โดยคาดการณ์ได้อย่างแม่นยำ

Pham, Q. และคณะ [36] ทำการศึกษาการประมาณค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-8 ในแม่น้ำแดง (Northern Vietnam) การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำที่มีความขุ่นสูง เช่นแม่น้ำแดงในเวียดนามเหนือโดยใช้ภาพ Landsat 8 (L8) กับข้อมูลความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย 60 ตำแหน่งตามแม่น้ำภูวัดในสองวันที่แตกต่างกันระหว่างฤดูแล้งและฤดูฝน การวิเคราะห์ข้อมูลในแหล่งกำเนิดชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ที่สูงระหว่าง SSC และอัตราส่วนค่าการสะท้อนแสงสีเขียวและสีแดง เช่น $r\text{-squared} = 0.75$ และ RMSE ประมาณ 0.3 mg / L

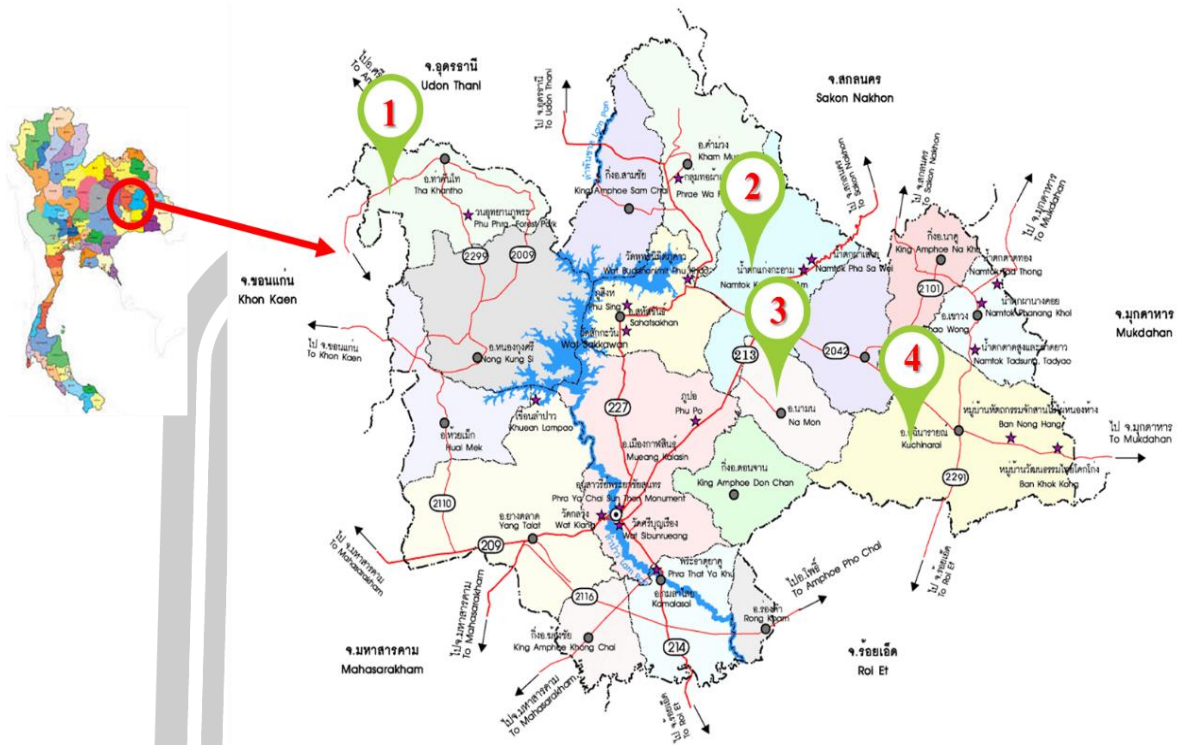


บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย และอยู่ในตอนกลางของภาค มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 140–150 เมตร ทิศเหนือ ติดต่อจังหวัดสกลนครและจังหวัดอุดรธานี โดยมีลำน้ำป่าวและห้วยลำพันชาดเป็นแนวกันแบ่งเขต ทิศใต้ ติดต่อจังหวัดร้อยเอ็ดและจังหวัดมหาสารคาม ทิศตะวันออก ติดต่อจังหวัดสกลนคร และจังหวัดมุกดาหาร โดยมีสันปันน้ำของเทือกเขาภูพานเป็นแนวแบ่งเขต ทิศตะวันตก ติดต่อจังหวัดมหาสารคาม โดยมีลำน้ำชีเป็นเส้นแบ่งเขต และบางส่วนติดกับจังหวัดขอนแก่น ภูมิประเทศเป็นป่าไม้ เทือกเขาและเนินเขา มีพื้นที่ราบที่ใช้ทางการเกษตรไม่มากนัก สภาพดินมีศักยภาพทางการเกษตรปานกลางประกอบด้วย ดินไร่ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ด้านทิศเหนือและทิศตะวันออกของจังหวัด ดินนาส่วนใหญ่อยู่ทางตอนล่างของจังหวัด และดินไร่คละดินนา กระจายทั่วไป มีดินที่มีปัญหาคือ ดินเค็มประมาณร้อยละ 10 ของพื้นที่ของจังหวัด และดินทรายซึ่งอยู่กระจัดกระจายบริเวณซีกตะวันออกของจังหวัด พื้นที่ถือครองทางการเกษตรมีประมาณ 2.3 ล้านไร่ ร้อยละ 65.2 เป็นที่นาร้อยละ 30.4 เป็นที่ไร่ ที่เหลือเป็นไม้ยืนต้นและพืชอื่น ภูมิอากาศโดยทั่วไป มีอากาศร้อนจัดในฤดูร้อน และอากาศหนาวในฤดูหนาว ในปี 2553 มีฝนตก 116 วัน โดยฝนเริ่มตกประมาณกลางเดือนเมษายน ถึง ปลายเดือนกันยายน ปริมาณน้ำฝน 1297.8 มิลลิเมตร อุณหภูมิสูงสุด 42.3 องศาเซลเซียส ในเดือนพฤษภาคม และต่ำสุดในเดือนมกราคม ซึ่งมีอุณหภูมิ 14.3 องศาเซลเซียส ในการประมาณค่าปริมาตรตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำลำป่าวโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ใน เขตพื้นที่ของจังหวัดอุดรธานีและจังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งเป็นจังหวัดหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยใช้สถานีตรวจวัดระดับน้ำของกรมชลประทานในการเก็บข้อมูลน้ำภาคสนาม ในการเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 4 จุด ดังแสดงในภาพที่ 6 และตารางแสดงการเก็บข้อมูลที่ 2

พูน ปณ ทัโต ชเว

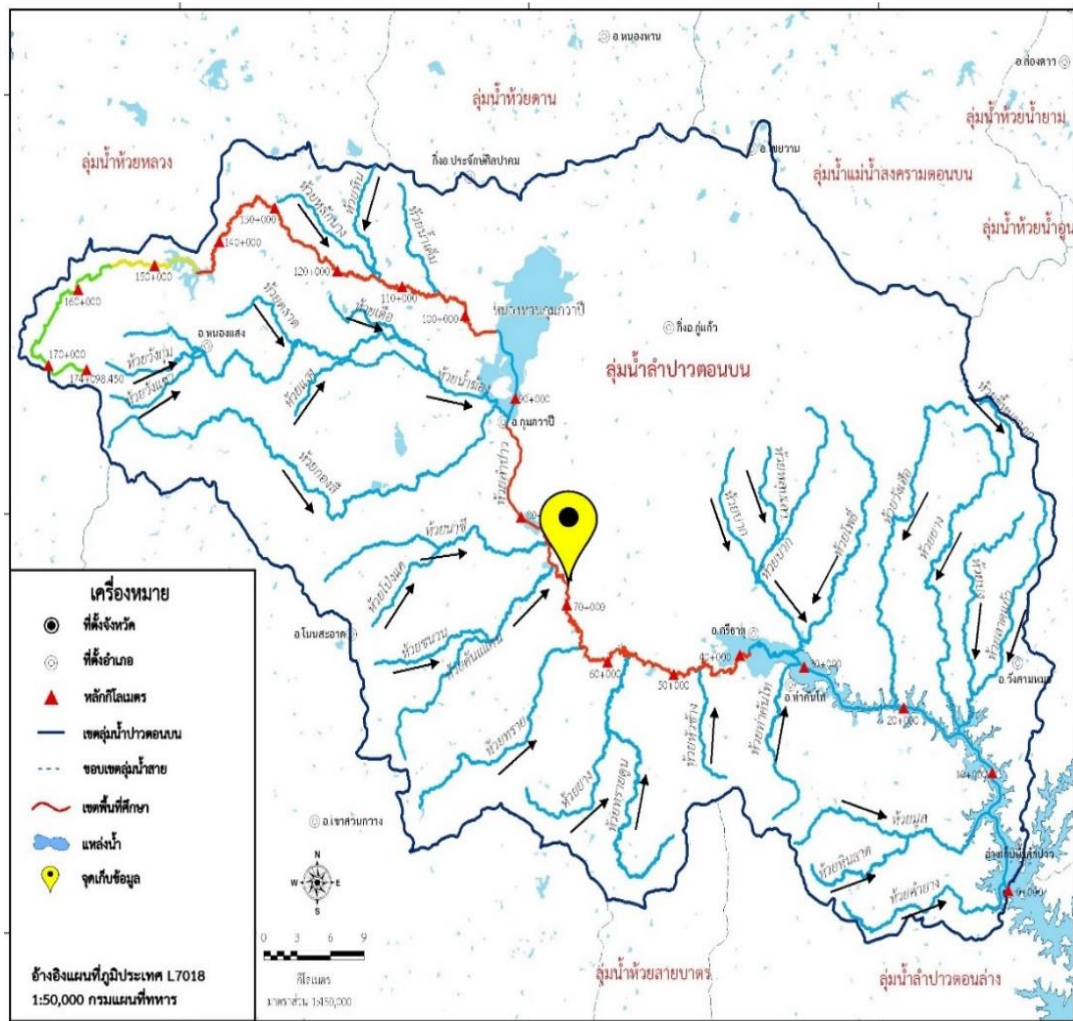


ภาพที่ 7 แสดงจุดเก็บข้อมูลตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 2 แสดงจุดเก็บข้อมูลตะกอนแขวนลอยในพื้นที่ศึกษา

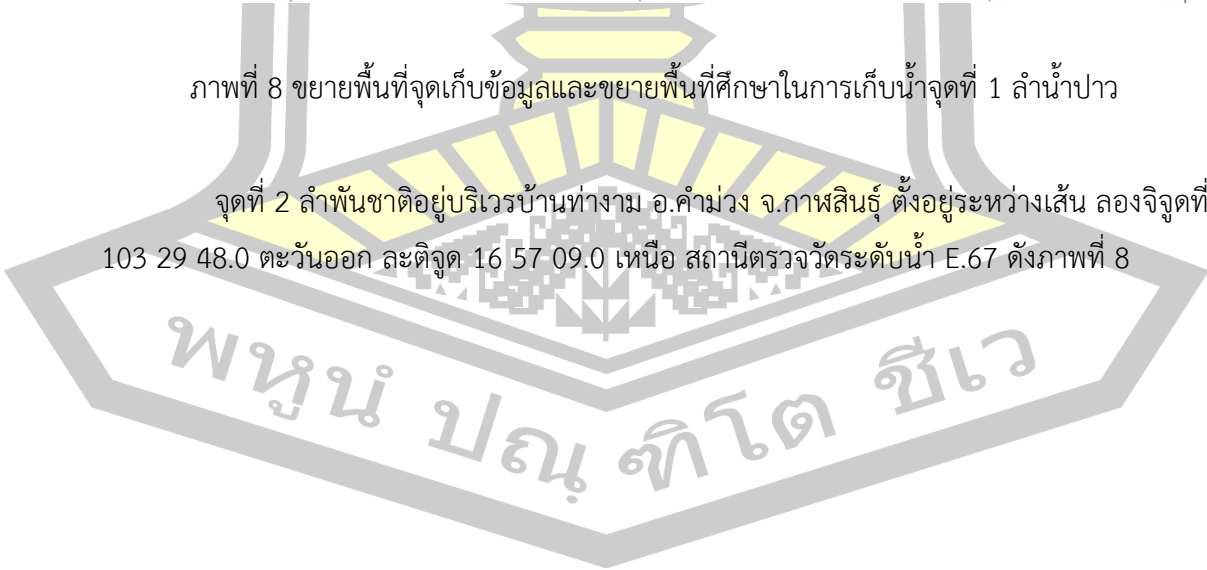
Station	River	Location	Longitude	Latitude
E.65	ลำปาว	บ้านท่าไฮ อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี	E103 10 04.1	N16 57 06.0
E.67	ลำพันชาด	บ้านท่างาม อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์	E103 29 48.0	N16 57 09.0
E.76A	ห้วยสังกะ	บ้านโพน อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์	E103 35 41.4	N16 51 38.4
E.90	ห้วยสังเคียบ	บ้านหนองยางเหนือ อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์	E103 38 54.0	N16 46 20.0

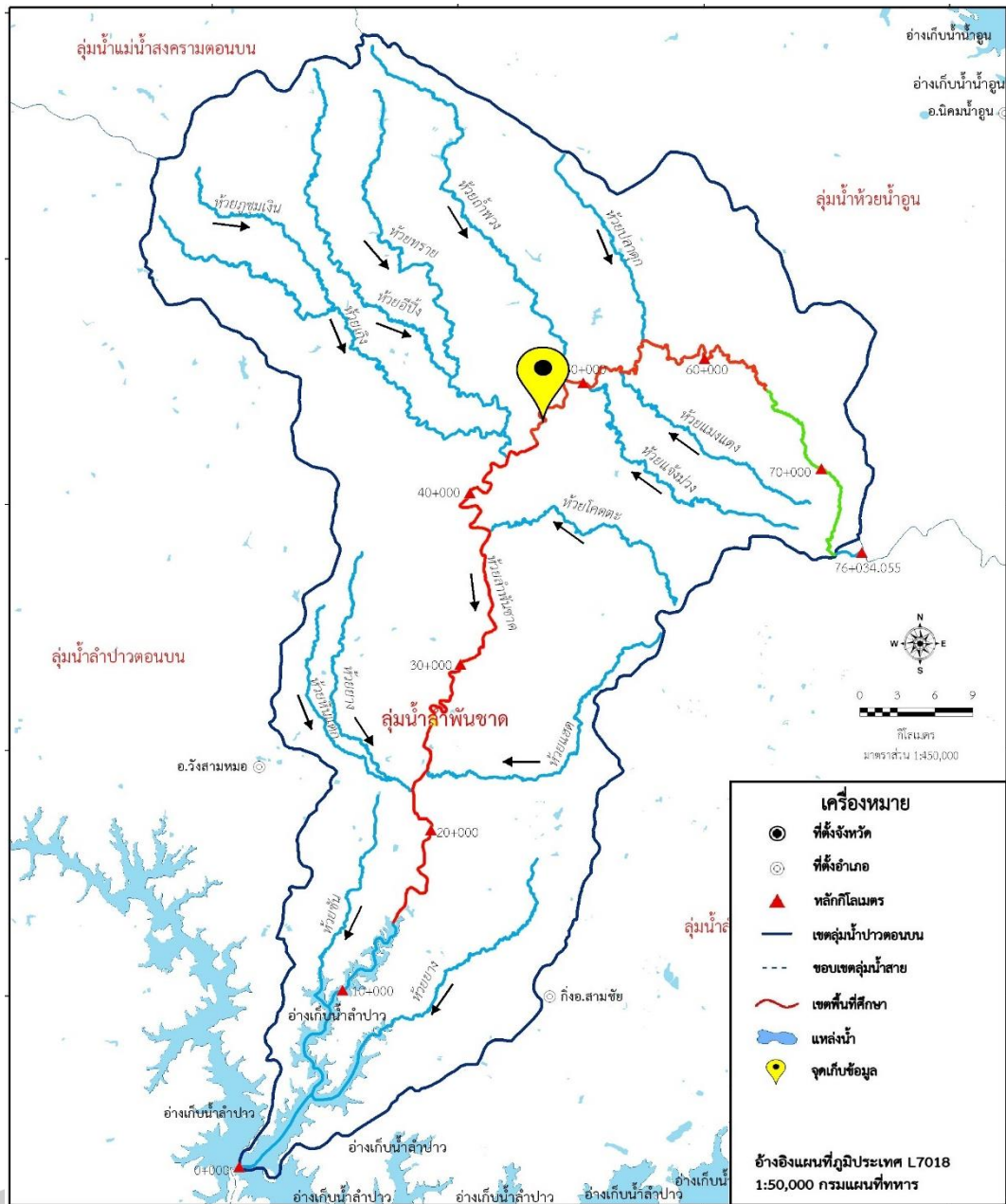
ตำแหน่งเก็บน้ำสถานีตรวจวัดระดับน้ำ E.65 : แม่น้ำปาว ในการเก็บน้ำจุดที่ 1 ลำน้ำปาว อยู่บริเวณบ้านท่าไฮ อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานีตั้งอยู่ระหว่างเส้น ลองจิจูดที่ 103 10 04.1 ตะวันออก ละติจูด 16 57 06.0 เหนือ เป็นลำน้ำสาขาหนึ่งของลำน้ำชี มีต้นน้ำอยู่ที่ อ.หนองหาร อ.กุมภวาปี ได้ ไหลผ่าน อ.ศรีธาตุ และ อ.วังสามหมอ จังหวัดอุดรธานี จากนั้นไหลลงมาเข้าเขตจังหวัดกาฬสินธุ์ อ.ท่าคันโท อ.หนองกุงศรี อ.ห้วยเม็ก อ.สหัสขันธ์ อำเภอสามชัย อ.คำม่วง อ.เมือง อำเภอน้ำขุ่น แล้ว ไหลลงลำน้ำชีที่ อ.กมลาไสย รวมความยาว 250 กิโลเมตร ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 8 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 1 ลำน้ำปาว

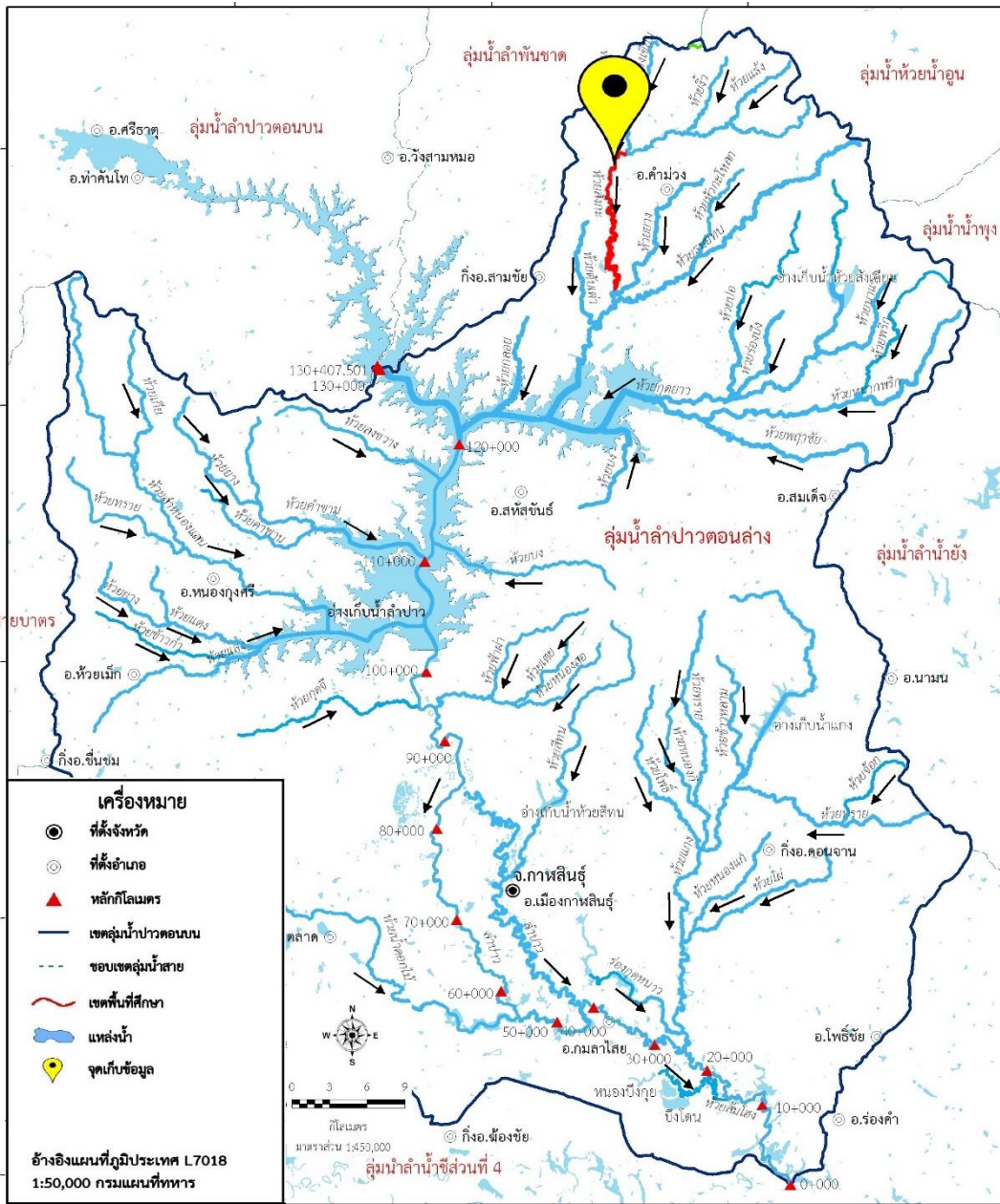
จุดที่ 2 ลำพันชาติอยู่บริเวณบ้านท่างาม อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ ตั้งอยู่ระหว่างเส้น ลองจิจูดที่ 103 29 48.0 ตะวันออก ละติจูด 16 57 09.0 เหนือ สถานีตรวจวัดระดับน้ำ E.67 ดังภาพที่ 8



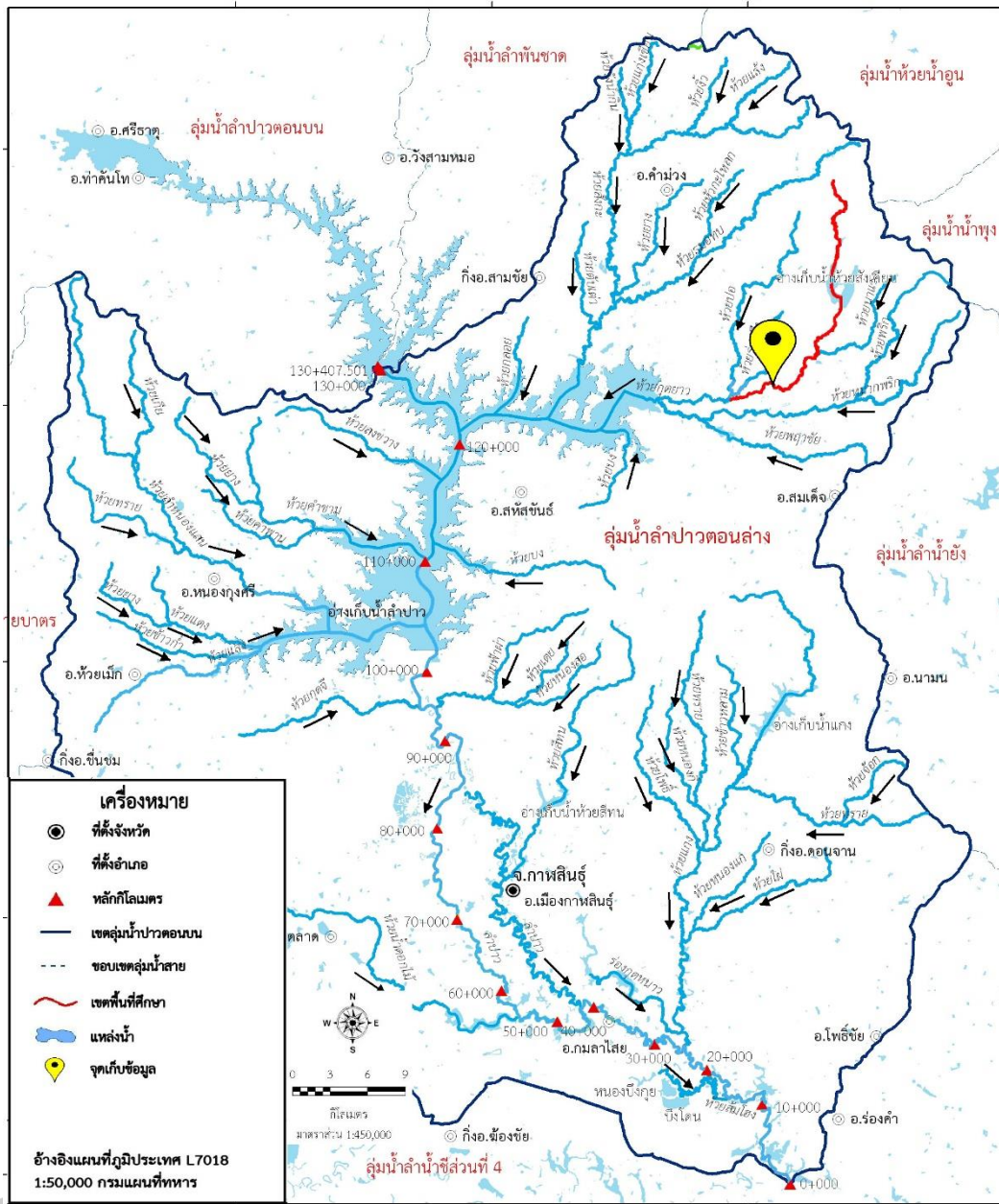


ภาพที่ 9 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 2 ลำพันชาด

จุดที่ 3 ห้วยสังกะ อยู่บริเวณบ้านโพน อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ ตั้งอยู่ระหว่างเส้น ลองจิจูดที่ 103 29 48.0 ตะวันออก ละติจูด 16 57 09.0 เหนือ สถานีตรวจวัดระดับน้ำ E.76A ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 10 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 3 ห้วยสังกะ
จุดที่ 4 ห้วยสังเคียบอยู่บริเวณบ้านหนองยางเหนือ อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ ตั้งอยู่ระหว่างเส้น
ลองจิจูดที่ 103 29 48.0 ตะวันออก ละติจูด 16 57 09.0 เหนือ สถานีตรวจวัดระดับน้ำ E.90 ดังภาพ
ที่ 10



ภาพที่ 11 ขยายพื้นที่จุดเก็บข้อมูลและขยายพื้นที่ศึกษาในการเก็บน้ำจุดที่ 4 ห้วยสังเคียบ

3.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

3.2.1. ซอฟต์แวร์

1. QGIS 3.14
2. ENVI 4.8
3. ESA-SNAP

4. RapidMiner Studio

5. ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงระหว่างเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน

2561

3.2.2. ฮาร์ดแวร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดพกพาสำหรับประมวลผลโดยใช้ระบบปฏิบัติการ Windows

8.1 Ram 4 GB การ์ดจอ Geforce 920 M

3.2.3. ห้องปฏิบัติการ

1. กระดาษกรอง (Filter Paper) GF/C เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร
2. โถดูดความชื้น (Desiccator)
3. เครื่องดูดสูญญากาศ (Vacuum Pump)
4. เครื่องช่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner Funnel) เส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร
6. เตาอบ (Hot Air Oven)
7. อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)
8. บีกเกอร์ (Beaker) 100 มิลลิลิตร
9. กระบอกตวง (Cylinder) 100 มิลลิลิตร
10. ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) 1000 มิลลิลิตร
11. ปากคีบ (Forceps)
12. ขวดฉีดน้ำกลั่น (Wash Bottle)
13. ถุงมือกันความร้อน (Heat Resistant Gloves)

3.3 การเก็บข้อมูลสนาม

ประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ (Field measurements)

3.3.1 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงเมษายน 2562 จำนวน 6 ภาพดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 3 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล

No.	Satellite image data
1	6 ตุลาคม 2018
2	5 พฤศจิกายน 2018
3	19 เมษายน 2019
4	21 กันยายน 2018
5	26 ตุลาคม 2018
6	31 ตุลาคม 2018

3.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนแขวนลอย (SSC)

เพื่อให้ได้ตัวอย่างของตัวแทนของตะกอนแขวนลอยที่ไหลในลำน้ำ มีหลักเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอยดังนี้

1. ให้น้ำไหลเข้าเครื่องมือตัวอย่างด้วยความเร็วเดียวกันกับความเร็วของกระแสน้ำโดยรอบ
2. เลือกตำแหน่งเก็บตัวอย่างน้ำ ในลำน้ำที่ค่อนข้างตรง และมีความลึกเพียงพอที่จะทำการเก็บตัวอย่าง หลีกเลี่ยงบริเวณที่ท้องน้ำไม่สม่ำเสมอหรือคดเคี้ยว และให้ห่างไปจากท้ายบริเวณที่ลำน้ำสาขาไหลมาบรรจบเพื่อให้ตะกอนผสมเข้ากันได้ดี
3. การบรรจุตัวอย่างควรให้เต็มถึงระยะประมาณ 5 ซม. จากปากขวด (ที่คอขวด) หากบรรจุจนล้นหรือบรรจุได้น้อยเกินไปควรเก็บตัวอย่างใหม่
4. อย่าให้เครื่องมือเก็บตัวอย่างกระทบก้นน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในลำน้ำที่ท้องน้ำเป็นทรายหรืออ่อนนุ่ม อาจกระทบกระเทือนตะกอนท้องน้ำจนทำให้ค่าตะกอนแขวนลอยผิดพลาดได้
5. ลดการรบกวนต่อการไหลของน้ำให้น้อยที่สุด
6. บันทึกข้อมูลการเก็บข้อมูลตัวอย่างน้ำในช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึง เมษายน 2562 ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ข้อมูลภาคสนามในช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงเมษายน 2562

ลำดับ	สถานีตรวจวัดระดับน้ำ	ลองติจูด	ละติจูด	วันที่เก็บข้อมูลน้ำ
1	E.65 : ลำปาว บ้านท่าไฮ อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี	E103 10 04.1	N16 57 06.0	24,27 กันยายน 2561 1,4,8,22,25,29ตุลาคม 2561 1,5,8 พฤศจิกายน 2561 19 เมษายน 2562
2	E.67 : ลำพันขาด บ้านท่างาม อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์	E103 29 48.0	N16 57 09.0	24,27 กันยายน 2561 25,29 ตุลาคม 2561 1,4,5,8 พฤศจิกายน 2561
3	E.76A : ห้วยสังกะ บ้านโพน อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์	E103 35 41.4	N16 51 38.4	20,24 กันยายน 2561 1,4,8,22,25,29ตุลาคม 2561 25 พฤศจิกายน 2561
4	E.90 : ห้วยสังเคียบ บ้านหนองยางเหนือ อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์	E103 38 54.0	N16 46 20.0	20,24 กันยายน 2561

3.4 การวิเคราะห์ในห้องทดลอง

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างตะกอนแขวนลอยในห้องทดลองโดยการหาความเข้มข้นโดยน้ำหนักของตะกอนแขวนลอยกับน้ำหนักของส่วนผสมน้ำ-ตะกอน ซึ่งความเข้มข้นของตัวอย่างตะกอนหาโดยวิธีการกรอง (filtration) ดังนี้

1. อบกระดาษกรองให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) แล้วชั่งน้ำหนัก (B) เก็บกระดาษกรองไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) จนกว่าจะใช้ทดลอง
2. วางกระดาษกรองลงในกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner Funnel) ซึ่งต่อเข้ากับเครื่องดูดสุญญากาศ
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดกระดาษกรองให้เปียกแล้วเปิดเครื่องดูดอากาศ เพื่อให้กระดาษกรองแนบติดกับกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner Funnel)

4. ตวงปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ผสมเข้ากันดีแล้ว 50 มิลลิลิตร แล้วเทน้ำตัวอย่างลงใน กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner Funnel) และ เปิดเครื่องดูดสุญญากาศจนน้ำแห้ง แล้วล้างเครื่อง กรองด้วยน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร เปิดเครื่องทิ้งไว้ 3 นาที

5. เมื่อแห้งแล้วนำกระดาษกรองออกวางในภาชนะเดิม (อาจใช้ถ้วยระเหยหรือกระดาษ อลูมิเนียมก็ได้) แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 –105 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น (Desiccator) และชั่งน้ำหนัก (A)

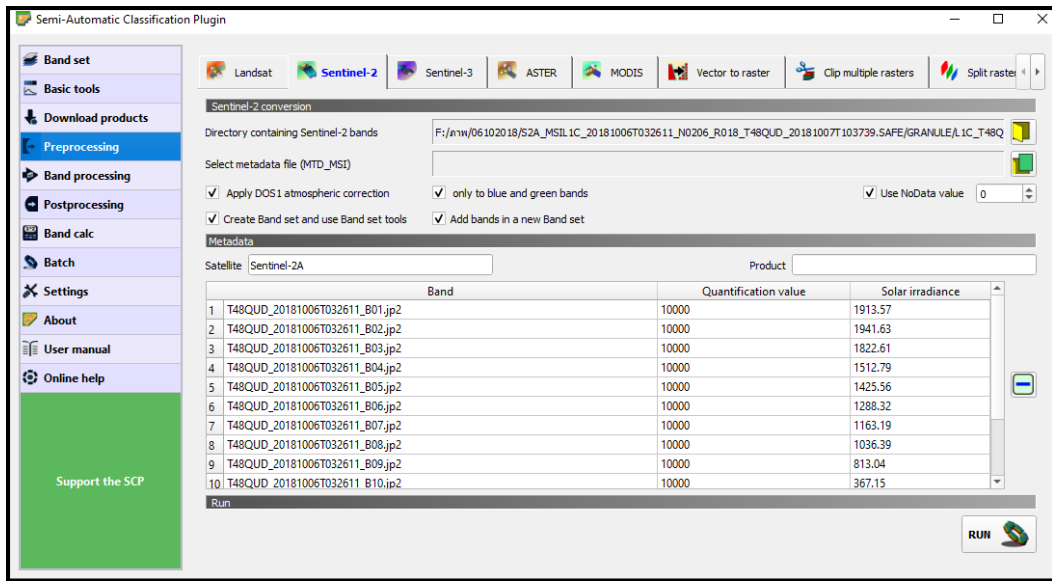
$$\text{การคำนวณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (มก./ล.)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{volume(ml)}}$$

เมื่อ A = น้ำหนักของกระดาษกรองและของแข็งแขวนลอย (กรัม)

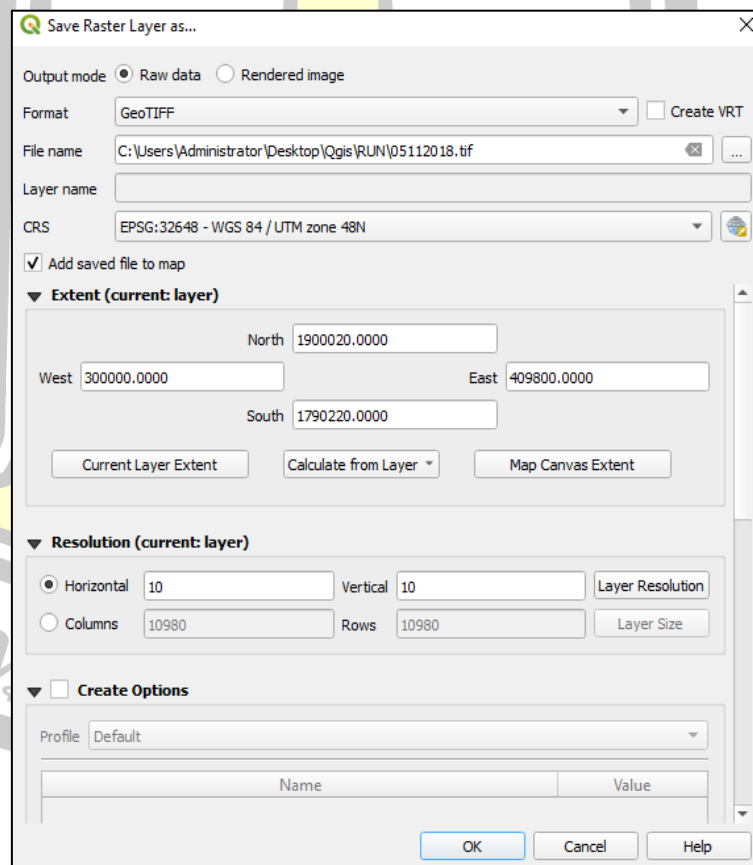
B = น้ำหนักของกระดาษกรอง (กรัม)

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 บันทึกในช่วงระหว่างเดือน กันยายน 2561 ถึง เมษายน 2562 โดยข้อมูลดาวเทียมทั้งหมดมี Spatial Resolution 10x10 m. และ Spatial Resolution 20x20 m. มีการปรับแก้เชิงรังสีแล้ว ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทาง เรขาคณิตของภาพ (Geometrically Corrected) ด้วยวิธี Image to Map ให้มีค่าพิกัดในระบบ อ้างอิง UTM Zone 48p WGS 1984 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) โดยทำการเลือกตำแหน่งจาก Google Earth ก่อนทำการเก็บพิกัดจริงในสนาม โดยเลือกให้จุด ควบคุมภาคพื้นดินกระจายทั้งภาพ เช่น ทางแยก ถนนสะพาน และสถานที่สำคัญอื่น ๆ ที่ระบุได้อย่าง ชัดเจน ในตำแหน่งที่ชัดเจนจาก Google Earth) และปรับแก้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นอันเนื่องมาจาก ชั้นบรรยากาศ ด้วยเทคนิค Semi-Automatic Classification Plugin (ภาพที่ 11) ให้ข้อมูลภาพถ่าย จากดาวเทียม Sentinel-2 อยู่ในรูปแบบของค่าพลังงานสะท้อนแสงจริง แล้วทำการ Resampling ข้อมูลโดยใช้โดยใช้โปรแกรม Qgis 3.47 (ภาพที่ 12) ข้อมูลการสะท้อนแสงจากข้อมูลภาพถ่าย ดาวเทียม Sentinel-2 โดยทำการศึกษา 4 กรณีสืบตามตารางที่ 4 มาใช้การวิเคราะห์ในแบบจำลอง โมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และ การจำแนกแบบป่าสุ่ม (Random forest : RF) ทำการประเมินประสิทธิภาพ ของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งข้อมูลสนามออกเป็น 2 ชุด คือ Training Data และ Testing Data แบบ Split Half และทำ Data Rotation 30 ครั้ง จากนั้นคำนวณค่า สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) และ ค่า RMSE ของแต่ละครั้ง และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังภาพที่ 13



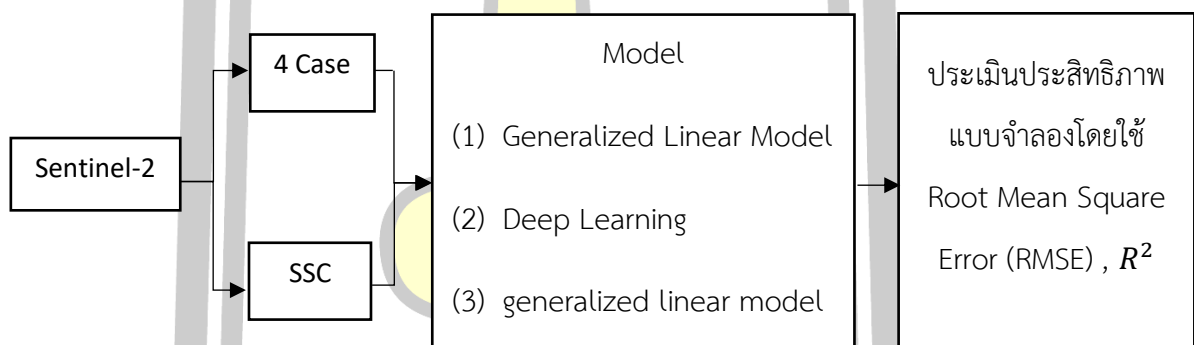
ภาพที่ 12 แสดงการปรับแก้ค่าการสะท้อนช่วงคลื่นอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศ ด้วยเทคนิค Semi-Automatic Classification Plugin ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2



ภาพที่ 13 แสดงการ Resampling Resolution ข้อมูลโดยใช้โดยใช้โปรแกรม Qgis 3.47 ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ที่ใช้ในงานวิจัย

No	Case	Spatial Resolution (m.)	Band	Remark
1	Case 1	10	B2 , B3 ,B4 , B8	
2	Case 2	20	B5 , B6 , B7, B8 , B8A , B11 , B12	
3	Case 3	10	B2 , B3 , B4 , B8 , B5 , B6 , B7, B8A , B11 , B12	Resampling Case 2 + Case 1
4	Case 4	20	B2 , B3 , B4 , B8 , B5 , B6 , B7, B8A , B11, B12	Resampling Case 3



ภาพที่ 14 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

พหุ ประ โท ชีวะ

3.7 แผนการศึกษา

ตารางที่ 6 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2561

แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2561																					
ลำดับ	กิจกรรม	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				ธันวาคม			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	ปรึกษาหัวข้อวิจัยกับ อาจารย์ที่ปรึกษา																				
2	เริ่มเก็บข้อมูลภาคสนาม																				
3	จัดทำ TS1 เพื่อขออนุมัติ ชื่อเรื่อง และแต่งตั้งอาจารย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์																				
4	จัดทำ บทที่ 1, 2, 3																				

ตารางที่ 7 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562

แผนการดำเนินงานศึกษา ปี 2562																					
ลำดับ	กิจกรรม	มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				พฤษภาคม			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
5	เก็บข้อมูลภาคสนาม																				
6	จัดทำ แบบขออนุมัติ สอบเค้าโครง วิทยานิพนธ์ TS2																				
7	สอบเค้าโครง วิทยานิพนธ์ (16 พฤษภาคม 2561)																				
8	แก้ไขวิทยานิพนธ์																				

ตารางที่ 8 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562

แผนการดำเนินงานศึกษา ปี2562																					
ลำดับ	กิจกรรม	มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				พฤษภาคม			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
9	ส่งรายงานผลการ สอบเค้าโครงและส่ง วิทยานิพนธ์ ฉบับ แก้ไข TS3																				
10	วิเคราะห์ผลการทำ ลอง																				

ตารางที่ 9 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562

แผนการดำเนินงานศึกษา ปี2562																					
ลำดับ	กิจกรรม	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
11	จัดทำ บทที่ 4, 5																				
12	ส่งแบบขออนุมัติ สอบวิทยานิพนธ์ TS4																				
13	สอบวิทยานิพนธ์ (5 ตุลาคม 2562)																				
14	แก้ไขวิทยานิพนธ์																				

ตารางที่ 10 แผนการดำเนินงานศึกษาปี 2562

แผนการดำเนินงานศึกษา ปี2562																					
ลำดับ	กิจกรรม	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์				มีนาคม			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
15	ส่งรายงานผลการ สอบ และส่ง วิทยานิพนธ์ ฉบับ แก้ไข TS5																				
16	ส่งบทความวิจัย วิทยานิพนธ์ TS6																				
17	ส่งรายงาน ความก้าวหน้าการ ทำวิทยานิพนธ์																				

3.8 งบประมาณ

ตารางที่ 11 ตารางแสดงงบประมาณในงานวิทยานิพนธ์

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	รวม (บาท)
1	ค่าจ้างเรือเก็บตัวอย่างตะกอน	1	เหมา	500	500
2	ขวดเก็บตัวอย่าง	80	ขวด	80	6400
3	อุปกรณ์เก็บตัวอย่าง	1	ชุด	500	500
4	กระดาษกรอง	2	ชุด	100	200
5	ค่ากระดาษ	1	เหมา	400	400
6	ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด	1	เหมา	2000	2000
7	ค่าเดินทางและที่พักในการ เก็บข้อมูลภาคสนาม	1	เหมา	5000	5000
	รวม				15000

บทที่ 4 ผลการศึกษา

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-2 บันทึกในช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงเมษายน 2562 โดยข้อมูลดาวเทียมทั้งหมดมี Spatial Resolution 10x10 m. และ Spatial Resolution 20x20 m. มีการปรับแก้เชิงรังสีแล้ว ทำการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิตของภาพ (Geometrically Corrected) ด้วยวิธี Image to Map ให้มีค่าพิกัดในระบบอ้างอิง UTM Zone 48p WGS 1984 ใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCPs) โดยทำการเลือกตำแหน่งจาก Google Earth ก่อนทำการเก็บพิกัดจริงในสนาม โดยเลือกให้จุดควบคุมภาคพื้นดินกระจายทั้งภาพ จากการสำรวจภาคสนามและการเก็บตัวอย่างน้ำนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SCC) เพื่อหาค่าตะกอนแขวนลอยจากห้องปฏิบัติการจากพื้นที่ศึกษาที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) และ แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ Root Mean Square Error (RMSE) ร่วมกับข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย ที่ได้จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงระหว่างเดือนกันยายน 2561 ถึงเมษายน 2562 มาวิเคราะห์ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ตรงกันกับค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาและทำการแปลงข้อมูลภาพที่ได้ให้เป็นข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่เหมาะสมโดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 ชุด เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (Suspended Sediment Concentration, SSC) ในลำน้ำจากภาคสนาม ทำการประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลอง โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มข้อมูลที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (Calibration Data Sets) จำนวน 60% และกลุ่มข้อมูลในการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) จำนวน 40% แปลงตัวอย่าง มีจำนวน 14 ข้อมูล ค่าเฉลี่ย 2.02 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 1.27 โดยแต่ละแบบจำลองจะถูกคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination, R^2) และทำการประเมินความน่าเชื่อถือ ทางสถิติของแบบจำลอง โดยใช้ค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ของแต่ละครั้ง และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ดังตารางที่ 17 ตารางที่ 18 แสดงในภาพกราฟผลของการทดสอบแบบจำลองที่ 18 และภาพที่ 19 ตามลำดับ

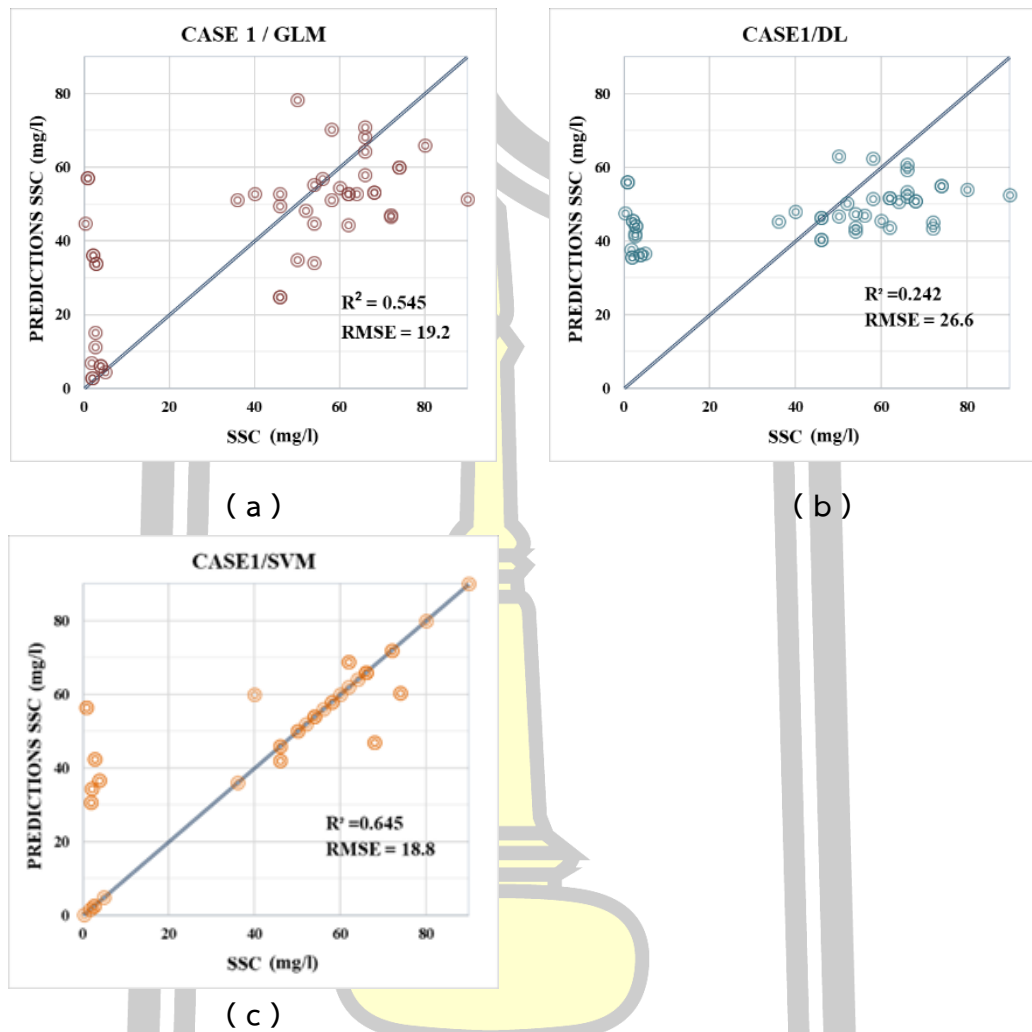
4.1 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 1 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำป่าว โดยทำการศึกษาข้อมูล 4 กรณีที่รายละเอียดจุดภาพ 10 m. และ 20 m. จากชุดข้อมูลแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และ แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ในกรณีที่ 1 รายละเอียดจุดภาพ 10 m. ประกอบด้วย Band B2 , B3 , B4 , B8 และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.01 และ 0.05

ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SCC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.242 - 0.646 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 18.8 - 26.6 การวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และ แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ดังแสดงในตารางที่ 12 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 14 ตามลำดับ

ตารางที่ 12 ผล RMSE และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 1 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.

Model	Case 1	
	R^2	RMSE
Generalized Linear Model	0.545	19.2
Deep Learning Model	0.242	26.6
Support Vector Machine	0.646	18.8



ภาพที่ 15 แสดง Scattering plots ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 1 รายละเอียดจุดภาพ 10 m. ด้วย (a) แบบจำลอง Generalized Linear Model (b) แบบจำลอง Deep Learning (c) แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM

4.2 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.

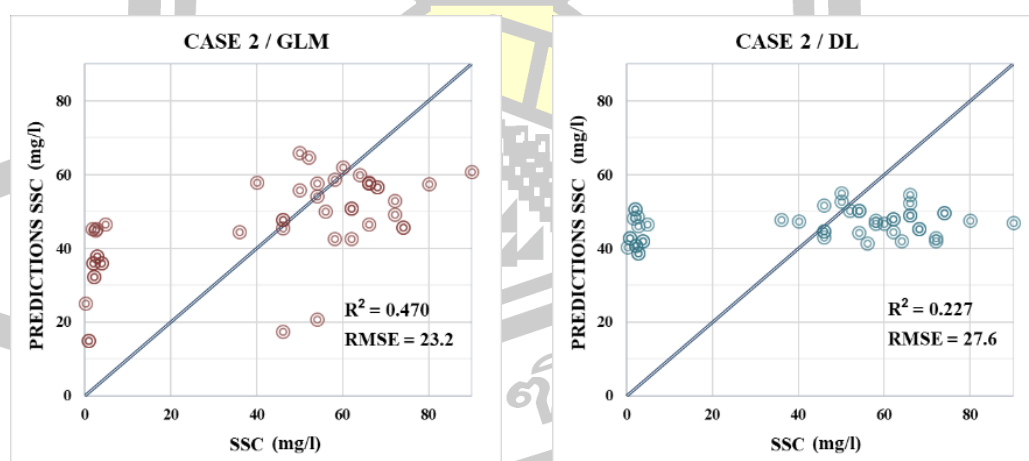
ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำป่าว โดยทำการศึกษาข้อมูล 4 กรณีที่รายละเอียดจุดภาพ 10 m. และ 20 m. จากชุดข้อมูลแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และ แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ในกรณีที่ 3 นำกรณีที่ 2

Sampling รายละเอียดจุดภาพจาก 20 m. เป็นรายละเอียดจุดภาพ 10 m. ประกอบด้วย B5 , B6 , B7, B8A , B11 , 12 และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.01 และ 0.05

ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SSC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.227 - 0.573 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 20.3 - 27.6 การวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และ แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ดังแสดงในตารางที่ 13 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 15

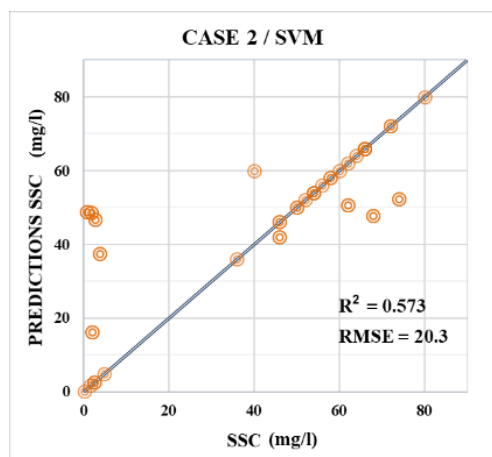
ตารางที่ 13 ผล RMSE1 และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.

Model	Case 2	
	R^2	RMSE
Generalized Linear Model	0.470	23.2
Deep Learning Model	0.227	27.6
Support Vector Machine	0.573	20.3



(a)

(b)



(c)

ภาพที่ 16 แสดง Scattering plots ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ 10 m. ด้วย (a) แบบจำลอง Generalized Linear Model (b) แบบจำลอง Deep Learning (c) แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM

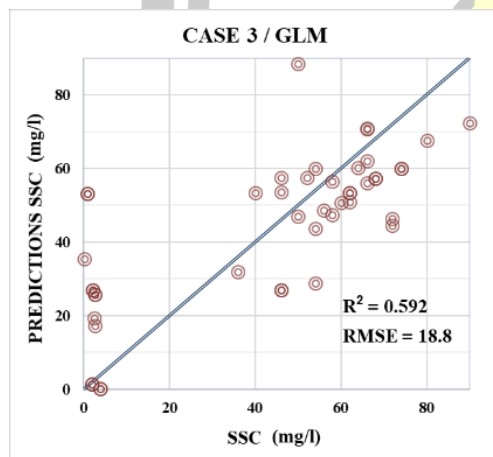
4.3 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 3 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำป่าว โดยทำการศึกษาข้อมูล 4 กรณีที่รายละเอียดจุดภาพ 10 m. และ 20 m. จากชุดข้อมูลแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และแบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ในกรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ 10 m. ประกอบด้วย Band B2 , B3 , B4 , B8 , B5 , B6 , B7, B8A , B11 , 12 และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.01 และ 0.05

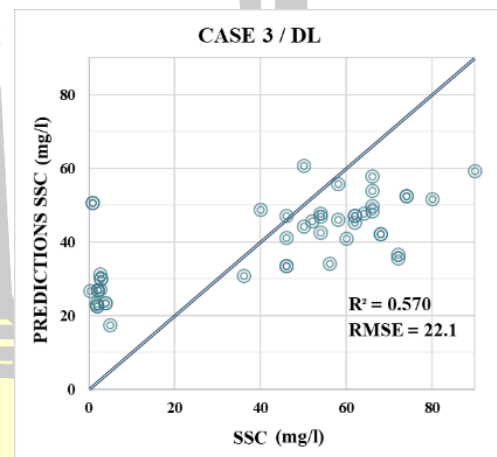
ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SSC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.570 - 0.863 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 11.9 - 22.1 การวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และแบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ดังแสดงในตารางที่ 15 และและภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 16 ตามลำดับ

ตารางที่ 14 ผล RMSE และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 3 รายละเอียดจุดภาพ 10 m.

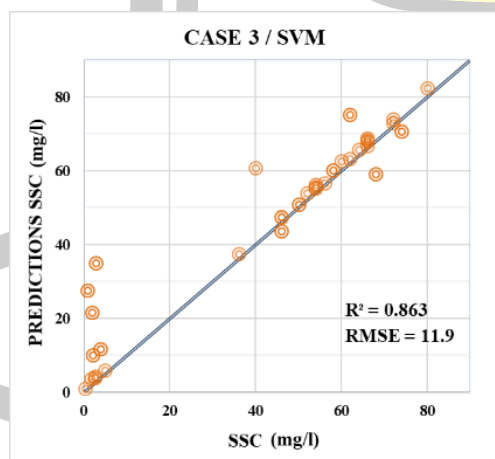
Model	Case 3	
	R^2	RMSE
Generalized Linear Model	0.592	18.8
Deep Learning Model	0.570	22.1
Support Vector Machine	0.863	11.9



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 17 แสดง Scattering plots ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 2 รายละเอียดจุดภาพ 10 m. ด้วย (a) แบบจำลอง Generalized Linear Model (b) แบบจำลอง Deep Learning (c) แบบจำลอง Random Forest

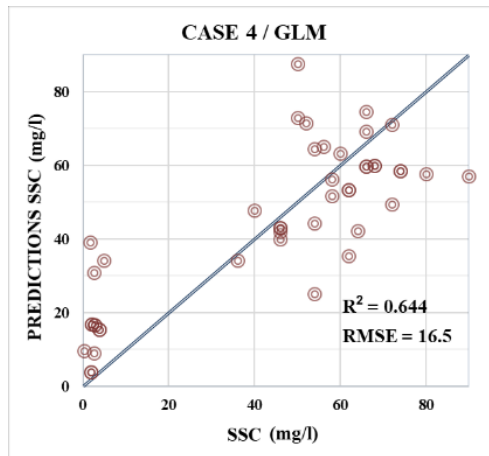
4.4 ผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 4 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.

ผลการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับประเมินประสิทธิภาพของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำป่าว โดยทำการศึกษาข้อมูล 4 กรณีที่รายละเอียดจุดภาพ 10 m. และ 20 m. จากชุดข้อมูลแบบจำลองด้วยการวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และแบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ในกรณีที่ 4 นำกรณีที่ 3 resampling เป็นรายละเอียดจุดภาพ 20 m. ประกอบด้วย Band B2 , B3 , B4 , B8 , B5 , B6 , B7, B8A , B11 , 12 และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติในระดับนัยสำคัญที่ 0.01 และ 0.05

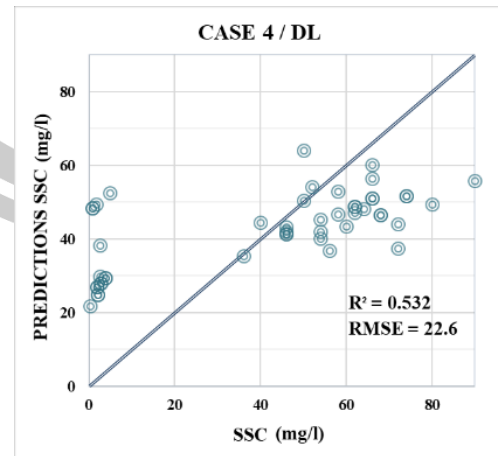
ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SCC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.532 - 0.782 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 12.3 - 22.6 การวิเคราะห์แบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) การวิเคราะห์การถดถอยแบบง่าย Deep Learning และแบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ดังแสดงในตารางที่ 16 และภาพแสดง Scattering plots ภาพที่ 17 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ผล RMSE และ R-squared ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 4 รายละเอียดจุดภาพ 20 m.

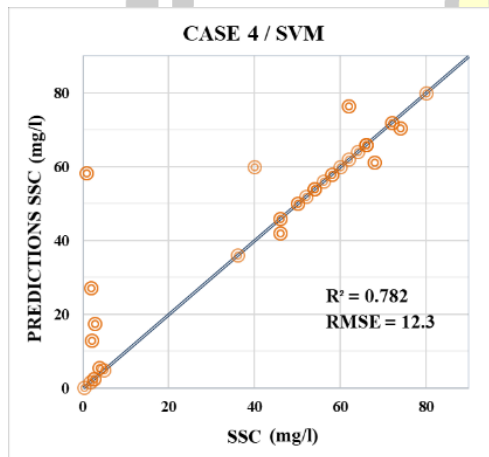
Model	Case 4	
	R^2	RMSE
Generalized Linear Model	0.644	16.5
Deep Learning Model	0.532	22.6
Support Vector Machine	0.782	12.3



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 18 แสดง Scattering plots ของผลการประมาณค่า SSC กรณีที่ 4 รายละเอียดจุดภาพ 10 m. ด้วย (a) แบบจำลอง Generalized Linear Model (b) แบบจำลอง Deep Learning (c) แบบจำลอง Support Vector Machine: SVM



บทที่ 5

อภิปรายผล สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

บทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผลการศึกษา สรุปผลการศึกษา ข้อจำกัดในการศึกษาและข้อเสนอแนะในการนำเสนอผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์ในอนาคต การศึกษานี้แยกทำการวิเคราะห์ข้อมูล 3 วิธี คือการทดสอบแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) วิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลอง Support Vector Machine: SVM ทำการประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองโดยใช้ Root Mean Square Error (RMSE) เพื่อทำการประมาณค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ ตามลำดับโดยจะแยกส่วนการอภิปรายและสรุปผลการศึกษา

5.1 อภิปรายผลการศึกษา

ผลการศึกษาการประมาณค่า SSC จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.570 – 0.863 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 11.9 – 22.1 (ตารางที่ 15) จากผลการทดลองแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) วิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลอง Support Vector Machine: SVM พบว่าการทดลองที่ได้จากการศึกษานี้สอดคล้องกับหลายงานวิจัย [21, 35, 37, 38] ที่สรุปว่าภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากภาพถ่ายไฮเปอร์สเปกตรัลที่มีจำนวนหลายช่วงคลื่น สามารถประมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ

[35] จากผลการทดลองพบว่าการศึกษานี้ประสบความสำเร็จเกี่ยวกับการประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ ซึ่งมีการใช้แบบจำลองจำนวน 3 แบบจำลองคือ จําลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) วิเคราะห์โครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep Learning) และแบบจำลอง Support Vector Machine: SVM จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ต่ำสุดเมื่อเทียบกับแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบอื่น ๆ ซึ่งสอดคล้องกับค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) ที่มีค่ามากกว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบอื่น ๆ เหมือนกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองโมเดลเชิงเส้นโดยนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM) มีความเหมาะสมน้อยกว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบอื่น ๆ ในการประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำ และได้ทำการศึกษาการในการประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยจากภาพถ่ายดาวเทียม

Landsat 4-5 Landsat 7 และ Landsat 8 ซึ่งสามารถอธิบายว่ารายงานการวิจัยไม่มีความแตกต่างกับดาวเทียม Sentinel -2

5.2 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประเมินประสิทธิภาพข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำป่าสักพบว่า

กรณี ที่ 1 ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SCC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.242 - 0.646 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 18.8 - 26.6 (ดูตารางที่ 12)

กรณี ที่ 2 ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SCC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.227 - 0.573 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 20.3 - 27.6 (ดูตารางที่ 13)

กรณี ที่ 3 ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SCC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.570 - 0.863 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 11.9 - 22.1 (ดูตารางที่ 14)

กรณี ที่ 4 ผลของการทดสอบแบบจำลอง (Evaluation Data Sets) เพื่อหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (suspended sediment concentration, SCC) ในลำน้ำจากภาคสนาม และทำการตรวจสอบความแตกต่างทางสถิติ ให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.532 - 0.782 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 12.3 - 22.6 (ดูตารางที่ 15)

จากผลการทดสอบทั้งหมดที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปได้ว่าวิธีการประมาณค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำลำป่าสักด้วยแบบจำลองวิเคราะห์แบบจำลอง Support Vector Machine:

SVM ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.570 - 0.863 และค่า RMSE มีค่าอยู่ระหว่าง 11.9 - 22.1 ให้ผลการประมาณค่าปริมาณตะกอนแขวนลอยได้ดีที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาประเมินประสิทธิภาพข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 เพื่อประมาณปริมาณตะกอนแขวนลอยในแม่น้ำปาว ผู้วิจัยเลือกพื้นที่ศึกษาอยู่ในลำน้ำปาวแบ่งการเก็บข้อมูลสนามออกเป็น 4 จุด จุดที่ 1 E.65 : ลำปาว บ้านท่าโฮ อ.ศรีธาตุ จ.อุดรธานี จุดที่ 2 E.67 : ลำพันชาด บ้านท่างาม อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ จุดที่ 3 E.76A : ห้วยสังกะ บ้านโพน อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ จุดที่ 4 E.90 : ห้วยสังเคียบ บ้านหนองยางเหนือ อ.คำม่วง จ.กาฬสินธุ์ การเก็บข้อมูลภาคสนามและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 ช่วงระหว่างเดือนกันยายนถึงเมษายน 2562 จำนวน 6 ภาพ เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะเวลาในการศึกษา ข้อมูลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และจำนวนข้อมูลสนามที่มีตรงกันมีจำนวนจำกัด ในช่วงฤดูฝนกระแสน้ำมีผล ทำให้การกระจายตัวของตะกอนจะมีค่ามากสำหรับผิวน้ำ ส่งผลที่ได้จากคลาดเคลื่อน จากความเป็นจริงไปมาก จึงควรมีการเก็บตัวอย่างตะกอนแขวนลอยก่อนไหลลงอ่างเก็บน้ำ เพื่อให้การประเมินปริมาณตะกอนแขวนลอย มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ผู้วิจัยเห็นว่าข้อมูลการใช้เทคโนโลยีการสำรวจจากระยะไกล เป็นการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความถูกต้องสูงกว่า เมื่อเทียบกับระบบเดิมที่ใช้การออกภาคสนามเก็บตัวอย่างน้ำ และนำน้ำเข้าหาปริมาณตะกอนแขวนลอย (SSC) ในห้องปฏิบัติการซึ่งทุกขั้นตอนต้องใช้เวลาหลายวัน ใช้แรงงาน เวลาและงบประมาณสูง โดยเฉพาะหากต้องการข้อมูลปริมาณตะกอนในอดีตก็ไม่สามารถเก็บข้อมูลย้อนหลังได้ อันจะเป็นประโยชน์ต่อนักวิชาการ นักวิทยาศาสตร์ และหน่วยงานที่มีหน้าที่บริหารจัดการทรัพยากรน้ำสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการศึกษาวิจัยการประมาณการสะสมตะกอนที่ส่งผลกระทบต่อปริมาณความจุของอ่างเก็บน้ำ เป็นงานวิจัยที่มีประโยชน์อย่างมาก เพื่อให้การบริหารจัดการน้ำอยู่บน พื้นฐานข้อมูลที่ถูกต้องได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม



บรรณานุกรม

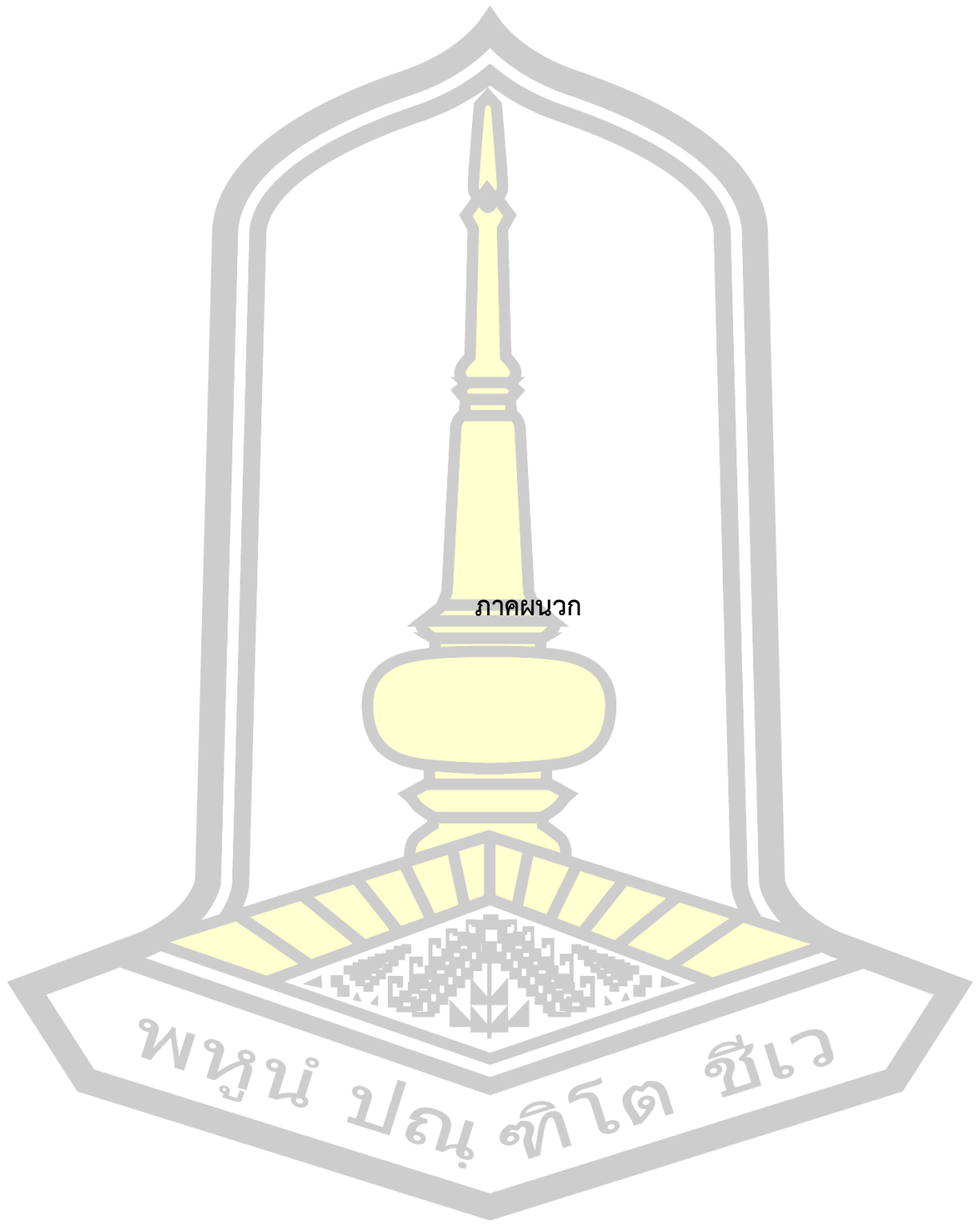
1. Schiebe, F., J. Harrington Jr, and J. Ritchie, *Remote sensing of suspended sediments: the Lake Chicot, Arkansas project*. International Journal of Remote Sensing, 1992. **13**(8): p. 1487-1509.
2. Collins, A.L. and D.E. Walling, *Documenting catchment suspended sediment sources: problems, approaches and prospects*. Progress in Physical Geography, 2004. **28**(2): p. 159-196.
3. Ouillon, S., P. Douillet, and S. Andréfouët, *Coupling satellite data with in situ measurements and numerical modeling to study fine suspended-sediment transport: a study for the lagoon of New Caledonia*. Coral Reefs, 2004. **23**(1): p. 109-122.
4. Gao, J. and S. O'leary, *Estimation of suspended solids from aerial photographs in a GIS*. International Journal of Remote Sensing, 1997. **18**(10): p. 2073-2086.
5. Syvitski, J.P., et al., *Estimating fluvial sediment transport: the rating parameters*. Water resources research, 2000. **36**(9): p. 2747-2760.
6. Jensen, R. and M. Binford, *Measurement and comparison of Leaf Area Index estimators derived from satellite remote sensing techniques*. International Journal of Remote Sensing, 2004. **25**(20): p. 4251-4265.
7. Jongschaap, R.E., *Run-time calibration of simulation models by integrating remote sensing estimates of leaf area index and canopy nitrogen*. European Journal of Agronomy, 2006. **24**(4): p. 316-324.
8. Fang, S., et al., *Methods to break seed dormancy in Cyclocarya paliurus (Batal) Iljinskaja*. Scientia Horticulturae, 2006. **110**(3): p. 305-309.
9. Ritchie, J.C. and C.M. Cooper, *Comparison of measured suspended sediment concentrations with suspended sediment concentrations estimated from Landsat MSS data*. Title REMOTE SENSING, 1988. **9**(3): p. 379-387.
10. Fu, Y.-X. and W.-H. Li, *Statistical tests of neutrality of mutations*. Genetics, 1993. **133**(3): p. 693-709.

11. ANJI REDDY, M. and S. Srinivasulu, *Comparison of IRS-IB LISS-IIA pixel array sizes for estimating suspended solids concentration in Hussain Sagar Lake, Hyderabad, India—a statistical approach*. International Journal of Remote Sensing, 1994. **15**(18): p. 3693-3706.
12. Dekker, J., et al., *Capturing chromosome conformation*. science, 2002. **295**(5558): p. 1306-1311.
13. Doxaran, D., et al., *Spectral signature of highly turbid waters: Application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations*. Remote sensing of Environment, 2002. **81**(1): p. 149-161.
14. Chen, I.J. and A. Paulraj, *Towards a theory of supply chain management: the constructs and measurements*. Journal of operations management, 2004. **22**(2): p. 119-150.
15. Wang, Z., et al., *Image quality assessment: from error visibility to structural similarity*. IEEE transactions on image processing, 2004. **13**(4): p. 600-612.
16. Miller, R.L. and B.A. McKee, *Using MODIS Terra 250 m imagery to map concentrations of total suspended matter in coastal waters*. Remote sensing of Environment, 2004. **93**(1-2): p. 259-266.
17. Tompa, M., et al., *Assessing computational tools for the discovery of transcription factor binding sites*. Nature biotechnology, 2005. **23**(1): p. 137.
18. Ma, R. and J. Dai, *Investigation of chlorophyll -a and total suspended matter concentrations using Landsat ETM and field spectral measurement in Taihu Lake, China*. International Journal of Remote Sensing, 2005. **26**(13): p. 2779-2795.
19. Zhou, X., et al., *Two hexamerin genes from the termite Reticulitermes flavipes: Sequence, expression, and proposed functions in caste regulation*. Gene, 2006. **376**(1): p. 47-58.
20. Islam, M.R., Y. Yamaguchi, and K. Ogawa, *Suspended sediment in the Ganges and Brahmaputra Rivers in Bangladesh: observation from TM and AVHRR data*. Hydrological Processes, 2001. **15**(3): p. 493-509.

21. Onderka, M. and P. Pekárová, *Retrieval of suspended particulate matter concentrations in the Danube River from Landsat ETM data*. Science of the total environment, 2008. **397**(1-3): p. 238-243.
22. Wang, C., *Variability of the Caribbean low-level jet and its relations to climate*. Climate dynamics, 2007. **29**(4): p. 411-422.
23. Wang, L., et al., *DEGseq: an R package for identifying differentially expressed genes from RNA-seq data*. Bioinformatics, 2009. **26**(1): p. 136-138.
24. Edwards, T.K., et al., *Field methods for measurement of fluvial sediment*. 1999: US Geological Survey Denver, CO.
25. กลุ่มงานตะกอนและคุณภาพน้ำ ส่วนอุทกวิทยา สำนักบริหารจัดการน้ำและอุทกวิทยา กรมชลประทาน. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนแขวนลอย กับพื้นที่ลุ่มน้ำ ใน 25 ลุ่มน้ำหลัก 2555 15/6/2562]; Available from: http://hydrology.rid.go.th/sediment-wq/filepdf/suspendsediment/Hydro_sed_wq25_12.pdf.
26. กลุ่มงานตะกอนและคุณภาพน้ำส่วนอุทกวิทยา สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. ปริมาณตะกอนแขวนลอยรายเดือนและรายปี ในลุ่มน้ำหลักของประเทศไทย 2554 15/6/2562]; Available from: <http://kmcenter.rid.go.th/kchydhome/documents/2554/article/sed011.pdf>.
27. ศูนย์ห้องปฏิบัติการกรมอนามัย. บริการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย/น้ำทิ้ง. 2558 15/6/2562]; Available from: http://rlcd.anamai.moph.go.th/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=449.
28. การสำรวจระยะไกล (REMOTE SENSING), การสำรวจระยะไกล (REMOTE SENSING). 2557.
29. นำพาเจริญ และ ชลธิชา จำรัสพร. การวิเคราะห์สมการถดถอย การแปลความหมายค่า R -Square และการประเมินตัวแบบว่าเหมาะสมหรือไม่. 2015; Available from: <https://www.solutioncenterminitab.com/blog/บทความ-3/>.
30. ฉลอง สีแก้วสีว. *Regression Analysis / Correlation Analysis*. 2555 27 ตุลาคม 2561]; Available from: <https://sites.google.com/site/mystatistics01/system/app/pages/sitemap/list>.

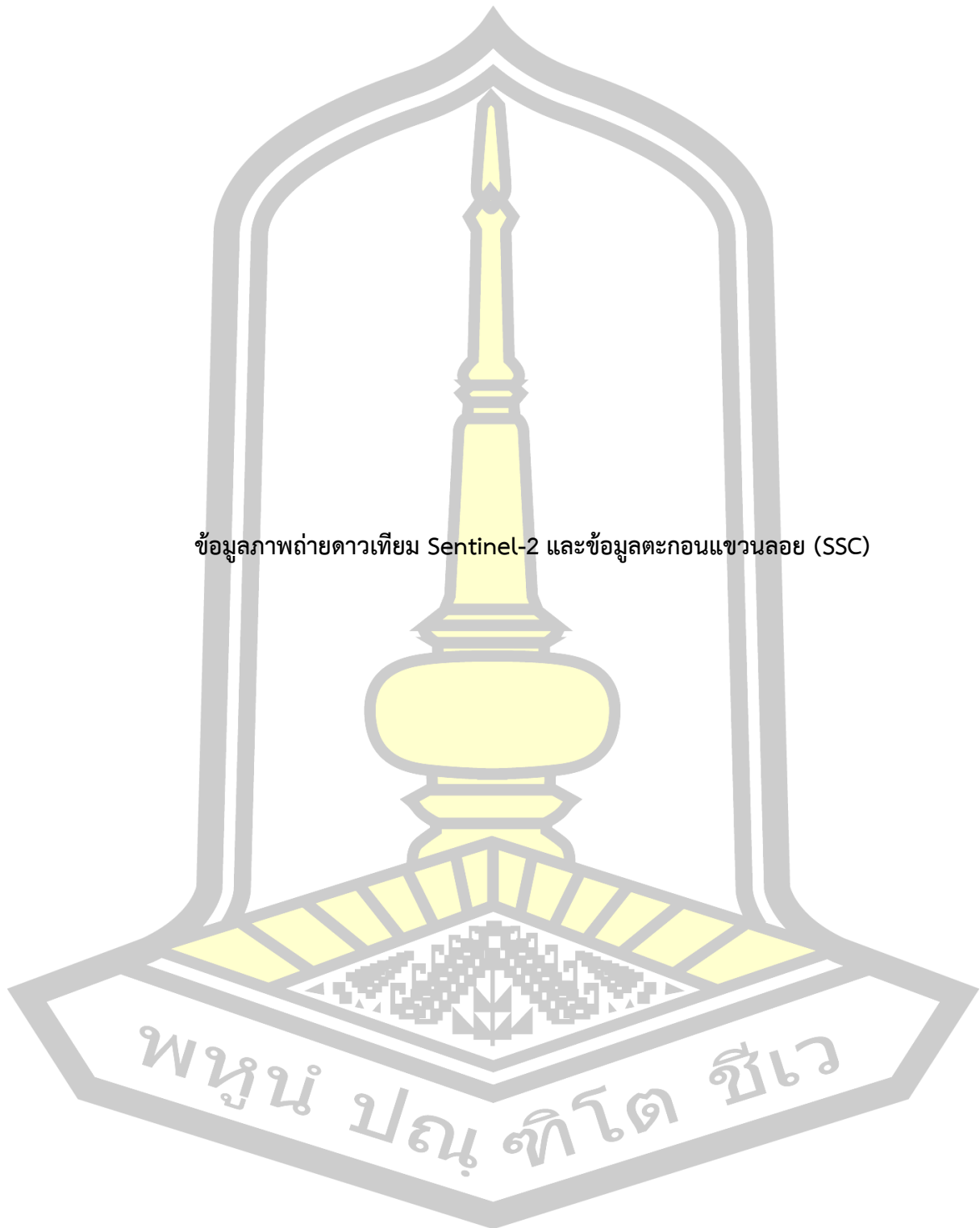
31. สุวดี นำพาเจริญ และ ชลธิชา จำรัสพร. การวิเคราะห์สมการถดถอย การแปลความหมายค่า *R-Square* และการประเมินตัวแบบว่าเหมาะสมหรือไม่. 2015 9 มกราคม 2562]; Available from: <https://www.solutioncenterinitab.com/blog/บทความ-3/>.
32. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ สำนักงานใหญ่. *First Sentinel-2A Sample Product*. 2550 15/06/2562]; Available from: <https://gistda.or.th/main/th/node/795>.
33. Wang, J.-J. and X. Lu, *Estimation of suspended sediment concentrations using Terra MODIS: An example from the Lower Yangtze River, China*. Science of the Total Environment, 2010. **408**(5): p. 1131-1138.
34. Yepez, S., et al., *Retrieval of suspended sediment concentrations using Landsat-8 OLI satellite images in the Orinoco River (Venezuela)*. Comptes Rendus Geoscience, 2018. **350**(1-2): p. 20-30.
35. Peterson, K., et al., *Suspended Sediment Concentration Estimation from Landsat Imagery along the Lower Missouri and Middle Mississippi Rivers Using an Extreme Learning Machine*. Remote Sensing, 2018. **10**(10): p. 1503.
36. Pham, Q., et al., *Using Landsat-8 Images for Quantifying Suspended Sediment Concentration in Red River (Northern Vietnam)*. Remote Sensing, 2018. **10**(11): p. 1841.
37. C.Montanher, O., *Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM*. 2014: p. 67-77.
38. MinweiZhang, *Suspended sediment monitoring and assessment for Yellow River estuary from Landsat ATM and ETM + imagery*. 2014: p. 136-147.

พหุ ประถมศึกษา



ภาคผนวก

พหุบัณฑิตยาลัย จุฬาลงกรณ์



ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC)

ตารางที่ 16 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 1

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B8
1	0.2	0.0834	0.123	0.1874	0.1214
2	2.7	0.0775	0.1157	0.1765	0.1235
3	2.1	0.0804	0.1207	0.1848	0.1242
4	1.6	0.0702	0.1095	0.1667	0.1072
5	3.8	0.0685	0.1076	0.1535	0.1097
6	0.8	0.0539	0.0703	0.1054	0.0842
7	0.5	0.0526	0.0681	0.1017	0.0967
8	1.7	0.0657	0.1066	0.1515	0.0946
9	4.8	0.0694	0.1094	0.15	0.0985
10	1.9	0.0671	0.107	0.1512	0.1049
11	2.5	0.0607	0.0911	0.1265	0.1015
12	2.7	0.0624	0.0973	0.1562	0.0914
13	2.6	0.0515	0.0822	0.1287	0.1032
14	2	0.0568	0.088	0.1458	0.0927
15	62	0.0589	0.0939	0.1652	0.1129
16	68	0.0626	0.0896	0.1368	0.0879
17	62	0.0621	0.0914	0.1394	0.0802
18	66	0.0621	0.0901	0.1433	0.0813
19	66	0.0537	0.0684	0.107	0.0798
20	74	0.0515	0.0708	0.1052	0.0791
21	76	0.0475	0.0647	0.0953	0.0661
22	70	0.0464	0.0573	0.0884	0.0698
23	74	0.0563	0.0805	0.1274	0.0786
24	92	0.0603	0.0829	0.1256	0.0785
25	62	0.0562	0.0804	0.1289	0.0792
26	52	0.0591	0.0826	0.1265	0.0952

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B8
27	66	0.0578	0.0828	0.1265	0.0815
28	50	0.0574	0.0832	0.1265	0.0998
29	80	0.0639	0.0916	0.1429	0.0792
30	72	0.0631	0.0917	0.1392	0.0758
31	64	0.0632	0.0924	0.1413	0.0844
32	46	0.0642	0.0914	0.1445	0.1073
33	46	0.0638	0.0982	0.1505	0.109
34	56	0.0632	0.0949	0.1487	0.1089
35	42	0.0638	0.0982	0.1505	0.109
36	48	0.0691	0.1047	0.1691	0.118
37	60	0.0673	0.0998	0.1707	0.1229
38	54	0.069	0.105	0.1738	0.1345
39	36	0.0682	0.1049	0.1701	0.1203
40	36	0.0695	0.1038	0.1699	0.1137
41	46	0.0718	0.1063	0.1741	0.1184
42	54	0.0723	0.1084	0.1764	0.1159
43	54	0.0679	0.1028	0.1731	0.1261
44	72	0.0687	0.1027	0.1752	0.1325
45	54	0.0705	0.1039	0.1783	0.1311
46	54	0.0718	0.1034	0.1802	0.1464
47	34	0.0696	0.1021	0.1742	0.1434
48	60	0.0717	0.1019	0.174	0.1444
49	50	0.0508	0.0616	0.095	0.0694
50	66	0.0448	0.0558	0.0876	0.0682
51	58	0.0497	0.0631	0.0952	0.0652
52	44	0.0455	0.0576	0.088	0.0666
53	66	0.0617	0.0912	0.1436	0.0813
54	58	0.0558	0.0821	0.1315	0.0865

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B8
55	90	0.0594	0.0834	0.1256	0.0861
56	56	0.0707	0.106	0.1795	0.12
57	72	0.0623	0.0951	0.168	0.1279
58	68	0.0715	0.1021	0.1756	0.135
59	40	0.0717	0.1019	0.174	0.1444

ตารางที่ 17 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 2

No.	SSC (mg/l)	B5	B6	B7	B8A	B11	B12
1	0.2	0.1831	0.134	0.1557	0.1111	0.0229	0.0108
2	2.7	0.1737	0.1335	0.152	0.1166	0.0329	0.0132
3	2.1	0.1823	0.1336	0.153	0.1136	0.025	0.0129
4	1.6	0.1517	0.117	0.1367	0.1135	0.0572	0.0317
5	3.8	0.1543	0.1127	0.1321	0.1068	0.0602	0.0346
6	0.8	0.1006	0.0995	0.1301	0.1173	0.0747	0.0345
7	0.5	0.0445	0.0355	0.0403	0.0331	0.0236	0.0112
8	1.7	0.1038	0.0984	0.1091	0.0953	0.0564	0.0304
9	4.8	0.1027	0.0993	0.1112	0.1019	0.0572	0.0299
10	1.9	0.1395	0.0981	0.1138	0.0912	0.0701	0.0476
11	2.5	0.1457	0.1147	0.1282	0.1095	0.0734	0.0505
12	2.7	0.1371	0.112	0.1282	0.1086	0.0693	0.0485
13	2.6	0.1387	0.1091	0.1229	0.1054	0.0671	0.0421
14	2	0.1389	0.1099	0.1216	0.0879	0.0625	0.0359
15	62	0.16	0.1539	0.1742	0.1483	0.0998	0.0553
16	68	0.1349	0.1022	0.1063	0.0779	0.06	0.0331
17	62	0.1353	0.0941	0.1004	0.0764	0.0457	0.0297

No.	SSC (mg/l)	B5	B6	B7	B8A	B11	B12
18	66	0.1365	0.0939	0.0956	0.0696	0.0361	0.0232
19	66	0.1105	0.0882	0.0967	0.0958	0.0657	0.0401
20	74	0.1064	0.098	0.1075	0.1056	0.0649	0.0361
21	76	0.0921	0.0749	0.0807	0.0613	0.056	0.034
22	70	0.085	0.0808	0.0894	0.0816	0.0631	0.0339
23	74	0.1269	0.0929	0.1037	0.083	0.0662	0.0398
24	92	0.1227	0.0913	0.1019	0.0912	0.0577	0.037
25	62	0.1307	0.1153	0.1216	0.113	0.0867	0.0546
26	52	0.1291	0.1133	0.1217	0.1146	0.0968	0.0563
27	66	0.1257	0.1108	0.1152	0.0989	0.0925	0.0577
28	50	0.134	0.1208	0.1358	0.1352	0.1104	0.071
29	80	0.1391	0.0936	0.0966	0.0699	0.0401	0.0233
30	72	0.1357	0.0924	0.0926	0.0722	0.0331	0.0189
31	64	0.1317	0.1168	0.1274	0.1181	0.067	0.0342
32	46	0.1387	0.1351	0.1502	0.1214	0.0916	0.0458
33	46	0.1465	0.1304	0.1468	0.1276	0.087	0.0486
34	56	0.1537	0.1434	0.1566	0.1402	0.1038	0.0641
35	42	0.1465	0.1304	0.1468	0.1276	0.087	0.0486
36	48	0.1652	0.1391	0.1558	0.1334	0.1039	0.0629
37	60	0.1593	0.1451	0.1549	0.1346	0.0973	0.0583
38	54	0.1674	0.1643	0.1966	0.1658	0.1131	0.0639
39	36	0.1698	0.1472	0.1645	0.157	0.0895	0.0561
40	36	0.1472	0.127	0.1422	0.1184	0.0897	0.0544
41	46	0.1744	0.1571	0.1899	0.1666	0.0897	0.0606
42	54	0.1821	0.1324	0.1456	0.1003	0.0436	0.0248
43	54	0.164	0.1528	0.1676	0.1474	0.0994	0.0551
44	72	0.1815	0.1453	0.1559	0.1157	0.0446	0.0256
45	54	0.1758	0.1602	0.1755	0.1541	0.1041	0.0671

No.	SSC (mg/l)	B5	B6	B7	B8A	B11	B12
46	54	0.1894	0.1602	0.1758	0.1392	0.0365	0.0234
47	34	0.1855	0.1545	0.1678	0.1323	0.038	0.0242
48	60	0.179	0.1585	0.171	0.1474	0.0912	0.0587
49	50	0.0969	0.088	0.0894	0.0828	0.0744	0.0422
50	66	0.0891	0.083	0.091	0.082	0.0734	0.0464
51	58	0.0896	0.0665	0.0782	0.0731	0.0498	0.0278
52	44	0.0795	0.0592	0.0798	0.0701	0.0448	0.0257
53	66	0.1365	0.0939	0.0956	0.0696	0.0361	0.0232
54	58	0.1283	0.0955	0.1015	0.0869	0.0572	0.0336
55	90	0.1298	0.123	0.135	0.1336	0.0869	0.0517
56	56	0.1772	0.1316	0.1467	0.1166	0.0639	0.034
57	72	0.1732	0.1426	0.1546	0.1253	0.0536	0.0303
58	68	0.1805	0.1486	0.1617	0.1317	0.0518	0.0347
59	40	0.179	0.1585	0.171	0.1474	0.0912	0.0587

ตารางที่ 18 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 3

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
1	0.2	0.0834	0.123	0.1874	0.1831	0.134	0.1557	0.1214	0.1111	0.0229	0.0108
2	2.7	0.0775	0.1157	0.1765	0.1737	0.1335	0.152	0.1235	0.1166	0.0329	0.0132
3	2.1	0.0804	0.1207	0.1848	0.1823	0.1336	0.153	0.1242	0.1136	0.025	0.0129
4	1.6	0.0702	0.1095	0.1667	0.1517	0.117	0.1367	0.1072	0.1135	0.0572	0.0317
5	3.8	0.0685	0.1076	0.1535	0.1543	0.1127	0.1321	0.1097	0.1068	0.0602	0.0346
6	0.8	0.0539	0.0703	0.1054	0.1024	0.0957	0.1062	0.0842	0.0952	0.0496	0.0267
7	0.5	0.0526	0.0681	0.1017	0.1038	0.0984	0.1091	0.0967	0.0953	0.0564	0.0304
8	1.7	0.0657	0.1066	0.1515	0.1287	0.1088	0.1161	0.0946	0.1069	0.0626	0.0404

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
9	4.8	0.0694	0.1094	0.15	0.1395	0.0981	0.1138	0.0985	0.0912	0.0701	0.0476
10	1.9	0.0671	0.107	0.1512	0.1457	0.1147	0.1282	0.1049	0.1095	0.0734	0.0505
11	2.5	0.0607	0.0911	0.1265	0.1371	0.112	0.1282	0.1015	0.1086	0.0693	0.0485
12	2.7	0.0624	0.0973	0.1562	0.1387	0.1091	0.1229	0.0914	0.1054	0.0671	0.0421
13	2.6	0.0515	0.0822	0.1287	0.1389	0.1099	0.1216	0.1032	0.0879	0.0625	0.0359
14	2	0.0568	0.088	0.1458	0.1412	0.108	0.1207	0.0927	0.097	0.0705	0.0405
15	62	0.0589	0.0939	0.1652	0.16	0.1539	0.1742	0.1129	0.1483	0.0998	0.0553
16	68	0.0626	0.0896	0.1368	0.1349	0.1022	0.1063	0.0879	0.0779	0.06	0.0331
17	62	0.0621	0.0914	0.1394	0.1353	0.0941	0.1004	0.0802	0.0764	0.0457	0.0297
18	66	0.0621	0.0901	0.1433	0.1365	0.0939	0.0956	0.0813	0.0696	0.0361	0.0232
19	66	0.0537	0.0684	0.107	0.1105	0.0882	0.0967	0.0798	0.0958	0.0657	0.0401
20	74	0.0515	0.0708	0.1052	0.1064	0.098	0.1075	0.0791	0.1056	0.0649	0.0361
21	76	0.0475	0.0647	0.0953	0.0921	0.0749	0.0807	0.0661	0.0613	0.056	0.034
22	70	0.0464	0.0573	0.0884	0.085	0.0808	0.0894	0.0698	0.0816	0.0631	0.0339
23	74	0.0563	0.0805	0.1274	0.1269	0.0929	0.1037	0.0786	0.083	0.0662	0.0398
24	92	0.0603	0.0829	0.1256	0.1227	0.0913	0.1019	0.0785	0.0912	0.0577	0.037
25	62	0.0562	0.0804	0.1289	0.1307	0.1153	0.1216	0.0792	0.113	0.0867	0.0546
26	52	0.0591	0.0826	0.1265	0.1291	0.1133	0.1217	0.0952	0.1146	0.0968	0.0563
27	66	0.0578	0.0828	0.1265	0.1257	0.1108	0.1152	0.0815	0.0989	0.0925	0.0577
28	50	0.0574	0.0832	0.1265	0.134	0.1208	0.1358	0.0998	0.1352	0.1104	0.071
29	80	0.0639	0.0916	0.1429	0.1391	0.0936	0.0966	0.0792	0.0699	0.0401	0.0233
30	72	0.0631	0.0917	0.1392	0.1357	0.0924	0.0926	0.0758	0.0722	0.0331	0.0189
31	64	0.0632	0.0924	0.1413	0.1317	0.1168	0.1274	0.0844	0.1181	0.067	0.0342
32	46	0.0642	0.0914	0.1445	0.1387	0.1351	0.1502	0.1073	0.1214	0.0916	0.0458
33	46	0.0638	0.0982	0.1505	0.1465	0.1304	0.1468	0.109	0.1276	0.087	0.0486

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
34	56	0.0632	0.0949	0.1487	0.1537	0.1434	0.1566	0.1089	0.1402	0.1038	0.0641
35	42	0.0638	0.0982	0.1505	0.1465	0.1304	0.1468	0.109	0.1276	0.087	0.0486
36	48	0.0691	0.1047	0.1691	0.1652	0.1391	0.1558	0.118	0.1334	0.1039	0.0629
37	60	0.0673	0.0998	0.1707	0.1593	0.1451	0.1549	0.1229	0.1346	0.0973	0.0583
38	54	0.069	0.105	0.1738	0.1674	0.1643	0.1966	0.1345	0.1658	0.1131	0.0639
39	36	0.0682	0.1049	0.1701	0.1698	0.1472	0.1645	0.1203	0.157	0.0895	0.0561
40	36	0.0695	0.1038	0.1699	0.1472	0.127	0.1422	0.1137	0.1184	0.0897	0.0544
41	46	0.0718	0.1063	0.1741	0.1744	0.1571	0.1899	0.1184	0.1666	0.0897	0.0606
42	54	0.0723	0.1084	0.1764	0.1821	0.1324	0.1456	0.1159	0.1003	0.0436	0.0248
43	54	0.0679	0.1028	0.1731	0.164	0.1528	0.1676	0.1261	0.1474	0.0994	0.0551
44	72	0.0687	0.1027	0.1752	0.1815	0.1453	0.1559	0.1325	0.1157	0.0446	0.0256
45	54	0.0705	0.1039	0.1783	0.1758	0.1602	0.1755	0.1311	0.1541	0.1041	0.0671
46	54	0.0718	0.1034	0.1802	0.1894	0.1602	0.1758	0.1464	0.1392	0.0365	0.0234
47	34	0.0696	0.1021	0.1742	0.1855	0.1545	0.1678	0.1434	0.1323	0.038	0.0242
48	60	0.0717	0.1019	0.174	0.179	0.1585	0.171	0.1444	0.1474	0.0912	0.0587
49	50	0.0508	0.0616	0.095	0.0969	0.088	0.0894	0.0694	0.0828	0.0744	0.0422
50	66	0.0448	0.0558	0.0876	0.0891	0.083	0.091	0.0682	0.082	0.0734	0.0464
51	58	0.0497	0.0631	0.0952	0.0896	0.0665	0.0782	0.0652	0.0731	0.0498	0.0278
52	44	0.0455	0.0576	0.088	0.0795	0.0592	0.0798	0.0666	0.0701	0.0448	0.0257
53	66	0.0617	0.0912	0.1436	0.1365	0.0939	0.0956	0.0813	0.0696	0.0361	0.0232
54	58	0.0558	0.0821	0.1315	0.1283	0.0955	0.1015	0.0865	0.0869	0.0572	0.0336
55	90	0.0594	0.0834	0.1256	0.1298	0.123	0.135	0.0861	0.1336	0.0869	0.0517
56	56	0.0707	0.106	0.1795	0.1772	0.1316	0.1467	0.12	0.1166	0.0639	0.034
57	72	0.0623	0.0951	0.168	0.1732	0.1426	0.1546	0.1279	0.1253	0.0536	0.0303
58	68	0.0715	0.1021	0.1756	0.1805	0.1486	0.1617	0.135	0.1317	0.0518	0.0347

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
59	40	0.0717	0.1019	0.174	0.179	0.1585	0.171	0.1444	0.1474	0.0912	0.0587

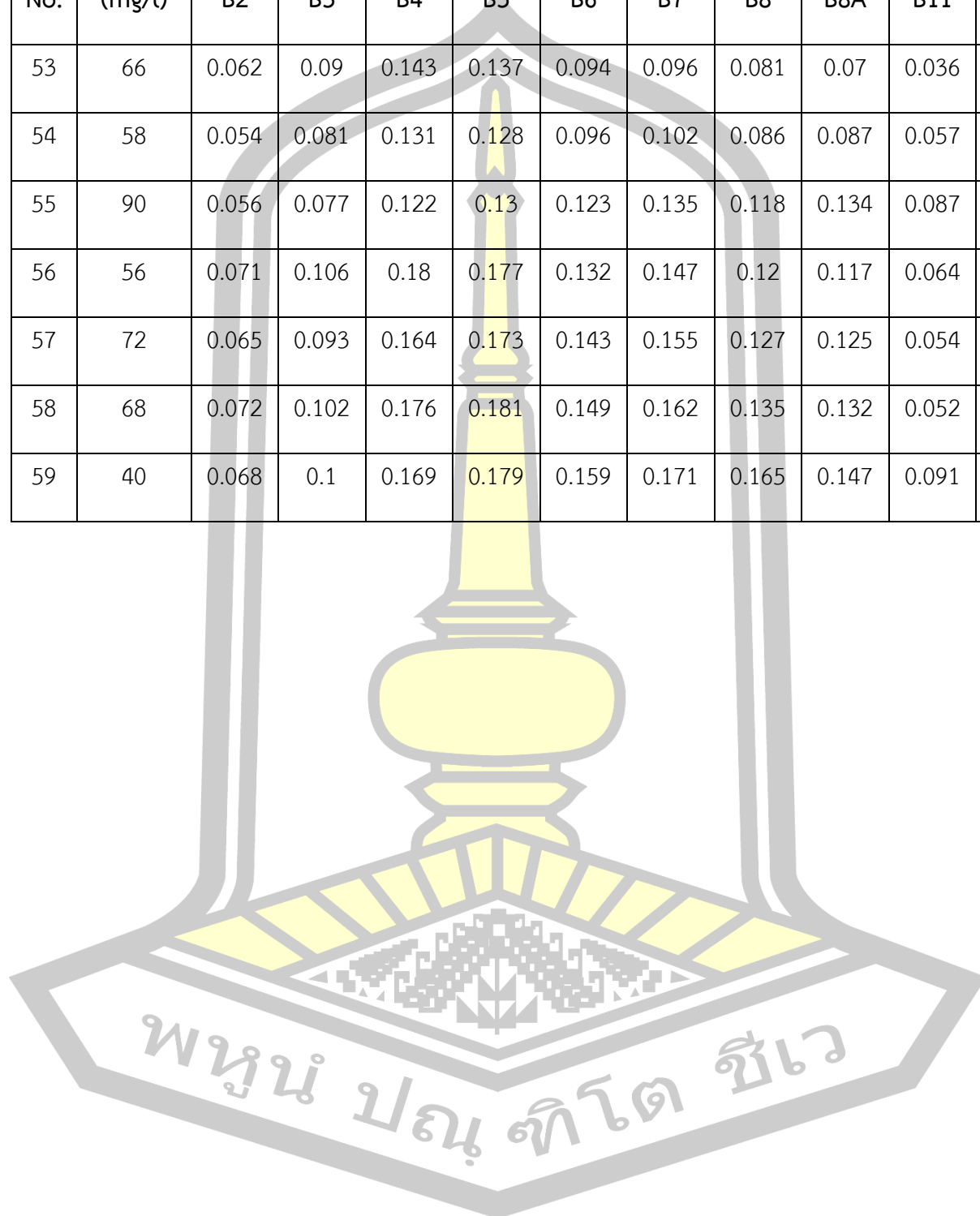
ตารางที่ 19 แสดงข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2 และข้อมูลตะกอนแขวนลอย (SSC) กรณีที่ 4

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
1	0.2	0.084	0.127	0.189	0.183	0.134	0.156	0.121	0.111	0.023	0.011
2	2.7	0.082	0.121	0.185	0.174	0.134	0.152	0.123	0.117	0.033	0.013
3	2.1	0.08	0.122	0.186	0.182	0.134	0.153	0.121	0.114	0.025	0.013
4	1.6	0.07	0.11	0.167	0.152	0.117	0.137	0.107	0.114	0.057	0.032
5	3.8	0.069	0.108	0.154	0.154	0.113	0.132	0.11	0.107	0.06	0.035
6	0.8	0.047	0.075	0.115	0.101	0.1	0.13	0.082	0.117	0.075	0.035
7	0.5	0.033	0.041	0.054	0.045	0.036	0.04	0.037	0.033	0.024	0.011
8	1.7	0.053	0.068	0.102	0.104	0.098	0.109	0.097	0.095	0.056	0.03
9	4.8	0.054	0.072	0.106	0.103	0.099	0.111	0.088	0.102	0.057	0.03
10	1.9	0.069	0.11	0.151	0.14	0.098	0.114	0.101	0.091	0.07	0.048
11	2.5	0.066	0.105	0.145	0.146	0.115	0.128	0.11	0.11	0.073	0.051
12	2.7	0.066	0.106	0.153	0.137	0.112	0.128	0.097	0.109	0.069	0.049
13	2.6	0.062	0.097	0.156	0.139	0.109	0.123	0.091	0.105	0.067	0.042
14	2	0.052	0.082	0.129	0.139	0.11	0.122	0.103	0.088	0.063	0.036
15	62	0.058	0.087	0.154	0.16	0.154	0.174	0.154	0.148	0.1	0.055

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
16	68	0.063	0.09	0.137	0.135	0.102	0.106	0.088	0.078	0.06	0.033
17	62	0.062	0.091	0.139	0.135	0.094	0.1	0.08	0.076	0.046	0.03
18	66	0.062	0.09	0.143	0.137	0.094	0.096	0.081	0.07	0.036	0.023
19	66	0.054	0.069	0.111	0.111	0.088	0.097	0.09	0.096	0.066	0.04
20	74	0.052	0.071	0.105	0.106	0.098	0.108	0.079	0.106	0.065	0.036
21	76	0.048	0.065	0.095	0.092	0.075	0.081	0.066	0.061	0.056	0.034
22	70	0.046	0.057	0.088	0.085	0.081	0.089	0.07	0.082	0.063	0.034
23	74	0.057	0.082	0.129	0.127	0.093	0.104	0.087	0.083	0.066	0.04
24	92	0.058	0.082	0.126	0.123	0.091	0.102	0.078	0.091	0.058	0.037
25	62	0.058	0.082	0.131	0.131	0.115	0.122	0.093	0.113	0.087	0.055
26	52	0.059	0.083	0.127	0.129	0.113	0.122	0.095	0.115	0.097	0.056
27	66	0.058	0.083	0.125	0.126	0.111	0.115	0.089	0.099	0.093	0.058
28	50	0.057	0.08	0.124	0.134	0.121	0.136	0.105	0.135	0.11	0.071
29	80	0.063	0.093	0.144	0.139	0.094	0.097	0.08	0.07	0.04	0.023
30	72	0.064	0.092	0.139	0.136	0.092	0.093	0.079	0.072	0.033	0.019
31	64	0.063	0.092	0.141	0.132	0.117	0.127	0.084	0.118	0.067	0.034
32	46	0.064	0.091	0.145	0.139	0.135	0.15	0.107	0.121	0.092	0.046
33	46	0.061	0.09	0.143	0.147	0.13	0.147	0.121	0.128	0.087	0.049

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
34	56	0.061	0.09	0.147	0.154	0.143	0.157	0.122	0.14	0.104	0.064
35	42	0.061	0.09	0.143	0.147	0.13	0.147	0.121	0.128	0.087	0.049
36	48	0.069	0.105	0.169	0.165	0.139	0.156	0.118	0.133	0.104	0.063
37	60	0.068	0.098	0.162	0.159	0.145	0.155	0.122	0.135	0.097	0.058
38	54	0.064	0.096	0.162	0.167	0.164	0.197	0.157	0.166	0.113	0.064
39	36	0.071	0.104	0.176	0.17	0.147	0.165	0.14	0.157	0.09	0.056
40	36	0.07	0.104	0.17	0.147	0.127	0.142	0.114	0.118	0.09	0.054
41	46	0.069	0.1	0.163	0.174	0.157	0.19	0.149	0.167	0.09	0.061
42	54	0.072	0.107	0.178	0.182	0.132	0.146	0.118	0.1	0.044	0.025
43	54	0.068	0.103	0.173	0.164	0.153	0.168	0.126	0.147	0.099	0.055
44	72	0.069	0.103	0.175	0.182	0.145	0.156	0.133	0.116	0.045	0.026
45	54	0.071	0.104	0.178	0.176	0.16	0.176	0.131	0.154	0.104	0.067
46	54	0.073	0.104	0.179	0.189	0.16	0.176	0.148	0.139	0.037	0.023
47	34	0.072	0.103	0.175	0.186	0.155	0.168	0.135	0.132	0.038	0.024
48	60	0.068	0.1	0.169	0.179	0.159	0.171	0.165	0.147	0.091	0.059
49	50	0.051	0.062	0.095	0.097	0.088	0.089	0.069	0.083	0.074	0.042
50	66	0.045	0.056	0.088	0.089	0.083	0.091	0.068	0.082	0.073	0.046
51	58	0.049	0.064	0.097	0.09	0.067	0.078	0.07	0.073	0.05	0.028
52	44	0.045	0.057	0.087	0.08	0.059	0.08	0.064	0.07	0.045	0.026

No.	SSC (mg/l)	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8A	B11	B12
53	66	0.062	0.09	0.143	0.137	0.094	0.096	0.081	0.07	0.036	0.023
54	58	0.054	0.081	0.131	0.128	0.096	0.102	0.086	0.087	0.057	0.034
55	90	0.056	0.077	0.122	0.13	0.123	0.135	0.118	0.134	0.087	0.052
56	56	0.071	0.106	0.18	0.177	0.132	0.147	0.12	0.117	0.064	0.034
57	72	0.065	0.093	0.164	0.173	0.143	0.155	0.127	0.125	0.054	0.03
58	68	0.072	0.102	0.176	0.181	0.149	0.162	0.135	0.132	0.052	0.035
59	40	0.068	0.1	0.169	0.179	0.159	0.171	0.165	0.147	0.091	0.059



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวจุฬาวลัย นนตะพันธ์
วันเกิด	วันที่ 27 มิถุนายน พ.ศ. 2536
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	120 หมู่ที่ 2 บ้านดงยาง ตำบลสีแก้ว อำเภอร้อยเอ็ด จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2549 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพระกุมารร้อยเอ็ด พ.ศ. 2552 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) แผนกช่างเทคนิคสถาปัตยกรรม วิทยาลัยเทคนิคร้อยเอ็ด พ.ศ. 2555 ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต (ค.อ.บ.) สาขาวิศวกรรม โยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น พ.ศ. 2562 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิศวกรรม โยธา มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนุ่ ปณุ่ ทีโตะ ชีเว