การติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชีด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

MONITORING OF MORPHOLOGICAL CHANGE IN LAM PHACHI RIVER USING GEOINFORMATICS TECHNOLOGY

ธนัช สระประเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2564

การติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชีด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

ธนัช สระประเทศ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

MONITORING OF MORPHOLOGICAL CHANGE IN LAM PHACHI RIVER

USING GEOINFORMATICS TECHNOLOGY

THANAT SAPRATHET

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of MASTER OF SCIENCE

(Geoinformatics)

Faculty of Social Sciences, Srinakharinwirot University

2021

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชีด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ

ของ

ธนัช สระประเทศ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

.... ที่ปรึกษาหลัก	.... ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ)	(รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ชีวินศิริวัฒน์)
.... ที่ปรึกษาร่วม	.... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อสมาภรณ์ สิทธิ)	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ เมฆแสงสวย)

ชื่อเรื่อง	การติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชีด้วยเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
ผู้วิจัย	ธนัช สระประเทศ
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2564
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูเดช โลศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. อสมาภรณ์ สิทธิ

ปัจจุบัน การพัฒนาเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมตามแนวแม่น้ำลำภาชีในพื้นที่จังหวัดราชบุรีและกาญจนบุรีกำลังเร่งขยายตัวขึ้น ส่งผลให้มีการสร้างฝายเพื่อรองรับความต้องการใช้น้ำที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของการปล่อยน้ำในแม่น้ำระหว่างฤดูกาล ทั้งนี้ในพื้นที่ดังกล่าวมีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสัณฐานวิทยาของแม่น้ำเมื่อเทียบกับอดีต ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำโดยพิจารณาดัชนีผลแตกต่างความชื้น (NDWI) ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (SAVI) และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) ในการสกัดพื้นที่แหล่งน้ำจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต พ.ศ. 2556 และ 2558 และดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ พ.ศ. 2560 และ 2562 ผลการศึกษาพบว่าแม่น้ำลำภาชีไหลตามลักษณะทางกายภาพลุ่มน้ำแบบกิ่งไม้ ซึ่งมีลักษณะการพังทลายของตลิ่งที่คล้ายคลึงกันในทุกทิศทาง โดยผลจากการเปรียบเทียบเส้นแม่น้ำที่ได้จากสามวิธีดังกล่าวข้างต้นพบว่า เส้นแม่น้ำที่ได้จากการสกัดโดยดัชนี NDWI มีความถูกต้อง 95 เปอร์เซ็นต์ และความแม่นยำในการวิเคราะห์ที่ 97 เปอร์เซ็นต์ ผลลัพธ์ของดัชนี SAVI มีความถูกต้องและแม่นยำ 91 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลจากการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม มีความถูกต้อง 97 เปอร์เซ็นต์ และความแม่นยำ 98 เปอร์เซ็นต์ โดยจากผลลัพธ์ดังกล่าว สรุปได้ว่า วิธีการสกัดแม่น้ำโดยการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุมนั้น มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การสกัดแม่น้ำด้วยดัชนี NDWI และ SAVI มีความแม่นยำน้อยกว่าในพื้นที่การศึกษานี้ เนื่องจากมีพืชปกคลุมผิวน้ำและปริมาณน้ำที่แตกต่างกันเล็กน้อยระหว่างริมฝั่งแม่น้ำและแหล่งน้ำ

คำสำคัญ : การรับรู้ระยะไกล, ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน, ดัชนีผลต่างความชื้น, การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ, ภูมิสารสนเทศ, การเปลี่ยนแปลงสัณฐาน

Title	MONITORING OF MORPHOLOGICAL CHANGE IN LAM PHACHI RIVER USING GEOINFORMATICS TECHNOLOGY
Author	THANAT SAPRATHET
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2021
Thesis Advisor	Assistant Professor Chudech Losiri
Co Advisor	Asamaporn Sitthi

Currently, economic and industrial development along the Lam Phachi River in Ratchaburi and Kanchanaburi provinces is accelerating, leading to an increase in water demand. As a result, weirs were built to meet the water demand, and sand extraction businesses were also carried out to support economic expansion. These activities resulted in morphological changes to the river relative to the past. Additionally, climate change has resulted in a rapid changes in river discharge between seasons, resulting in riverbank erosion. The Normalized Difference Water Index (NDWI), the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), and image classification were used to analyze the changes in river morphology. The image data were classified using the maximum likelihood method to distinguish bodies of water from other land use areas. The satellite images were obtained from the Thaichote satellite between 2013 and 2015 and the Sentinel-2A satellites between 2017 and 2019. The results indicated that the Lam Phachi River followed a dendritic drainage pattern, with similar characteristics of riverbank erosion in all directions. The rivers obtained from the NDWI extraction had an accuracy of 95% and an analytical precision of 97%. The SAVI results indicated an accuracy of 91% and a precision of 95%. The image classification results indicated an accuracy of 97% and an analytical precision of 98%. The stream extraction method based on image classification was the most accurate. However, the NDWI and SAVI extractions were less accurate in this study area due to water hyacinths and a slight difference in water content between the riverbank and bodies of water.

Keyword : Remote Sensing, SAVI, NDWI, Image Classification, River Morphology

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์และเอาใจใส่ให้คำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พรรณี ชีวินศิริวัฒน์ ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชูเดช โลศิริ อาจารย์ ดร.อสมาภรณ์ สิทธิ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปกรณ์ เมฆแสงสวย ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่อง รวมทั้งให้คำแนะนำองค์ความรู้แนวทางในการศึกษาค้นคว้าและให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องในการทำปริญญานิพนธ์มาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านและเจ้าหน้าที่ภาควิชาภูมิศาสตร์ ตลอดจนน้อง ๆ ระดับปริญญาโทสาขาภูมิสารสนเทศ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้คำปรึกษาและความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. จีรพงษ์ เหล่าน้ำใส ที่ช่วยกรุณาให้คำปรึกษา และแนะแนวทางด้านวิชาการต่าง ๆ รวมไปถึงตรวจสอบแก้ไขในการจัดทำปริญญานิพนธ์

ขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต อันเป็นประโยชน์แก่ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ผู้วิจัยมีดวามซาบซึ้งในความกรุณาของทุกท่านที่ได้กล่าวถึงและผู้ที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ได้มีส่วนช่วยเหลือในการสนับสนุนให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านด้วยความจริงใจ และขอมอบคุณประโยชน์อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกตเวทิตาคุณแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ และผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจด้วยดีเสมอมาขอน้อมคารวะแต่ผู้เขียนตำราวิชาการที่ได้ศึกษาค้นคว้าและใช้อ้างอิงทุกท่าน

ธนัช สระประเทศ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฏ

สารบัญรูปภาพ .... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญ 1

จุดประสงค์ (Objective) 2

ขอบเขตการศึกษา 2

1.ขอบเขตเชิงพื้นที่ 2

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา 2

3. ขอบเขตเชิงเวลา 3

กรอบแนวคิดในการวิจัย 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

1. สัณฐานลำน้ำและการกระทำของลำน้ำที่ทำให้เกิดภูมิประเทศ 5

1.1 ส่วนประกอบของลำน้ำ 6

1.2 รูปแบบการไหลของธารน้ำ (drainage pattern) 6

2. สาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและทับถมของตลิ่งลำน้ำ 7

2.1 การกัดเซาะ (erosion) 7

2.2 การนำพา (deflation) 8

2.3 การทับถม (deposition) 8

2.4 ประเภทของตลิ่ง 8

2.5 สาเหตุการพังทลายของตลิ่ง.. 9

2.6 ลักษณะการพังทลายของตลิ่ง 12

3. ภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics).. 15

3.1 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.. 16

3.2 การรับรู้จากระยะไกล 17

3.3 ระบบนำทางด้วยดาวเทียม 18

4. วิธีการการสกัดเส้นลำน้ำ (river extraction) 21

4.1 การแปลตีความข้อมูลจากดาวเทียมด้วยสายตา (visual interpretation)................ 21

4.2 ดัชนีพืชพรรณ (vegetation index) 22

4.3 ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (soil adjustment vegetation index : SAVI)............. 22

4.4 ดัชนีความแตกต่างของความชื้น (normalized difference water index : NDWI) ... 23

4.5 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (image classification).. 23

4.6 การประเมินความแม่นของการจำแนกประเภทข้อมูล... 25

5. การประเมินพื้นที่การกัดเซาะและพื้นที่ทับถม.. 25

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 26

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 31

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา 31

2. เครื่องมือในการศึกษา.. 31

3. ขั้นตอนการศึกษา.. 32

3.1 การรวบรวมข้อมูล.. 32

3.2 การนำเข้าข้อมูลและประมวลผล 32

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.. 33

3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการสกัดเส้นลำน้ำ.. 36

บทที่ 4 ผลการศึกษา.. 39

1. การสกัดสัณฐานของลำน้ำด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล 39

1.1 ผลการสกัดสัณฐานของแม่น้ำด้วยดัชนีผลต่างความชื้นของน้ำ (normalized difference water index: NDWI)... 39

1.2 ผลการสกัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (soil adjustment vegetation index: SAVI) 45

2. การตรวจสอบความถูกต้อง 54

3. การวิเคราะห์สัณฐานลำน้ำ.. 55

4. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานลำน้ำ 59

4.1 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558.. 60

4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 65

4.3 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562.. 69

4.4 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562.. 73

4.5 ผลการประเมินพื้นที่กัดเซาะและทับถมของแม่น้ำลำภาชี พ.ศ.2556 - 2562 77

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 79

1. สรุปผลการศึกษา 79

2. อภิปรายผล... 79

3. ข้อเสนอแนะ 81

บรรณานุกรม 82

ประวัติผู้เขียน.. 85

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 แสดงค่าของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดาวเทียมไทยโชต....................................... 19

ตาราง 2 แสดงค่าของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ.............................. 20

ตาราง 3 แสดงรายละเอียดของข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการวิเคราะห์ 31

ตาราง 4 แสดงความหมายของดัชนีผลแตกต่างความชื้น... 34

ตาราง 5 แสดงดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน 35

ตาราง 6 ตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูล (confusion matrix) 36

ตาราง 7 ตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูลของค่า NDWI SAVI และ supervised classification 54

ตาราง 8 แสดงผลการการประเมินพื้นที่กัดเซาะและทับถม 77

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 พื้นที่ศึกษา แม่น้ำลำภาชี 3

ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย 4

ภาพประกอบ 3 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของระบบลำน้ำ 6

ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างรูปแบบการระบายน้ำแบบต่าง ๆ 7

ภาพประกอบ 5 รูปตัดโค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม 9

ภาพประกอบ 6 แสดงรูปตัดลำน้ำและการกัดเซาะจากสาเหตุต่าง ๆ 10

ภาพประกอบ 7 ลักษณะการกัดเซาะในโค้งลำน้ำที่คดเคี้ยว 11

ภาพประกอบ 8 กลไกการวิบัติของตลิ่งเนื่องจากขาดเสถียรภาพของความลาด 12

ภาพประกอบ 9 การพังทลายบริเวณผิวลาด 13

ภาพประกอบ 10 การพังทลายแบบระนาบ 14

ภาพประกอบ 11 การพังทลายแบบเลื่อนหมุน 14

ภาพประกอบ 12 การพังทลายแบบผสม 15

ภาพประกอบ 13 การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า 19

ภาพประกอบ 14 การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ 21

ภาพประกอบ 15 ตัวอย่างการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์ 26

ภาพประกอบ 16 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำของดัชนี NDWI ก) 2556 ข) 2558 ค) 2560 และง) 2562 40

ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2556 ... 41

ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2558 ... 42

ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2560 ... 43

ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2562 ... 44

ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำของดัชนี SAVI ก) 2556 ข) 2558 ค) 2560 และง) 2562 45

ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2556 46

ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2558 47

ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2560 48

ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2562 49

ภาพประกอบ 26 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2556 50

ภาพประกอบ 27 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2558 51

ภาพประกอบ 28 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2560 52

ภาพประกอบ 29 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2562 53

ภาพประกอบ 30 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2556 55

ภาพประกอบ 31 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2558 56

ภาพประกอบ 32 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2560 57

ภาพประกอบ 33 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2562 58

ภาพประกอบ 34 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ช่วง ข ช่วง ค และช่วง ง 60

ภาพประกอบ 35 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 61

ภาพประกอบ 36 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 62

ภาพประกอบ 37 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 63

ภาพประกอบ 38 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 64

ภาพประกอบ 39 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 65

ภาพประกอบ 40 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 66

ภาพประกอบ 41 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหว่างพ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 67

ภาพประกอบ 42 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 68

ภาพประกอบ 43 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 69

ภาพประกอบ 44 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 70

ภาพประกอบ 45 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหวางพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 71

ภาพประกอบ 46 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 72

ภาพประกอบ 47 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 73

ภาพประกอบ 48 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่างพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 74

ภาพประกอบ 49 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 75

ภาพประกอบ 50 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 76

ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำลำภาชี 77

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

"น้ำ" เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโลก โดยมีปริมาณถึง 3 ใน 4 ส่วนของพื้นโลก น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต และการพัฒนาทางเศรษฐกิจ ถึงแม้ว่าจะมีน้ำปริมาณน้ำมากแต่การเพิ่มขึ้นของประชากรและการขยายตัวทางเศรษฐกิจทำให้มีความต้องการใช้น้ำมากขึ้นประกอบกับมีการบุกรุกทำลายป่าต้นน้ำส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศ เกิดปัญหาภัยพิบัติทางธรรมชาติบ่อยครั้งและมีความรุนแรงมากขึ้น อาทิ อุทกภัย ภัยแล้ง ดินโคลนถล่ม และการพังทลายของดิน นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของชุมชนเมือง และการขยายตัวของอุตสาหกรรมก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำที่ทวีความรุนแรงมากขึ้นในปัจจุบัน (สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ, 2561)

ปัจจุบันประเทศไทย ต้องเผชิญกับปัญหาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของประเทศ ส่งผลกระทบไปถึงการพังทลายตลิ่งของแม่น้ำ เนื่องจากแรงไหลของกระแสน้ำมากกว่าแรงต้านที่ริมตลิ่ง โดยปัจจัยของการกัดเซาะตลิ่งที่สำคัญ ได้แก่ ความคดโค้งของลำน้ำ ความรุนแรงของการไหลของกระแสน้ำ การกัดเซาะจากแรงลมและแรงคลื่น และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การคมนาคมทางน้ำ การดูดทรายริมแม่น้ำ เป็นต้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของชาวบ้านในบริเวณริมตลิ่ง (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

แม่น้ำลำภาชีมีต้นกำเนิดจากทิวเขาตะนาวศรีในภาคตะวันตกของประเทศไทย มีลักษณะของลำน้ำที่คดเคี้ยวและท้องน้ำเต็มไปด้วยแก่งหิน ซึ่งปัจจุบันแม่น้ำลำภาชีมีการกัดเซาะของตลิ่งที่เกิดจากการประกอบกิจกรรมทางเศรษฐกิจ อาทิ การดูดทรายในพื้นที่อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ส่งผลให้น้ำมีลักษณะขุ่นและตะกอนเจือปน ทำให้ไม่สามารถนำน้ำมาใช้ในการประกอบกิจกรรมการเกษตร ซึ่งส่งผลกระทบต่อปริมาณการผลิต และยังมีปัญหาเศษทรายอุดตันในท่อส่งน้ำ ที่ส่งผลถึงการอุปโภคของคนในพื้นที่ (ไทยพีบีเอส, 2562) นอกจากนี้ ยังเกิดการทรุดตัวของตลิ่งด้านข้างแม่น้ำและเกิดการเปลี่ยนทิศทางการไหลของแม่น้ำ เสี่ยงต่อความปลอดภัยในการใช้เส้นทางคมนาคม และพื้นที่เกษตรกรรมที่อยู่บริเวณลำน้ำ (ผู้จัดการออนไลน์, 2561)

จากสถานการณ์ข้างต้น พบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นในพื้นที่บริเวณแม่น้ำลำภาชี เป็นปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไขโดยด่วน และหากปล่อยไว้อาจเกิดผลกระทบกับทรัพยากรธรรมชาติ รวมถึงความเป็นอยู่ของประชาชนและระบบสาธารณูปโภคในพื้นที่ตลอดทั้งลำน้ำในระยะยาว ในการวิจัยครั้งนี้มีแนวคิดในการใช้เทคนิคของการรับรู้ระยะไกล (remote sensing) โดยใช้เทคนิคการจำแนกดัชนี

พืชพรรณปรับแก้ผิวดิน (soil adjustment vegetation index : SAVI) ร่วมกับเทคนิคการจำแนกดัชนีผลต่างความชื้นของน้ำ (normalized difference water index : NDWI) และการจำแนกประเภทข้อมูลจากดาวเทียม (image classification) ด้วยวิธีการจำแนกข้อมูลภาพแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood) เพื่อมาใช้ในการวิเคราะห์ติดตามการเปลี่ยนแปลงและประเมินพื้นที่ถูกกัดเซาะและการสะสมตะกอนของแม่น้ำลำภาชี จากภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) และ เซนติเนล 2เอ (Sentinel-2A) และเพื่อเป็นข้อมูลที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันและแก้ไขผลกระทบให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่รับผิดชอบต่อไป

จุดประสงค์ (Objective)

1. เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของแม่น้ำลำภาชีด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล
2. เพื่อประเมินพื้นที่ถูกกัดกัดเซาะ และการทับถม ของแม่น้ำลำภาชีด้วยระบบภูมิสารสนเทศ

ขอบเขตการศึกษา

1.ขอบเขตเชิงพื้นที่

แม่น้ำลำภาชี เป็นแม่น้ำสายหนึ่งในทางตะวันตกของประเทศไทย มีกำเนิดจากเทือกเขาตะนาวศรี มีความยาว ตลอดลำน้ำ 163 กิโลเมตร พื้นที่รับน้ำ 2,641 ตร.กม. ครอบคลุมพื้นที่ 3 อำเภอ 2 จังหวัด ได้แก่ อำเภอสวนผึ้ง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และอำเภอด่านมะขามเตี้ยจังหวัดกาญจนบุรี โดยมีทิศทางการไหลของน้ำจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ

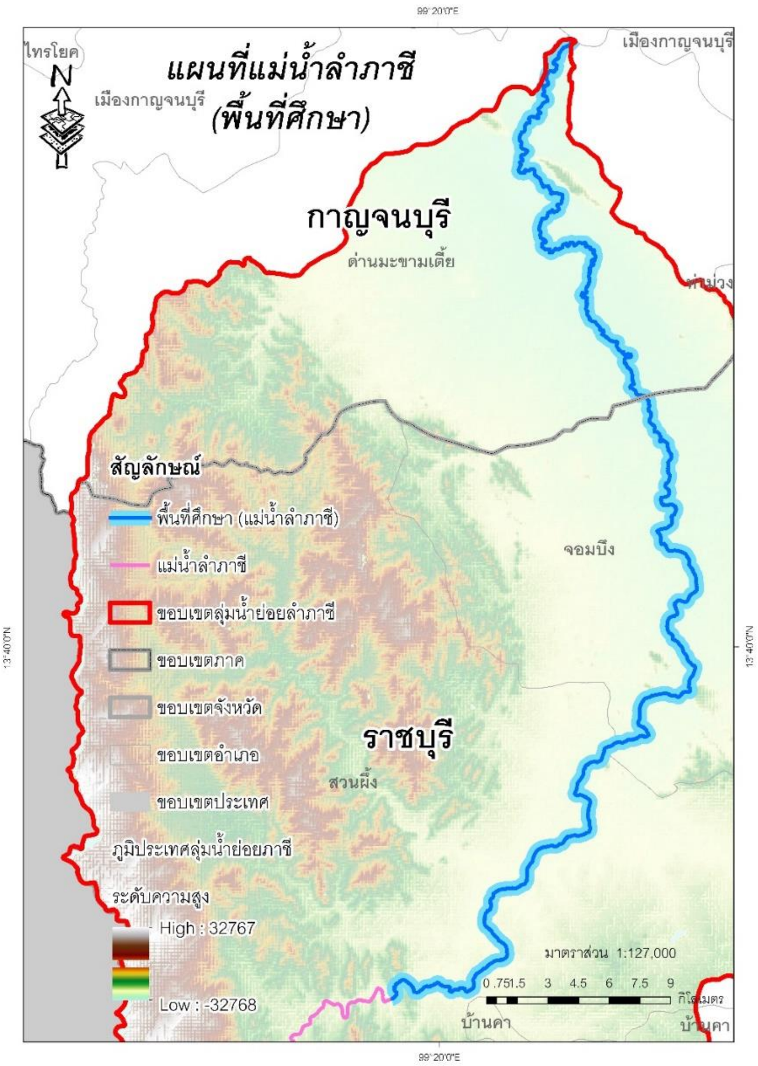
ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการศึกษาลำน้ำภาชี ซึ่งมีระยะทางประมาณ 80 กิโลเมตร จากบริเวณฝายน้ำล้นลำภาชีบ้านท่ามะขาม อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี ถึง บรรจบกับแม่น้ำแควน้อย ต.จระเข้เผือก อ.ด่านมะขามเตี้ย จ.กาญจนบุรี ดังภาพประกอบ 1

2. ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาครั้งนี้ ติดตามและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของลำน้ำ ด้วยข้อมูลการรับรู้ระยะไกล โดยใช้เทคนิคการจำแนกดัชนีพืชพรรณปรับแก้ผิวดิน (soil adjustment vegetation index : SAVI) ร่วมกับเทคนิคการจำแนกดัชนีผลต่างความชื้นของน้ำ (normalized difference water index : NDWI) และใช้เทคนิคการจำแนกประเภทของข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ในพื้นที่จังหวัดราชบุรี เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการบริหารจัดการพื้นที่ริมตลิ่ง และเพื่อประเมินพื้นที่ถูกกัดกัดเซาะ และการทับถม ของแม่น้ำลำภาชี โดยใช้เทคนิคการซ้อนทับกันของชั้นข้อมูลโดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางภูมิสารสนเทศ (ArcGIS)

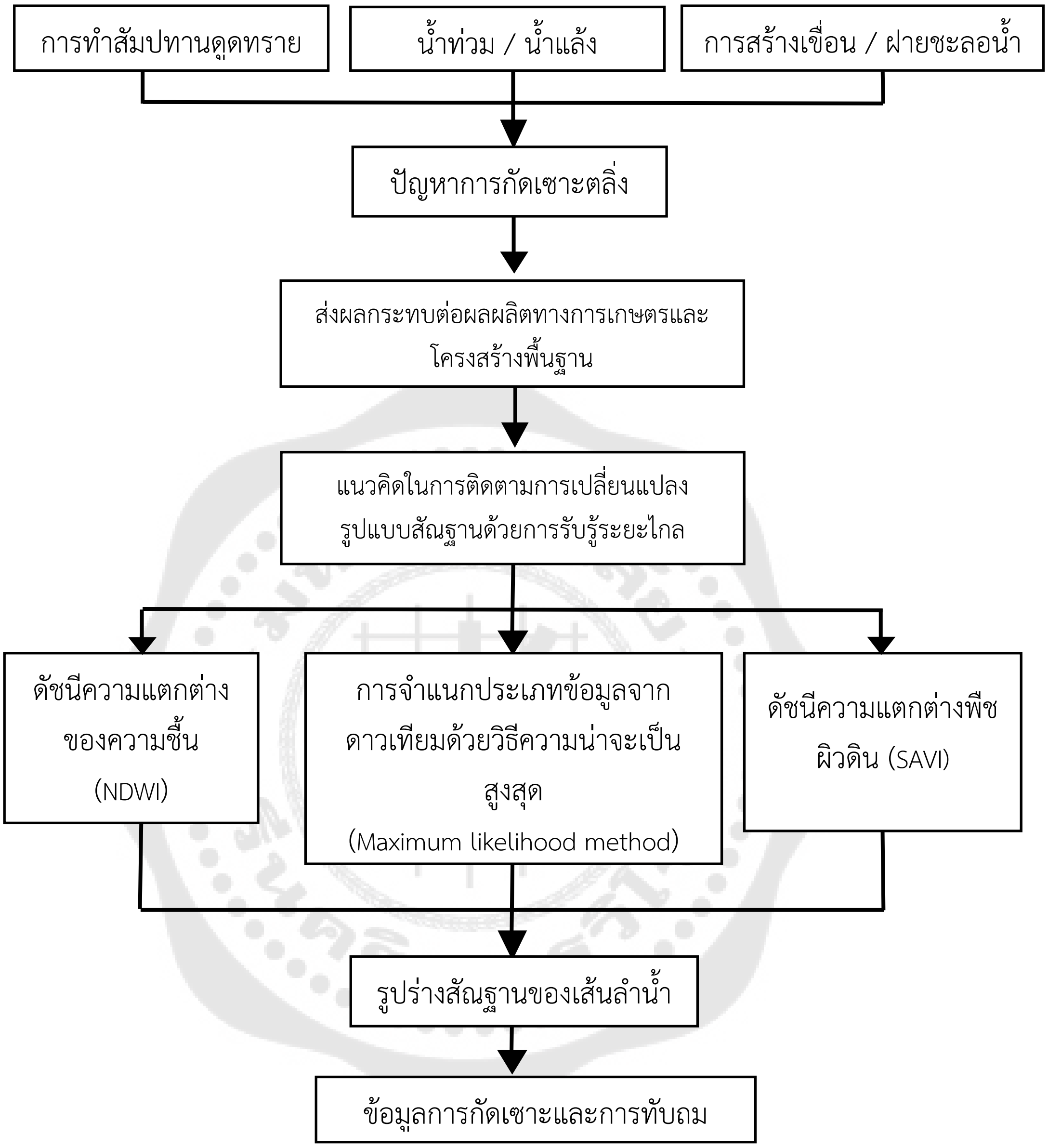
3. ขอบเขตเชิงเวลา

การศึกษาครั้งนี้ ติดตามการเปลี่ยนแปลงและประเมินพื้นที่ถูกกัดเซาะและทับถมของตลิ่งแม่น้ำลำภาชี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) ช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน-เดือนเมษายน) พ.ศ 2556 - 2558 และดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ (Sentinel-2A) (เดือนมกราคม-เดือนเมษายน) พ.ศ.2559 - 2562 เนื่องจากเป็นดาวเทียมรายละเอียดสูง และช่วงระยะเวลาที่คาบเกี่ยวกับช่วงก่อนและหลังที่เกิดเหตุการณ์ร้องเรียน



ภาพประกอบ 1 พื้นที่ศึกษา แม่น้ำลำภาชี

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดในการวิจัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชีด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการ แนวคิด ทฤษฎี รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องครอบคลุมถึงกรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย โดยนำเสนอเนื้อหา ตามลำดับหัวข้อดังต่อไปนี้

1. สัณฐานลำน้ำและการกระทำของลำน้ำที่ทำให้เกิดภูมิประเทศ
2. สาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและทับถมของตลิ่งลำน้ำ
3. ภูมิสารสนเทศ (geo-informatics)
4. วิธีการสกัดเส้นลำน้ำ (river extraction)
5. การประเมินพื้นที่การกัดเซาะและพื้นที่ทับถม
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. สัณฐานลำน้ำและการกระทำของลำน้ำที่ทำให้เกิดภูมิประเทศ

แม่น้ำและลำน้ำ (stream and river) เป็นแหล่งน้ำผิวดิน (surface water) ที่มีต้นกำเนิดมาจากน้ำที่ไหลบนแผ่นดิน ในขณะที่ไหลน้ำบางส่วนอาจถูกกักอยู่บนผิวดินเป็นแหล่งน้ำ และบางส่วนจะมีการกัดเซาะพื้นดินเป็นร่องเล็ก ๆ ซึ่งมักจะก่อตัวในส่วนที่มีความลาดชันและมีปริมาณน้ำที่มากพอสมควร เพราะน้ำที่ไหลแรงจะมีการกัดเซาะสูง (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558) ทำให้มีระดับความลึกต่างกัน ร่องน้ำที่ไหลมารวมกันมากขึ้น จนกลายเป็นร่องน้ำขนาดใหญ่หรือแม่น้ำ (river)

สำหรับการกระทำของลำน้ำเป็นกระบวนการในการเกลี่ยผิวดินให้ปรากฏบนพื้นโลก เราเรียกว่ากระบวนการกัดเซาะ (erosion) การพัดพา (transportation) และการทับถม (deposition) กระบวนการกระทำของลำน้ำหรือน้ำไหลเป็นตัวการสำคัญในการเปลี่ยนแปลงของผิวโลก แต่จะขึ้นอยู่กับความรุนแรงของกระแสน้ำ (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558) ตลอดจนสภาพของดินว่าจะมีโอกาสถูกกระทำมากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เนื่องจากธารน้ำจะกัดเซาะหรือทับถมตะกอนขึ้นอยู่กับความจำเป็นในการปรับเพื่อรักษาสมดุลระหว่างปริมาณตะกอนที่ต้องพัดพาไป กับพลังที่ธารน้ำมีอยู่ในการพัดพา

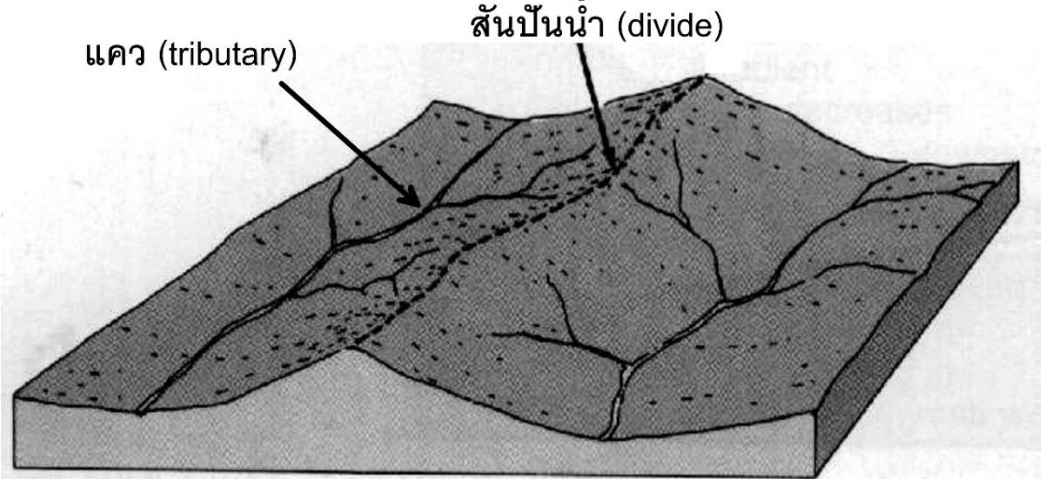
1.1 ส่วนประกอบของลำน้ำ

1) ต้นน้ำ (source) เป็นจุดเริ่มต้นของลำน้ำ เกิดจากตาน้ำหรือน้ำที่ไหลซับออกมาจากแหล่งน้ำ หรือสันปันน้ำบนภูเขา ต้นน้าเป็นบริเวณจุดเริ่มต้นของร่องน้ำหรือลำน้ำ ต้นน้ำมักอยู่ในเขตภูเขาหรือที่สูง

2) ลุ่มน้ำ (river Valley) คือพื้นที่บริเวณที่รองรับน้ำฝนที่ตกลงมาและน้ำฝนดังกล่าวจะไหลมารวมกันที่ลำน้ำ เช่น ลุ่มน้ำเจ้าพระยา หรือส่วนหนึ่งของลุ่มน้ำภาคเหนือ ได้แก่ แม่น้าปิง วัง ยม น่าน เป็นต้น

3) ร่องน้ำ(channel) คือส่วนที่ลึกที่สุดของลำน้ำและเป็นที่รวมของตะกอนขนาดต่าง ๆ ที่ถูกพัดพามา และเป็นช่องทางการระบายน้ำลงสู่บริเวณที่ต่ำกว่า

4) ลำน้ำสาขา (distributary) เป็นลำน้ำสายย่อยที่ไหลแตกแยกออกจากลำน้ำสายหลักออกไป



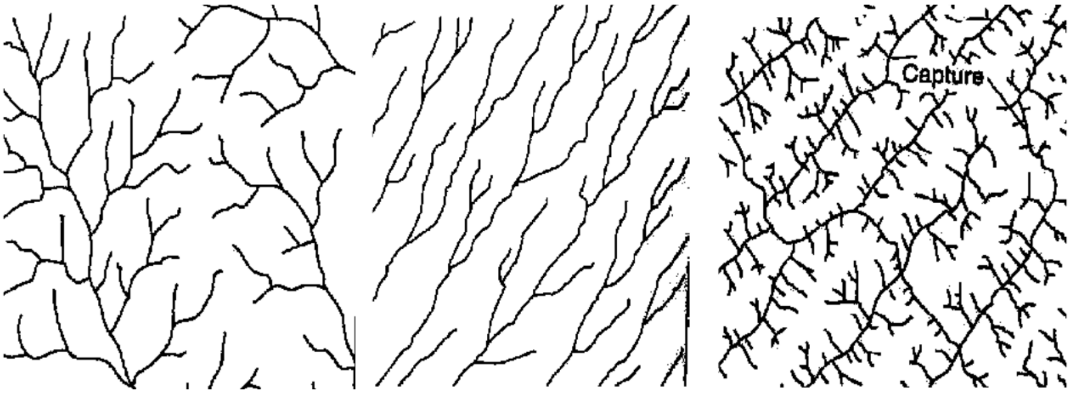
ภาพประกอบ 3 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของระบบลำน้ำ

ที่มา : Montgomery (1998)

1.2 รูปแบบการไหลของธารน้ำ (drainage pattern)

รูปแบบของการระบายน้ำ หมายถึง ลักษณะการระบายน้ำของระบบลำน้ำบางครั้งอาจมีรูปแบบเป็นเส้นตรง มุมโค้ง และอื่น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะทางธรณีวิทยา หรือภูมิ

ประเทศบริเวณนั้น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของบริเวณลุ่มน้ำ โครงสร้างของหิน ชนิดของหินดินดานที่รองรับ สภาวะของภูมิอากาศ และสภาพภูมิประเทศ ได้แก่ รูปแบบกิ่งไม้ (dendritic drainage pattern), รูปแบบรัศมี (radial drainage pattern), รูปแบบสับสน (deranged drainage pattern), รูปแบบขนาน (parallel drainage pattern), รูปแบบวงแหวน (annular drainage pattern), รูปแบบมุมฉาก (trellis drainage pattern) ดังภาพประกอบที่ 4



ก) รูปแบบกิ่งไม้ ข) รูปแบบขนาน ค) รูปแบบฉาก

ภาพประกอบ 4 ตัวอย่างรูปแบบการระบายน้ำแบบต่าง ๆ

ที่มา : (Christopherson, 2016)

2. สาเหตุที่ทำให้เกิดการกัดเซาะและทับถมของตลิ่งลำน้ำ

2.1 การกัดเซาะ (erosion)

2.1.1 การครูดไถ (corrosion) เกิดจากการที่ก้อนหิน กรวด หรือเม็ดทรายทราย ที่โดนการพัดพาแม่น้ำแล้วครูดไถ กระแทกกับท้องน้ำ ฝั่งของลำน้ำ หรือครูดไถกันเอง ทำให้เกิดการกัดกัดเซาะในบริเวณดังกล่าว ส่งผลให้ขนาดของก้อนหิน กรวด จะมีขนาดเล็กลง หากสังเกตลักษณะการกัดกัดเซาะแบบครูดไถ ลำน้ำที่มีความขุ่นจะรุนแรงมากกว่าลำน้ำที่ใส เนื่องจากความแตกต่างของกระแสน้ำไหลที่มีความแรงต่างกัน

2.1.2 การผุตัว (decay) เป็นการกระทำของลำน้ำที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาเคมีอันเนื่องมาจากกรดคาร์บอนิค (carbonic) ที่เกิดจากหยาดน้ำฟ้ากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศรวมตัวกันและตกลงมา ซึ่งมีผลต่อการกัดเซาะทำให้ผิวหน้าของหินดินดานผุลง ส่งผลให้ง่ายต่อการกัดเซาะของลำน้ำมากขึ้น เช่น บริเวณที่ท้องน้ำเป็นหินปูน เป็นต้น

2.1.3 การสึกกร่อน (attrition) เป็นกระบวนการกระทำสืบเนื่องจากการที่ตะกอนหิน ดิน ทราย กลิ้งไปกระแทกตัวกับท้องน้ำและข้างลำธาร ขณะเดียวกันหินบริเวณท้องน้ำที่ถูกแรงอัดกระแทกจะแตกตัวออกและถูกน้ำพัดพาไปตามกระแสน้ำ เกิดการครูดไถทำให้มวลหินเหล่านั้นมนลดความเหลี่ยมความคมลง

2.2 การนำพา (deflation)

การนำพา เป็นกระบวนการพัดพาชนิดแขวนลอย (suspended load) ซึ่งเกิดจากการนำพาไปของกระแสน้ำในลำน้ำ โดยขึ้นอยู่กับความเร็วของกระแสน้ำซึ่งมีผลโดยตรงต่อการนำพาของลำน้ำ โดยจะขึ้นอยู่กับความลาดของทางน้ำ ปริมาณน้ำ และความเรียบของท้องน้ำ เช่น แม่น้ำที่ตื้นและกว้างจะไหลช้ากว่าแม่น้ำที่แคบและลึกกว่า และท้องน้ำที่มีความขรุขระจะเกิดแรงต้านมากกว่าแม่น้ำที่มีท้องน้ำราบเรียบ ทั้งนี้ในฤดูน้ำหลากจะมีปริมาณน้ำที่มาก และไหลแรงและเร็ว ก่อให้เกิดการนำพาสูง

2.3 การทับถม (deposition)

ตามปกติแม่น้ำจะมีการปรับสมดุลปริมาณของวัตถุที่จะนำพา โดยที่ปริมาณของวัตถุที่แม่น้ำตอนใดตอนหนึ่งได้รับจากแม่น้ำตอนต้นน้ำ หรือจากบริเวณที่ทำให้น้ำสม่ำเสมอ ซึ่งกระแสน้ำไหลแรงและมีกำลังการนำพาสูงเกินกว่าปริมาณวัตถุที่ต้องนำพา แม่น้ำตอนนั้นจะถูกกัดเซาะท้องน้ำเพื่อเพิ่มตะกอนในแม่น้ำ รวมถึงเป็นการลดความลาดเทของบริเวณท้องน้ำหรือลดความสามารถในการนำพาของน้ำด้วย ตรงกันข้ามตอนใดที่ท้องน้ำมีความลาดเทน้อย และมีปริมาณวัตถุที่ต้องนาพามากเกินไป แม่น้ำจะทับถมวัตถุที่ต้องนำพาลงจนพอดีกับกำลังการนำพาของมัน และเพิ่มความลาดเทของท้องน้ำให้สูงขึ้นด้วย ในบริเวณที่ความเร็วของกระแสน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น เมื่อแม่น้ำไหลลงบริเวณที่มีท้องน้ำกว้างและนิ่ง ได้แก่ ทะเลสาบ มหาสมุทร ความเร็วของกระแสน้ำจะลดลงทันที บริเวณเหล่านี้จะมีการทับถมของวัตถุที่น้ำพัดพามา และตะกอนเช่นเดียวกัน (ลักษณา สัมมานิธิ, 2543)

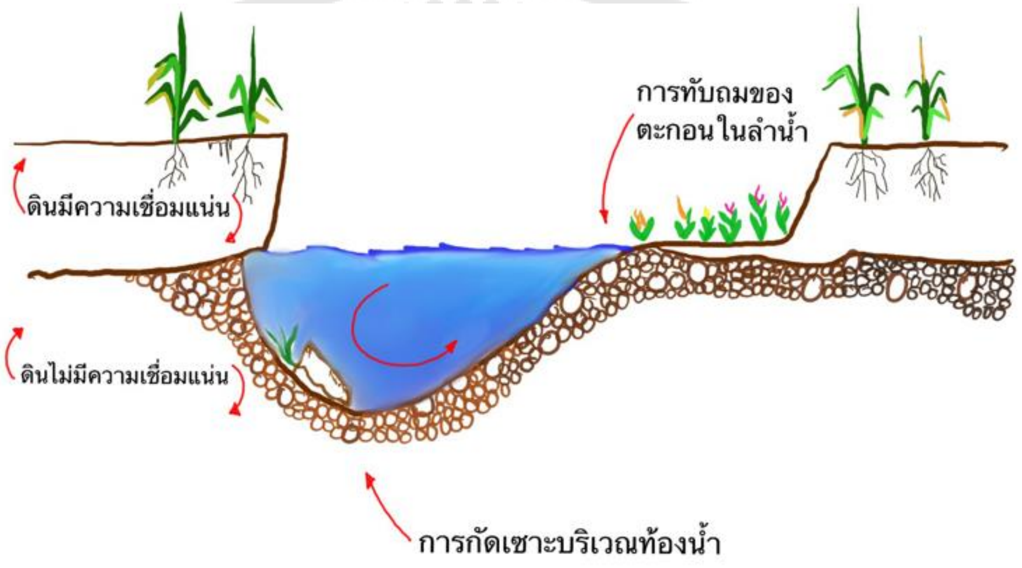
2.4 ประเภทของตลิ่ง

กรมทรัพยากรธรณี โดย (กรมทรัพยากรธรณี, 2556) ได้จำแนกประเภทของตลิ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.4.1 ตลิ่งที่มีความเชื่อมแน่น เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่มีความเชื่อมแน่นหรือดินเหนียวเป็นสำคัญ ตลิ่งประเภทนี้ต้านทานต่อการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำได้ดี

2.4.2 ตลิ่งที่ไม่มีความเชื่อมแน่น เป็นตลิ่งที่ประกอบจากดินประเภทที่ไม่มีความเชื่อมแน่น เช่น ทราย หรือกรวด การยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของเม็ดดินอาศัยเพียงแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคเป็นหลัก ตลิ่งประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำต่ำ

2.4.3 ตลิ่งแบบผสม เป็นตลิ่งที่พบเห็นได้ทั่วไปในแม่น้ำที่มีการนำพาตะกอนประกอบด้วยดินที่มีความเชื่อมแน่นและไม่มีความเชื่อมแน่น วางตัวเป็นชั้น ๆ หรืออาจจะสลับกัน ตลิ่งประเภทนี้มีความต้านทานต่อการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำในระดับปานกลาง ขึ้นอยู่กับตะกอนที่ผสม



ภาพประกอบ 5 รูปตัดโค้งลำน้ำที่มีตลิ่งเป็นแบบผสม

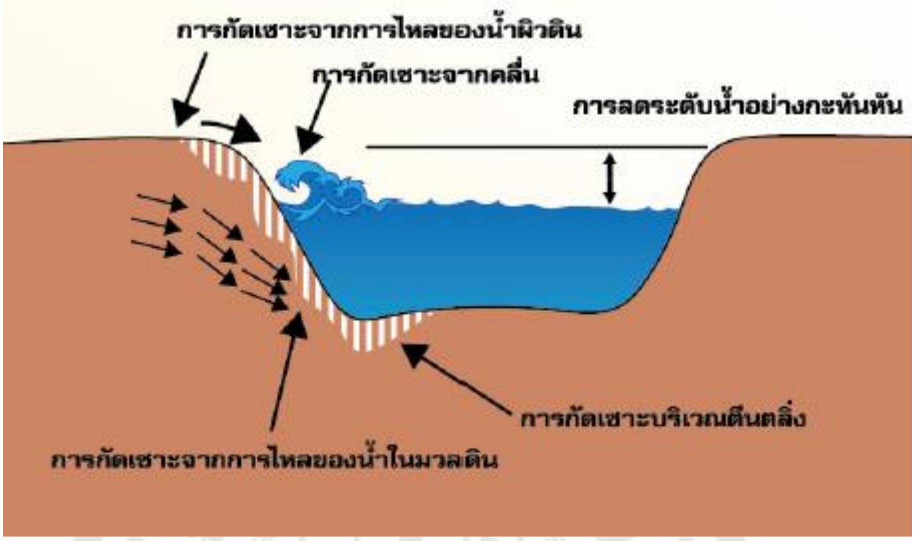
ที่มา : (Christopherson, 2016)

2.5 สาเหตุการพังทลายของตลิ่ง

สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 สาเหตุ ดังนี้

2.5.1 การกัดเซาะตลิ่ง (bank erosion) การกัดเซาะเป็นการกระทำที่เกิดขึ้นจากการไหลของน้ำผ่านผิวตลิ่ง ซึ่งการไหลของน้ำทำให้เกิดหน่วยแรงเฉือนกระทำกับผิวตลิ่ง หากหน่วยแรงดังกล่าวมีขนาดสูงเกินกว่ากำลังต้านทานแรงเฉือนของผิวดิน จะเกิดการพัดพาหรือกัดเซาะเอาผิวดินไหลหลุดออกไปได้ การกัดเซาะนี้เกิดขึ้นได้ทั้งบริเวณลาดตลิ่งและท้องน้ำการกัดเซาะท้องน้ำบริเวณตีนตลิ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ตลิ่งเกิดการพังทลาย และส่งผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงหน้าตัดและทิศทางการไหลของแม่น้ำ นอกจากนี้ยังทำให้ปริมาณตะกอนในลำน้ำเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย



ภาพประกอบ 6 แสดงรูปตัดลำน้ำและการกัดเซาะจากสาเหตุต่าง ๆ

ที่มา : (Christopherson, 2016)

2.5.2 การขาดเสถียรภาพทางเทคนิคธรณี (geotechnical instabilities) การพังทลายของตลิ่งจากการขาดเสถียรภาพเกิดขึ้นเมื่อกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินไม่เพียงพอที่จะต้านหน่วยแรงที่กระทำกับตัวตลิ่งได้สาเหตุการพังทลายของตลิ่งเนื่องจากการขาดเสถียรภาพที่สำคัญ ได้แก่

1) การลดระดับน้ำในลำน้ำอย่างกะทันหัน ทำให้แรงดันน้ำในดินสูงกำลังของดินลดลง

2) ตลิ่งที่มีชั้นดินทรายบางๆ อาจเกิดแรงดันน้ำในมวลดินสูง จนเกิดการกัดเซาะเม็ดดินออกเป็นโพรง (piping) ส่งผลให้ดินส่วนบนพังทลายตามลงมา

3) แรงตึงผิว (capillary) สามารถทำให้ตลิ่งประเภทดินทรายมีความชันสูงกว่าความชันธรรมชาติของตัวตลิ่งได้แต่เมื่อตลิ่งแห้งตัว แรงตึงผิวดังกล่าวจะหายไป ทำให้ตลิ่งขาดเสถียรภาพและพังทลายลงมา

ภาพประกอบ 7 ลักษณะการกัดเซาะในโค้งลำน้ำที่คดเคี้ยว

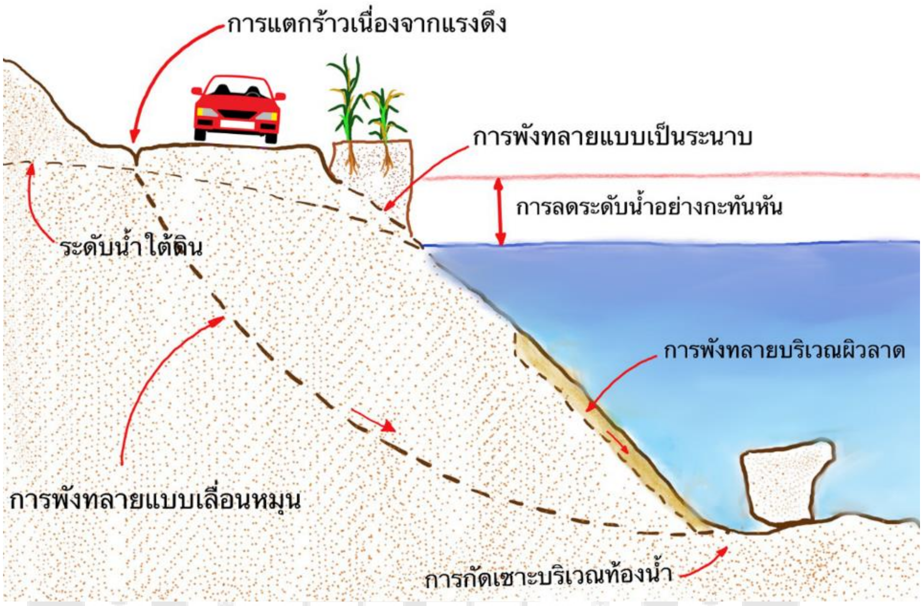
ที่มา : (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)

2.5.3 การพังทลายของตลิ่งในลักษณะรวมกัน การพังทลายของตลิ่งส่วนใหญ่เริ่มเกิดจากการกัดเซาะและผลจากการกัดเซาะทำให้ตลิ่งขาดเสถียรภาพและพังทลายลงมา การกัดเซาะตลิ่งเกิดขึ้นเมื่อแรงกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำเกินกว่าแรงต้านทานของดินริมตลิ่ง ทำให้เม็ดดินถูกพัดพาไหลหลุดออกมานำไปสู่การพังทลายของตลิ่งจำแนกได้ดังนี้

1) การกัดเซาะเนื่องจากการไหลของกระแสน้ำ ความรุนแรงของกระแสน้ำขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณการไหลของน้ำ ความเร็วของกระแสน้ำ ขนาดและความลาดเอียงของลำน้ำรวมทั้งรูปร่างคดเคี้ยวของลำน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการกัดเซาะ ลำน้ำที่มีความคดเคี้ยวมากการกัดเซาะจะเป็นไปอย่างรุนแรง

2) การกัดเซาะทางกล สาเหตุการกัดเซาะทางกลมีอยู่หลายประเภท ตัวอย่าง ได้แก่ การกระแทกของเรือเมื่อเรือเทียบฝั่ง รวมทั้งการฝังหมุดเพื่อยึดเรือ การขยายและหดตัวของดินสลับกันอย่างต่อเนื่อง เกิดขึ้นจากการที่ดินมีสภาพชุ่มน้ำและแห้งสลับกัน การกัดเซาะเนื่องจากการกระทำของมนุษย์ (สะพาน ฝายน้ำล้น การดูดทราย และท่าเทียบเรือ) การกัดเซาะเนื่องจากการซึมผ่านของน้ำในมวลดิน รวมถึงการกัดเซาะเนื่องจากการไหลของน้ำผิวดิน และ

ความลาดเอียงของตลิ่ง หากตลิ่งมีความลาดเอียงสูงกว่าความลาดเอียงตามธรรมชาติของตัวตลิ่งเอง ก็มีแนวโน้มว่าตลิ่งดังกล่าวที่จะเกิดการพังทลายเนื่องจากการขาดเสถียรภาพได้ ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความลาดเอียงของตลิ่งที่สำคัญ ได้แก่ คุณสมบัติของดินตลิ่ง ระดับของน้ำใต้ดินและน้ำในลำน้ำ และการกัดเซาะบริเวณลาดตลิ่ง (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2558)



ภาพประกอบ 8 กลไกการวิบัติของตลิ่งเนื่องจากขาดเสถียรภาพของความลาด

ที่มา : (Christopherson, 2016)

3) น้ำหนักบรรทุกจริงริมตลิ่ง ตัวอย่างของน้ำหนักบรรทุกนี้ได้แก่ น้ำหนักมนุษย์ น้ำหนักจากเครื่องจักรในขณะก่อสร้าง และน้ำหนักของรถยนต์ในกรณีที่มีถนนอยู่ริมตลิ่ง

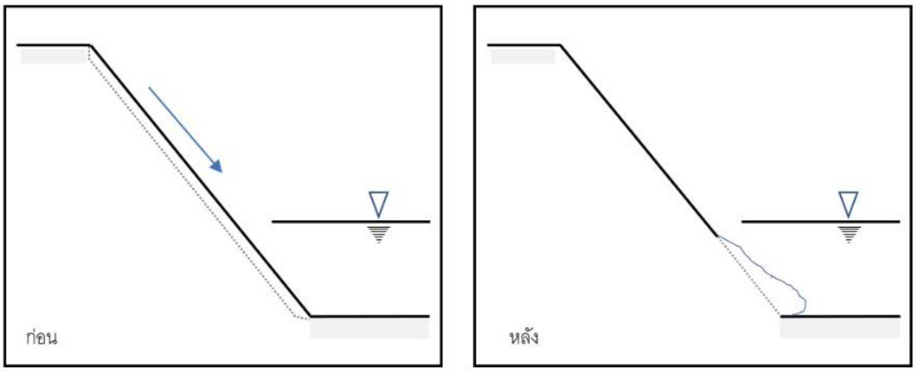
4) การแตกร้าวเนื่องจากแรงดึง เกิดขึ้นกับดินประเภทดินเหนียว การแตกร้าวนี้ทำให้ตลิ่งลดเสถียรภาพลง โดยเฉพาะหากมีน้ำอยู่ในรอยร้าวดังกล่าว

2.6 ลักษณะการพังทลายของตลิ่ง

(กรมทรัพยากรธรณี, 2556) จากกรมทรัพยากรธรณี ได้จำแนกลักษณะการพังของตลิ่งเป็น 4 ลักษณะ ได้แก่

2.6.1 การพังทลายบริเวณผิวลาด โดยทั่วไปเกิดกับตลิ่งที่เป็นดินประเภทดินทราย ระนาบการพังทลายจะอยู่ในระดับตื้นและขนานไปกับลาดของตลิ่ง การพังทลายของตลิ่งในลักษณะนี้เกิดขึ้นเนื่องจากความลาดเอียงของตลิ่งสูงกว่าแรงเสียดทานภายในของเม็ดดิน

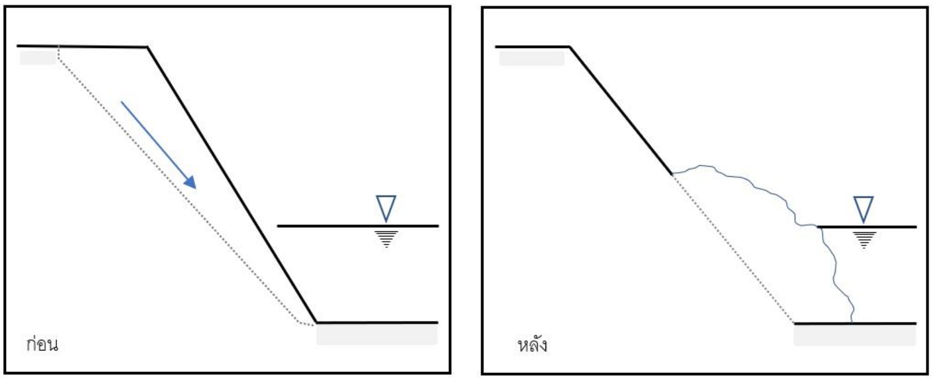
โดยเฉพาะถ้ามีน้ำไหลซึมผ่านในตลิ่งทำให้การพังทลายในลักษณะนี้เกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น (ภาพทประกอบที่ 9)



ภาพประกอบ 9 การพังทลายบริเวณผิวลาด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Christopherson (1994)

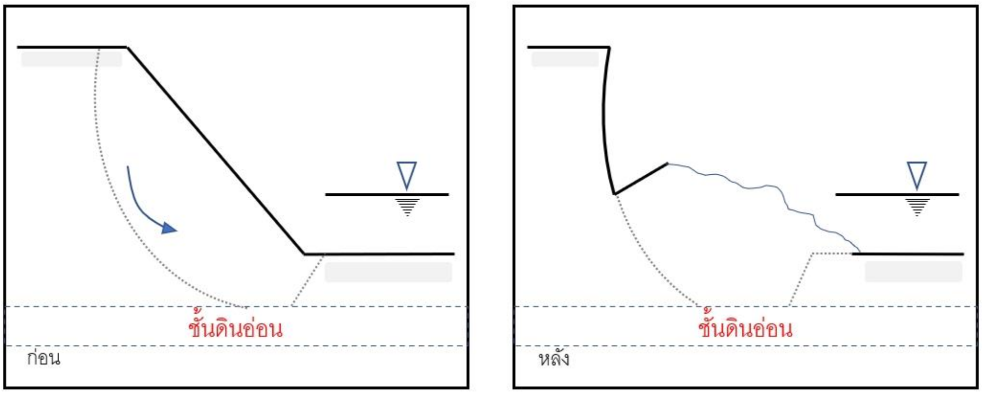
2.6.2 การพังทลายเป็นระนาบ พบเกิดขึ้นกับตลิ่งที่มีความชันปานกลาง ถ้าดินตลิ่งผิวบนเกิดการแตกร้าวและมีน้ำอยู่ในรอยร้าวดังกล่าว จะทำให้เกิดการวิบัติได้ง่าย (ภาพประกอบที่ 10)



ภาพประกอบ 10 การพังทลายแบบระนาบ

ที่มา : (Christopherson, 2016)

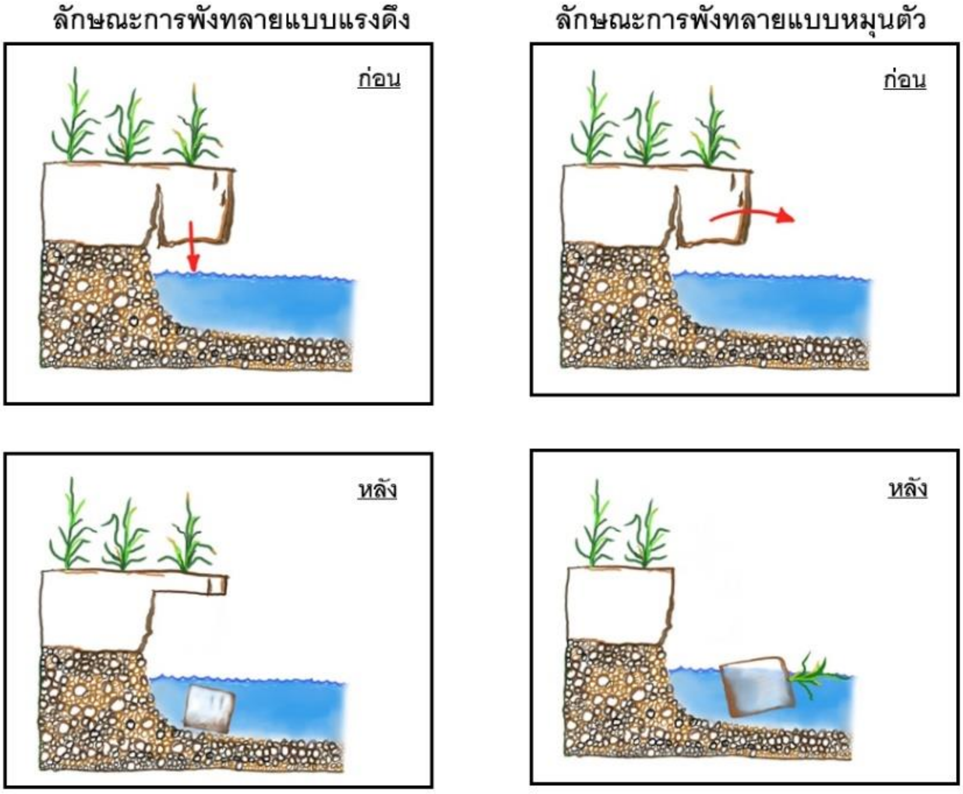
2.6.3. การพังทลายแบบเลื่อนหมุน โดยทั่วไปเกิดขึ้นกับตลิ่งที่เป็นดินประเภทดินเหนียวมีความสูงปานกลางถึงสูงมาก สาเหตุการพังทลายของตลิ่งในลักษณะนี้ อาจเกิดจากมีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ตลิ่งหรือท้องน้ำหรือเกิดจากการลดระดับน้ำอย่างกระทันหัน



ภาพประกอบ 11 การพังทลายแบบเลื่อนหมุน

ที่มา : (Christopherson, 2016)

2.6.4 การพังทลายของตลิ่งแบบผสม การพังทลายของตลิ่งแบบผสมส่วนใหญ่เป็นชั้นดินที่ไม่มีความควบแน่นถูกกระแสน้ำกัดเซาะ ทำให้ดินชั้นบนเกิดเป็นส่วนคอด และพังทลายลงมา ซึ่งการพังทลายของดินส่วนบนอาจเกิดในลักษณะการพังทลายจากแรงดึง หรือจากการหมุนตัว



ภาพประกอบ 12 การพังทลายแบบผสม

ที่มา : (Christopherson, 2016)

3. **ภูมิสารสนเทศ** (Geo-Informatics)

ภูมิสารสนเทศ หมายถึง การบูรณาการความรู้และเทคโนโลยีเกี่ยวกับด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) การรับรู้จากระยะไกล (Remote Sensing : RS) และระบบดาวเทียมนำทางโลก (Global Navigation Satellite System : GNSS) เพื่อประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่วิทยาการด้านการรับรู้จากระยะไกลซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในการศึกษาองค์ประกอบต่าง ๆ บนพื้นโลกและในชั้นบรรยากาศ เพื่อศึกษาและติดตามการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติได้โดยการ

เลือกใช้ข้อมูลจากดาวเทียม นอกจากนี้ข้อมูลจากการรับรู้จากระยะไกล เป็นข้อมูลที่ได้มาอย่างรวดเร็ว สามารถตอบสนองความต้องการได้ทันทีสำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถจัดการ วิเคราะห์และประยุกต์ใช้ข้อมูลเชิงพื้นที่ในการวางแผนจัดการทรัพยากรธรรมชาติต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ระบบดาวเทียมนำทางโลกสามารถนำมาใช้กำหนดตำแหน่งเชิงพื้นที่ และติดตามการเคลื่อนที่ของคนและสิ่งของได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศจึงเป็นวิทยาการที่สำคัญที่หลายหน่วยงานได้นำมาพัฒนาประเทศในหลากหลายด้าน เช่น ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เกษตร ผังเมือง การจราจร ความมั่นคงทางการทหาร ภัยพิบัติ รวมไปถึงการค้าเชิงธุรกิจ

3.1 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เป็นระบบที่รวบรวม จัดเก็บ และวิเคราะห์อย่างเป็นระบบสามารถทำการสืบค้นข้อมูลและปรับปรุงข้อมูล รวมไปถึงการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในเรื่องต่าง ๆ ได้ ข้อมูลที่นำมารวบรวมและจัดเก็บในระบบที่สามารถนำไปจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) โดยข้อมูลเชิงพื้นที่ยังมีการเชื่อมโยงเข้ากับข้อมูลลักษณะประจำ (attribute data) ที่ใช้อธิบายรายละเอียดของปรากฏการณ์และคุณลักษณะของข้อมูลเชิงพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งจะทำให้การนำข้อมูลไปใช้มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ, 2552)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หมายถึง ระบบคอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ออกแบบเพื่อสนับสนุนการนำเข้าข้อมูล (capture) การจัดการข้อมูล (mamagement) การเปลี่ยนแปลงข้อมูล (manipulation) การวิเคราะห์ข้อมูล (analysis,modelling) และการแสดงผล (display) ของข้อมูลเชิงพื้นที่ มีลักษณะการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ดังนี้

1) การนำข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ (data input) ซึ่งอาจจอยู่ในรูปแบบของข้มูลแผนที่ซึ่งมีอยู่แล้ว ข้อมูลจากภาคสนามหรือข้อมูลจากเครื่องบันทึกภาพ แบ่งเป็นข้อมูลเขิงพื้นที่ (spatial data) และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (attribute data)

2) การปรับแต่งข้อมูล (data manipulation) โดยบางข้อมูลจำเป็นต้องปรับแต่งให้เหมาะสมกับงาน เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์และความถูกต้องของข้อมูล

3) การจัดการข้อมูล (data management) การจัดการข้อมูล การสร้างแฟ้ม หรือการจัดหมวดหมู่ เพื่อเชื่อมโยงระหว่างข้อมูลเชิงพท้นที่และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ เพื่อความถูกต้องและง่ายต่อการเรียกใช้ข้อมูล

4) การวิเคราะห์ข้อมูล (data analysis) เป็นการนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่หลาย ๆ ชั้นข้อมูล โดยการใช้เครื่องมือ (tools) ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นผลิตภัณฑ์หรือชั้นข้อมูลใหม่ออกมาตามวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์

5) การแสดงผลข้อมูล (data display) เป็นการนำข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบของตัวเลขหรือข้อมูลภาพกราฟิกที่แสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ หรือเครื่องพิมพ์ (plotter)

องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์ (hardware) ซอฟต์แวร์ (software) ข้อมูล (data) การวิเคราะห์ (procedure) บุคลากร (user) ซึ่งเป็นระบบข้อมูลที่เชื่อมโยงพื้นที่กับค่าพิกัดภูมิศาสตร์และรายละเอียดของพื้นที่บนพื้นโลกโดยใช้คอมพิวเตอร์ที่ประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อการนำเข้า จัดเก็บ ปรับแก้ วิเคราะห์ข้อมูล และแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น แผนที่ ภาพสามมิติ สถิติ ตารางข้อมูลร้อยละ เพื่อช่วยในการวางแผนและตัดสินใจให้มีความถูกต้องแม่นยำ ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นระบบที่สามารถบันทึกข้อมูลเพื่อที่จะแสดงสภาพพื้นที่จริง โดยมีข้อมูล 2 รูปแบบ ได้แก่ ข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงคุณลักษณะ

3.1.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งต่าง ๆ บนโลก ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 3 ลักษณะ ได้แก่ จุด (point) เส้น (line) พื้นที่รูปปิด (polygon)

3.1.2 ข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (attribute data) เป็นข้อมูลเชิงบรรยาย ซึ่งจะอธิบายถึงคุณลักษณะต่าง ๆ ในพื้นที่นั้น ๆ ณ ช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง หรือหลาย ๆ ช่วงเวลา เช่น ข้อมูลจำนวนประชากรในเขตต่าง ๆ ข้อมูลจำนวนนักเรียนแต่ละชั้นของโรงเรียนในจังหวัดเชียงใหม่ เป็นต้น

3.2 การรับรู้จากระยะไกล

การรับรู้จากระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และศิลปะของการได้มาซึ่งข้อมูลโดยที่ไม่มีการสัมผัสกับวัตถุ พื้นที่ และปรากฏการณ์ต่าง ๆ บนที่อยู่พื้นผิวโลกโดยตรง ด้วยเครื่องรับรู้ในการบันทึกพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนออกมาจากแหล่งพลังงานนั้น ๆ เช่น ดวงอาทิตย์และวัตถุบนพื้นผิวโลก ตัวอย่างของการรับรู้จากระยะไกล เช่น การถ่ายรูปที่มีกล้องถ่ายรูปเป็นเครื่องรับรู้ โดยอาศัยคลื่นตามองเห็น (visible light) เป็นพลังงาน และบันทึกพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุเป้าหมาย หรือการถ่ายภาพจากเครื่องรับรู้ที่ติดตั้งกับยานสำรวจในระดับความสูงต่าง ๆ

เช่น บอลลูน เครื่องบินบังคับวิทยุ เครื่องบิน อากาศยาน กระสวยอวกาศ และดาวเทียม เพื่อการประยุกต์ในงานหลาย ๆ (ซูเดช โลศิริ, 2561)

องค์ประกอบของการรับรู้จากระยะไกล สามารถจำแนกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ แหล่งข้อมูลของการตรวจวัด (sources) ได้แก่ พื้นผิวและบรรยากาศของโลก อุปกรณ์การตรวจวัดจากระยะไกล (remote sensor) และระบบการประมวลผลข้อมูล (data processing system) ที่สามารถบ่งชี้ลักษณะของวัตถุได้จากการสะท้อนหรือแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุนั้น ๆ กล่าวคือ “วัตถุแต่ละชนิด จะมีลักษณะการสะท้อนแสงหรือการแผ่รังสีที่เฉพาะตัวและแตกต่างกันไป ถ้าวัตถุหรือสภาพแวดล้อมเป็นคนละประเภทกัน” สมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสื่อในการได้มาของข้อมูลใน 4 รายละเอียด คือ รายละเอียดเชิงช่วงคลื่น (spectral resolution) รายละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) รายละเอียดเชิงคลื่นรังสี (radiometric resolution) และรายละเอียดเชิงเวลา (temporal resolution) การรับรู้จากระยะไกลจึงเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการจำแนกวัตถุหรือสภาพแวดล้อมต่าง ๆ จากลักษณะเฉพาะตัวในการสะท้อนแสงหรือแผ่รังสี ซึ่งข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากบันทึก ได้แก่ การถ่ายภาพทางเครื่องบินในระดับต่ำที่เรียกว่า รูปถ่ายทางอากาศ (aerial photo) และข้อมูลที่ได้จากการบันทึกภาพจากดาวเทียมในระดับสูงกว่า เรียกว่า ภาพถ่ายจากดาวเทียม (satellite image) ซึ่งระบบการรับรู้จากระยะไกลโดยอาศัยพลังงานแสงธรรมชาติ เรียกว่า การรับรู้จากระยะไกลในระบบพาสซีพ ส่วนระบบบันทึกที่มีแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้นและส่งไปยังวัตถุเป้าหมาย เรียกว่า การรับรู้จากระยะไกลในระบบแอคทีฟ

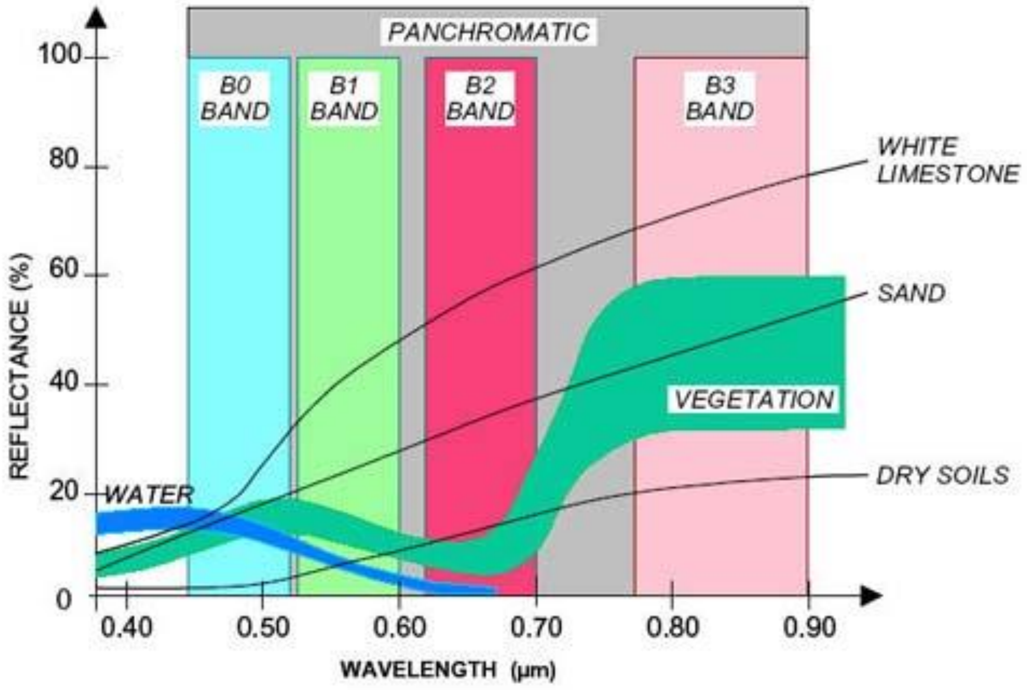
3.3 ระบบนำทางด้วยดาวเทียม

ระบบนำทางด้วยดาวเทียม ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อประมวลผลเชิงตำแหน่ง ณ จุดที่อุปกรณ์รับสัญญาณตั้งอยู่ เทคโนโลยีนี้กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในงานด้านสำรวจและการวิจัย ซึ่งปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาระบบนำทางด้วยดาวเทียมขึ้นมาหลายระบบ เช่น ประเทศรัสเซียมีระบบโกลนาส (GLONASS) กลุ่มประเทศสหภาพยุโรปมีระบบกาลิเลโอ (Galileo) ประเทศจีนมีระบบคอมพาส (Compass) เป็นต้น ดังนั้น GNSS (Global Navigation Satellie System) จึงเป็น ชื่อเรียกรวมดาวเทียมระบบระบุพิกัดตำแหน่งบนผิวโลกของประเทศต่าง ๆ

3.4 ดาวเทียมไทยโชต (Thaichote)

ดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) เป็นดาวเทียมขนาดเล็ก มีน้ำหนักประมาณ 750 กิโลกรัม โดยโคจรสูงจากพื้นดินประมาณ 820 กิโลเมตร และโคจรมาบริเวณเดิมทุก 26 วัน มีกล้องถ่ายภาพ มีกล้องถ่ายภาพ 2 ระบบ ได้แก่ ภาพแบบขาวดำ (panchromatic) มีความละเอียด 2 เมตร มีความ

กว้างของภาพที่ตั้งฉากกับพื้นผิวโลก 22 กิโลเมตร และภาพแบบหลายช่วงคลื่น (multispectral) แสดงผลเป็นภาพสี จำนวน 4 ช่วงคลื่น มีความละเอียด 15 เมตร มีความกว้างของภาพที่ตั้งฉากกับพื้นผิวโลก 90 กิโลเมตร ได้แก่ 3 ช่วงคลื่นที่ตามองเห็น (RGB) และ 1 ช่วงคลื่น (NIR)



ภาพประกอบ 13 การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (2555)

ตาราง 1 แสดงค่าของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดาวเทียมไทยโชต

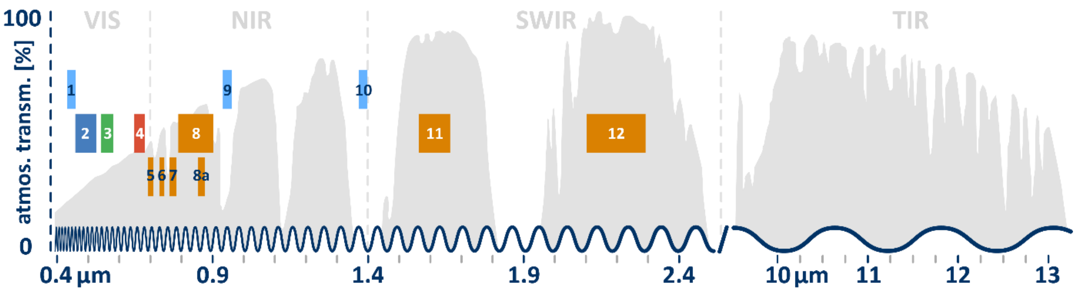
แบนด์ (Band)	ช่วงคลื่น	ความยาวคลื่น (µm) (Wavelength)	ความละเอียด (เมตร)
1	น้ำเงิน (blue)	0.45-0.53	15
2	เขียว (green)	0.53-0.62	15
3	แดง (red)	0.63-0.69	15
4	อินฟราเรดใกล้ (Nir Infrared)	0.77-0.90	15
5	Panchromatic	0.45-0.90	2

3.2 ดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ (Sentinel 2A)

โครงการดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของสหภาพยุโรป (Sentinel-2, EU Copernicus Programme) ปัจจุบันมีดาวเทียม 2 ดวง คือ Sentinel-2A (launch 2015) และ Sentinel-2B (launch 2017) โคจรสูงจากพื้นดินประมาณ 786 กิโลเมตร ระบบบันทึกข้อมูลภาพของดาวเทียมเซนติเนล 2 รองรับ 13 ย่านความถี่แบบ Multi-Spectrum (MS) อาทิ visible, near infrared,และ short wave infrared ซึ่งเป็นข้อมูลภาพระดับ high spatial resolution (ละเอียด 10-60 เมตร) ครอบคลุมทั่วโลก ทั้งภาคพื้นดินและมหาสมุทร และบันทึกข้อมูลซ้ำทุกๆ 5 วัน โดยแบ่งกลุ่มตามความยาวช่วงคลื่นและความละเอียดจุดภาพของดาวเทียม ได้ดังนี้ 1) ความละเอียดจุดภาพ 10 เมตร มีจำนวน 4 แถบความถี่ ได้แก่ แถบความถี่ที่ 2 3 4 และ 8 2) ความละเอียดจุดภาพ 20 เมตร มีจำนวน 6 แถบความถี่ ได้แก่ แถบความถี่ที่ 5 6 7 8a 11 และ 12 และ 3) ความละเอียดจุดภาพ 60 เมตร มีจำนวน 3 แถบความถี่ ได้แก่ แถบความถี่ที่ 1 9 และ 10

ตาราง 2 แสดงค่าของช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ

แบนด์ (Band)	ความละเอียด (Resolution)	ความยาวคลื่น (Wavelength)
B1 Ultra blue (Coastal and Aerosol)	60 m	443 nm
B2 Blue	10 m	490 nm
B3 Green	10 m	560 nm
B4 Red	10 m	665 nm
B5 Visible and Near Infrared (VNIR)	20 m	705 nm
B6 Visible and Near Infrared (VNIR)	20 m	740 nm
B7 Visible and Near Infrared (VNIR)	20 m	783 nm
B8 Visible and Near Infrared (VNIR)	10 m	842 nm
B8a Visible and Near Infrared (VNIR)	20 m	865 nm
B9 Short Wave Infrared (SWIR)	60 m	940 nm
B10 Short Wave Infrared (SWIR)	60 m	1375 nm
B11 Short Wave Infrared (SWIR)	20 m	1610 nm



ภาพประกอบ 14 การสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ

ที่มา : (Berlin, 2015)

4. วิธีการการสกัดเส้นลำน้ำ (river extraction)

จากการตรวจสอบเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา เพื่อสกัดเส้นลำน้ำ พบว่ามีการนำข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลไปใช้ประกอบการสกัดเส้นลำน้ำ ด้วยวิธีการและเทคนิคดังต่อไปนี้

4.1 การแปลตีความข้อมูลจากดาวเทียมด้วยสายตา (visual interpretation)

การใช้เทคนิคการแปลตีความด้วยสายตา ผู้ที่ทำการอ่านแปลจะต้องมีความรู้และประสบการณ์ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการใช้วัดความถูกต้องของข้อมูล โดยพิจารณาจากองค์ประกอบสำคัญหลัก เช่น ความเข้มของสีและสี (tone/color) ขนาด (size) รูปร่าง (shape) รูปแบบ (pattern) ความสูงและเงา (height and shadow) ที่ตั้ง (site) เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการอ่านแปล ได้แก่ ภาพถ่ายจากดาวเทียม แผนที่ภูมิประเทศ โดยจะยึดข้อมูลดาวเทียมและแผ่นใสเข้าด้วยกัน แล้วใช้ปากกาใส่แผ่นใส ลากเส้น หรือประเภทข้อมูลง่ายๆ ที่ทราบได้อย่างชัดเจนในเบื้องต้นก่อน แล้วในส่วนที่เหลือจึงดำเนินการต่อไปอย่างเป็นขั้นเป็นตอน หากต้องการทำเป็นไฟล์ดิจิทัล ก็ใช้หลักการเดียวกันแต่จะใช้ภาพที่มีพิกัดแล้ว จากนั้นใช้โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ (GIS) และใช้ฟังก์ชั่นในการดิจิไทด์ (digitize) โดยข้อมูลเชิงเลขที่ได้ทั้งหมดจะอยู่ในรูปแบบ vector ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์และต่อยอดในงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

4.2 ดัชนีพืชพรรณ (vegetation index)

เป็นการคำนวณโดยนำช่วงคลื่นที่เกี่ยวข้องกับพืชพรรณมาทำสัดส่วนซึ่งกันและกัน แล้วให้ผลลัพธ์ในการจำแนกบริเวณที่มีปริมาณพืชพรรณปกคลุม (biomass) กับบริเวณที่ไม่ใช่พืชพรรณ เป็นประโยชน์ในการติดตามการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของพืชพรรณ และสถานการณ์สิ่งแวดล้อมในพื้นที่ศึกษา ช่วงคลื่นที่เกี่ยวกับพืชพรรณ ได้แก่ ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง มีคุณสมบัติในการวัดค่าการสะท้อนจากส่วนที่มีการดูดกลืนพลังงานในใบพืชหรือส่วนที่มีคลอโรฟิลล์ และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้มีคุณสมบัติในการแยกแยะพืชพรรณและวัดปริมาณมวลชีวภาพ

ดัชนีพืชพรรณแบบปรับความแตกต่าง (normalized difference vegetation index : NDVI) มีประสิทธิภาพในการประเมินลักษณะเฉพาะและการติดตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงการปกคลุมของพืชพรรณ ซึ่งบริเวณที่มีพืชพรรณปกคลุมจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้สูงกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงทำให้ค่า NDVI มีค่าเป็นบวก ในขณะที่ พื้นผิวเป็นดิน พื้นที่เปิดโล่ง/สิ่งก่อสร้าง หรือมีหิน จะมีค่าการสะท้อนระหว่างสองช่วงคลื่นใกล้เคียงกันทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ และในกรณีที่พื้นผิวเป็นน้ำจะมีค่าการสะท้อนในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ต่ำกว่าช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดงทำให้ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) มีค่าติดลบ (ซูเดช โลศิริ, 2561)

เป็นการคำนวณจากอัตราส่วนระหว่างผลต่างและผลรวมค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นที่ตามองเห็นสีแดง (Red) และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) ของวัตถุบนพื้นผิวโลก ผลจากการคานวณจะได้ค่าของดัชนีอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ดังสมการต่อไปนี้

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \qquad (1)$$

โดยที่ NDVI = ดัชนีพืชพรรณแบบปรับความแตกต่าง

NIR = ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้

RED = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

4.3 ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (soil adjustment vegetation index : SAVI)

เป็นดัชนีพืชพรรณที่สร้างขึ้นเพื่อการคำนวณพืชพรรณในพื้นที่ศึกษาที่มีปริมาณพืชพรรณค่อนข้างต่ำ มีสูตรการคำนวณคล้ายกับ NDVI แต่มีการให้ค่าคงที่ (L) เพิ่มขึ้นเพื่อลดอิทธิพลของค่าการสะท้อนจากดินที่เป็นพื้นล่างของพืชพรรณ ถ้าค่าคงที่มีค่าเท่ากับศูนย์หมายถึงดัชนี SAVI มีค่าเท่ากับดัชนี NDVI แต่หากมีสัดส่วนพืชพรรณปกคลุมพอสมควร ค่าคงที่จะมีค่าประมาณ 0.5 มีสูตรการคำนวณดังนี้

SAVI = ((NIR – RED) / (NIR + RED + L)) × (1 + L) ———— (2)

โดยที่ SAVI = ดัชนีพืชพรรณ

NIR = ช่วงคลื่นอินฟาเรดใกล้

RED = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

L = ค่าคงที่

4.4 ดัชนีความแตกต่างของความชื้น (normalized difference water index : NDWI)

เป็นดัชนีพืชพรรณที่เหมาะสมในการทำแผนที่ที่แยกแหล่งน้ำกับพื้นดิน ซึ่งพื้นผิวน้ำจะมีการดูดซับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสูงและมีการสะท้อนออกมาของรังสีต่ำ ซึ่งการใช้ NDWI จะช่วยให้พื้นที่น้ำมีความชัดเจนมากขึ้น แต่บ่อยครั้งก็เกิดความคลาดเคลื่อนโดยการประเมินพื้นที่ที่เป็นสิ่งก่อสร้างเป็นน้ำแทน ทั้งนี้การหาสัดส่วนระหว่างช่วงคลื่นช่วงคลื่น NIR (ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้) กับ GREEN (ช่วงคลื่นสีเขียว) มีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ซึ่งค่า -1 แสดงว่าเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ หรือมีความชุ่มชื้นสูงมากและค่า 1 แสดงว่าเป็นพื้นที่แห้งแล้งหรือไม่มีความชุ่มชื้น มีสูตรการคำนวณ ดังนี้

NDWI = (GREEN-NIR) / (GREEN-NIR) ———— (3)

โดยที่ NIR = อินฟราเรดใกล้

GREEN = ช่วงคลื่นตามองเห็นสีเขียว

4.5 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (image classification)

หมายถึง การแบ่งจุดภาพที่มีคุณสมบัติคล้ายกันออกเป็นกลุ่มเพื่อที่จะแบ่งแยกวัตถุต่าง ๆ ที่แสดงในภาพออกจากกัน โดยใช้กฎการตัดสินใจ หรือความรู้ทางสถิติเข้าวิธีการจำแนกประเภทข้อมูล เป็นการจัดกลุ่มจุดของภาพในหลายช่วงคลื่นให้เป็นตามข้อมูลที่ตอบสนองต่อสิ่งปกคลุมดินชนิดต่าง ๆ โดยจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification)

4.5.1 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) เป็นการจำแนกข้อมูลที่จะต้องกำหนดพื้นที่ตัวอย่าง (training area) ของพื้นที่

ศึกษาของแต่ละข้อมูลเป็นตัวแทนของกลุ่มประเภทข้อมูล โดยต้องเลือกประเภทตัวอย่างข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลได้จากการแปลตีความหมายจากภาพดาวเทียมที่ถูกต้องโดยอาศัยประสบการณ์ ความรู้ ความเข้าใจของผู้วิเคราะห์ เพื่อคำนวณทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวเป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทข้อมูลของพื้นที่ทั้งหมด

4.5.1.1 วิธีเส้นคู่ขนาน (parallelepiped) เป็นวิธีที่จำกัดค่าสูงสุดและต่ำสุดของตัวแปรที่เลือกสำหรับแต่ละประเภทสิ่งคลุมดิน จะเห็นว่ากลุ่มประเภทต่างๆ ที่แสดงในไดอะแกรมความถี่ 2 มิติถูกจำกัดโดยกรอบสี่เหลี่ยมหรือกรอบที่เป็นเส้นคู่ขนานก็ได้

4.5.1.2 ระยะทางที่น้อยที่สุด (minimum distance) ขั้นตอนวิธีที่ใช้กันมากที่สุดวิธีหนึ่งคือการจำแนกโดยใช้ระยะทางเชิงช่วงคลื่นที่น้อยที่สุดด้วยวิธีนี้จุดภาพใด ๆ ที่ต้องการจำแนก (X) จะถูกจัดอยู่ในประเภทที่มีค่าเฉลี่ย (Mi) กับ X มากที่สุดระยะทางดังกล่าวคำนวณจากระยะทางที่เป็นระยะทางทางเชิงช่วงคลื่น (spectral distance) ระหว่างจุดภาพภาพที่ต้องการรู้กับค่าเฉลี่ยของข้อมูลของแต่ละประเภท

4.5.1.3 ความน่าจะเป็นมากที่สุด (maximum likelihood) การจำแนกวิธีนี้จะใช้ค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนร่วมของข้อมูลของแต่ละประเภทในการคาดคะเนความน่าจะเป็นของแต่ละประเภทหลังจากนั้นจะเปรียบเทียบแต่ละจุดภาพที่ต้องการจำแนกกับความน่าจะเป็นของแต่ละประเภท ถ้าจุดภาพใดมีค่าอยู่ในช่วงความถี่ของความน่าจะเป็นประเภทใดมากที่สุด ก็จะถูกจัดให้อยู่ประเภทนั้น

4.5.2 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบไม่ควบคุม (unsupervised classification) เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลที่ไม่ต้องกำหนดพื้นที่ตัวอย่างของข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์ โดยใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเพียงพอในพื้นที่จำแนก วิธีการนี้สามารถทำได้โดยสุ่มตัวอย่างแบบคละ แล้วจึงนำข้อมูลมาจัดกลุ่มเป็นประเภทต่าง ๆ โดยแต่ละประเภทจะต้องมีลักษณะการสะท้อนที่เหมือน หรือใกล้เคียงกัน โดยใช้เทคนิคการรวมกลุ่ม (clustering) หลักการของการจำแนกประเภทแบบรวมกลุ่มสำหรับการจำแนกข้อมูลจากระยะไกลมี 2 ส่วน คือ ขั้นแรกการสร้างกลุ่มประเภทข้อมูลจากข้อมูลจุดภาพที่มีอยู่ทั้งหมด โดยการสุ่มตัวอย่างหาศูนย์กลาง (mean vector) ของกลุ่มประเภทข้อมูล (class) จากข้อมูลจุดภาพ โดยใช้ตามคุณสมบัติเชิงแสงของจุดภาพ (group of point in spectral space) ขั้นที่สอง เป็นการกระจายข้อมูลจุดภาพทุกจุดเข้าหาศูนย์กลางของแต่ละประเภท โดยใช้หลักการระยะห่างต่ำสุดจากศูนย์กลางข้อมูล

(minimum distance to means) เทคนิคการรวมกลุ่ม(clustering) แบ่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ การรวมกลุ่มแบบลำดับชั้น (hierarchical clustering) และการรวมกลุ่มแบบไม่เป็นลำดับชั้น (non-hierarchical clustering)

4.6 การประเมินความแม่นของการจำแนกประเภทข้อมูล

การประเมินความแม่นยำของการจำแนกประเภทข้อมูล เป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับงานจำแนกประเภทข้อมูลดาวเทียม ข้อมูลภาคสนามที่จำเป็น คือ ก่อนการจำแนกรายละเอียดข้อมูลเพื่อตรวจสอบลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นและตำแหน่งที่สัมพันธ์กันกับข้อมูลและหลังการจำแนกรายละเอียดข้อมูลเพื่อการประเมินความแม่นยำของการจำแนกประเภทข้อมูลว่าผลการจำแนกมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ และมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุดการตรวจสอบภาคสนามใช้วิธีของการรังวัดตำแหน่งพิกัดด้วยดาวเทียม (GPS) ประกอบกับแผนที่ภูมิประเทศ มาตราส่วน 1:50,000 แล้วจึงนำมาประเมินความแม่นยำด้วยวิธีการตรวจสอบการปะปนกันระหว่างประเภทข้อมูล (error matrix) ซึ่งเป็นตารางที่นำผลลัพธ์ของการจำแนกประเภทข้อมูลมาซ้อนกับบริเวณพื้นที่ซึ่งมีข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ที่ดินตามสภาพจริง เช่น แผนที่การใช้ที่ดินจุดตัวอย่างที่เลือกไว้ก่อนการจำแนก หรือตัวอย่างจากการสำรวจภาคสนาม (ground-truth) แล้วเปรียบเทียบว่าบริเวณที่ถูกจำแนก แต่ละประเภทมีความถูกต้องตรงกับสภาพความเป็นจริงอยู่เท่าไรโดยการสร้างตารางจะกำหนดให้แนวตั้ง (columns) แสดงจำนวนจุดที่มีตรงกับค่าที่ได้จากสนามและในแนวนอน (row) แสดงจำนวนจุดที่ได้จากการแปลภาพ ในกรณีที่การประเมินมีความถูกต้องสูงมากจะได้ตารางที่มีจำนวนจุดในแนวทแยงมุมของตารางเป็นจำนวนมาก

5. การประเมินพื้นที่การกัดเซาะและพื้นที่ทับถม

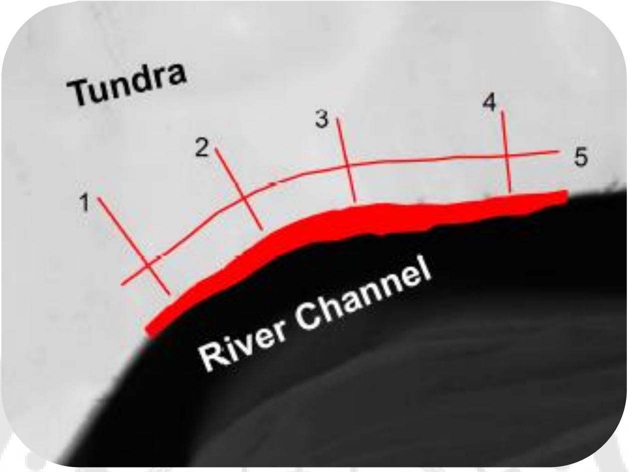
ในการประเมินพื้นที่การกร่อนและพื้นที่ทับถม โดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมสกัดขอบของแม่น้ำออกมาด้วยวิธี maximum likelihood classifier (MLC) แล้วนำมาซ้อนทับกัน เพื่อหาพื้นที่ถูกกัดเซาะ จากนั้นก็ทำแผนที่พื้นที่ถูกกัดเซาะเมื่อได้ข้อมูลเส้นแนวขอบของตลิ่งในรูปแบบข้อมูลเชิงเส้น (polyline) จะต้องทำการแปลงให้เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (polygon) เพื่อคำนวนแนวตลิ่งที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่ต้องการเปรียบเทียบซึ่งซ้อนทับกันอยู่ในแต่ละปี โดยทำการแทนค่าในสูตร

$$V = A \times h \qquad (4)$$

โดยที่ V = ปริมาณการสูญเสียที่ดิน

A = พื้นที่ถูกกัดเซาะ

h = ความสูงของพื้นที่



ภาพประกอบ 15 ตัวอย่างการแบ่งพื้นที่วิเคราะห์

ที่มา : ดัดแปลงจาก Payne (2018)

จากภาพประกอบ 15 หมายเลข 1 – 4 เป็นการแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นส่วนๆ เพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์พื้นที่ และหมายเลข 5 เป็นข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเชิงเลข (DEM) ซึ่งใช้คำนวนร่วมกันกับข้อมูลเส้นขอบตลิ่งเพื่อเพิ่มความถูกต้องของข้อมูลมากขึ้น จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาซ้อนทับกันในแต่ละปี โดยใช้โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิลาวัลย์ ประสมทรัพย์ (2554) ศึกษาวิจัยเรื่อง การพัฒนาแบบจำลองตำแหน่งเสี่ยงต่อการพังทลายตลิ่งโดยวิธีฟัซซี่แม่น้ำแม่กลอง โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลขอบเขตการปกครอง โดยใช้วิธีฟัซซี่ (Fuzzy) ร่วมกับโปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ (ArcGIS) เพื่อศึกษาพื้นที่เสี่ยงต่อการพังทลายของตลิ่งในลุ่มน้ำแม่กลอง และเสนอชนิดของกลุ่มเขื่อนป้องกันตลิ่งที่เป็นไปได้ในพื้นที่ โดยการนำภาพถ่ายทางอากาศ มาปรับแก้ทางคณิตศาสตร์และกำหนดพิกัด จากนั้นดิจิไทซ์ (digitize) ขอบเขตตลิ่งโดยวิธีการแปลด้วยสายตา แล้วนำเส้นน้ำแต่ละปีในรูปแบบเวกเตอร์มาซ้อนทับกันเพื่อหาการเปลี่ยนแปลง และจึงวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการพังทลายของ

ตลิ่งด้วยฟัซซี่ (Fuzzy) ผลการวิจัยจะได้พื้นที่ที่ถูกกัดเซาะและทับถม และแผนที่ตำแหน่งพื้นที่เสี่ยงพังของตลิ่ง

ครองชัย หัตถา (2557) ศึกษาวิจัยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งทะเลบริเวณพื้นที่รอบอ่าวปัตตานี โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ ภาพถ่ายจากดาวเทียม และข้อมูลแผนที่ฐาน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งทะเลบริเวณอ่าวปัตตานีระหว่าง พ.ศ.2512-2545 โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม รวมทั้งการสำรวจภาคสนาม และเพื่ออธิบายแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของชายฝั่งและเสนอแนะแนวทางการควบคุมป้องกันชายฝั่งที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่และมีประสิทธิภาพสูง โดยการศึกษาเปรียบเทียบแนวชายฝั่งทะเลบริเวณพื้นที่ศึกษาจากภาพถ่ายทางอากาศเดือนมีนาคม พ.ศ. 2512 และพ.ศ. 2529 กับภาพถ่ายดาวเทียมLandsat-7 เดือนมีนาคม พ.ศ.2545 โดยปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต คำนวณพื้นที่เปลี่ยนแปลงและจัดทำแผนที่ด้วยโปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ (ArcView) จากนั้นตรวจสอบข้อมูลภาคสนามบริเวณชายฝั่งที่เปลี่ยนแปลง รวมทั้งบริเวณหน่วยธรณีสัณฐานที่จำแนกไว้ วิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงชายฝั่งในช่วงเวลาต่าง ๆ และเปรียบเทียบเชิงพื้นที่ในแต่ละบริเวณ อธิบายความสัมพันธ์กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องและเสนอแนะแนวทางการควบคุมป้องกันชายฝั่ง จากการวิเคราะห์พบว่า ในระยะเวลา 33 ปี (พ.ศ.2512-2545) อ่าวปัตตานีมีพื้นที่ชายฝั่งเพิ่มขึ้น 8.385 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ลดลง 3.342 ตารางกิโลเมตร โดยมีผลการเปลี่ยนแปลงสุทธิเพิ่มขึ้น 5.043 ตารางกิโลเมตร หรือเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.153 ตารางกิโลเมตรต่อปี

สุกัญญา (2560) ศึกษาวิจัยเรื่อง วิเคราะห์การพังทลายตลิ่งแม่น้ำยมตอนล่าง ด้วยเทคนิคภูมิสารสนเทศและวิธีการตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Landsat-5 และLandsat-8 ข้อมูลลุ่มน้ำ รวมไปถึงชั้นข้อมูลเส้นชั้นความสูง เพื่อวิเคราะห์พื้นที่เสี่ยงต่อการพังทลายตลิ่งริมฝั่งแม่น้ำยมตอนล่าง เขตอำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตร ด้วยเทคนิคภูมิสารสนเทศและวิธีตรรกศาสตร์คลุมเครือ โดยนำข้อมูลดาวเทียมมารวมข้อมูลช่วงคลื่น (composite band) และหาค่าดัชนีความแตกต่างของความชื้น (normalized difference water index : NDWI) แล้วดิจิไทซ์ (digitize) เส้นขอบลำน้ำออกมา แล้วกำหนดจุดที่มีความเสี่ยงต่อการกัดเซาะตลิ่งปี พ.ศ. 2538 ปี พ.ศ. 2548 ปี พ.ศ.2557 โดยทำการแปลงไฟล์ให้อยู่ในรูปของ KML (Keyhole Markup Language) แม่น้ำในแต่ละช่วงปีและเส้นชั้นความสูง (Contour) 2 เมตร จากนั้นนำมาทับซ้อนกันจำนวน 40 จุดของแต่ละช่วงปี และวัดระยะห่างของแม่น้ำแต่ละช่วงปี นำไปพิจารณาการกัดเซาะตลิ่ง จากนั้นคำนวนหาอัตราการเปลี่ยนแปลงของตลิ่งแม่น้ำ ด้วยตรรกศาสตร์คลุมเครือ

ผลการวิจัยสามารถคำนวณหาพื้นที่ระยะถดถอยในแต่ละปี รวมไปถึงพื้นที่จุดที่มีเสี่ยงต่อการกัดเซาะ 5 ระดับ มาก ค่อนข้างมาก ปานกลาง ค่อนข้างน้อย น้อย

อภิศักดิ์ ทำบุญ (2562) ศึกษาวิจัยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีผลต่อกระบวนการผลิตพืชริมฝั่งแม่น้ำโขง อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ริมฝั่งแม่น้ำโขง และศึกษากระบวนการผลิตพืชริมฝั่งแม่น้ำโขงในช่วงก่อนและหลังมีโครงการพัฒนาลุ่มน้ำโขง โดยใช้ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ และภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยใช้เทคนิควิธีการจำแนกข้อมูลภาพเชิงวัตถุ (object base image analysis : OBIA) แล้วแยกวัตถุจากจุดภาพบนข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการ Multi-resolution segmentation จากนั้นเปรียบเทียบข้อมูลภาคสนามเพื่อเลือกเกณฑ์การแบ่งแยกข้อมูลวัตถุภาพที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ ยังมีการใช้ค่าความสว่างและค่าดัชนีการเจริญเติบโตพืชพรรณ (Normalized difference vegetation index: NDVI) แต่ละวัตถุของประเภทการใช้ที่ดิน ผลการวิจัยสามารถหาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของแต่ละปีและการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการผลิตพืชริมฝั่งแม่น้ำโขงในช่วงก่อนและหลังมีโครงการพัฒนาลุ่มน้ำโขง

Matti Kummu (2008) ศึกษาวิจัยเรื่อง การเปลี่ยนแปลงริมฝั่งแม่น้ำโขงการตรวจจับจากระยะไกล เวียงจันทร์ หนองคาย โดยใช้ข้อมูลแผนที่อุทกศาสตร์ปี พ.ศ. 2535 ร่วมกับภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT เพื่อประเมินปัญหาการพังทลายของตลิ่งในบริเวณเวียงจันทร์ หนองคาย โดยใช้เทคนิคสกัดข้อมูลแผนที่อุทกศาสตร์ พ.ศ.2504-2535 (31 ปี) และอ่านแปลตีความภาพดาวเทียม SPOT ปี พ.ศ.2535-2548 (13 ปี) โดยวิธีการดิจิไทซ์ (digitize) แนวตลิ่งของแม่น้ำ แล้วเปรียบเทียบกันโดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (Overlay) ด้วยโปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ (ArcGIS) ผลการวิจัยพื้นที่กัดเซาะ และพื้นที่ทับถม ของแต่ละปี โดยการวิเคราะห์พื้นที่ที่แบ่งเป็นจุดๆ ตามระยะทางและวิเคราะห์ข้อมูลการกัดเซาะ และทับถมในรูปแบบกราฟ เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบ

Imran Khan (2014) ศึกษาเรื่อง การหาการเคลื่อนที่ของแม่น้ำด้วยการสำรวจระยะไกลและระบบข้อมูลทางภูมิศาสตร์ หาการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำแพทมา และแม่น้ำจามูน่า โดยใช้ภาพดาวเทียม landsat โดยโปรแกรม PCI Geomatica ในการสกัดเส้นลำน้ำออกมา และใช้โปรแกรมทางภูมิสารสนเทศ (ArcGIS) ในการจำแนกพื้นที่น้ำกับดิน และแบ่งพื้นที่ออกเป็น 9 ส่วนเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ จะได้ตารางเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของลำน้ำในแต่ละปีโดยผลลัพท์จะได้ระยะการเปลี่ยนแปลงไปของเส้นลำน้ำแสดงผลในรูปแบบกราฟและตารางระยะทางการเคลื่อนที่ของตลิ่ง

Sainath Aher (2012) ศึกษาวิจัยเรื่อง การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำและการบ่งชี้การเซาะของตลิ่งด้วยข้อมูลภูมิประเทศและการสำรวจระยะไกล โดยใช้ข้อมูลแผนที่ภูมิประเทศ (topography) กับภาพถ่ายจากดาวเทียมของกูเกิล (Google) ด้วยวิธีการดิจิไทซ์ (digitize) ขอบตลิ่งของแม่น้ำ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบเพื่อหาพื้นที่กัดเซาะโดยใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (overlay) ได้ผลลัพท์เป็นตารางแสดงปริมาณการกัดเซาะของตลิ่ง รวมถึงทิศทางการกัดเซาะของแม่น้ำ และประเมินจุดเสี่ยงต่อการถูกกัดเซาะในอนาคต

Cole Payne (2018) ศึกษาวิจัยเรื่อง การใช้การรับรู้ระยะไกล (Remote sensing) ในการตรวจสอบการพังทลายของตลิ่งในแม่น้ำ Colville ทางตอนเหนือของอลาสก้า โดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศใน ค.ศ.1955 1979 1982 ข้อมูลเส้นชั้นความสูง ความละเอียด 5 เมตร และภาพถ่ายจากดาวเทียม WorldView-2 ค.ศ. 2015 เพื่อวิเคราะห์และประเมินอัตราการกัดเซาะ และปริมาณการสูญเสียดิน จากภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยผู้วิจัยแบ่งวิธีการวิเคราะห์เป็นสองวิธี โดย 1 นำภาพถ่ายทางอากาศ ทำการดิจิไทซ์ (digitize) ริมตลิ่งของแม่น้ำ โดยดูจากขอบตลิ่งที่มีพืชปกคลุมกับแนวทรายริมน้ำ แล้วนำมาซ้อนทับกัน เพื่อหาพื้นที่ถูกกัดเซาะ จากนั้นทำแผนที่พื้นที่ถูกกัดเซาะ 2 นำภาพดาวเทียมมา จำแนกประเภทข้อมูลจากดาวเทียมออกมาด้วยวิธี maximum likelihood classifier (MLC) แล้วนำมาซ้อนทับกัน เพื่อหาพื้นที่ถูกกัดเซาะ จากนั้นทำแผนที่พื้นที่ถูกกัดเซาะ โดยแบ่งพื้นที่เป็น 3 ชนิด ทราย/น้ำ/พืช แล้วสกัดเฉพาะส่วนที่เป็นพื้นน้ำออกมาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จากการวิเคราะห์ผลที่ได้พื้นที่กัดเซาะและทับถมของลำน้ำโดยส่วนมากจะเกิดการกัดเซาะบริเวณคุ้งน้ำด้านนอก และเกิดการทับถมที่บริเวณคุ้งน้ำด้านใน

Sharmin Akter (2018) ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเรื่อง วิเคราะห์การพังทลายของตลิ่งแม่น้ำจากมูนาตอนล่าง ด้วยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ปกติ และการรับรู้ระยะไกลและภูมิสารสนเทศ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมแลนด์แซท (Landsat) ปีค.ศ. 1976, 1988, 1994, 1997, 2009 และ 2015 และใช้โปรแกรมเออดาส (Erdas Imagine) ในการจัดการข้อมูลภาพ แล้วแยกข้อมูลที่เป็นพื้นดิน และน้ำด้วยดัชนีพืชพรรณ (MNDWI) จากนั้นแบ่งแม่น้ำเป็น 9 ส่วนจากเหนือ-ใต้ตามการเคลื่อนของตลิ่ง แล้วคำนวนหาพื้นที่ที่หายไป ได้ผลการเปรียบเทียบปริมาณการกัดเซาะตลิ่งของแต่ละปี

Cole Payne (2018) ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง การศึกษาการเคลื่อนที่ของแม่น้ำ ในพื้นที่ปลูกอ้อยโดยใช้การรับรู้ระยะไกล ใช้ภาพดาวเทียม Landsat และดาวเทียม Sentinel ทำการจัด

กลุ่มข้อมูล (classification) เป็น 4 ประเภทเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์ ได้แก่ พืชพรรณ น้ำ เมือง และพื้นทราย ด้วยวิธีการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแล (supervised classification) โดยใช้เทคนิคความน่าจะเป็นมากที่สุด (maximum likelihood) จากนั้นเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อหาความเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ และหาการเคลื่อนที่ของแม่น้ำด้วยการดิจิไทซ์ (digitize) ขอบของตลิ่งแล้วซ้อนทับ (overlay) ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทรายริมตลิ่งโดยมีปริมาณฝนเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยอย่างมีนัยสำคัญ แล้วจัดทำการแสดงผลเป็นแผนที่ รวมถึงตารางสรุปปริมาณการเคลื่อนที่ของแม่น้ำเป็นเมตร

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการวิเคราะห์สัณฐานแม่น้ำลำภาชีจากภาพถ่ายจากดาวเทียม ด้วยดัชนีผลแตกต่างความชื้น ร่วมกับเทคนิคการจำแนกดัชนีความแตกต่างพืชผิวดินและการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุมด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
2. เครื่องมือในการศึกษา
3. ขั้นตอนการศึกษา

1. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชี ในพื้นที่จังหวัดกาญจนบุรีและจังหวัดราชบุรี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) ดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ (Sentinel -2A) ในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ได้ดังตารางที่ 3

ตาราง 3 แสดงรายละเอียดของข้อมูลดาวเทียมที่ใช้ในการวิเคราะห์

ดาวเทียม	วัน	เดือน	พ.ศ.	Path/Row	แหล่งที่มา
ไทยโชต (Thaichote)	4	กุมภาพันธ์	2556	150/35	GISTDA
	28	กุมภาพันธ์	2558		
เซนติเนล 2 (Sentinel 2A)	20	มกราคม	2560	R104	USGS
	26	พฤศจิกายน	2562		

ทั้งนี้ ดาวเทียมไทยโชต ใช้แบนด์ 2 (เขียว) แบนด์ 3 (แดง) และอินฟราเรดใกล้ โดยมีความละเอียดที่ 15 เมตร ส่วนดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ ใช้แบนด์ 3 (เขียว) แบนด์ 4 (แดง) และแบนด์ 8 (อินฟราเรดใกล้) มีความละเอียดที่ 10 เมตร

2. เครื่องมือในการศึกษา

2.1 ชุดเครื่องคอมพิวเตอร์ (computer) ที่มีความเร็วประมวลผล (CPU) ไม่น้อยกว่า 2.4 GHz 8 Cores หน่วยความจำ (RAM) ไม่น้อยกว่า 8 GB

2.2 โปรแกรมประมวลผลข้อมูลภาพดาวเทียม

2.3 โปรแกรมสำเร็จรูประบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS)

2.4 GPS (global positioning system) เพื่อใช้เก็บข้อมูลในภาคสนาม

2.5 โปรแกรม MS-word, MS-Excel และ MS-Power point เพื่อจัดการเอกสาร

3. ขั้นตอนการศึกษา

3.1 การรวบรวมข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลทั้งทางด้านเอกสาร งานวิจัย และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำ พร้อมทั้งลงสำรวจในพื้นที่จริง เพื่อให้เข้าใจถึงบริเวณพื้นที่จริงเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

3.1.1 รวบรวมข้อมูลเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแม่น้ำลำภาชี เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพ ธรณีสัณฐาน และลักษณะเฉพาะของแม่น้ำลำภาชี

3.1.2 เลือกช่วงเวลาที่ทำการศึกษาวิจัยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำ โดยอ้างอิงจากภูมิหลังของพื้นที่ศึกษา โดยทำการศึกษาในช่วงฤดูแล้ง ของดาวเทียมไทยโชต (เดือนพฤศจิกายน-เดือนเมษายน) พ.ศ 2556 - 2558 และดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ (เดือนมกราคม-เดือนเมษายน) พ.ศ.2559 – 2562 เนื่องจากไม่สามารถหาภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตได้ครอบคลุมช่วงเวลาที่ทำการวิจัย จึงได้ใช้ดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ ร่วมกับการศึกษาวิจัยครั้งนี้

3.2 การนำเข้าข้อมูลและประมวลผล

การนำเข้าข้อมูลและประมวลผลด้วยโปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม และโปรแกรมทางด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมหลักที่นำมาใช้งาน เพื่อวิจัยวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำ โดยอ้างอิงจากภูมิหลังของพื้นที่ศึกษา โดยทำการศึกษาภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต โดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.2.1 จัดเตรียมข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม (data preparation) แต่เนื่องจากใช้ดาวเทียมในการวิเคราะห์ข้อมูลและมีแหล่งที่มาของข้อมูลที่แตกต่างกัน จึงมีการจัดเตรียมข้อมูลที่ต่างกัน โดยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต ได้รับการปรับแก้จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ในระดับการปรับแก้เชิงภูมิศาสตร์ ซึ่งจะได้รับการปรับแก้เชิงคลื่น ปรับระดับการตอบสนองสัมพัทธ์ของตัวตรวจวัด (detector equalization) และกำจัดความผิดพลาดเชิงคลื่น ความผิดพลาดเชิงเรขาคณิต (geometric correction) ของแต่ละช่วงคลื่น (geometric error) การปรับแก้ความบิดเบือนเชิงภูมิศาสตร์ และได้ทำภาพแบบ pan-sharpened คือ การรวมข้อมูลที่ตามองเห็นจาก 4 ช่วงคลื่น (น้ำเงิน เขียว แดง อินฟราเรดใกล้) เข้ากับข้อมูลเชิงพื้นที่ของช่วงคลื่นขาว-ดำ และภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ ที่บันทึกข้อมูลช่วงฤดูแล้ง (เดือนมกราคม-เดือนเมษายน) พ.ศ.2559-2562 ในรูปแบบ

ของข้อมูลราสเตอร์ (raster) โดยได้จากการดาวน์โหลดภาพจากเว็ปไซด์ USGS ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ภาพที่พร้อมวิเคราะห์ แต่เนื่องจากภาพมีขนาดค่อนข้างใหญ่จึงต้องตัดเอาเฉพาะพื้นที่ศึกษาเพื่อง่ายต่อการวิเคราะห์

3.2.2 ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนทางเรขาคณิต (geometic correction) ข้อมูลภาพดาวเทียมให้มีระบบพิกัดในแนวราบที่ให้ผลที่ได้มีความผิดพลาดน้อย รวมถึงตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดเชิงตำแหน่งด้วยจุดตรวจสอบภาคพื้นดิน (check points) โดยให้มีค่า RMSE (root mean squared error) ของทั้งจุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs) และจุดตรวจสอบภาคพื้นดิน (check point error) ไม่เกิน 1 จุดภาพ โดยที่มีขนาดความละเอียดของจุดภาพไม่เกิน 10 เมตร และทำการจัดค่าของข้อมูลภาพใหม่ (resampling techniques) ให้มีขนาดของจุดภาพ (resolution) ด้วยเทคนิค nearest neighbor ซึ่งเป็นเทคนิคที่รักษาค่าการสะท้อนเดิมและตัดภาพ (subset image) ให้ครอบคลุมพื้นที่ศึกษา

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การข้อมูลเพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานในพื้นที่จังหวัดราชบุรี โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต (Thaichote) ช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน-เดือนเมษายน) พ.ศ 2556 - 2558 และดาวเทียมเซนติเนล 2 (Sentinel -2A) (เดือนมกราคม-เดือนเมษายน) พ.ศ.2559 - 2562 path 150 row 35 โดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.3.1 ภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชต และเซนติเนล 2 เอ

3.3.1.1 ดาวเทียมไทยโชต (Thaichote)

ใช้ภาพที่ได้จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) ในระดับการปรับแก้เชิงภูมิศาสตร์ (2A) ซึ่งได้ทำการปรับแก้ภาพถ่าย (rectification) แล้วทำการต่อภาพ (mosaic) เนื่องจากดาวเทียมไทยโชตมีแนวความกว้างของภาพเพียง 22 กิโลเมตร ซึ่งไม่เพียงพอให้เห็นการเปลี่ยนแปลงตลอดพื้นที่ศึกษา จึงใช้สามภาพต่อหนึ่งปี

3.3.1.2 ดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ (Sentinel -2A)

ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล 2 (Sentinel -2A) จากการดาวโหลดจากเว็ปไซด์ USGS และตรวจสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งด้วยการใช้ความถูกต้องจากชั้นข้อมูลเส้นถนน ประกอบกับภาพถ่ายจากดาวเทียม แล้วทำการสกัดเส้นลำน้ำ จากภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยการรับรู้ระยะไกล

3.3.2 การสกัดลำน้ำจากภาพถ่ายจากดาวเทียม

3.3.2.1 ดัชนีผลต่างความชื้น (Normalized Difference Water Index; NDWI) ดัชนีผลต่างความชื้นเป็นการวิเคราะห์ความชื้นในดินหรือพืชพรรณ ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (NIR) และค่าสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นสีเขียว (Green Band) ซึ่งเมื่อมีปริมาณน้ำในพื้นผิวมาก ทำให้รังสีค่าสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นสีเขียวถูกดูดซับมาก ส่งผลให้มีการสะท้อนรังสีออกมาน้อยลง ทำให้ค่าดัชนี NDWI ที่คำนวณได้มีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งค่า NDWI อยู่ระหว่าง 0.19 ถึง 0.58 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างมีความชื้นสูง ถึง สูงมาก ตามตารางที่ 4

ดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) = (GREEN-NIR) / (GREEN +NIR) ———— (5)

โดยที่ NDWI คือ ดัชนีผลแตกต่างความชื้น

NIR คือ ค่าสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared Band)

GREEN คือ ค่าสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นสีเขียว (Green Band)

ตาราง 4 แสดงความหมายของดัชนีผลแตกต่างความชื้น

ค่า NDWI	ความหมาย
1	พื้นที่ที่มีความชื้นสูงมาก
0.5	พื้นที่ที่มีความชื้นสูง
0	พื้นที่ที่มีความชื้นปานกลาง
-1	พื้นที่ที่มีความชื้นต่ำ

ในการวิเคราะห์หาพื้นที่เส้นแม่น้ำด้วยดัชนีผลแตกต่างความชื้นด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยใช้ค่า NDWI ที่อยู่ระหว่าง 0.19 ถึง 0.58 ตามภาพประกอบ 16 ในการแยกพื้นที่น้ำกับการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ ของ พ.ศ.2556 2558 2560 และ2562

3.3.2.2 ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (soil adjustment vegetation index : SAVI) ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดินเพื่อการคำนวณปริมาณพืชพรรณค่อนข้างต่ำมีสูตรคล้ายกับ NDVI แต่มีค่าคงที่ (L) โดยมีค่าประมาณ 0.5 เพิ่มขึ้นเพื่อลดอิทธิพลของค่าการสะท้อนจากดินที่เป็นพื้นล่างของพืชพรรณ โดยค่า SAVI ที่อยู่ระหว่าง -0.24 ถึง 0.83

ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (SAVI) = ((NIR – RED) / (NIR + RED + L)) × (1 + L) ——— (6)

โดยที่ SAVI คือ ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน

NIR คือ ค่าสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near-infrared Band)

RED คือ ค่าสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นสีแดง (Red Band)

L คือ ค่าการปกคลุมของพืช โดยมีค่าเป็น 0 สำหรับพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมหนาแน่น และมีค่าเป็น 1 ในพื้นที่ที่พืชปกคลุมเบาบาง

ตาราง 5 แสดงดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน

ค่า SAVI	ความหมาย
1	พื้นที่ที่ไม่มีพืชครอบคลุม
0.5	พื้นที่ที่มีพืชสีเขียวครอบคลุม
0	พื้นที่ที่มีพืชสีเขียวครอบคลุมสูง
-1	พื้นที่ที่มีพืชสีเขียวครอบคลุมสูงมาก

ในการวิเคราะห์หาพื้นที่เส้นแม่น้ำด้วยดัชนีความแตกต่างพืชผิวดินด้วยโปรแกรม ArcGIS โดยใช้ค่า SAVI ที่อยู่ระหว่าง -0.24 ถึง 0.83 ตามภาพประกอบ 17 ในการแยกพื้นที่น้ำกับการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ ของ พ.ศ.2556 2558 2560 และ2562

3.3.2.3 การจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (image classification) โดยใช้การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) โดยที่กำหนดพื้นที่ศึกษา (training area) จากการใช้ชั้นข้อมูล (shapefile) ประกอบในการดูเป็นแนวเส้นแม่น้ำ และทำการสุ่มตัวอย่างพื้นดินและน้ำอย่างละ 30 พื้นที่ เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ในพื้นที่อื่น ๆ ด้วยวิธีแบบความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood classifier) ซึ่งเป็นการจำแนกประเภทข้อมูลโดยการพิจารณาค่าเฉลี่ย (mean) และแมทริกซ์ความแปรปรวน (covariance matrix) ของแต่ละประเภทข้อมูล ซึ่งมีการตั้งสมมติฐานให้แต่ละประเภทข้อมูลนั้นมีการกระจายตัวแบบปกติ (normal distribution) แล้วทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นสูงสุดของแต่ละจุดภาพว่าจะถูกจัด

ให้อยู่ในกลุ่มประเภทข้อมูลใดที่เหมาะสมที่สุด ของภาพถ่ายจากดาวเทียมในแต่ละปี โดยการศึกษาครั้งนี้ ได้จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 2 ประเภท คือ การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทน้ำ และไม่ใช่น้ำ

ดังนั้น ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ เลือกใช้ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (soil adjustment vegetation index: SAVI) ดัชนีผลแตกต่างความชื้น (normalized difference water index : NDWI) และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) โดยในการวิจัยนี้ไม่ได้เลือกใช้ดัชนีพืชพรรณแบบปรับความแตกต่าง เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยจากการตรวจเอกสารส่วนใหญ่จะใช้ดัชนีผลแตกต่างความชื้นแล้วได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ทั้งนี้การสกัดเส้นแม่น้ำทั้งสามวิธีโดยภาพรวม ยังมีบางส่วนขาดหายไม่เต็มเส้น จึงนำผลลัพธ์ของการสกัดแต่ละวิธีรวมกัน เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถแยกน้ำจากภาพได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของการสกัดเส้นลำน้ำ

3.4.1 ตรวจสอบการปะปนกันระหว่างข้อมูล (confusion matrix)

เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการนำผลลัพธ์ของการจำแนกประเภทข้อมูลซ้อนทับกับตลิ่งแม่น้ำที่ได้จากแผนที่พื้นฐาน (basemap) ของภาพถ่ายดาวเทียมในโปรแกรม Google Earth เนื่องจากมีรายละเอียดสูงและมีความน่าเชื่อถือ โดยเลือกจุดตรวจสอบ (check point) จำนวน 100 จุด เพื่อเปรียบเทียบการจำแนกพื้นที่เส้นแม่น้ำในแต่ละวิธีการมีความถูกต้องและตรงกับสภาพพื้นที่จริง ในปีที่ใกล้เคียงกับปีที่สกัดเส้นแม่น้ำ โดยการนำผลการตรวจสอบมาใส่ในตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูล (confusion matrix)

ตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูล (confusion matrix) คือ ตารางที่จำนวนแถวและคอลัมน์เท่ากันกับจำนวนคลาส เช่น ในตาราง 2-1 จะมีคลาสคำตอบสองค่า คือ ใช่ กับ ไม่ใช่ ดังนั้น ตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูลนี้จะเป็น 2x2 ประกอบด้วยข้อมูลจริง (actual) และข้อมูลจากการคาดการณ์ (predicted)

ตาราง 6 ตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูล (confusion matrix)

predicted/actual	yes	no
yes	TP	FP
no	FN	TN

โดยที่ True Positive (TP) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าจริง และคนบอกว่ามันจริง

True Negative (TN) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าไม่จริง และคนบอกว่ามันไม่จริง

False Positive (FP) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าจริง แต่คนบอกว่าไม่จริง

False Negative (FN) คือ จำนวนข้อมูลที่ทำนายว่าไม่จริง แต่คนบอกว่าจริง

Condition Positive (P) คือ จำนวนของที่ใช่ทั้งหมด ที่อยู่ในข้อมูล

TP + FN ——————— (7)

Condition Negative (N) คือ จำนวนของที่ไม่ใช่ทั้งหมด ที่อยู่ในข้อมูล

FP + TN ——————— (8)

(True = ถูก, False = ผิด, Positive = ใช่, Negative = ไม่ใช่)

Accuracy คือ ค่าความถูกต้องของข้อมูล โดยหาได้จากสมการ

(TP+TN)/(TP+TN+FP+FN) ——————— (9)

Precision เป็นการวัดความแม่นยำ โดยหาได้จากสมการ

TP/(TP+FP) ——————— (10)

Recall (True Positive Rate) คือ การวัดความถูกต้องของโมเดล โดยหาได้จาก

TP/(TP+FN) ——————— (11)

ในการวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ 3 วิธี ได้แก่ ดัชนีผลต่างความชื้น (NDWI) ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (SAVI) และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (image classification) ซึ่งได้ใช้วิธีการตรวจสอบการปะปนกันระหว่างข้อมูล (confusion matrix) ในการตรวจสอบความถูกต้อง (Accuracy) และการตรวจสอบความแม่นยำ (Precision)

3.4.2 ตรวจสอบพื้นที่ในสถานที่จริง

โดยการออกพื้นที่เพื่อสุ่มจุดบริเวณตลิ่งของแม่น้ำในพื้นที่ศึกษา ด้วยการจับพิกัด GPS แล้วเปรียบเทียบกับแม่น้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนีและการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (image classification)

3.4.3 ตรวจสอบความถูกต้องในการกัดเซาะและทับถม

โดยการนำข้อมูลที่ได้จากการสกัดเส้นแม่น้ำจากภาพถ่ายจากดาวเทียมทั้ง 3 วิธี ได้แก่ ดัชนีผลต่างความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม นำมาเปรียบเทียบกับพื้นที่บริเวณตลิ่งของเส้นลำน้ำ (100 จุด) โดยเป็นพื้นที่น้ำ 85

จุด พื้นที่อื่นๆ 15 จุด จากนั้นสรุปเป็นตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูล (confusion matrix) ซึ่งประกอบด้วยการตรวจสอบความถูกต้อง (accuracy) และการตรวจสอบความแม่นยำ (precision)

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทที่ 4
ผลการศึกษา

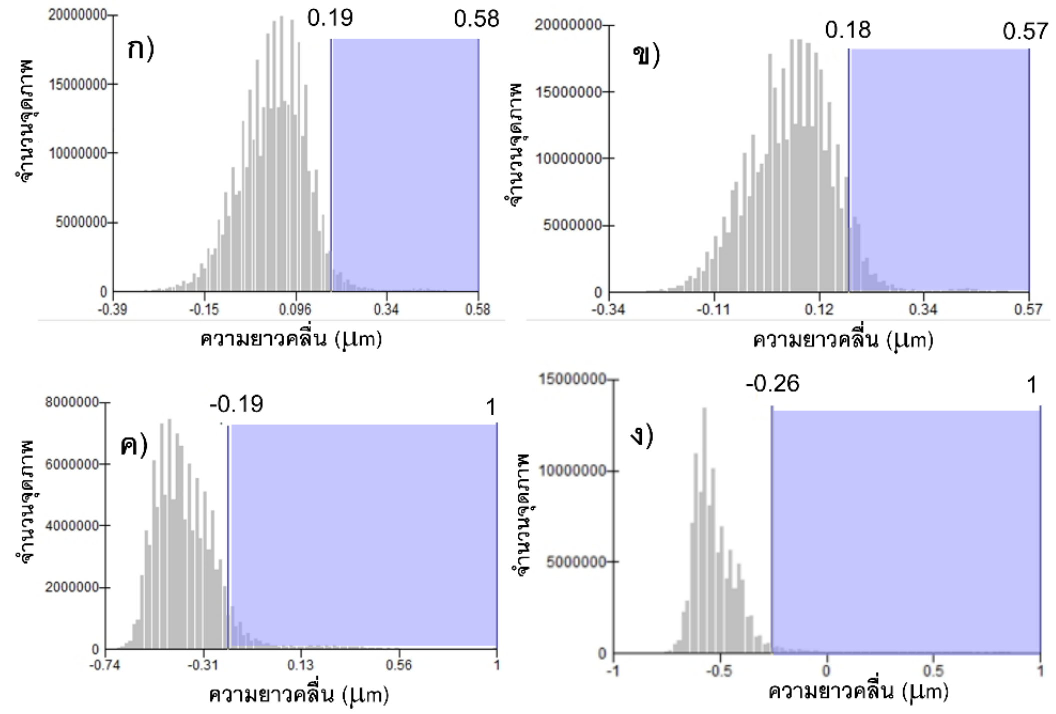
ในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรกเพื่อวิเคราะห์รูปแบบของแม่น้ำลำภาชีด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล และประการที่สองเพื่อประเมินพื้นที่ถูกกัดเซาะและการทับถม ของแม่น้ำลำภาชีด้วยระบบภูมิสารสนเทศ ดังนั้น ในบทนี้จึงเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการศึกษา โดยรายละเอียดของการศึกษา ดังนี้

1. การสกัดสัณฐานของลำน้ำด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล

ลักษณะสัณฐานของแม่น้ำลำภาชี ซึ่งพื้นที่เป็นที่ค่อนข้างราบ มีน้ำท่วมถึง (floodplain) สันดอนทราย (point bar) และสันทรายกลางน้ำ (sand bar) ทำให้ในบางช่วงของแม่น้ำมีความกว้างและตื้นเขิน แต่บางช่วงจะแคบและค่อนข้างลึก ทั้งนี้ การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสัณฐานของแม่น้ำลำภาชีสำหรับงานศึกษาวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตและดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ โดยสกัดเส้นแม่น้ำออกมาจากภาพด้วยดัชนี NDWI SAVI และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ โดยแยกส่วนที่เป็นน้ำจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นในรูปแบบกราฟ ดังภาพประกอบ 16

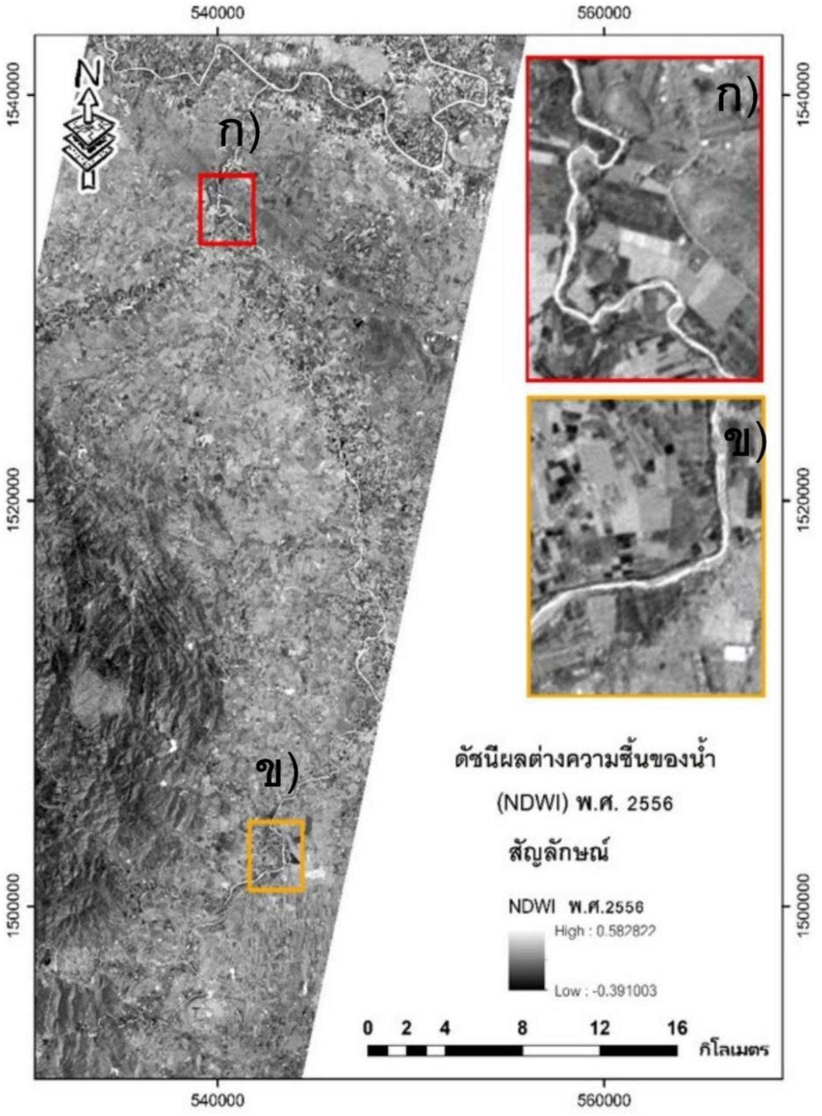
1.1 ผลการสกัดสัณฐานของแม่น้ำด้วยดัชนีผลต่างความชื้นของน้ำ (normalized difference water index: NDWI)

จากการวิเคราะห์ดัชนีด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม NDWI ที่เกิดจากการกระทำของแม่น้ำด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชติ ใน พ.ศ.2556 และ พ.ศ.2558 โดยใช้แบนด์ 2 (เขียว) และแบนด์ 4 (อินฟราเรดใกล้) และดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ ในปี พ.ศ.2560 กับ พ.ศ.2562 ใช้แบนด์ 3 (เขียว) และแบนด์ 8 (อินฟราเรดใกล้) สามารถบ่งชี้เส้นลำน้ำออกจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ โดยค่าดัชนีที่บ่งชี้ความเป็นน้ำของพื้นที่อยู่ระหว่าง 0.19 ถึง 0.58 ซึ่งเส้นแม่น้ำที่ได้จากการสกัดด้วยค่าดัชนี NDWI จากภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตและดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ ได้ลักษณะที่เป็นเส้นและมีความยาวตลอดลำน้ำค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่มีบางช่วงของเส้นลำน้ำขาดหายไป เนื่องจากบริเวณนั้น มีปริมาณน้ำน้อยจนเห็นสันทราย โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังภาพประกอบที่ 17 – 20



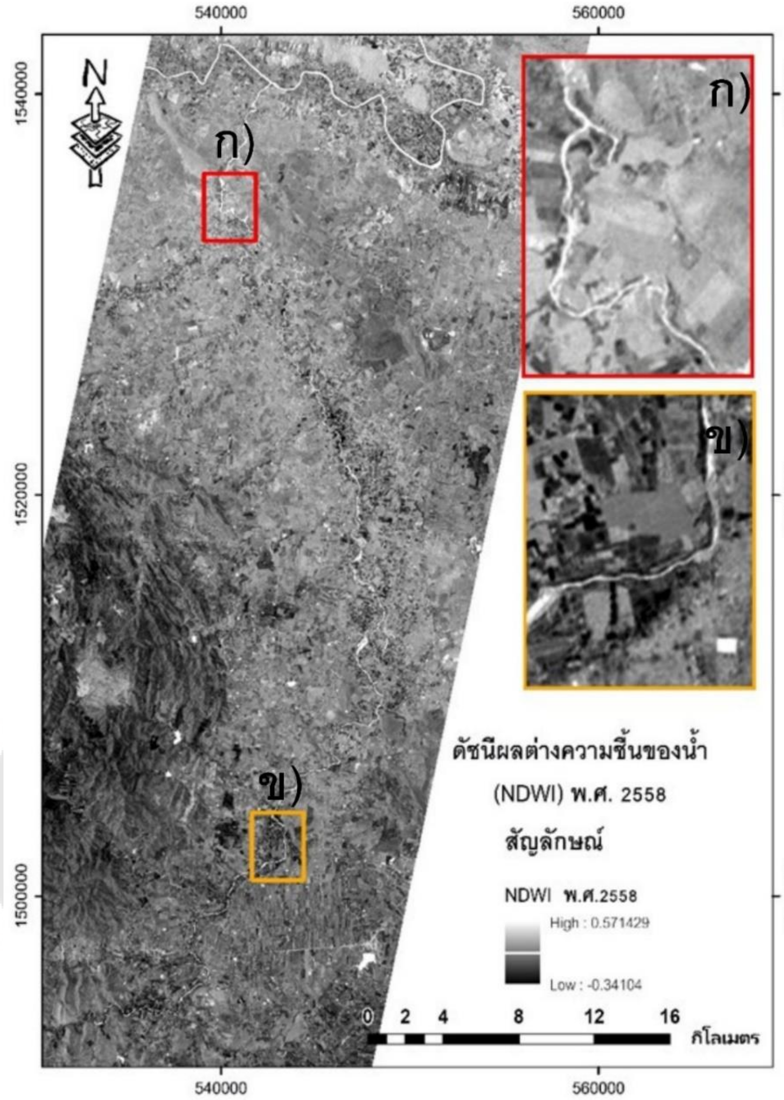
ภาพประกอบ 16 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำของดัชนี NDWI

ก) 2556 ข) 2558 ค) 2560 และง) 2562



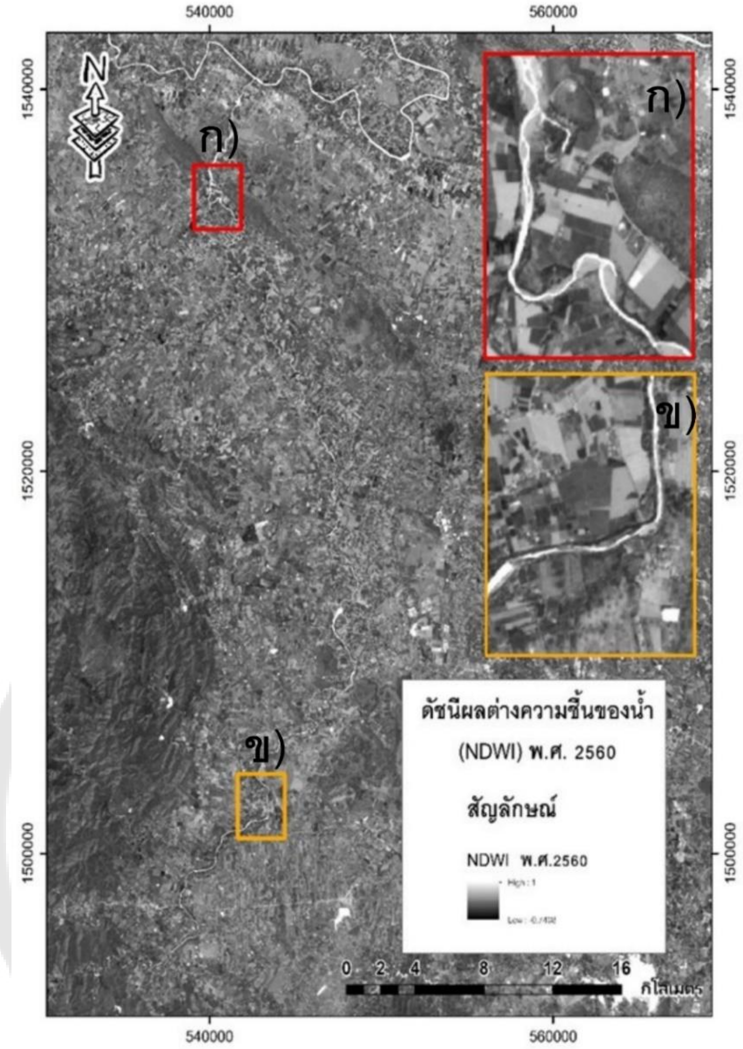
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2556

จากภาพประกอบ 17 พบว่า เส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี NDWI ใน พ.ศ. 2556 ในช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากด้วยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นโขดหิน และมีปริมาณน้ำที่น้อย ส่วนในช่วงกลางของลำน้ำมีลักษณะคดเคี้ยวตามลักษณะของพื้นที่โดยมีฝาย รวมถึงการประกอบกิจการดูดทรายเป็นระยะ และในช่วงปลายของแม่น้ำส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม รวมถึงขนาดความกว้างของเส้นแม่น้ำ (ประมาณ 30 – 45 เมตร) ค่อนข้างกว้างกว่าช่วงต้นและช่วงกลางของลำน้ำ



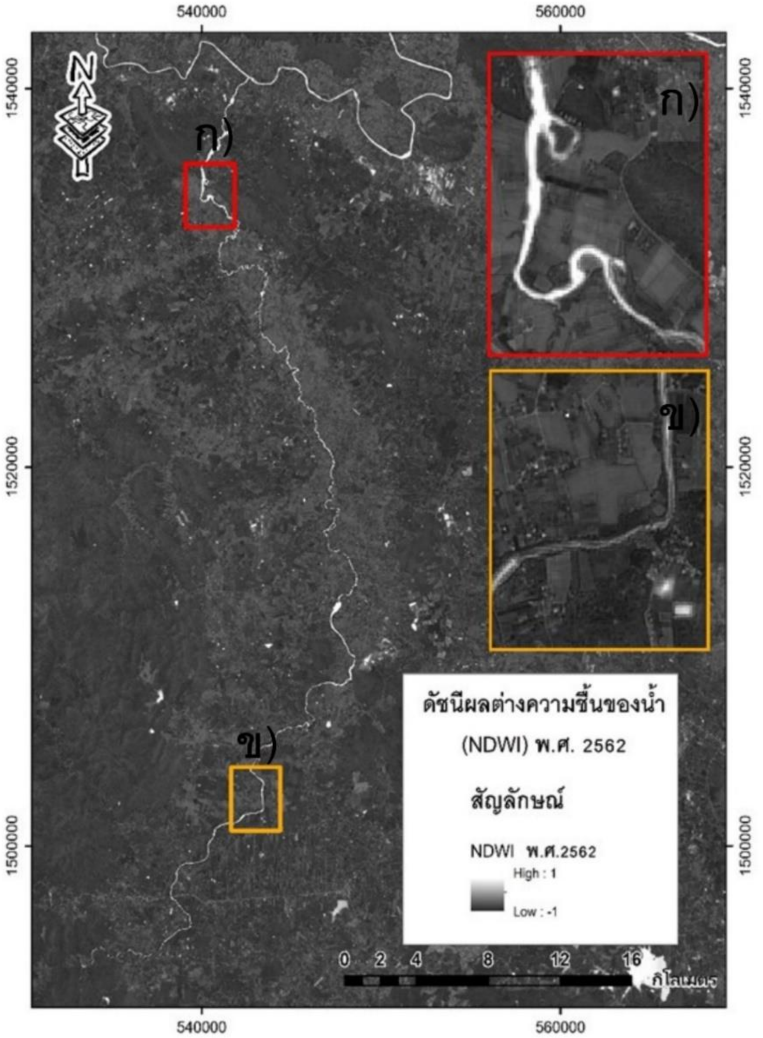
ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2558

จากภาพประกอบ 18 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี NDWI ใน พ.ศ. 2558 พบว่า สัณฐานของลำน้ำยังคงเหมือนกับ พ.ศ. 2556 โดยในช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมด้วยพุ่มไม้และต้นไม้ใหญ่ ส่วนในช่วงกลางของลำน้ำมีลักษณะกว้างในบริเวณที่มีการประกอบกิจการดูดทรายและแคบในบริเวณลำน้ำปกติสลับกันไป และในช่วงท้ายของลำน้ำมีลักษณะคดเคี้ยวไปตามพื้นที่ ก่อนไหลลงไปสู่แม่น้ำแควน้อย



ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2560

จากภาพประกอบ 19 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี NDWI พ.ศ. 2560 พบว่าเหมือนกับสองช่วงเวลาที่ผ่านมา ซึ่งในช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่อง เนื่องด้วยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เป็นบริเวณโขดหินและมีต้นไม้ใหญ่ปกคลุม รวมถึงบริเวณช่วงกลางของเส้นลำน้ำที่ตำบลแก้มอ้น อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ที่มีปริมาณน้ำน้อยจนเห็นพื้นที่สันทรายกลางแม่น้ำและริมตลิ่ง และในช่วงเวลาดังกล่าว มีการสร้างฝายทดน้ำในช่วงปลายของแม่น้ำจึงทำให้เห็นเส้นลำน้ำค่อนข้างกว้าง

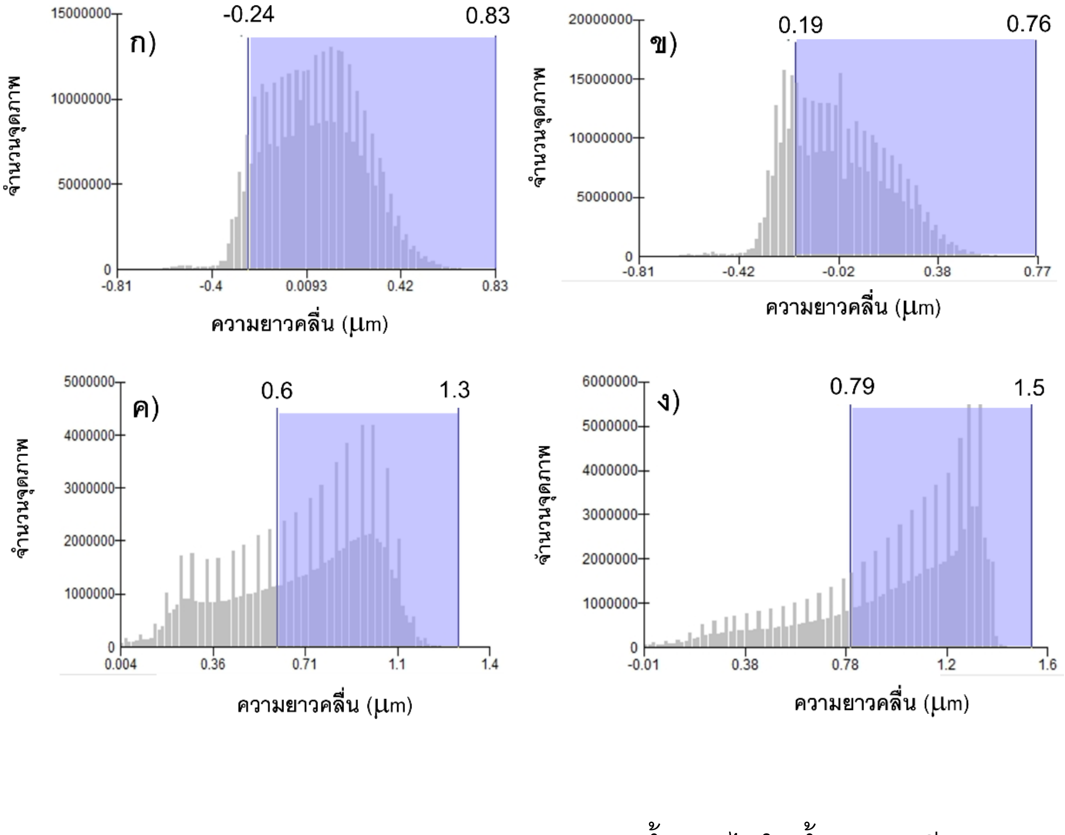


ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี NDWI พ.ศ. 2562

จากภาพประกอบ 20 พบว่า เส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี NDWI พ.ศ. 2562 ในช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) มีลักษณะเหมือนกับพ.ศ. 2556 2558 2560 โดยเส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากด้วยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เป็นบริเวณโขดหิน มีต้นไม้พุ่มและมีต้นไม้ใหญ่ปกคลุม รวมถึงบริเวณช่วงกลางของเส้นลำน้ำที่ตำบลแก้มอ้น อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ที่มีปริมาณน้ำน้อยจนเห็นพื้นที่สันทรายกลางแม่น้ำและริมตลิ่ง และในช่วงปลายของแม่น้ำมีเส้นลำน้ำค่อนข้างกว้าง เนื่องจากมีการสร้างฝายใน พ.ศ. 2562

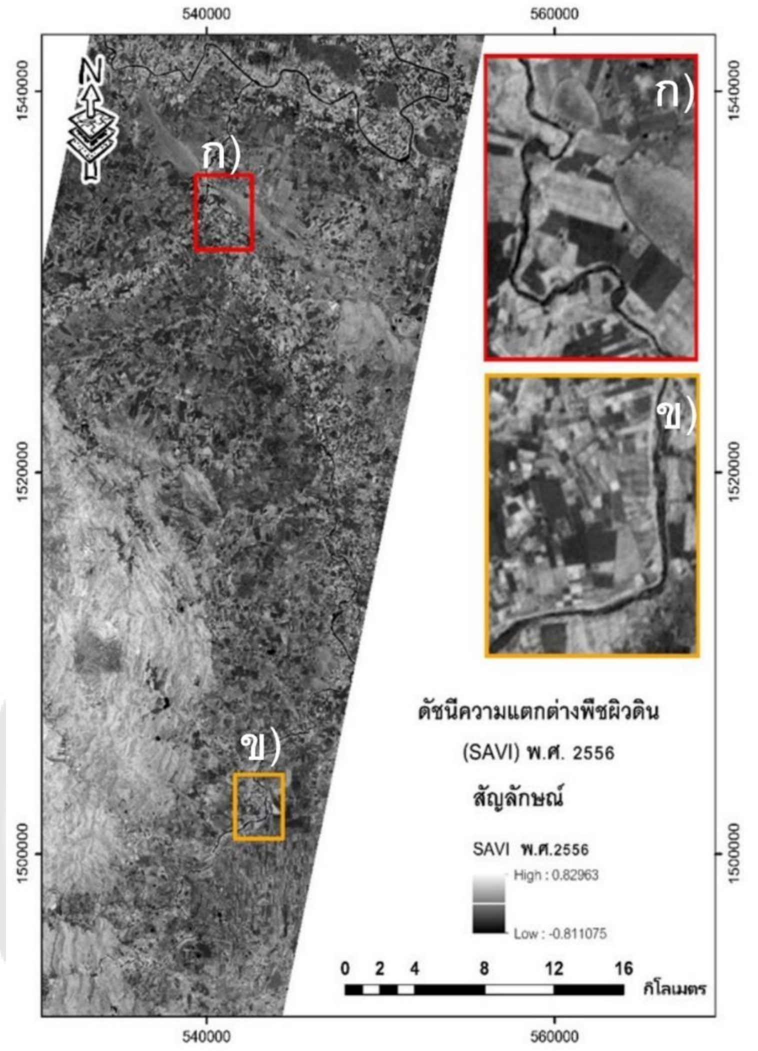
1.2 ผลการสกัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน (soil adjustment vegetation index: SAVI)

จากการคำนวณดัชนี SAVI ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชติ ใช้แบนด์ 1 (แดง) และแบนด์ 4 (อินฟราเรดใกล้) ใน พ.ศ. 2556 และ 2558 และดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ ใช้แบนด์ 3 (แดง) และแบนด์ 8 (อินฟราเรดใกล้) ใน พ.ศ. 2560 และ 2562 สามารถบ่งชี้เส้นลำน้ำออกจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น ๆ โดยดัชนี SAVI สามารถบ่งชี้พื้นที่น้ำด้วยค่าดัชนีอยู่ระหว่าง -0.24 ถึง 0.83 (ภาพประกอบ 21) ทั้งนี้ ดัชนี SAVI เป็นดัชนีที่ลดอิทธิพลของความสว่างของดิน ซึ่งวิธีนี้ใช้ได้ผลดีในพื้นที่ ที่มีพืชปกคลุมอยู่ในระดับต่ำ ซึ่งจะได้เส้นลำน้ำที่ลักษณะเป็นเส้นและมีความยาวตลอดลำน้ำค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่ในบางบริเวณเส้นลำน้ำขาดไป เนื่องจากในบริเวณนั้น มีปริมาณน้ำในลำน้ำน้อยจนปรากฏทราย เช่นเดียวกับดัชนี NDWI โดยสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลได้ดังภาพประกอบที่ 22 – 25



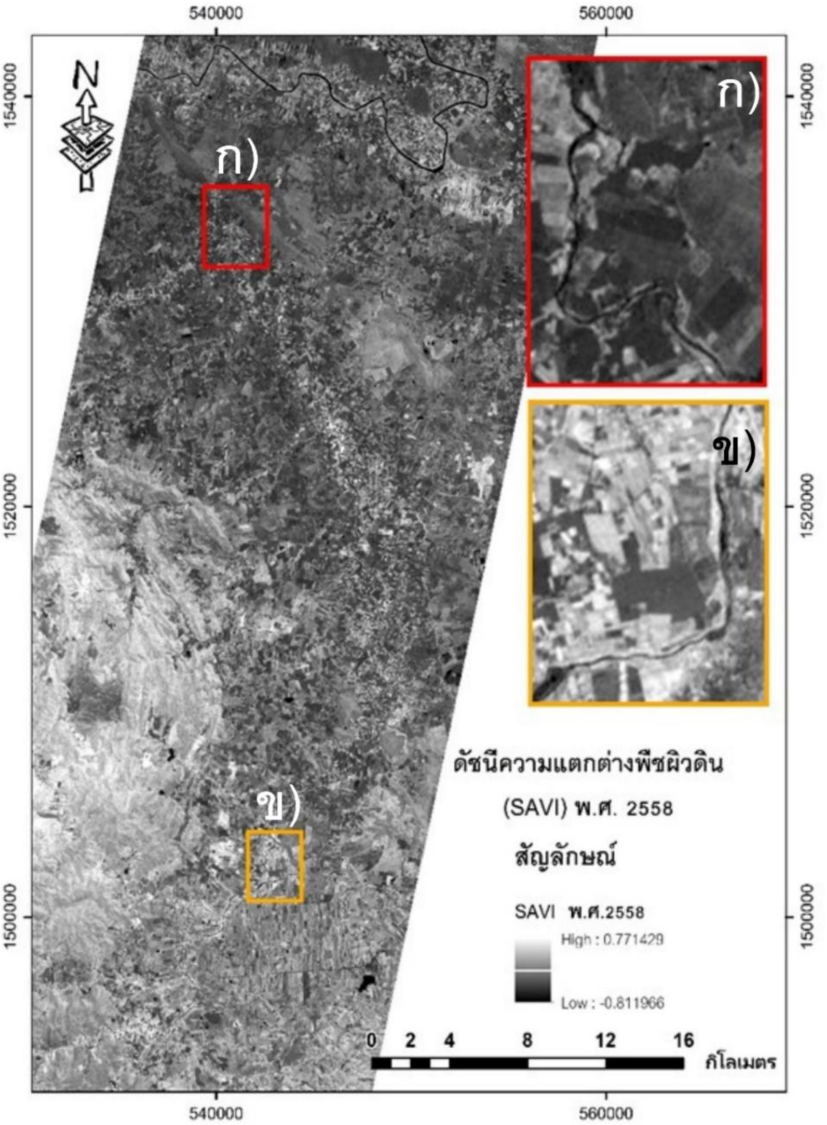
ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำของดัชนี SAVI

ก) 2556 ข) 2558 ค) 2560 และง) 2562



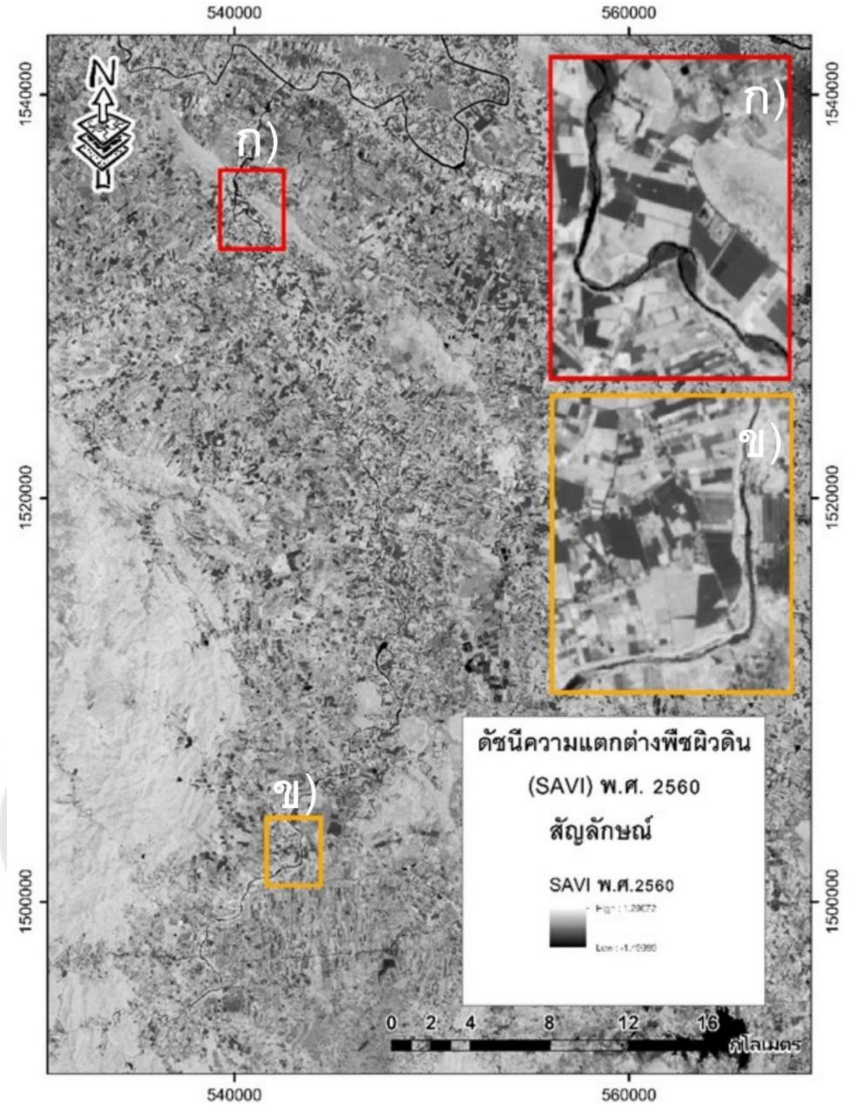
ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2556

จากภาพประกอบ 22 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี SAVI ใน พ.ศ. 2556 ในช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำจะไม่มีความต่อเนื่อง ซึ่งลักษณะทางกายภาพของพื้นที่เป็นบริเวณโขดหิน และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ปกคลุม รวมถึงภาพเป็นช่วงฤดูแล้ง จึงทำให้มีปริมาณน้ำที่น้อย ส่วนช่วงกลางและช่วงปลายของลำน้ำ มีเส้นลำน้ำยาวเป็นเส้นต่อเนื่อง มีบางส่วนกล้างและแคบสลับกันไป



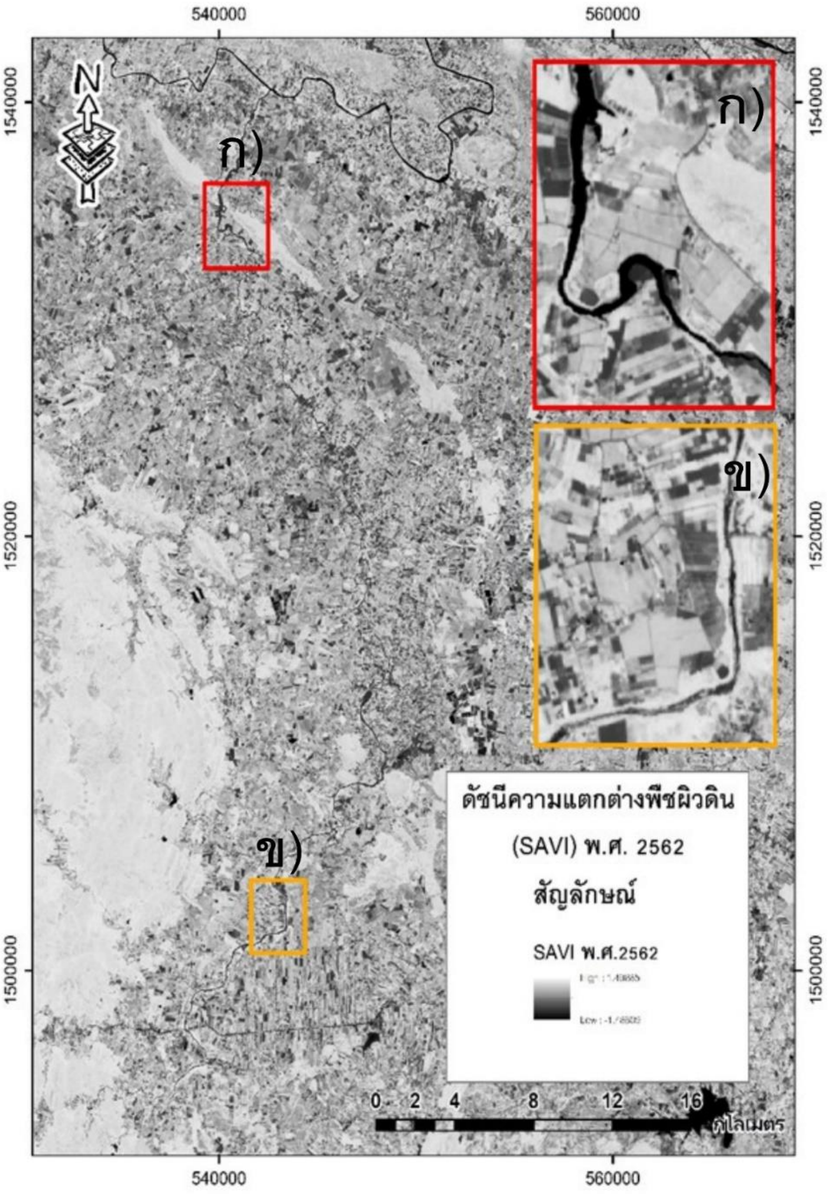
ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2558

จากภาพประกอบ 23 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี SAVI ใน พ.ศ. 2558 พบว่า ด้วยลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ที่ไม่เปลี่ยนแปลงนัก ทำให้ในช่วงต้นของลำน้ำ (ทิศใต้) มีเส้นลำน้ำที่ไม่มีความต่อเนื่อง ดังเช่นใน พ.ศ. 2556 ซึ่งในการใช้ดัชนี SAVI ในการระบุพื้นที่น้ำกับพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่น ให้ผลลัพธ์ที่ไม่ชัดเจน เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีเส้นแม่น้ำที่แคบ



ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2560

จากภาพประกอบ 24 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี SAVI ใน พ.ศ. 2560 ในช่วงต้นของลำน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นช่วงฤดูแล้ง ทำให้ปริมาณน้ำในลำน้ำมีน้อย และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ปกคลุม ส่วนช่วงกลางของลำน้ำมีเส้นลำน้ำยาวเป็นเส้นต่อเนื่องและบางส่วนกว้าง บางส่วนแคบ และช่วงปลายของเส้นลำน้ำมีความยาวเป็นเส้นต่อเนื่อง

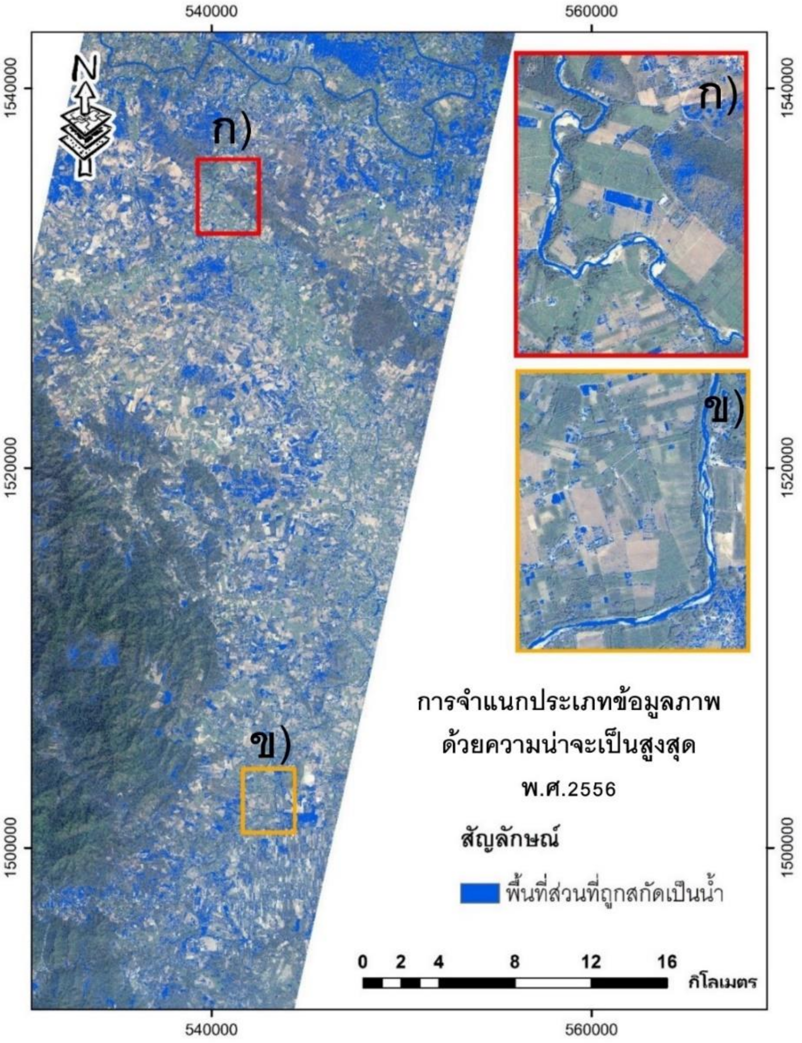


ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงช่วงค่าของการแยกน้ำและไม่ใช่น้ำ
ของดัชนี SAVI พ.ศ. 2562

จากภาพประกอบ 25 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยดัชนี SAVI ใน พ.ศ. 2562 พบว่า ช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่อง เหมือนกันใน พ.ศ. 2556 2558 และ 2560 ส่วนช่วงกลางของลำน้ำมีเส้นลำน้ำยาวเป็นเส้นค่อนข้างต่อเนื่องและบางส่วนกว้าง บางส่วนแคบ และช่วงปลายของเส้นลำน้ำมีความยาวเป็นเส้นต่อเนื่อง

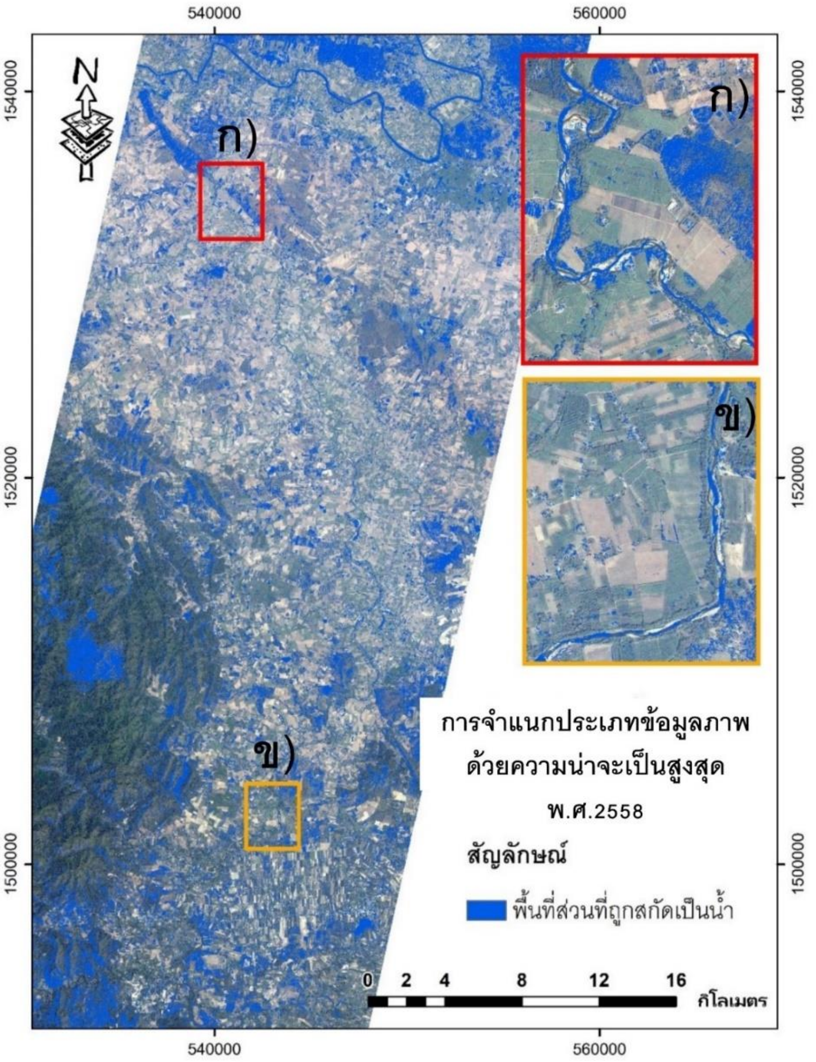
1.3 ผลการสกัดข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification)

การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised image classification) ด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ถูกใช้ในการจำแนกพื้นที่น้ำออกจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น โดยการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำพื้นที่ตัวอย่างของแหล่งน้ำจำนวน 30 พื้นที่ และพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นจำนวน 30 พื้นที่ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการรับรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการจำแนกพื้นที่น้ำออกจากพื้นที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทอื่น จากข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม



ภาพประกอบ 26 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2556

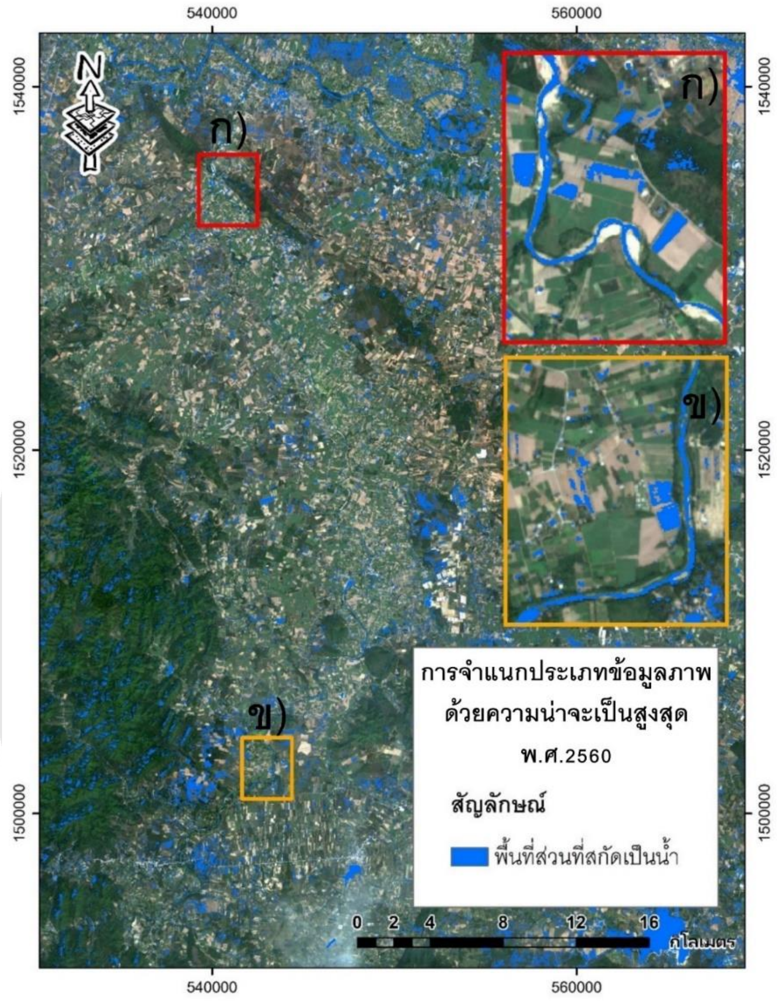
การสกัดเส้นแม่น้ำด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ (image classification) จากภาพถ่ายจากดาวเทียมไทยโชตและดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ พบว่า ใน พ.ศ. 2556 เส้นแม่น้ำมีความยาวค่อนข้างต่อเนื่องสม่ำเสมอ และมีความเลี้ยวลดคดเคี้ยวไปตามความสูงของภูมิประเทศ ซึ่งไหลจากเทือกเขาตะนาวศรี หรือจากทิศใต้ไปทางทิศเหนือ จนไปบรรจบที่แม่น้ำแควน้อย ดังภาพประกอบ 26



ภาพประกอบ 27 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2558

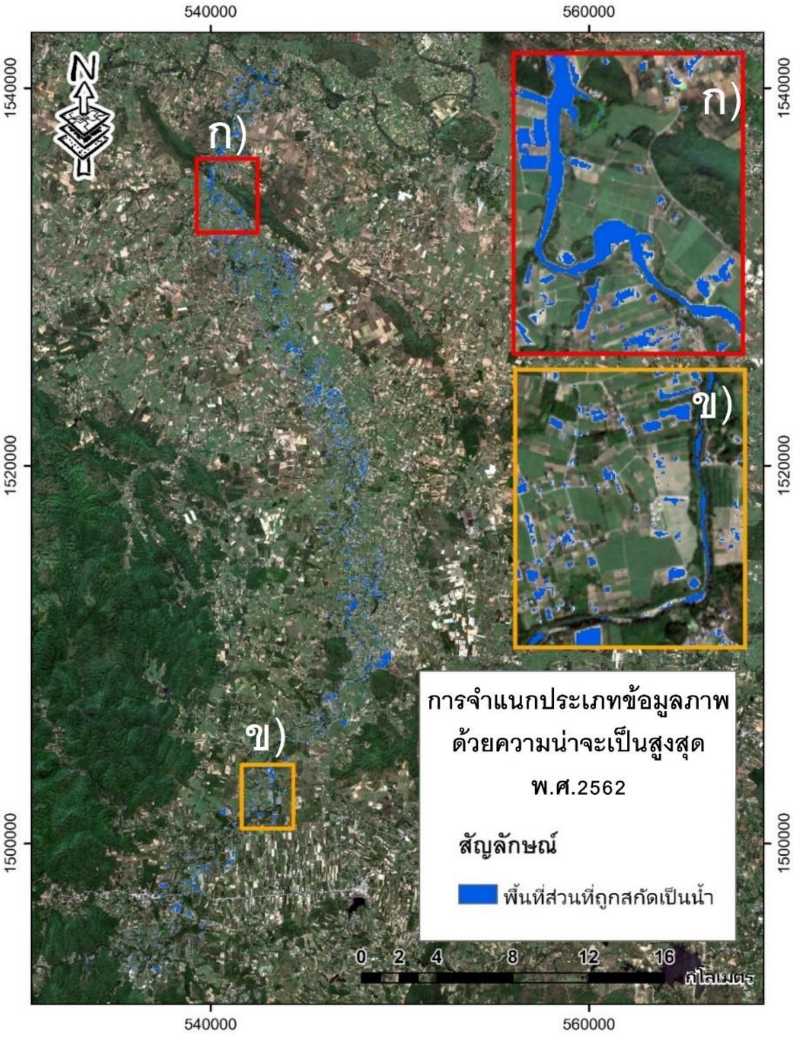
จากภาพประกอบ 27 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ปี พ.ศ. 2558 โดยในช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำจะไม่มีความต่อเนื่อง ซึ่งลักษณะทางกายภาพ

ของพื้นที่เป็นบริเวณโขดหิน และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ปกคลุม ส่วนช่วงกลางของลำน้ำมีเส้นลำน้ำยาวเป็นเส้นต่อเนื่องและบางส่วนกว้าง บางส่วนแคบ และช่วงปลายของเส้นลำน้ำค่อนข้างมีความต่อเนื่อง เส้นขอบของตลิ่งชัดเจน



ภาพประกอบ 28 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2560

จากภาพประกอบ 28 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ปี พ.ศ. 2560 พบว่า ในช่วงต้นน้ำ (ทิศใต้) เส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นบริเวณโขดหิน และมีต้นไม้ขนาดใหญ่ปกคลุม ส่วนช่วงกลางของลำน้ำมีเส้นลำน้ำยาวเป็นเส้นต่อเนื่องบ้าง และบางส่วนกว้าง บางส่วนแคบ เนื่องจากมีฝายกั้นน้ำในบางจุด และช่วงปลายของเส้นลำน้ำค่อนข้างมีความต่อเนื่อง ดังเช่นในปี พ.ศ. 2558



ภาพประกอบ 29 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2562

จากภาพประกอบ 29 แสดงเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดด้วยการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ ปี พ.ศ. 2562 พบว่า ในช่วงต้นน้ำ เส้นลำน้ำไม่มีความต่อเนื่องเหมือนปีก่อนหน้า ส่วนช่วงกลางของลำน้ำมีเส้นลำน้ำยาวเป็นเส้นต่อเนื่องบ้าง และบางส่วนกว้าง บางส่วนแคบ เนื่องจากมีฝายกั้นน้ำในบางจุด และช่วงปลายของเส้นลำน้ำค่อนข้างมีความต่อเนื่อง

2. การตรวจสอบความถูกต้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำ จากการวิเคราะห์ด้วยดัชนี NDWI ดัชนี SAVI และการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด (maximum likelihood) โดยการแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ พื้นที่ลำน้ำ ด้วยการสร้างตารางการปะปนระหว่างข้อมูล และการคำนวณค่าร้อยละของความถูกต้องและความแม่นยำที่ได้ ดังตารางที่ 7

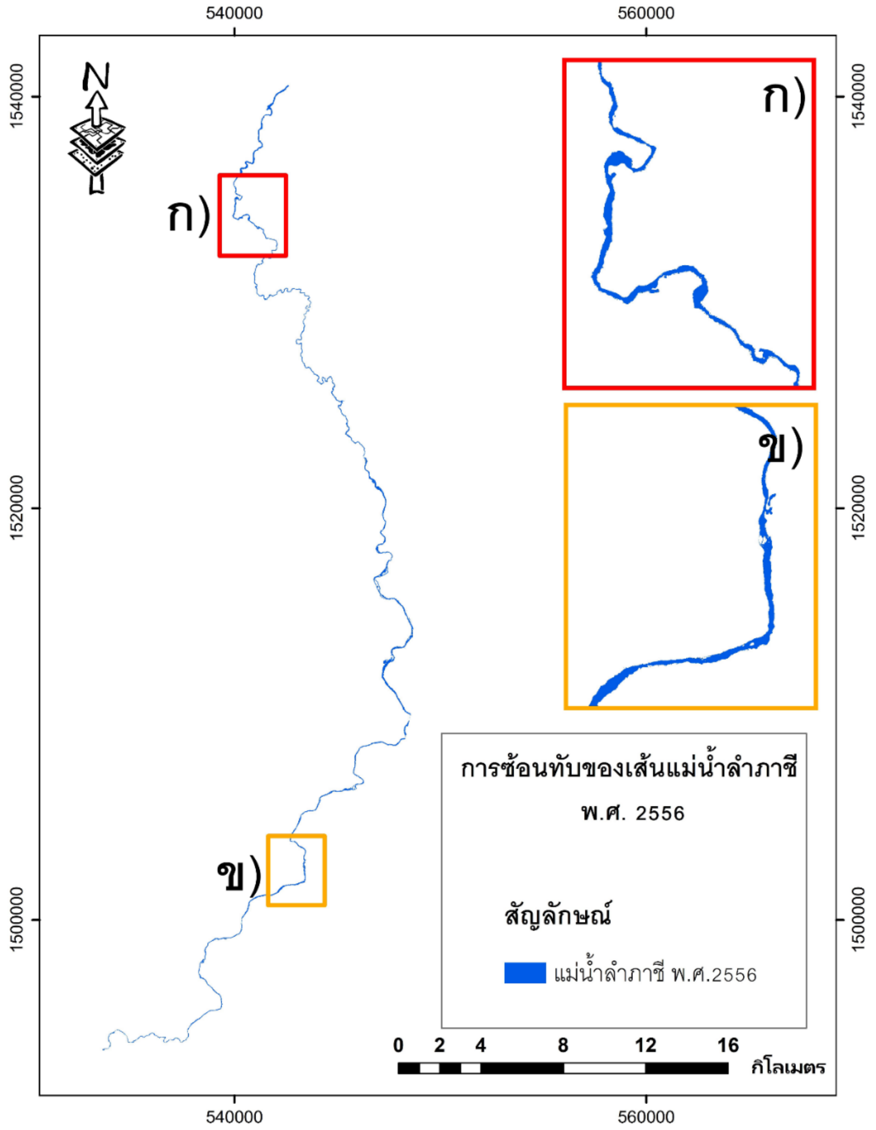
ตาราง 7 ตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูลของค่า NDWI SAVI และ supervised classification

วิธีการ	**ประเภทข้อมูล**	**น้ำ**	**ไม่ใช่น้ำ**	**ค่าความถูกต้อง (ร้อยละ)**	**ค่าความแม่นยำ (ร้อยละ)**
supervised classification	ลำน้ำ	84	2	97	98
	ไม่ใช่น้ำ	1	13		
NDWI	ลำน้ำ	83	3	95	97
	ไม่ใช่น้ำ	2	12		
SAVI	ลำน้ำ	80	4	91	95
	ไม่ใช่น้ำ	5	11		

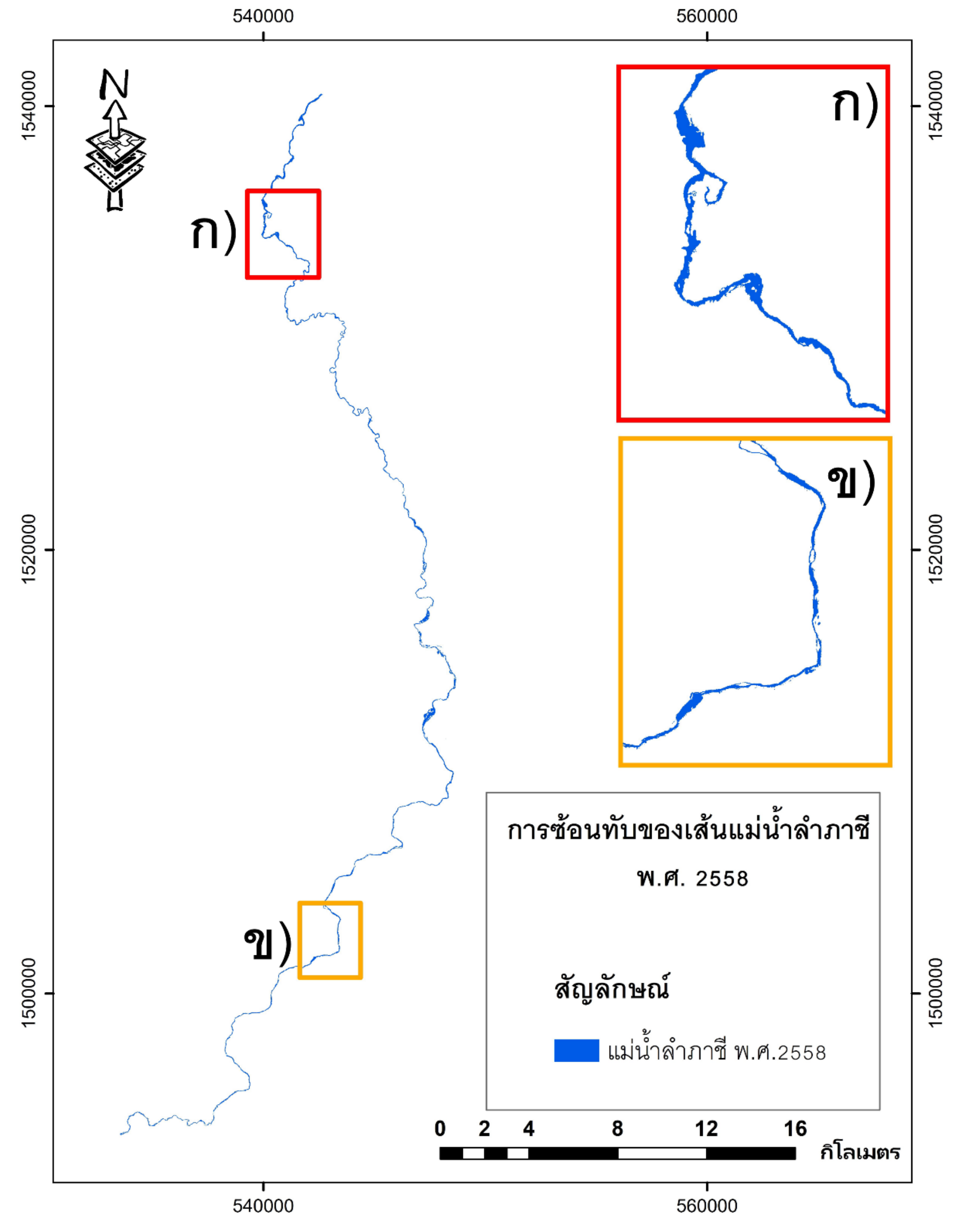
จากตารางที่ 7 ผลการจำแนกส่วนที่เป็นเส้นลำน้ำกับส่วนที่ไม่ใช่พื้นที่เส้นลำน้ำ จากนั้นแทนค่าที่ได้ลงในตารางการปะปนกันระหว่างข้อมูลของทั้งการจำแนกสามวิธี เพื่อหาค่าความถูกต้อง และความแม่นยำ พบว่า ข้อมูลที่ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำด้วย การจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) มีค่าความถูกต้องของข้อมูลอยู่ที่ร้อยละ 97 และความแม่นยำร้อยละ 98 ข้อมูลที่ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำด้วย NDWI มีค่าความถูกต้องของข้อมูลอยู่ที่ร้อยละ 95 และความแม่นยำร้อยละ 97 และข้อมูลที่ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำด้วย SAVI มีค่าความถูกต้องของข้อมูลอยู่ที่ร้อยละ 91 และความแม่นยำร้อยละ 95 ดังนั้น จะเห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม (supervised classification) มีความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ตามด้วยข้อมูลที่ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำด้วย NDWI และข้อมูลที่ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำด้วย SAVI ตามลำดับ

3. การวิเคราะห์สัณฐานลำน้ำ

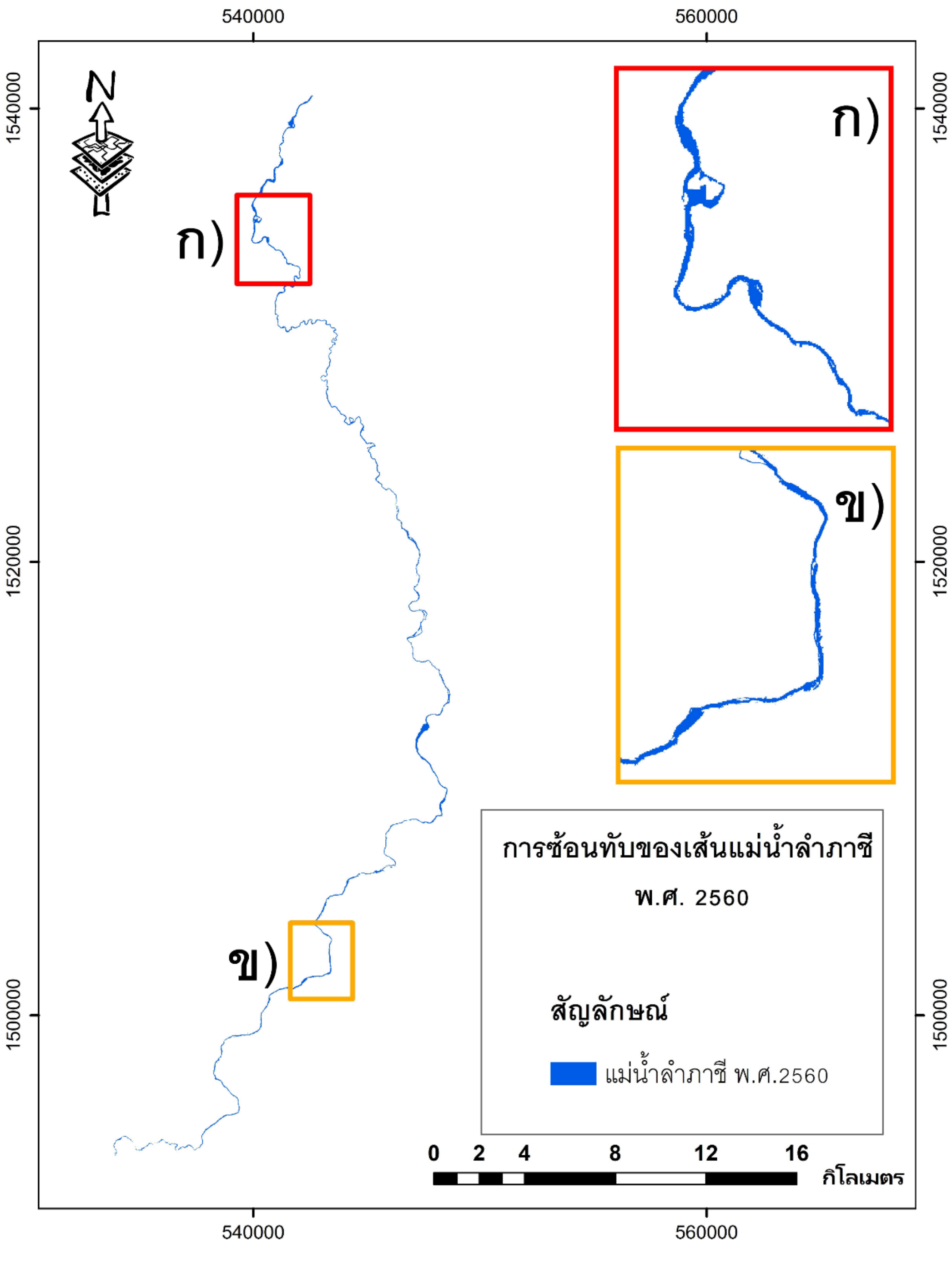
การศึกษาครั้งนี้ จึงนำข้อมูลเส้นลำน้ำ ที่ได้จากการสกัดลำน้ำด้วยดัชนี NDWI SAVI และการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยวิธีความน่าจะเป็นไปได้สูงสุด มาซ้อนทับกันเพื่อให้เส้นแม่น้ำมีความเหมาะสมและชัดเจนต่อการวิเคราะห์สัณฐานโดยผู้วิจัยได้สร้างแผนที่แสดงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชีใน พ.ศ. 2556 – 2562 ดังภาพประกอบ 30 - 33



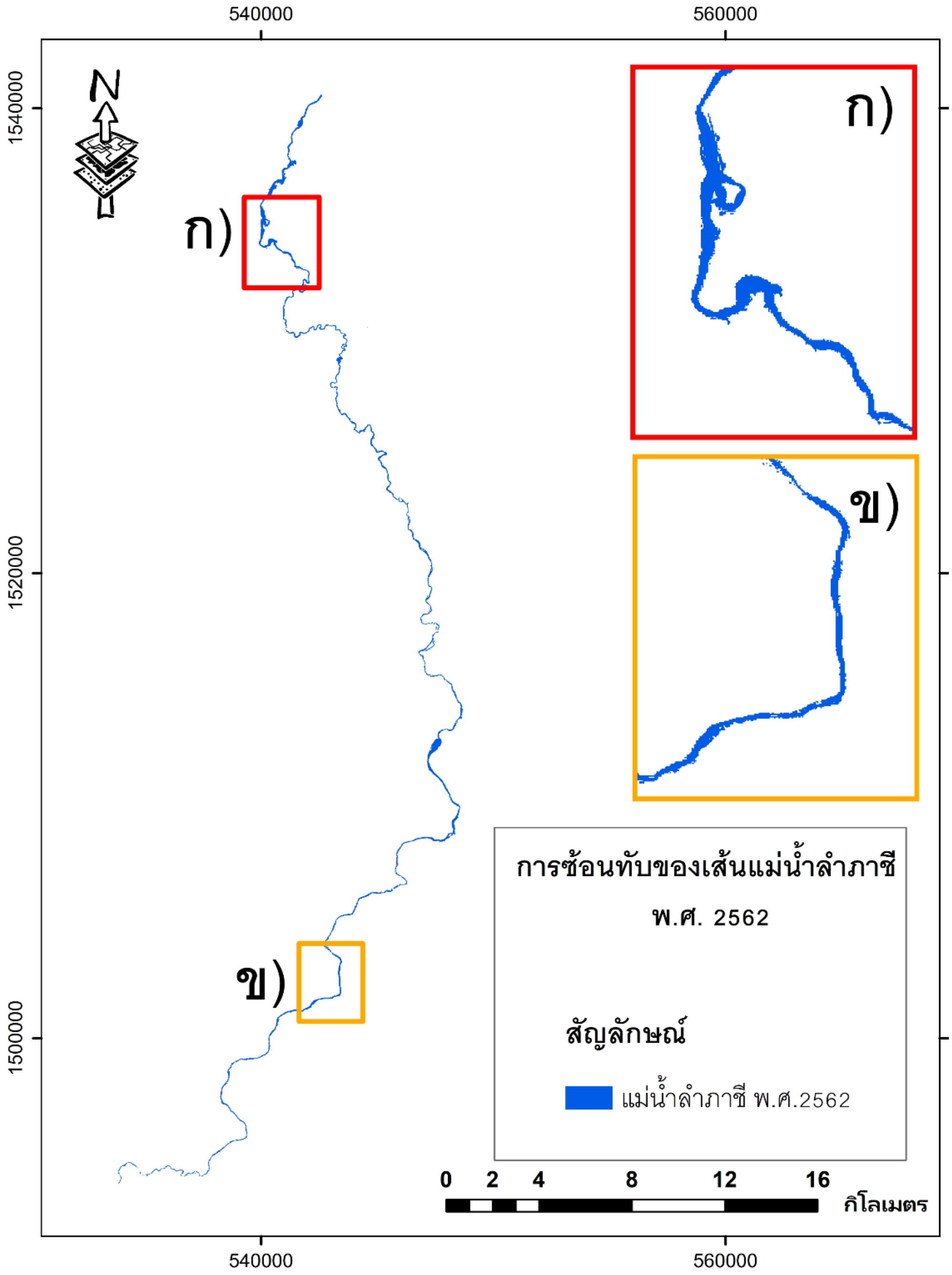
ภาพประกอบ 30 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2556



ภาพประกอบ 31 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2558



ภาพประกอบ 32 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2560



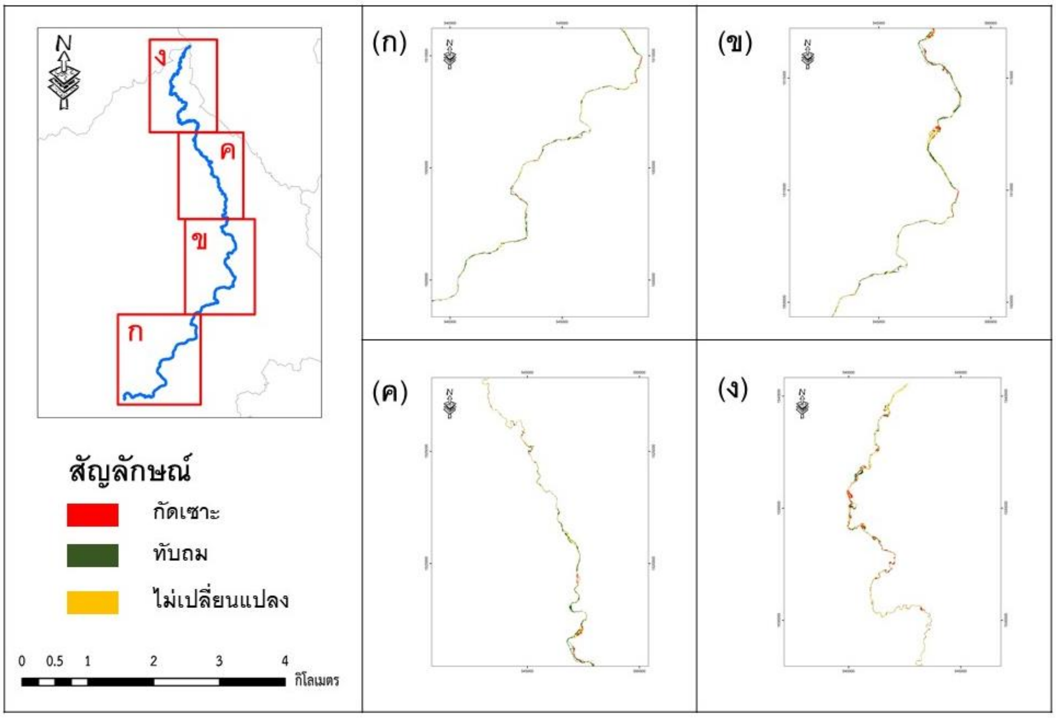
ภาพประกอบ 33 การซ้อนทับเส้นลำน้ำจากการสกัดข้อมูลด้วย ดัชนีความแตกต่างของความชื้น ดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ พ.ศ.2562

จากภาพประกอบ 30 - 33 แม่น้ำลำภาชีเป็นแม่น้ำที่ไหลจากเทือกเขาตะนาวศรีทางทิศใต้ไปทางทิศเหนือเพื่อไหลลงสู่แม่น้ำแควน้อย โดยลักษณะสัณฐานของแม่น้ำในช่วงต้นน้ำประกอบด้วยหินเป็นส่วนใหญ่มีความลาดชันสูงและมักพบพัฒนาการของร่องน้ำที่เกิดจากการกัดเซาะในทางลึก (vertical erosion) เป็นหลัก ทำให้ได้ร่องน้ำที่เป็นรูปตัววี (V-shaped valley) และค่อนข้างแคบ ประกอบกับในบางช่วงมีการสร้างฝายทดน้ำ ทำให้ลักษณะแม่น้ำบริเวณหลังฝายมีลักษณะโค้งตวัด (meander) ส่วนในช่วงกลางถึงช่วงท้ายจะมีลักษณะน้ำไหลในพื้นที่ค่อนข้างราบ เกิดการกัดเซาะในทางราบทำให้ตลิ่งพังทลายไปทีละน้อย ๆ (erosional bank) ในขณะเดียวกันตลิ่งด้านที่อยู่ตรงข้ามที่เป็นโค้งเว้าข้างใน (convex) เกิดการทับถมงอกออกมา (depositional bank) เกิดการพอกตัวของตะกอนทรายหยาบปนกรวดเป็นสันนูน (ridge) สลับกับที่ลุ่มต่ำ (depression หรือ swale) ที่เรียกว่า สันดอนทราย (sand bar) ซึ่งรูปแบบทางน้ำของแม่น้ำลำภาชีมีลักษณะคล้ายกิ่งก้านสาขาของต้นไม้ โดยเป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบทางน้ำกิ่งไม้ (dendritic drainage pattern) โดยลักษณะเป็นโครงข่ายการระบายน้ำที่ลำน้ำสาขา ไหลลงมารวมกันกับลำน้ำสายหลักดูคล้ายกับกิ่งไม้ มักเกิดขึ้นบริเวณที่มีโครงสร้างหินแบบเดียวกันมีเนื้อหินแน่น มุมของลำน้ำที่ไหลมาเชื่อมกันลักษณะคล้ายรูปตัววาย (Y) ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องตามทฤษฎีการไหลของธารน้ำตามทฤษฎีของคริสโตฟิสัน (Christopherson, 2016) ซึ่งแม่น้ำลำภาชีจัดว่าเป็นแม่น้ำที่อยู่ตอนต้นน้ำ จึงมีรูปร่างที่มีกิ่งก้านที่ไม่ชัดเจนนักเมื่อเทียบกับแม่น้ำสายอื่นที่อยู่ปลายน้ำ โดยสามารถพบทางน้ำรูปแบบนี้ได้ทั่วไปในประเทศไทย ซึ่งมักเกิดในบริเวณหินรับน้ำ มีความสามารถกระจายน้ำและเก็บกักน้ำได้ดี โดยเป็นเนื้อหินแบบเดียวกันที่สมานกันแน่น มีลักษณะการกัดเซาะของบริเวณตลิ่งแม่น้ำทุกทิศทางใกล้เคียงกัน โดยให้เห็นภาพพื้นที่และเส้นทางของลำน้ำที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

4. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานลำน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลการสกัดเส้นลำน้ำด้วยดัชนี NDWI SAVI และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ โดยได้ใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (overlay) มาร่วมในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานลำน้ำ จากข้อมูลเส้นลำน้ำที่ได้ปรับแก้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พ.ศ. 2556 2558 2560 และ 2562 รวมกันของแต่ละปี มาซ้อนทับกัน แต่เนื่องจากลักษณะของแม่น้ำลำภาชีมีความยาวตลอดเส้นลำน้ำประมาณ 76.7 กิโลเมตร ผู้วิจัยจึงแบ่งพื้นที่เส้นลำน้ำเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วง ก ช่วง ข ช่วง ค และช่วง ง โดยที่ช่วง ก เป็นช่วงต้นน้ำมีระยะทางประมาณ 20 กิโลเมตร ช่วงกลางน้ำแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วง ข มีความยาวประมาณ 21.5 กิโลเมตร และช่วง ค มีความ

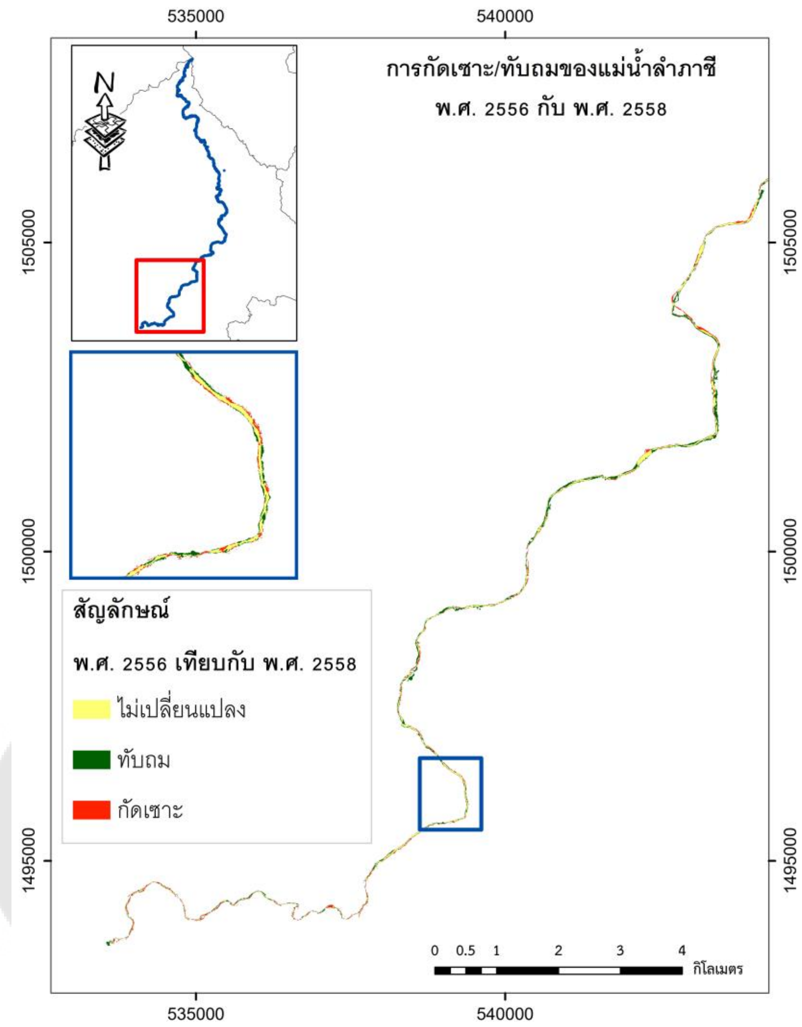
ยาวประมาณ 15 กิโลเมตร ส่วนช่วง ง เป็นช่วงปลายน้ำมีความยาวประมาณ 19.7 กิโลเมตร ซึ่งมีการกัดเซาะตลอดทั้งเส้นลำน้ำทั้งหมด 5.03 ตารางกิโลเมตร และเป็นพื้นที่ทับถม 2.80 ตารางกิโลเมตร โดยสามารถแบ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงได้ ดังภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ช่วง ข ช่วง ค และช่วง ง

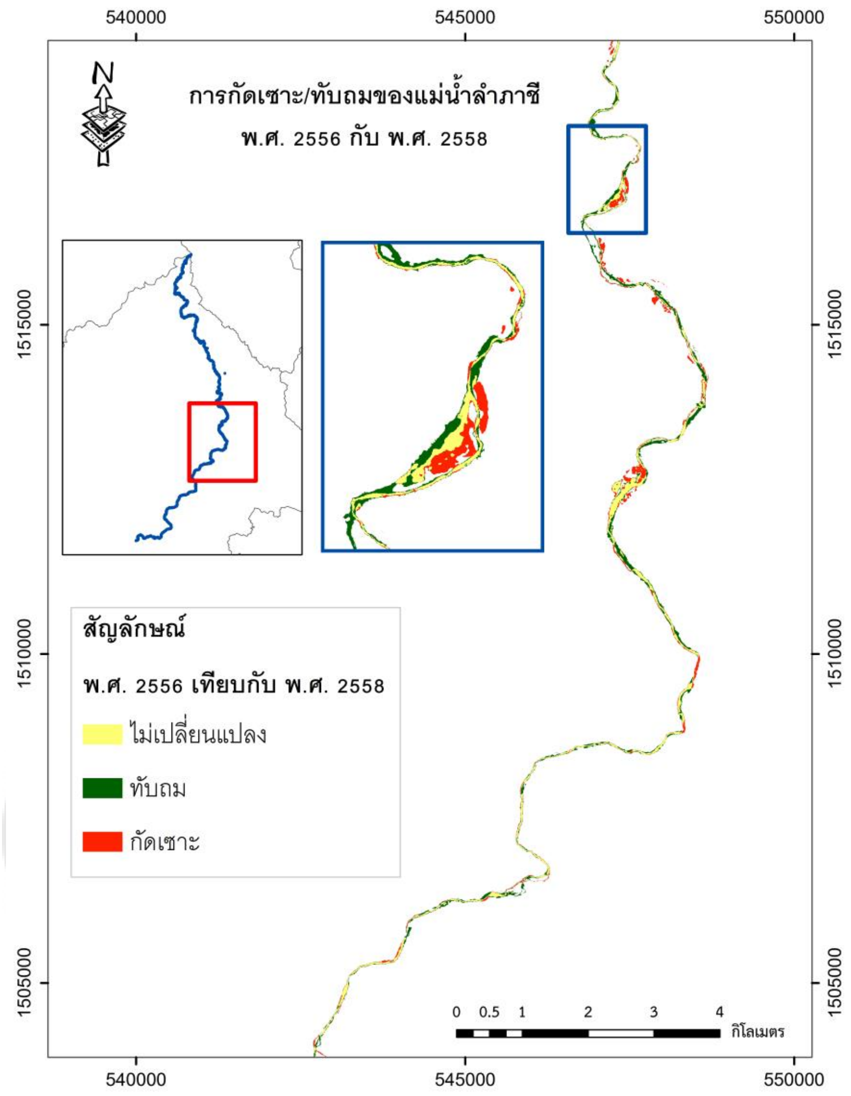
4.1 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558

ในการวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถม ใช้ผลลัพธ์จากการรวมกันของการสกัดเส้นลำน้ำของ NDWI SAVI และ image classification ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 มาซ้อนทับเพื่อเปรียบเทียบ โดยจะได้ผลลัพธ์จากการซ้อนทับของข้อมูลออกมาเป็นพื้นที่กัดเซาะ และพื้นที่ทับถมตลอดแม่น้ำลำภาชี ซึ่งสามารถคำนวณเนื้อที่ตลอดทั้งลำน้ำ ออกมาได้เป็น พื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.89 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ทับถม เท่ากับ 1.10 ตารางกิโลเมตร



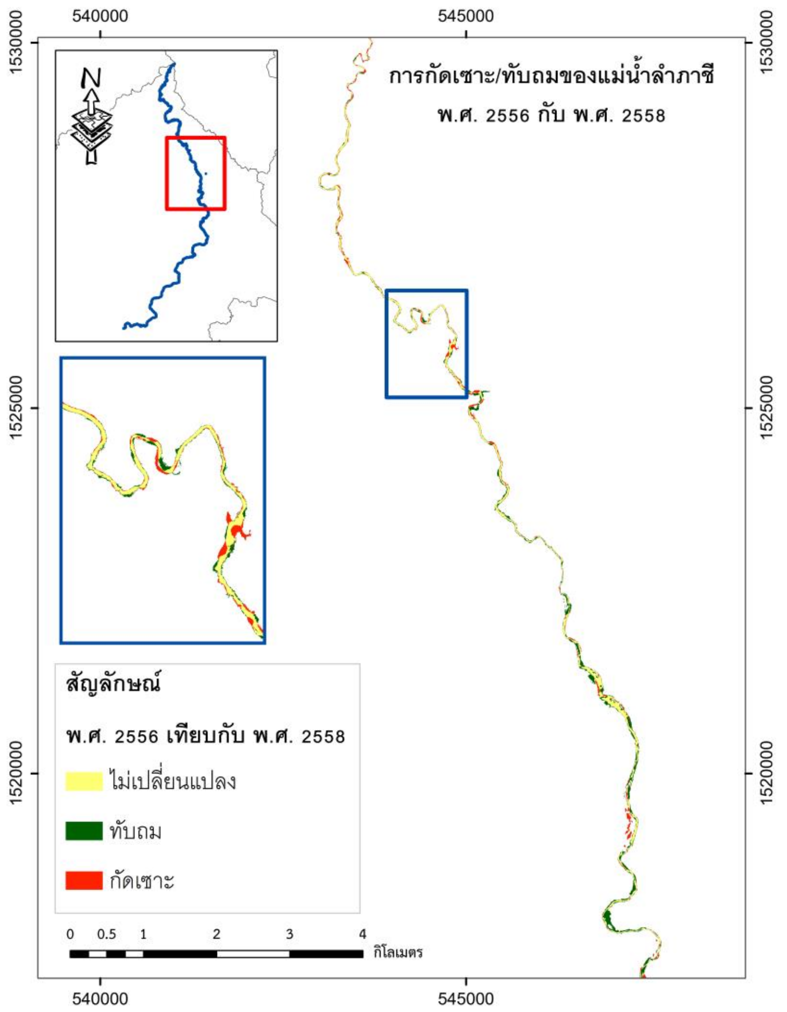
ภาพประกอบ 35 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558

จากภาพประกอบ 35 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก พบว่า ระหว่างพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 เป็นช่วงต้นของแม่น้ำลำภาชี เส้นลำน้ำจะมีความกว้างน้อยและพื้นที่ริมตลิ่งส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยพืชและหิน จึงมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย พื้นที่ส่วนใหญ่จึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.13 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.26 ตารางกิโลเมตร



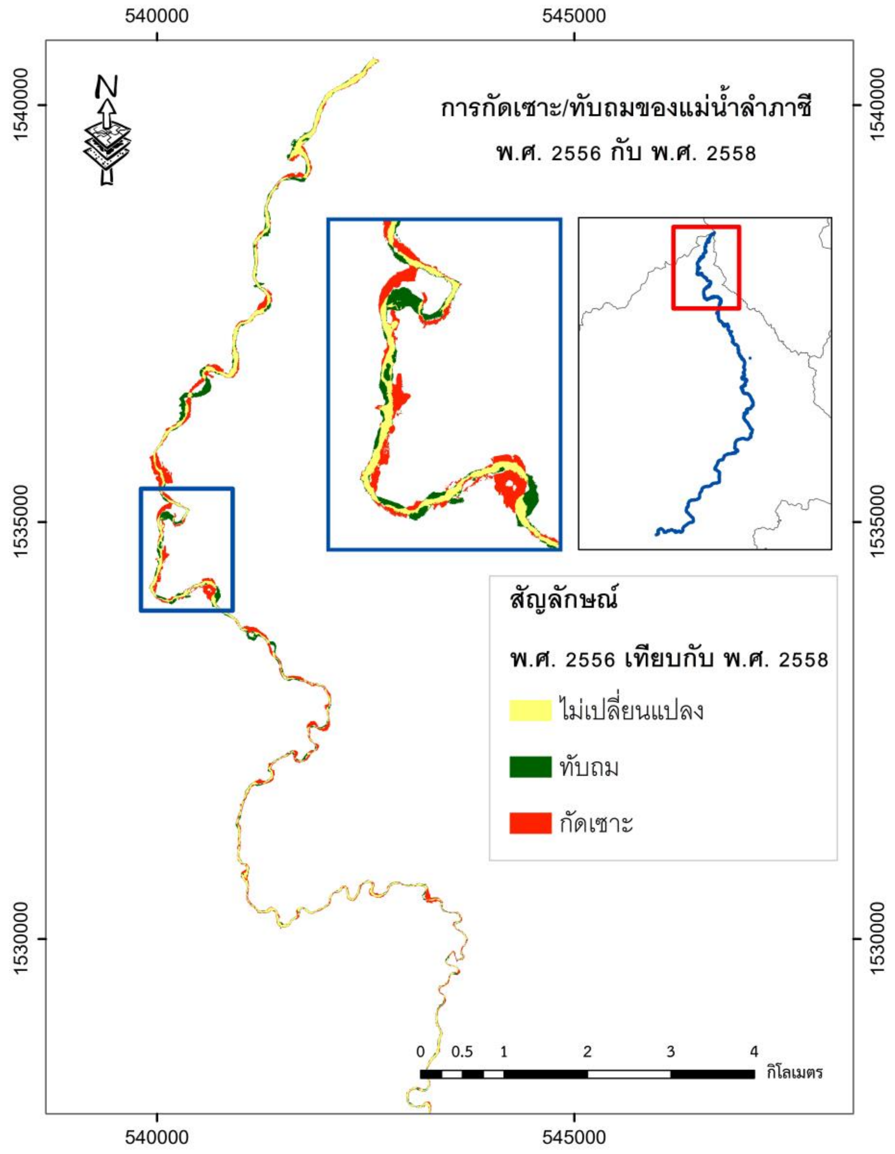
ภาพประกอบ 36 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558

จากภาพประกอบ 36 ในช่วง ข ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 พบว่า มีการทับถมของลำน้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของช่วง ข บริเวณตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และมีการกัดเซาะมาก บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำลำภาชีที่มีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย ตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ซึ่งมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.27 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.42 ตารางกิโลเมตร



ภาพประกอบ 37 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558

จากภาพประกอบ 37 ในช่วง ค ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 พบว่า มีการทับถมของลำน้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของช่วง ค บริเวณตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และมีการทับถมค่อนข้างมาก อาจเป็นเพราะมีการกัดเซาะจากบริเวณต้นน้ำ และบริเวณสะพานข้ามแม่น้ำลำภาชีที่มีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย ตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ซึ่งมีพื้นที่กัดเซาะเท่ากับ 0.12 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.21 ตารางกิโลเมตร

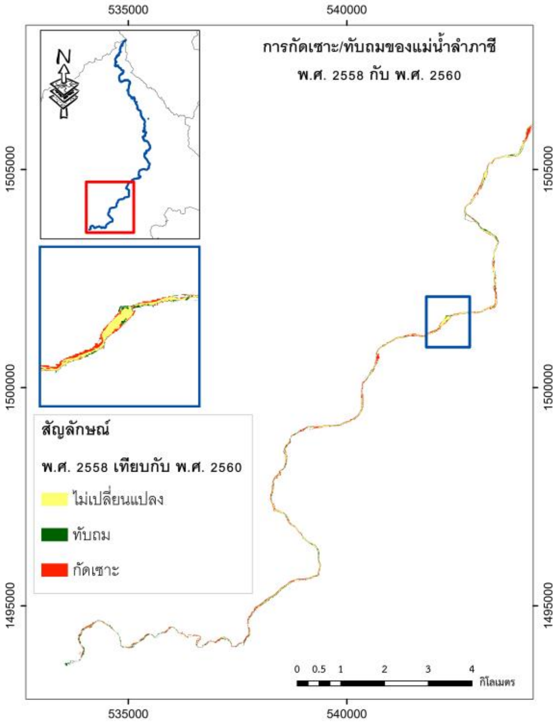


ภาพประกอบ 38 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558

จากภาพประกอบ 38 ในช่วง ง ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่างพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 เป็นส่วนปลายของแม่น้ำลำภาชี พบว่า ความกว้างของแม่น้ำค่อยข้างมาก และลักษณะการกัดเซาะและทับถมของแม่นน้ำ เป็นลักษณะแนวระนาบมากกว่าแนวดิ่ง ซึ่งมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.36 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.21 ตารางกิโลเมตร

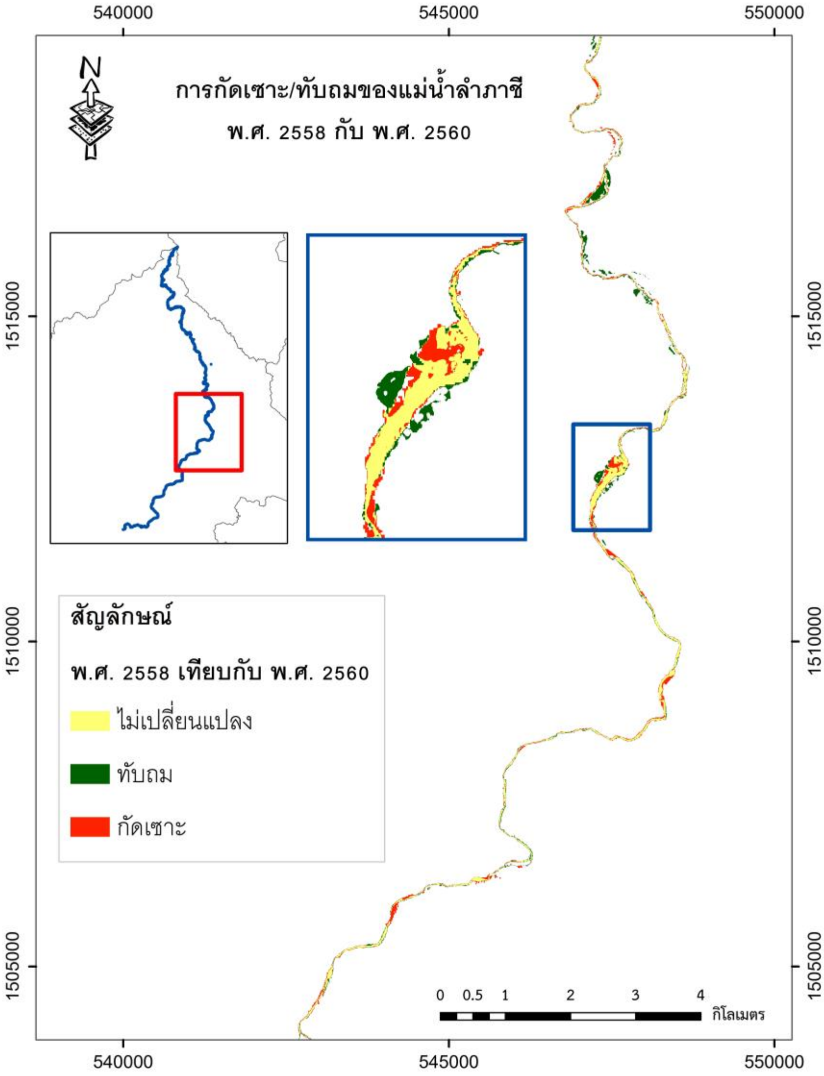
4.2 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560

การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและทับถม ใช้ผลลัพธ์จากการรวมกันของการสกัดเส้นลำน้ำของ NDWI SAVI และimage classification ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 มาซ้อนทับเพื่อเปรียบเทียบ โดยได้ผลลัพธ์จากการซ้อนทับของข้อมูลออกมาเป็นพื้นที่กัดเซาะ และพื้นที่ทับถมตลอดเส้นลำน้ำของแม่น้ำลำภาชี ซึ่งสามารถคำนวนกัดเซาะเท่ากับ 0.91 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ทับถม เท่ากับ 0.85 ตารางกิโลเมตร ดังภาพประกอบ 39 - 42



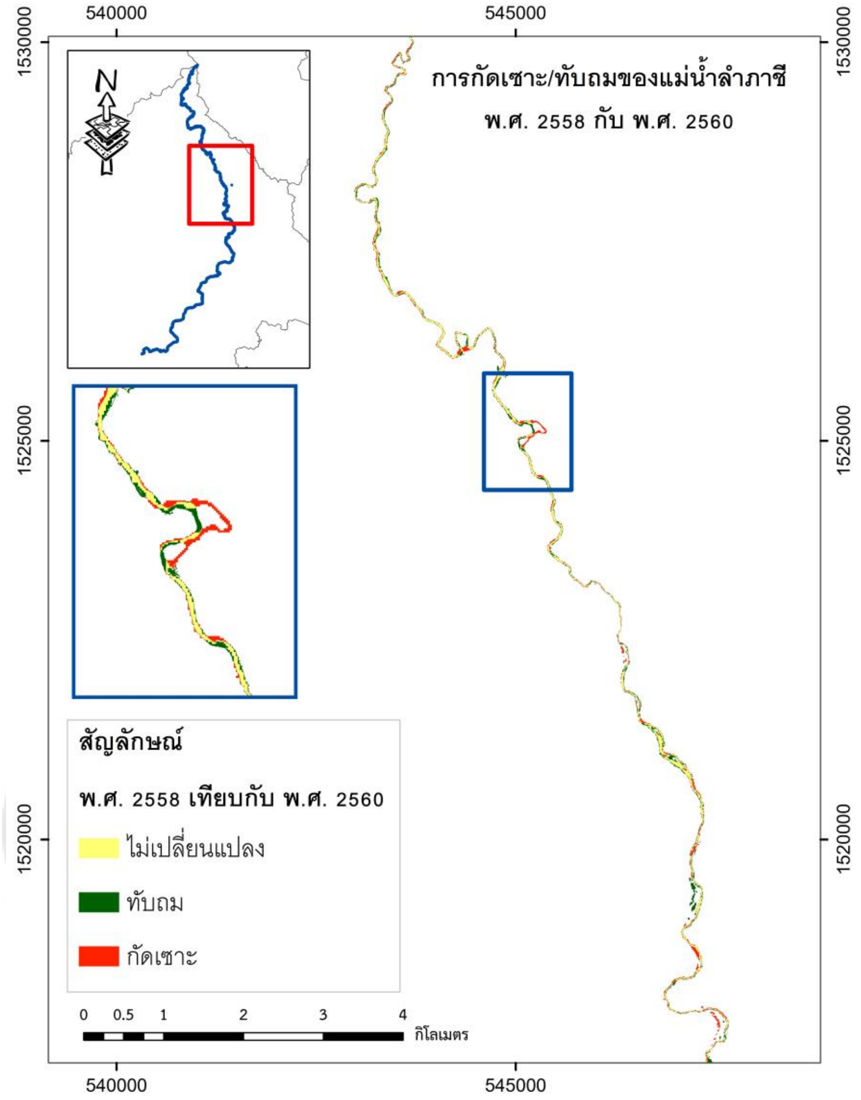
ภาพประกอบ 39 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560

จากภาพประกอบ 39 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ซึ่งเป็นช่วงต้นน้ำของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 พบว่า เส้นลำน้ำจะมีความกว้างค่อนข้างน้อยและพื้นที่ริมตลิ่งส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยพืชและหิน ส่วนมากจะเป็นการกัดเซาะในแนวดิ่งมากกว่าแนวราบ จึงมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย พื้นที่ส่วนใหญ่จึงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.23 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.15 ตารางกิโลเมตร



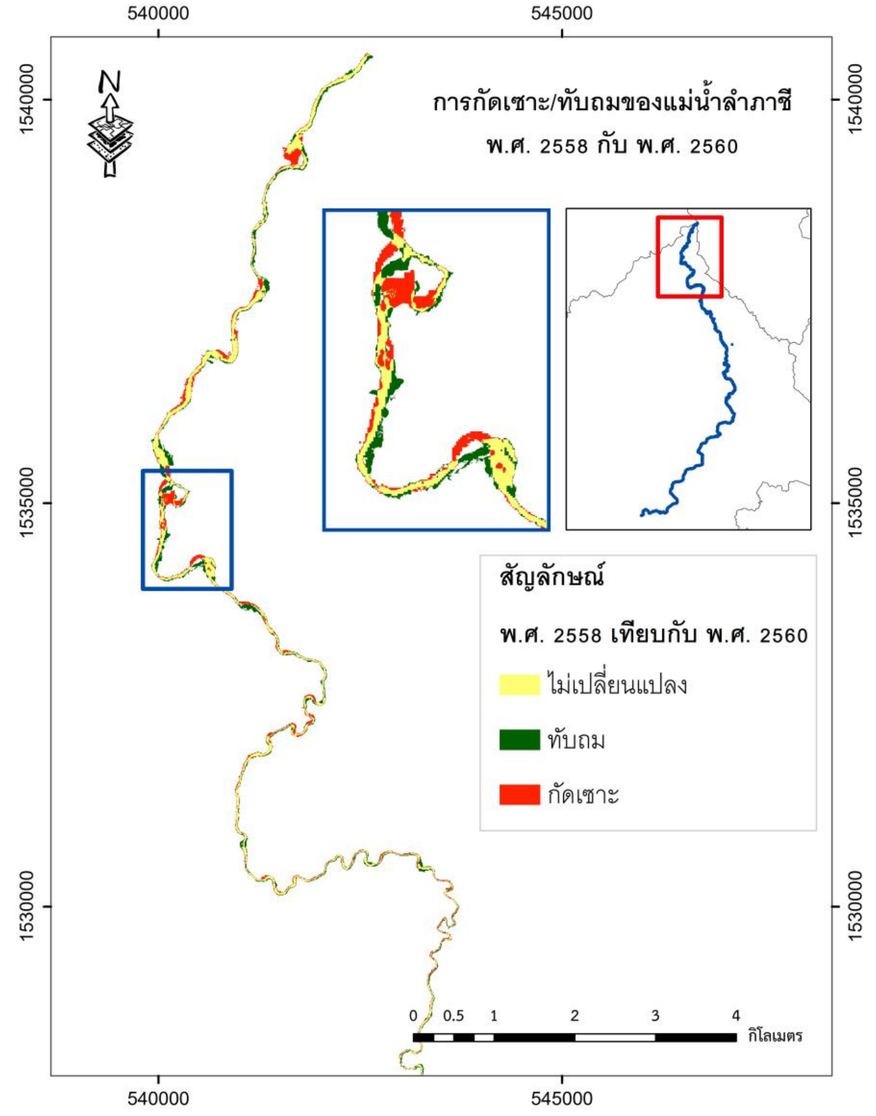
ภาพประกอบ 40 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560

ตามภาพประกอบ 40 ในช่วง ข ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 พบว่า มีการทับถมของลำน้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของช่วง ข บริเวณตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และมีการกัดเซาะและทับถมมาก บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำลำภาชีที่มีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย ตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ซึ่งทำให้บริเวณดังกล่าว เป็นบริเวณที่กว้างที่สุดของแม่น้ำ โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.26 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.26 ตารางกิโลเมตร



ภาพประกอบ 41 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหว่างพ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560

ตามภาพประกอบ 41 ในช่วง ค ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 พบว่า มีการทับถมและกัดเซาะของลำน้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของช่วง ค บริเวณตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และบริเวณตำบลหนองไผ่ อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี มีการกัดเซาะมาก เนื่องจากการไหลของแม่น้ำมีการเปลี่ยนทิศทาง จึงเกิดเป็นการกัดเซาะของแม่น้ำที่เป็นลักษณะวงแหวนและคอคอด โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.14 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.15 ตารางกิโลเมตร

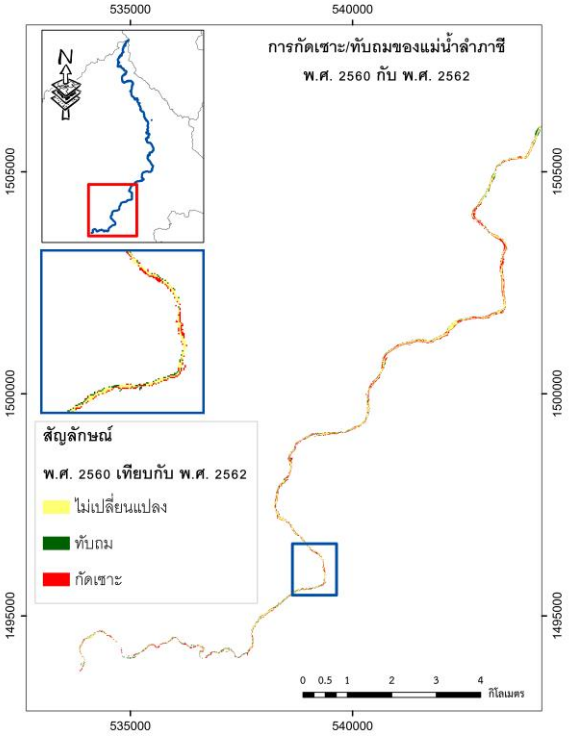


ภาพประกอบ 42 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่าง พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560

ตามภาพประกอบ 42 ในช่วง ง ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่างพ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 เป็นส่วนต้นของแม่น้ำลำภาชี พบว่า ในช่วงนี้เป็นช่วงปลายของแม่น้ำ คล้ายกับพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 มีปริมาณการกัดเซาะและทับถมเท่าๆ กัน โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.27 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.29 ตารางกิโลเมตร

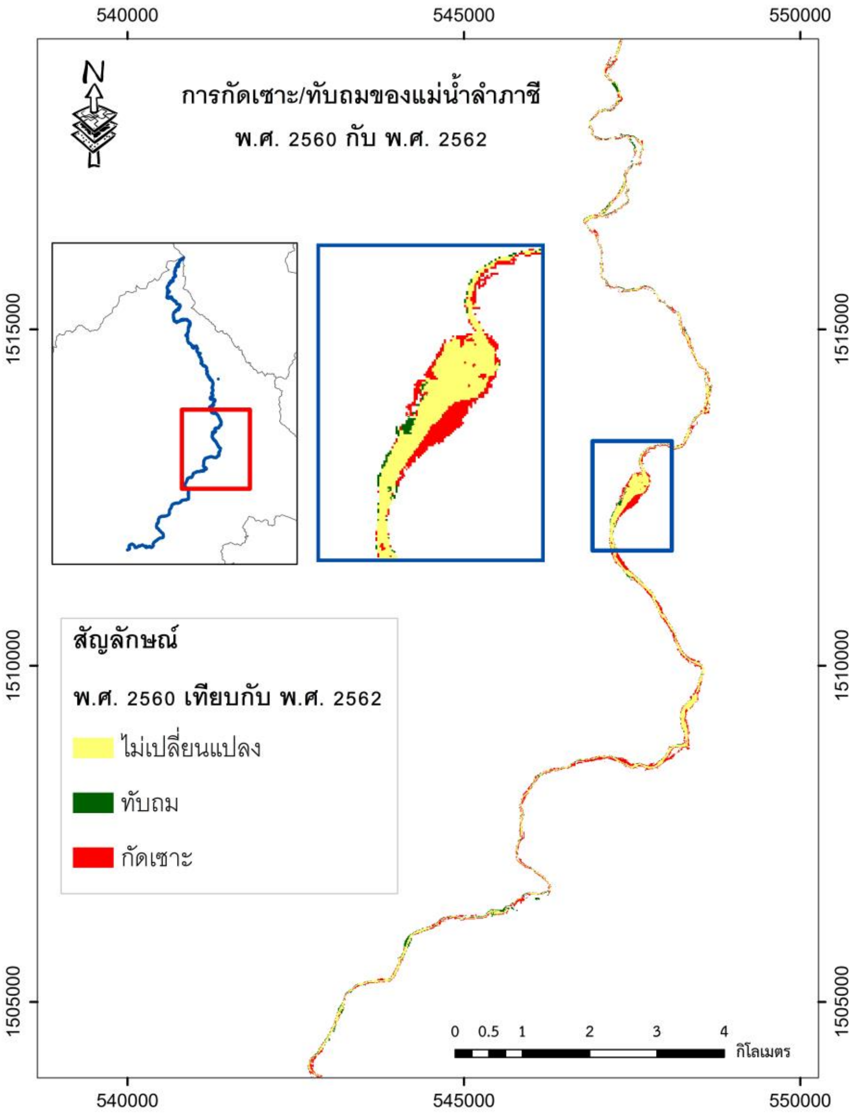
4.3 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562

ในการวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถมจะใช้ผลลัพธ์จากการรวมกันของการสกัดเส้นลำน้ำของ NDWI SAVI และimage classification ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 มาซ้อนทับเพื่อเปรียบเทียบ โดยจะได้ผลลัพธ์จากการซ้อนทับของข้อมูลออกมาเป็นพื้นที่กัดเซาะ และพื้นที่ทับถมตลอดเส้นลำน้ำของแม่น้ำลำภาชี ซึ่งสามารถคำนวนเนื้อที่ออกมาได้เป็นพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 1.51 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ทับถม เท่ากับ 0.34 ตารางกิโลเมตร



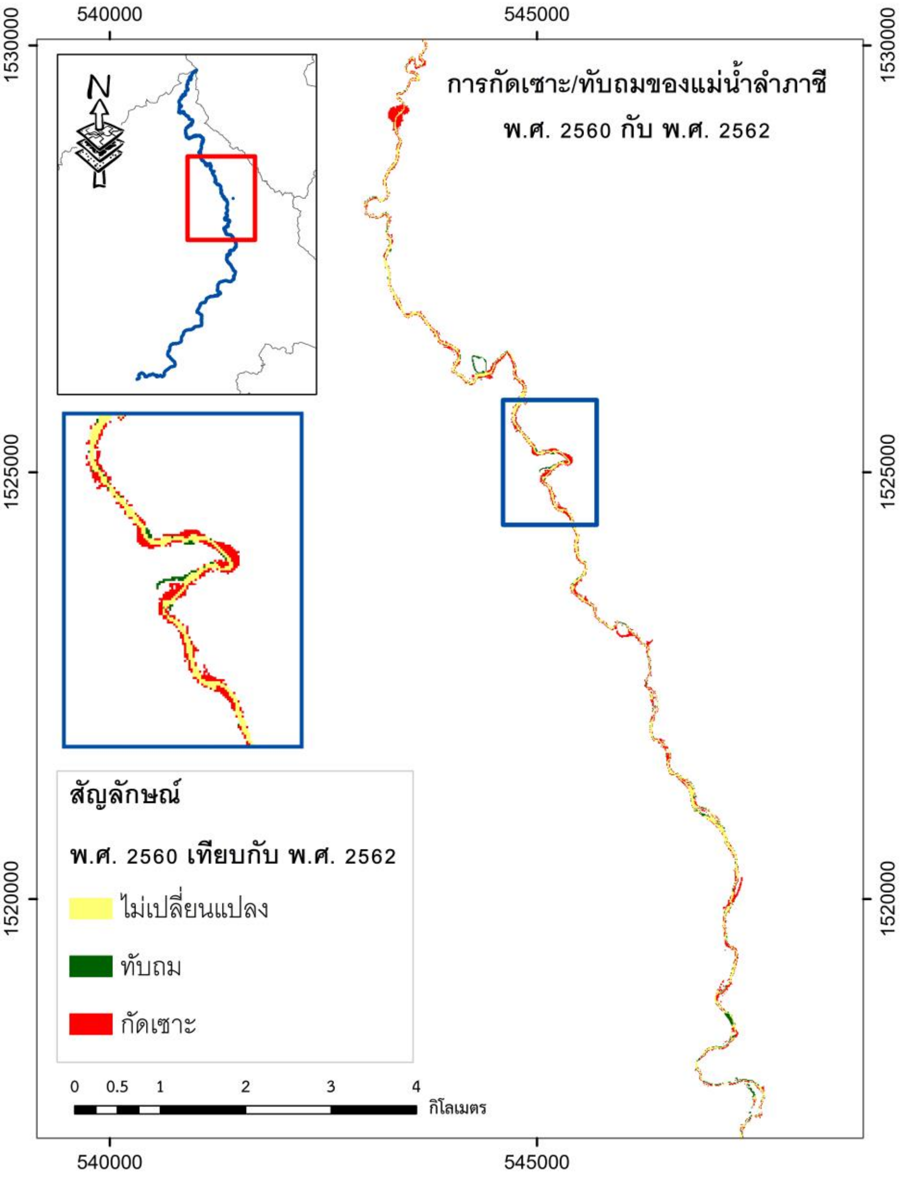
ภาพประกอบ 43 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562

จากภาพประกอบ 43 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก พบว่า ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 เป็นช่วงต้นของแม่น้ำลำภาชี โดยพบว่า มีการพื้นที่กัดเซาะเส้นลำน้ำมากกว่าการทับถมค่อนข้างมาก โดยรวมแล้วคล้ายกับ พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 และ พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.28 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.08 ตารางกิโลเมตร



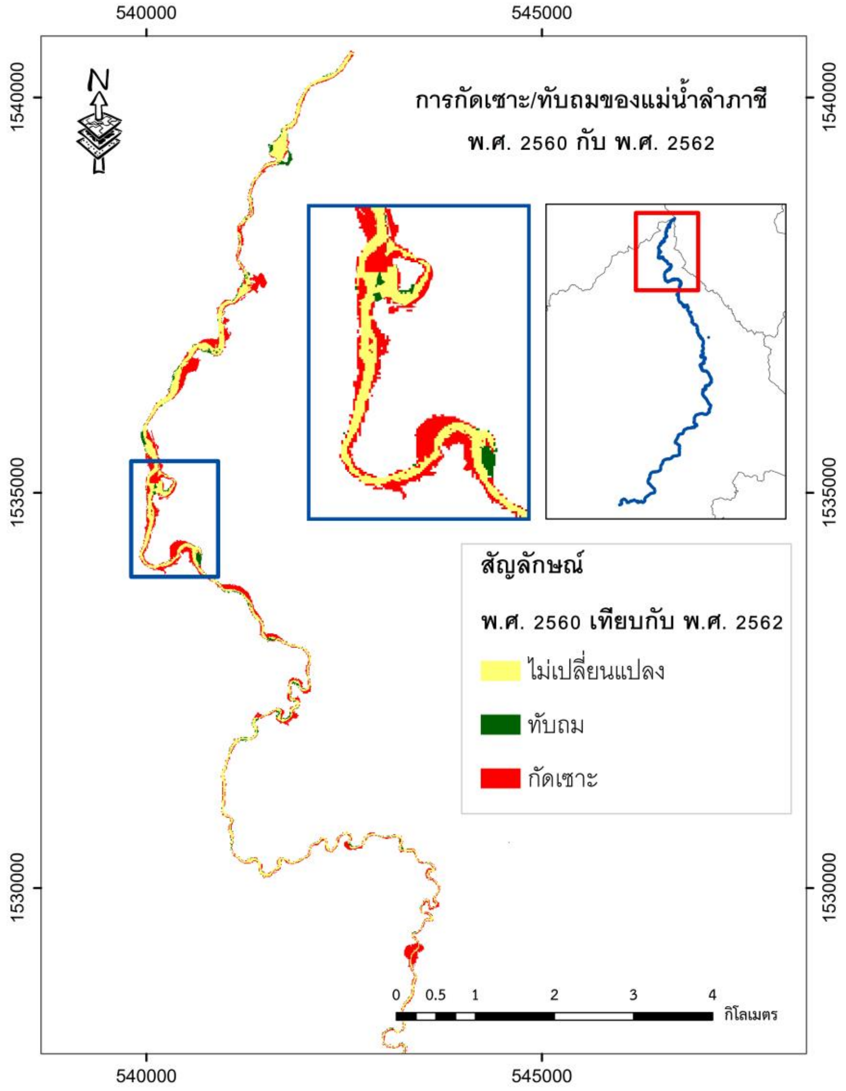
ภาพประกอบ 44 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562

ตามภาพประกอบ 44 ในช่วง ข ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 พบว่า มีการทับถมของลำน้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของช่วง ข บริเวณตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และมีการกัดเซาะมาก บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำลำภาชีที่มีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย ตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรีเช่นเดียวกับกับ พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 และ พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.40 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.11 ตารางกิโลเมตร



ภาพประกอบ 45 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562

ตามภาพประกอบ 45 ในช่วง ค ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 พบว่า ตลอดช่วง ค มีการกัดเซาะมากกว่าการทับถม โดยมีพื้นที่กัดเซาะเท่ากับ 0.25 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.05 ตารางกิโลเมตร

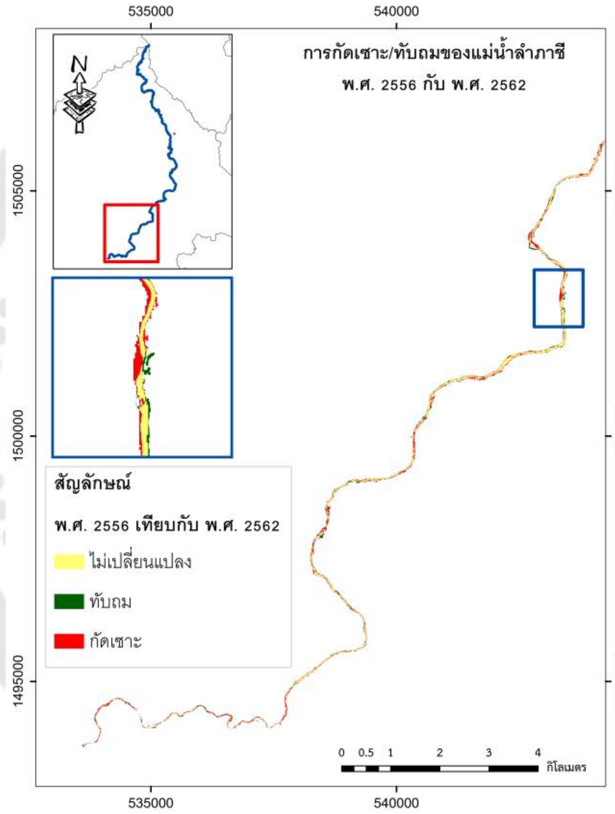


ภาพประกอบ 46 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562

ตามภาพประกอบ 46 ในช่วง ง ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่างพ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 พบว่า ช่วง ง เป็นส่วนปลายของแม่น้ำลำภาชี ซึ่งส่วนนี้มีการกัดเซาะในแนวราบค่อนข้างมาก และมีการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำร่วมด้วย โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.58 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.09 ตารางกิโลเมตร

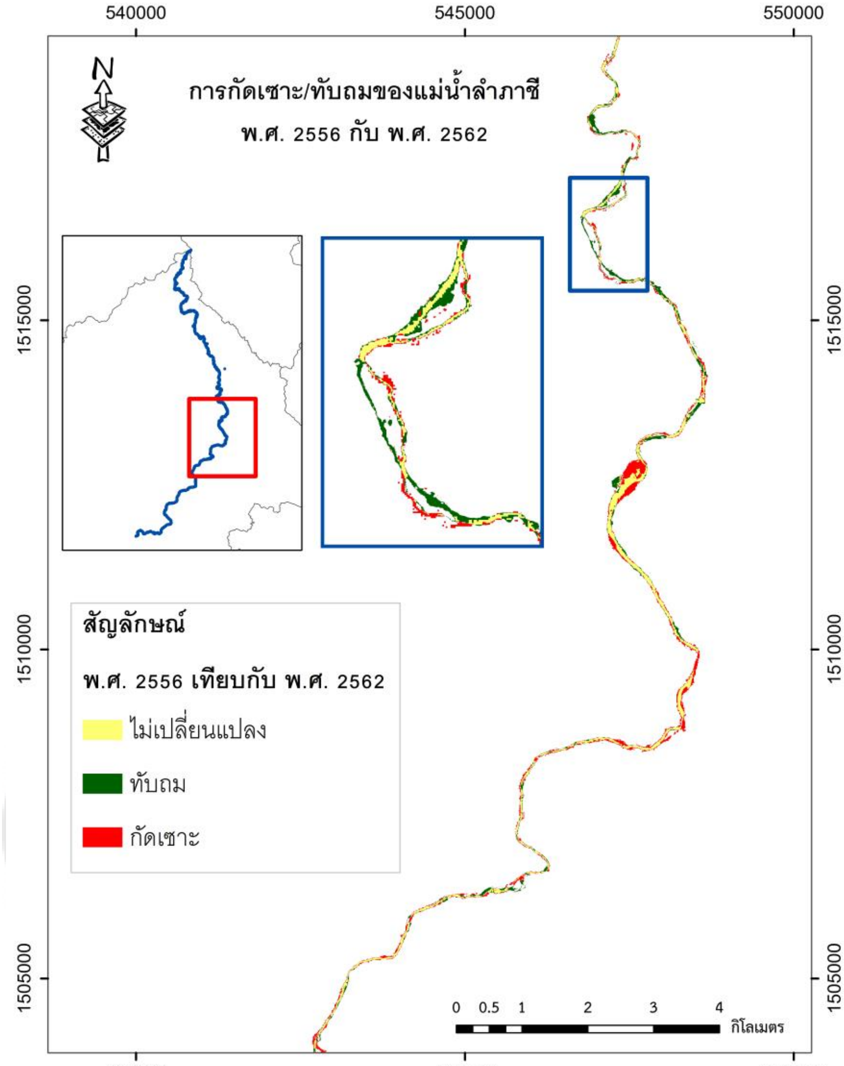
4.4 การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและการทับถมของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562

การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและทับถม จากการรวมกันของการสกัดเส้นลำน้ำของ NDWI SAVI และ image classification ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 มาซ้อนทับเพื่อเปรียบเทียบ โดยจะได้ผลลัพธ์จากการซ้อนทับของข้อมูลออกมาเป็นพื้นที่กัดเซาะ และพื้นที่ทับถมตลอดแม่น้ำลำภาชี ซึ่งสามารถคำนวนพื้นที่กัดเซาะเท่ากับ 1.73 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.51 ตารางกิโลเมตร



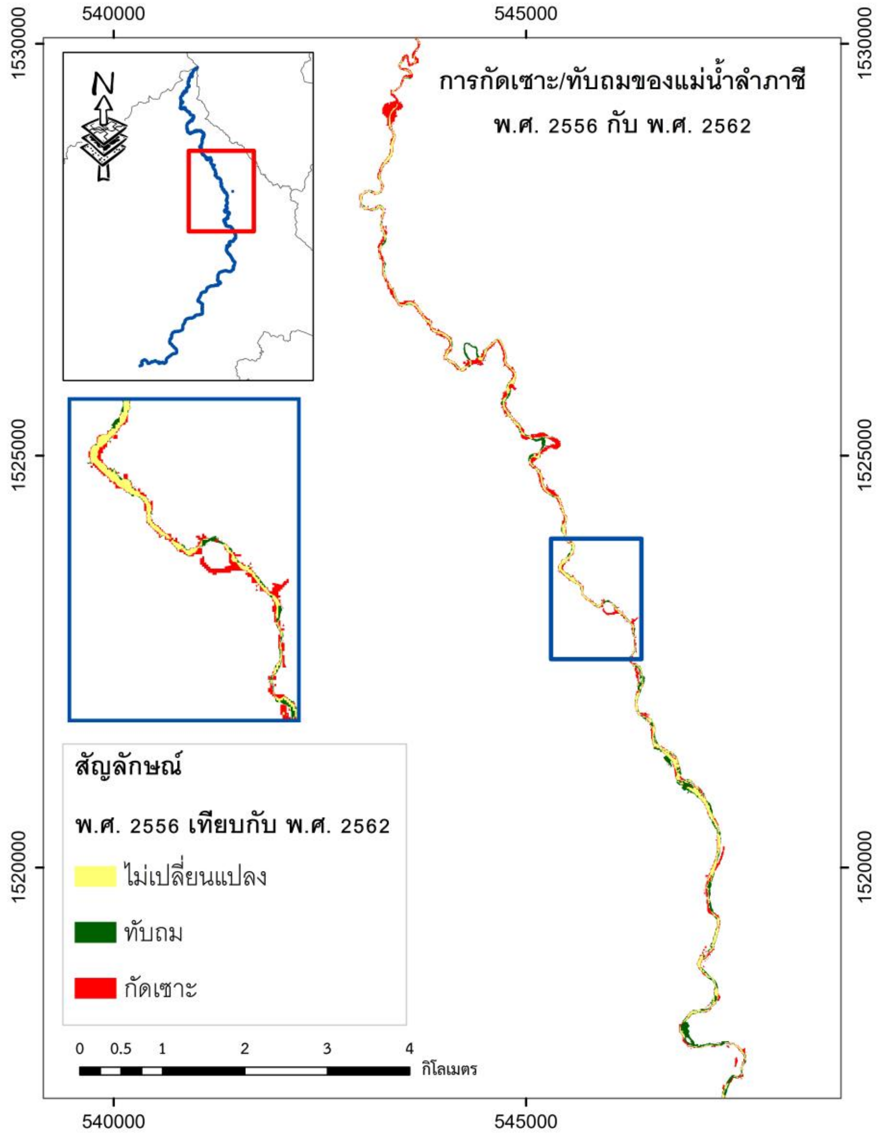
ภาพประกอบ 47 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562

จากภาพประกอบ 47 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ก ซึ่งเป็นช่วงต้นของแม่น้ำลำภาชี พบว่า ระหว่างพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 เส้นลำน้ำมีความแคบ และพื้นที่ริมตลิ่งส่วนใหญ่ถูกปกคลุมด้วยพืชและหิน คล้ายกับผลการซ้อนทับของพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2558 พ.ศ. 2558 กับ พ.ศ. 2560 พ.ศ. 2560 กับ พ.ศ. 2562 โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.31 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.10 ตารางกิโลเมตร



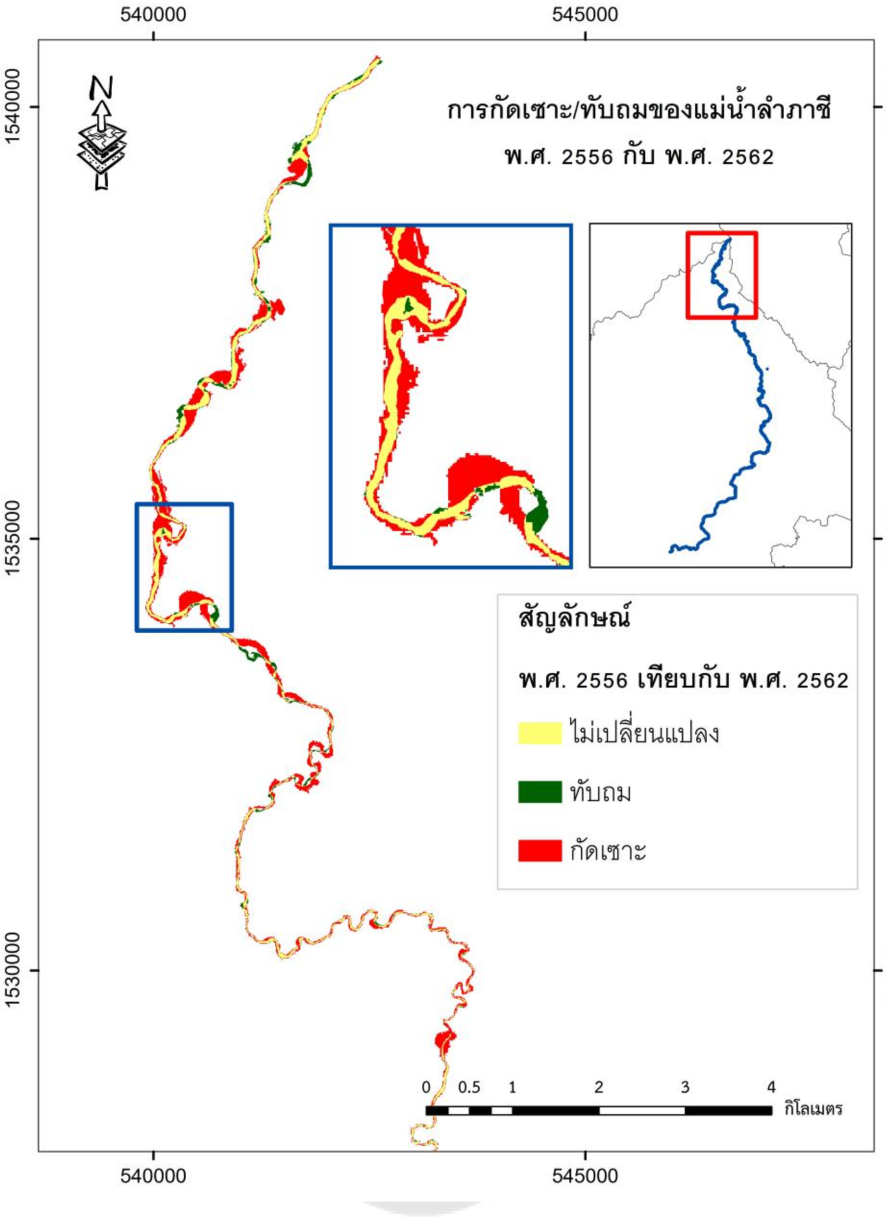
ภาพประกอบ 48 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ข ระหว่างพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562

ตามภาพประกอบ 48 ในช่วง ข ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่างพ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 พบว่า มีการทับถมของลำน้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของช่วง ข บริเวณตำบลแก้มอ้น อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และมีปริมาณในแม่น้ำน้อย ส่วนในบริเวณที่มีการกัดเซาะมาก บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำลำภาชีที่มีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย ตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี ทำให้บริเวณนั้นมีความกว้างของแม่น้ำมากกว่าปกติ โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.31 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.10 ตารางกิโลเมตร



ภาพประกอบ 49 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ค ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562

ตามภาพประกอบ 49 ในช่วง ค ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 พบว่า มีการทับถมของลำน้ำ โดยเฉพาะตอนกลางของช่วง ค บริเวณตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี และมีการกัดเซาะมากในช่วงท้าย บริเวณสะพานข้ามแม่น้ำลำภาชีที่มีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย ตำบลด่านทับตะโก อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.33 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.16 ตารางกิโลเมตร



ภาพประกอบ 50 แสดงการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ช่วง ง ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562

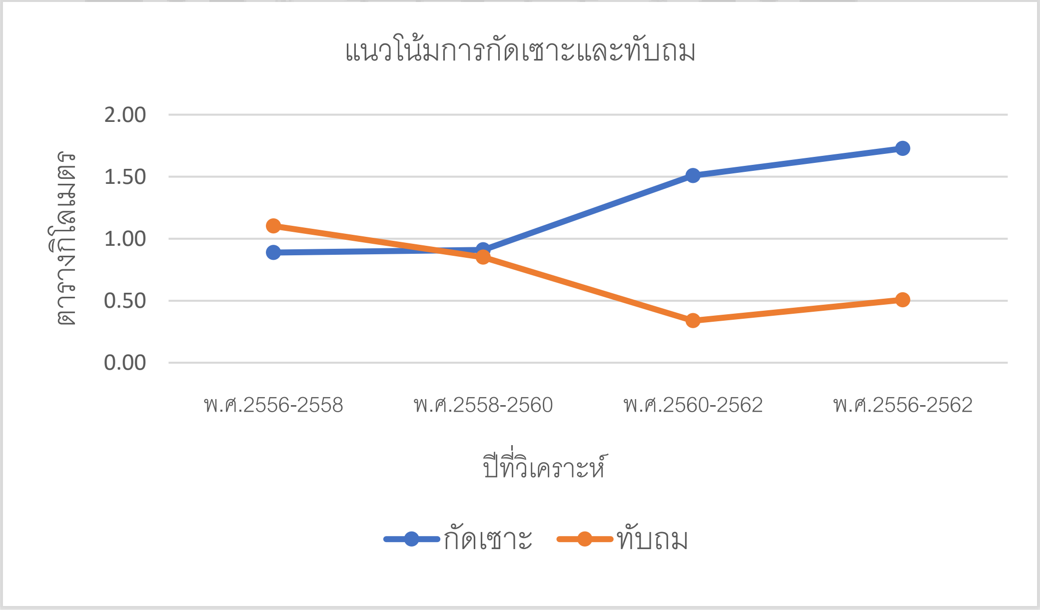
ตามภาพประกอบ 50 ในช่วง ง ของการซ้อนทับกันของเส้นลำน้ำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 กับ พ.ศ. 2562 เป็นส่วนปลายของแม่น้ำลำภาชี มีการกัดเซาะของตลิ่งทั้งซ้ายขวาของแม่น้ำในปริมาณมาก และในการสร้างเขื่อนทำให้ปริมาณน้ำสะสม และเอ่อล้นตลิ่ง รวมถึงมีการประกอบกิจการดูดทราย ทำให้พื้นที่ตลิ่งแม่น้ำเปลี่ยนไป โดยมีพื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 0.78 ตารางกิโลเมตร และพื้นที่ทับถมเท่ากับ 0.15 ตารางกิโลเมตร

4.5 ผลการประเมินพื้นที่กัดเซาะและทับถมของแม่น้ำลำภาชี พ.ศ.2556 - 2562

ในการศึกษาครั้งนี้ ใช้ข้อมูลการสกัดเส้นลำน้ำด้วยดัชนี NDWI SAVI และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ โดยได้ใช้เทคนิคการซ้อนทับข้อมูล (overlay) มาร่วมในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสัณฐานลำน้ำ ใน พ.ศ. 2556 2558 2560 และ 2562 โดยสามารถสรุปผลการประเมินการเปลี่ยนแปลงของตลิ่งแม่น้ำในแต่ละช่วงได้ว่า ดังตารางที่ 8

ตาราง 8 แสดงผลการการประเมินพื้นที่กัดเซาะและทับถม

	พ.ศ.2556-2558	พ.ศ.2558-2560	พ.ศ.2560-2562	พ.ศ.2556-2562
พื้นที่ถูกกัดเซาะ (ตร.กม.)	0.89	0.91	1.51	1.73
พื้นที่ถูกทับถม (ตร.กม.)	1.10	0.85	0.34	0.51



ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของแม่น้ำลำภาชี

ในการวิเคราะห์พื้นที่กัดเซาะและทับถมของแม่น้ำลำภาชี ทั้งหมด 4 ช่วงเวลา ได้แก่ พ.ศ.2556-2558 พ.ศ.2558-2560 พ.ศ.2560-2562 และพ.ศ.2556-2562 สามารถสรุปได้ในตารางที่ 8 โดยใน พ.ศ. 2556-2558 มีการกัดเซาะตลิ่ง 0.89 ตารางกิโลเมตร และมีการทับถม 1.10 ตารางกิโลเมตร พ.ศ. 2558-2560 มีการกัดเซาะตลิ่ง 0.91 ตารางกิโลเมตร และมีการทับถม 0.85 ตารางกิโลเมตร พ.ศ. 2560-2562 มีการกัดเซาะตลิ่ง 1.51 ตารางกิโลเมตร และมีการทับถม 0.34 ตารางกิโลเมตร พ.ศ. 2556-2562 มีการกัดเซาะตลิ่ง 1.73 ตารางกิโลเมตร และมีการทับถม 0.51 ตารางกิโลเมตร ซึ่งผู้วิจัยได้นำผลจากการวิเคราะห์มาสร้างเป็นกราฟเพื่อเห็นแนวโน้มของการกัดเซาะและทับถมของแม่น้ำลำภาชีมากขึ้น ดังภาพประกอบ 51 จะเห็นว่ามีแนวโน้มการกัดเซาะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปี ซึ่งในทางกลับกันนั้น ในการทับถมของตลิ่งแม่น้ำมีแนวโน้มลดลง และเห็นได้อย่างชัดเจนใน พ.ศ. 2560-2562

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาหลักการที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์การติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชี ระหว่าง พ.ศ. 2556 2558 2560 และ 2562 โดยใช้ดัชนีผลแตกต่างพืชผิวดินร่วมกับเทคนิคการจำแนกดัชนีผลแตกต่างความชื้น และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพด้วยวิธีควบคุม ด้วยข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมเซนติเนล 2 เอ และดาวเทียมไทยโชติ โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcGIS) เพื่อวิเคราะห์การติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชี พบว่า วิธีการสกัดเส้นลำน้ำ ด้วยวิธีการจำแนกประเภทข้อมูลภาพ มีความถูกต้องมากที่สุด โดยมีค่าความถูกต้องร้อยละ 97 และความแม่นยำร้อยละ 98 ซึ่งได้ลักษณะของเส้นลำน้ำที่มีความสมบูรณ์ที่สุด เปรียบเทียบกับวิธีการสกัดโดยใช้ดัชนีพืชพรรณปรับแก้ผิวดิน ซึ่งมีค่าความถูกต้องอยู่ที่ร้อยละ 95 และมีความแม่นยำร้อยละ 97 ลักษณะของเส้นลำน้ำค่อนข้างมีความสมบูรณ์ และวิธีการสกัดโดยใช้ดัชนีผลต่างความชื้นของน้ำ ซึ่งมีความถูกต้องร้อยละ 91 และความแม่นยำร้อยละ 93 โดยมีลักษณะของเส้นลำน้ำบางส่วนที่ขาดหายไป โดยเฉพาะส่วนที่มีเส้นลำน้ำแคบ

2. อภิปรายผล

ผลจากการวิเคราะห์การติดตามการเปลี่ยนแปลงสัณฐานของแม่น้ำลำภาชี ข้างต้นสามารถอภิปรายผลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย ดังนี้

2.1 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบของแม่น้ำลำน้ำด้วยข้อมูลการรับรู้จากระยะไกล

ในการวิเคราะห์สัณฐานลำน้ำภาชี จะใช้ผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดมาทำการซ้อนทับ พบว่าลักษณะสัณฐานของของรูปแบบทางน้ำของแม่น้ำลำภาชี ในช่วงต้นของลำน้ำคือช่วงหลังจากฝายน้ำล้นลำภาชีบ้านท่ามะขาม ตำบล ตะนาวศรี อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี จะประกอบไปด้วยโขดหินค่อนข้างมาก ความกว้างของลำน้ำค่อนข้างแคบ ทำให้น้ำไหลเร็ว ซึ่งความเร็วและความแรงการไหลของน้ำในแม่น้ำจะสัมพันธ์กับความลึก โดยร่องน้ำที่ลึกมากที่สุดจะมีความเร็วการไหลมากและแรง มีต้นไม้และพืชล้มลุกขึ้นเป็นจำนวนมาก ในช่วงกลางน้ำบริเวณตำบลป่าหวาย อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ถึงตำบลหนองไผ่ อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี มีประชาชนตั้ง

หมู่บ้านและทำการเกษตร ส่วนมากเป็นพืชไร่ พืชผัก ซึ่งใช้น้ำค่อนข้างมาก จึงมีการสร้างฝายเพื่อกักเก็บน้ำไว้ใช้เพื่อการอุปโภคและการเกษตร ส่วนช่วงปลายของลำน้ำบริเวณตำบลหนองไผ่ อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ถึง ตำบลจระเข้เผือก อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งเป็นจุดบรรจบกับแม่น้ำแควน้อย มีลักษณะของลำน้ำคดเคี้ยวไปมา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรม และไม่มีการป้องกันการพังทลายของตลิ่ง อีกทั้งเป็นที่ตั้งของเขื่อนชุกกระเพรา ของกรมชลประทาน โดยรวมของลักษณะสัณฐานของของรูปแบบทางน้ำของแม่น้ำลำภาชี มีลักษณะเชื่อมต่อกันเป็นระบบเครือข่าย คล้ายกิ่งก้านสาขาของต้นไม้เรียกว่า รูปแบบทางน้ำกิ่งไม้ (dendritic drainage pattern) โดยมีลักษณะการกัดเซาะของบริเวณตลิ่งแม่น้ำทุกทิศทางใกล้เคียงกัน ลักษณะเป็นโครงข่ายการระบายน้ำที่ลำน้ำสาขา ไหลลงมารวมกันกับลำน้ำสายหลัก ดูคล้ายกับกิ่งไม้ (Christopherson, 2016) และไหลมารวมกันเป็นแม่น้ำลำภาชีและจึงไหลลงแม่น้ำแควน้อยในที่สุด แต่เนื่องจากสัณฐานลำน้ำมีขนาดเล็ก ดังนั้น ในการทำเลือกข้อมูลในพื้นที่ศึกษา (training data) จึงเป็นการพิสูจน์ทราบข้อมูลที่ดี มากกว่าการใช้ดัชนีในการสกัดเส้นลำน้ำจากภาพถ่ายจาดดาวเทียม รวมไปถึงดาวเทียมที่ใช้ในการวิเคราะห์สัณฐานลำน้ำครั้งนี้ เลือกใช้ดาวเทียมที่มีความละเอียดในระดับกลาง ดังนั้น การเลือกวิธีจำแนกข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมจึงให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ดัชนี

2.2 เพื่อประเมินพื้นที่ถูกกัดกัดเซาะและทับถม ของแม่น้ำลำภาชีด้วยระบบภูมิสารสนเทศ

การวิเคราะห์พื้นที่ถูกกัดเซาะและทับถมของแม่น้ำลำภาชี ด้วยวิธีการซ้อนทับข้อมูลเส้นลำน้ำที่ได้จากการสกัดเส้นลำน้ำ ด้วยวิธีการดัชนีผลแตกต่างความชื้น ร่วมกับเทคนิคการจำแนกดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุม พบว่า พื้นที่กัดเซาะและทับถมตลอดแม่น้ำลำภาชี จากบริเวณฝายน้ำล้นลำภาชี บ้านท่ามะขาม ตำบลตะนาวศรี อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ถึงบริเวณบรรจบแม่น้ำแควน้อยที่ตำบลจระเข้เผือก อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี สามารถคำนวนเนื้อที่ออกมาได้เป็น พื้นที่กัดเซาะ เท่ากับ 5.03 ตารางกิโลเมตร ซึ่งในพ.ศ.2556-2562 เป็นปีที่มีการกัดเซาะมากที่สุด เป็นพื้นที่ 1.73 ตารางกิโลเมตร โดยช่วงที่มีการกัดเซาะมากที่สุดเป็นช่วง ง ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ถูกกัดเซาะจะเป็นบริเวณที่มีการทำอุตสาหกรรมดูดทราย และบริเวณช่วงปลายของแม่น้ำลำภาชี บ้านท่าพลับ ตำบลด่านมะขามเตี้ย อำเภอด่านมะขามเตี้ย จังหวัดกาญจนบุรี เนื่องจากมีฝายหินทิ้ง รวมถึงบริเวณก่อนถึงเขื่อนชุกกระเพราของกรมชลประทาน จึงมีการเกิดลักษณะโค้งตวัดของเส้นลำน้ำค่อนข้างมาก เนื่องจากเขื่อนได้กักน้ำและตะกอนไว้ทางด้านหน้าเขื่อนเป็นส่วนใหญ่ ทำให้น้ำที่ปล่อยออกทางด้านท้ายเขื่อนเป็นน้ำที่ไม่มีตะกอน (น้ำใส) รวมไปถึงความรุนแรงของกระแสน้ำที่ปล่อย

ออกมา ซึ่งทำให้น้ำเกิดการปรับสมดุลโดยการกัดเซาะตลิ่งของแม่น้ำเพื่อเติมตะกอนเข้าสู่ระบบ ส่วนในพ.ศ.2556-2558 มีพื้นที่ทับถม เท่ากับ 2.80 ตารางกิโลเมตร ซึ่งเป็นปีที่มีการทับถมมากที่สุด โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ที่ทับถมมากที่สุดคือช่วง ข อยู่บริเวณช่วงกลางของแม่น้ำลำภาชี บ้านวังปลา ตำบลแก้มอ้น อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี เนื่องจากบริเวณนั้นมีปริมาณน้ำค่อนข้างน้อย และเส้นทางน้ำมีการเปลี่ยนทิศทาง ทำให้เกิดการสะสมของตะกอนแม่น้ำค่อนข้างมาก

3. ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะจากการวิจัยครั้งนี้

1. ในบริเวณที่เกิดการกัดเซาะมาก ควรมีสร้างพนังกั้นน้ำ หรือปลูกพืชที่ชะลอการกัดเซาะของตลิ่ง

2. ควรมีการศึกษาผลกระทบและสอบถามความยินยอมของประชาชนในพื้นที่ต้นน้ำและปลายน้ำที่ได้ผลกระทบจากการสร้างเขื่อนหรือฝายชะลอน้ำ

3. ควรมีการจัดศึกษาผลกระทบเกี่ยวกับการประกอบกิจการดูดทรายเพื่อลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรใช้ภาพจากดาวเทียมที่มีรายละเอียดสูง เนื่องจากแม่น้ำมีความกว้างใกล้เคียงกับขนาดของพิกเซลของภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้อยู่ ในการสกัดข้อมูลจึงมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลอยู่บ้างในบางพื้นที่

2. ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้ใช้ดัชนีผลแตกต่างความชื้น ร่วมกับเทคนิคการจำแนกดัชนีความแตกต่างพืชผิวดิน และการจำแนกประเภทข้อมูลภาพแบบควบคุมในการสกัดเส้นลำน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ดัชนีอื่น ๆ แทนได้ เช่น NDVI แต่อาจได้ผลลัพธ์ที่ชัดเจนแม่นยำแตกต่างออกไปจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้

บรรณานุกรม

Berlin, F. U. (2015). Sentinel 2. Retrieved from https://blogs.fu-berlin.de/reseda/sentinel-2/

Christopherson, R. W. (2016). *Elemental Geosystems*. New Jersey: Library of Congress.

Cole Payne, S. P. I. a. A. P. (2018). Remote Sensing of River Erosion on the Colville River, North Slope Alaska. *MDPI,Remote Sens*(10), 397.

Imran Khan, M. A. a. S. S. (2014). A study on River Bank Erosion of Jamuna River using GIS and Remote Sensing Technology*2*(4). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/260869944_River_Change_Detection_and_Bank_Erosion_Identification_using_Topographical_and_Remote_Sensing_Data

Matti Kummu, X. X. L., Akchousanh Rasphone, Juha Sarkkula, and Jorma Koponen. (2008). Riverbank changes along the Mekong River: Remote sensing detection in the Vientiane–Nong Khai area. *Quaternary International, 186*, 100-112.

Sainath Aher, S. I. B., Pragati Deshmukh and Ravindra Gaikwad. (2012). River Change Detection and Bank Erosion Identification using Topographical and Remote Sensing Data.*2*(3). Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/260869944_River_Change_Detection_and_Bank_Erosion_Identification_using_Topographical_and_Remote_Sensing_Data

Sharmin Akter, F. t. Z., Mostofa Najmus Sakib Sajon and Dhiman Sen. (2018). ANALYSIS OF RIVER BANK EROSION AND CALCULATION OF UNIVERSAL EROSION CO-EFFICIENT USING SPACE-BORNE GIS AND RS TECHNIQUE: A STUDY ON LOWER REACH OF JAMUNA RIVER. *researchgate*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/324819767_ANALYSIS_OF_RIVER_BANK_EROSION_AND_CALCULATION_OF_UNIVERSAL_EROSION_CO-EFFICIENT_USING_SPACE-BORNE_GIS_AND_RS_TECHNIQUE_A_STUDY_ON_LOWER_REACH_OF_JAMUNA_RIVER

กรมทรัพยากรธรณี. (2556). พิบัติภัยตลิ่งทรุดตัวตำบลโพสะ อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง (รายงานวิชาการ ฉบับที่ สทข3 8/2556).

กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2558). คู่มือการตรวจสอบสภาพตลิ่งและแนวทางการปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยฉบับประชาชน. กรุงเทพฯ: บริษัท แอคชีฟ 888 จำกัด.

ครองชัย หัตถา. (2557). การเปลี่ยนแปลงของแนวชายฝั่งทะเลบริเวณพื้นที่รอบอ่าวปัตตานี (Change in Shoreline around Pattani Bay). วารสารวิชาการคณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์, *10*(2), 193-225.

ชูเดช โลศิริ. (2561). การรับรู้ระยะไกลจากภาพ *I (Remote Sensing I)* [เอกสารประกอบการสอน]. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ไทยพีบีเอส. (2562). ดูดทรายตลิ่งพัง-น้ำขุ่นเป็นตะกอน อ.ด่านมะขามเตี้ย จ.กาญจนบุรี. สืบค้นจาก https://news.thaipbs.or.th/content/282181

ผู้จัดการออนไลน์. (2561). ชาวราชบุรีร้องนายทุนขุดทรายทำตลิ่งพัง. สืบค้นจาก https://mgronline.com/local/detail/9610000097297

ลักษณา สัมมานิธิ. (2543). เอกสารประกอบการสอน วิชา ภูมิศาสตร์กายภาพ [เอกสารประกอบการสอน]. เชียงใหม่.

วิลาวัลย์ ประสมทรัพย์. (2554). การพัฒนาหาแบบจำลองตำแหน่งเสี่ยงต่อการพังทลายของตลิ่งโดยวิธีฟัซซี่. (ปริญญานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต (Master's thesis)). มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ.

สำนักงานทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. (2561). แผนแม่บทการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ. http://www.onwr.go.th/?page_id=4174

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ. (2552). ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์. กรุงเทพฯ: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).

สุกัญญา (2560). วิเคราะห์การพังทลายตลิ่งแม่น้ำยมตอนล่าง ด้วยเทคนิคภูมิสารสนเทศและวิธีการตรรกศาสตร์คลุมเครือ. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

อภิศักดิ์ ทำบุญ, จตุรงค์ สมอาจ, และ ไพบูลย์ บุญไชย,. (2562). การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่มีผลต่อกระบวนการผลิตพืชริมฝั่งแม่น้ำโขง อำเภอธาตุพนม จังหวัดนครพนม (The Land Use Changes Effect to Agricultural Production Process at Makong Riverside in That Phanom District, Nakhon Phanom Province). วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, *21*(1).

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ธนัช สระประเทศ
วัน เดือน ปี เกิด	16 มกราคม 2532
สถานที่เกิด	จังหวัดขอนแก่น
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ภูมิสารสนเทศ) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ที่อยู่ปัจจุบัน	1732/249 ลุมพินี พาร์ค พหล32 แขวงจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900