การประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) ในพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี เพื่อการจัดการทรัพยากรดินที่ยั่งยืน

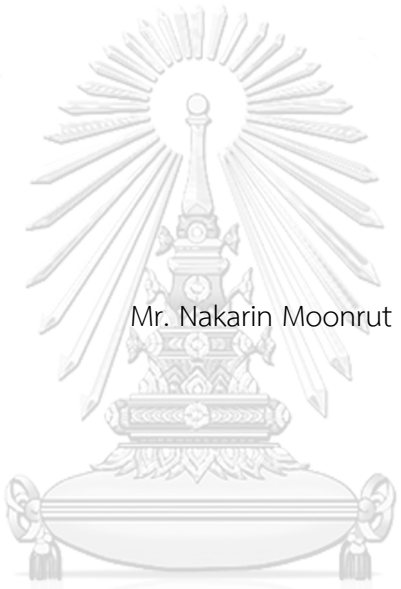
นายนครินทร์ มูลรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LAND DEGRADATION NEUTRALITY (LDN) ASSESSMENT IN AGRICULTURAL AREA OF SARABURI PROVINCE FOR SUSTAINABLE SOIL RESOURCE MANAGEMENT

Mr. Nakarin Moonrut



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-Department of Environmental Science
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) ในพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี เพื่อการจัดการทรัพยากรดินที่ยั่งยืน
โดย	นายนครินทร์ มูลรัตน์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภศิชา ไชยแก้ว

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

---------- คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

---------- ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ศรีเลิศ โชติพันธรัตน์)

---------- อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภศิชา ไชยแก้ว)

---------- กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทมา สิงหรักษ์)

---------- กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ตุลวิทย์ สถาปนจารุ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

นครินทร์ มูลรัตน์ : การประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) ในพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี เพื่อการจัดการทรัพยากรดินที่ยั่งยืน. (LAND DEGRADATION NEUTRALITY (LDN) ASSESSMENT IN AGRICULTURAL AREA OF SARABURI PROVINCE FOR SUSTAINABLE SOIL RESOURCE MANAGEMENT) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ภศิชา ไชยแก้ว

งานวิจัยนี้เป็นการประเมินความเสื่อมโทรมของทรัพยากรที่ดิน ตามแนวคิด Land Degradation Neutrality (LDN) พื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินสถานะความเสื่อมโทรมของดิน และนำเสนอการพื้นฟูความเสื่อมโทรมของที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยกำหนดตัวชี้วัดทั้งหมด 3 ตัวชี้วัด ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (LU) การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (LP) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) ภายในช่วงเวลา พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2563 ตัวชี้วัด LU และ LP ดำเนินการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 วิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงโดยใช้โปรแกรมทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ (ArcMap version 10.7) ในขณะที่ตัวชี้วัด SOC มีการเก็บตัวอย่างดิน 2 ครั้ง ในพื้นที่เกษตรกรรมที่ระดับความลึก 30 ซม. ครั้งที่หนึ่งในปี พ.ศ.2560 โดยสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 และครั้งที่สองในปี พ.ศ.2563 ซึ่งงานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างซ้ำตำแหน่งเดิม การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของ SOC แบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่ collocated site และ interpolation การศึกษานี้ใช้หลักการ "one out, all out" ในการประเมินสถานะของ LDN จากการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดทั้งหมด ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่สีเขียวของตัวชี้วัด LU เกิดการสูญเสียในเชิงพื้นที่ประมาณ 47 ตารางกิโลเมตร ตัวชี้วัด LP ที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่ได้แสดงความแตกต่างของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของพื้นที่สีเขียวมากนักในช่วงเวลาที่กำหนด ในขณะที่ตัวชี้วัด SOC แสดงการลดลงของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดินร้อยละ -0.04 ถึง -0.2 จากการวิเคราะห์ 2 แบบ ทั้งนี้การวิเคราะห์สถานะของ LDN พบสัญญาณของความเสื่อมโทรมทรัพยากรที่ดิน ใน 3 อำเภอของพื้นที่ศึกษา เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงลบในตัวชี้วัด SOC ควรใช้มาตรการถ่วงดุล และหลักการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืนเข้ามาใช้ในพื้นที่ดังกล่าว

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6187156420 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEYWORD: Land degradation indicators, Land degradation neutrality, Sustainable development goals, Remote sensing, GIS

Nakarin Moonrut : LAND DEGRADATION NEUTRALITY (LDN) ASSESSMENT IN AGRICULTURAL AREA OF SARABURI PROVINCE FOR SUSTAINABLE SOIL RESOURCE MANAGEMENT. Advisor: Asst. Prof. Dr. Pasicha Chaikaew

The land degradation neutrality (LDN) assessment in agricultural area of Saraburi Province aimed to assess the state of land degradation and present the land restoration measures. Three indicators – land use change (LU), land productivity change (LP), and soil organic carbon change (SOC) – were used to detect the changes within the period of 2017 to 2020. The green areas according to LU and LP were analyzed using Landsat 8 satellite imagery data. For the SOC assessment, the first field sampling, was done in 2017 by the Land Development Regional Office 1. The current field sampling at the same location by the research team in 2020. The amount of SOC changes were estimated by two approaches: collocated site and interpolation. Based on the "one out, all out", the LDN status was evaluated by integration of the changes of three indicators. The study pointed that the green areas defined by the LU indicator declined approximately 47 km^2. The LP indicator showed negligible difference in the three-year period. The SOC loss, indicated by two method, ranged from -0.04 to -0.2%. The analysis of the LDN status revealed an alarming sign of soil degradation, particularly in three districts where a negative change of SOC appeared. The counterbalance and sustainable land management measures should be considered restore the degraded land resources.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....
Academic Year: 2020 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ ด้วยความช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภศิชา ไชยแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดช่วงระยะเวลาในการทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณกรมพัฒนาที่ดิน สำหรับการอนุเคราะห์ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน และแผนที่ดินปัญหา จังหวัดสระบุรี

ขอขอบพระคุณสำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 1 ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลตัวอย่างดิน และให้การช่วยเหลือในการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน

ขอขอบพระคุณสถานีพัฒนาที่ดินสระบุรี ที่ให้การความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการออกภาคสนามเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ศึกษา จังหวัดสระบุรี

นครินทร์ มูลรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 สมมติฐานการวิจัย 3

1.4 ขอบเขตการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1.1 ความเสื่อมโทรมของดิน (Land Degradation) 5

2.1.2 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) 7

2.1.3 การจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (Sustainable land management: SLM) 8

2.1.4 แนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) 9

2.1.5 การดำเนินงาน LDN ในประเทศไทย 12

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย....17
3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย....19
3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา....19
3.2.2 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้น เพื่อกำหนดตัวชี้วัด....19
3.2.3 การดำเนินงานภาคสนาม....20
3.2.4 การดำเนินงานในห้องปฏิบัติการ....20
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลตามตัวชี้วัด LDN....22
3.3.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change)....22
3.3.2 การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change)....22
3.3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC....23
3.3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล....24
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ....25
3.5 การประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม....25
3.6 กรอบแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัย....26
บทที่ 4 ผลการศึกษา....27
4.1 ผลการศึกษา....27
4.1.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change)....27
4.1.2 การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change)....32
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC)....37
4.1.4 ค่าความถูกต้องของข้อมูล....43
4.2 การประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม....46
4.3 มาตรการฟื้นฟูความเสื่อมโทรมของที่ดิน....49
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ....51
5.1 สรุปผลการวิจัย....51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change).....51
5.1.2 การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change).....51
5.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC change).....51
5.1.4 การประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม.....52
5.2 ข้อเสนอแนะ 52
บรรณานุกรม 54
ภาคผนวก 57
ประวัติผู้เขียน 68

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560....27

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี รายอำเภอ ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ.2563.....29

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบพื้นที่สีเขียว จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563 30

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงการจำแนกค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี 32

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI*)* ประเภทพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563.....33

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี ระหว่าง ปี พ.ศ. 2560 ถึงพ.ศ. 2563.....34

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงการค่าความถูกต้องของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี.....43

ตารางที่ 4.8 ตารางแสดงการค่าความถูกต้องของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี.....44

ตารางที่ 4.9 *ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (*SOC*) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563 ด้วยวิธี* ordinary kriging (คำนวณจากชุด Testing data set) 45

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงผลการประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563 จากค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัด โดยไม่อ้างอิงการทดสอบทางสถิติ 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาครอบคลุมจังหวัดสระบุรี พร้อมแสดงตำแหน่งพิกัดข้อมูลฐานของตัวอย่างดิน ปี พ.ศ.2560 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560).....18

รูปที่ 3.2 กรอบแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัย.....26

รูปที่ *4.1* แผนที่แสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563.....31

รูปที่ 4.2 แผนที่แสดงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560.....35

รูปที่ 4.3 แผนที่แสดงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563.....36

รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณ SOC ด้วยวิธี collocated site จังหวัดสระบุรี....38

รูปที่ 4.5 แผนที่แสดงค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560.....40

รูปที่ 4.6 แผนที่แสดงค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563.....41

รูปที่ 4.7 แผนที่แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) จังหวัดสระบุรี.....42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ทรัพยากรดินจัดเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ทดแทนหรือรักษาไว้ได้ แต่ในธรรมชาตินั้น ดินเกิดขึ้นทดแทนได้ช้ามาก อาจต้องใช้เวลา 100-1,000 ปี สำหรับการสร้างชั้นดินหน้าประมาณ 2-3 ซม. ดังนั้น ในแง่การจัดการดิน ถือว่าดินเป็นทรัพยากรที่รักษาให้คงอยู่ไว้ (maintainable) มากกว่าการเกิดขึ้นทดแทน (replaceable) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน สิ่งมีชีวิตรวมถึงมนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากทรัพยากรดินทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาติ ((FAO), 2015) ได้แจกแจงหน้าที่ของดินที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศออกเป็น 11 ด้าน ได้แก่ การควบคุมสภาพอากาศ (climate regulation) การหมุนเวียนธาตุอาหาร (nutrient cycling) เป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต (habitat for organisms) การควบคุมการเกิดน้ำท่วม (flood regulation) เป็นแหล่งพันธุกรรมและยารักษาโรค (pharmaceuticals and genetic resources) เป็นโครงสร้างพื้นฐานสิ่งก่อสร้าง (foundation for human infrastructure) เป็นวัตถุดิบของวัสดุก่อสร้าง (provision of construction materials) เป็นแหล่งมรดกทางวัฒนธรรม (cultural heritage) แหล่งอาหาร เครื่องนุ่งห่ม และเชื้อเพลิง (provision of food, fibre, and fuel) แหล่งกักเก็บคาร์บอน (carbon sequestration) และช่วยบำบัดน้ำและลดการปนเปื้อนในดิน (water purification and soil contaminant reduction) เห็นได้ว่าดินเป็นรากฐานในการทำหน้าที่ของระบบนิเวศ สิ่งมีชีวิตไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้หากปราศจากทรัพยากรดิน อย่างไรก็ตาม ทรัพยากรดินมักถูกมองข้ามและถูกคุกคามจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยสาเหตุหลักเกิดจากการบริหารจัดการทรัพยากรดินที่ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น การนำพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมต่อการเกษตรมาใช้ทำเกษตร พื้นที่ที่เหมาะสมกับการเกษตรถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่น การใช้ที่ดินอย่างไม่เหมาะสมทำให้เกิดความเสื่อมโทรม ทั้งด้านโครงสร้างทางกายภาพ สูญเสียธาตุอาหาร ความสามารถในการผลิตพืชผลทางการเกษตรลดลง ส่งผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ นำไปสู่ปัญหาความมั่นคงด้านอาหาร สังคม การเมือง สิ่งแวดล้อม ตลอดจนเสียสมดุลของวงจรการหมุนเวียนคาร์บอน รวมถึงสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากความเสื่อมโทรมของดินเป็นสาเหตุหลักนำไปสู่ความเสื่อมโทรมที่ดิน ปัญหานี้จึงเป็นปัญหาระดับนานาชาติที่ต้องรับผิดชอบร่วมกัน หลายประเทศทั่วโลกจึงตระหนักถึงการให้ความสำคัญของทรัพยากรดินเพิ่มมากขึ้น มีการศึกษาถึงต้นเหตุ กระบวนการ และการแก้ไขปัญหาที่นำไปสู่ความมั่นคงทางอาหารและวิถีชีวิตที่ยั่งยืน หนึ่งในวิธีการแก้ปัญหาอย่างยั่งยืนที่มีอภิปรายอย่างกว้างขวางในเวทีระดับสากล คือ land degradation neutrality หรือ LDN

ประเด็นแนวคิดเรื่อง LDN หรือ ความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน ถูกเสนอขึ้นครั้งแรกในการประชุมสหประชาชาติว่าด้วยการพัฒนาที่ยั่งยืน (United Nations Conference on Sustainable Development, UNCSD) หรือ Rio+20 ที่เมืองริโอ เดอ จาเนโร ประเทศบราซิล ในปี พ.ศ.2555 ประเทศที่เข้าร่วมประชุมยอมรับถึงความสำคัญที่ต้องดำเนินการแก้ไขปัญหาดินเสื่อมโทรมอย่างเร่งด่วน ซึ่ง LDN เป็นส่วนขยายจากแนวคิดการปราศจากความเสื่อมโทรมของที่ดิน (Zero Net-Land Degradation) ที่นำเสนอโดยคณะกรรมการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย (United Nations Convention to Combat Desertification, UNCCD) (Kust et al., 2017)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2558 การประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย สมัยที่ 12 (COP 12) จัดขึ้นที่กรุงอังการา ประเทศตุรกี ได้กำหนดให้ LDN เชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) เป้าหมายที่ 15 “ปกป้อง ฟื้นฟู และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบกอย่างยั่งยืน” เป้าประสงค์ที่ 15.3 “การหยุดยั้งพื้นที่ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นทะเลทรายให้หมดในปี ค.ศ. 2030” (Kust et al., 2017) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความสมดุลระหว่างการสูญเสียที่เกิดจากความเสื่อมโทรมของที่ดินกับการพัฒนา หรือดำเนินมาตรการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (Sustainable Land Management, SLM) โดยการผสมผสานมาตรการประกอบด้วย การหลีกเลี่ยง (avoid) การลดความรุนแรง (reduce) และการฟื้นฟูความเสื่อมโทรม (rehabilitation) แนวคิด LDN เป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับประเมินความเสื่อมโทรมของดินในบริเวณที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาดินเสื่อมโทรม

ประเทศไทย เข้าร่วมโครงการนำร่องในการพัฒนาศักยภาพของประเทศภาคีสมาชิกอนุสัญญา UNCCD เพื่อจัดทำเป้าหมาย LDN และจัดทำแผนการดำเนินงาน เพื่อขับเคลื่อนประเทศไปสู่ความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน ในปี พ.ศ. 2560 มีการกำหนดตัวชี้วัดพื้นฐานของการดำเนินงาน LDN ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change) การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon)

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หน่วยงานในการประสานการดำเนินงานตามอนุสัญญาว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทรายของประเทศไทย ได้จัดทำตัวชี้วัดพื้นฐานทั้ง 3 ตัวชี้วัด โดยตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ใช้ฐานข้อมูลในระดับประเทศ (National scale - Tier 2) ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ใช้ฐานข้อมูลในระดับโลก (Global scale – Tier 1) ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลในระดับที่หยาบ อาจส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการประเมินความเสื่อมโทรมที่ดินในภาพรวมของ

ประเทศมีความคลาดเคลื่อน และกระทบต่อการกำหนดเป้าหมายสำหรับการจัดการทรัพยากรดิน รวมไปถึงการติดตามสถานะความเสื่อมโทรมของดินในอนาคต

การศึกษานี้เล็งเห็นความจำเป็นของข้อมูลที่ควรมีความละเอียดในระดับท้องถิ่น (Local scale – Tier 3) ซึ่งได้จากการสำรวจภาคสนาม ร่วมกับการใช้เทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System, GIS) และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (remote sensing) เพื่อให้การจัดทำ baseline และการประเมินความเสื่อมโทรมของที่ดินมีความแม่นยำมากขึ้น โดยการพัฒนาตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัด ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ผลิตภาพของที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงคาร์บอนอินทรีย์ในดิน

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ดำเนินการเพื่อตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรดินและที่ดิน โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.2.1 ประเมินสถานะความเสื่อมโทรมของดินจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2560 และปี พ.ศ.2563

1.2.2 เสนอมาตรการฟื้นฟูความเสื่อมโทรมของที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์เหมาะแก่การใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ตัวชี้วัดจากเกณฑ์การประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) ระบุถึงความเสื่อมโทรมของดินที่เพิ่มมากขึ้นบริเวณพื้นที่ศึกษา

1.3.2 ดินที่พบปัญหาความเสื่อมโทรมบริเวณพื้นที่ศึกษา สามารถกลับมาอยู่ในสภาพที่เหมาะแก่การใช้ประโยชน์ของมนุษย์ จากการใช้มาตรการฟื้นฟูความเสื่อมโทรมของที่ดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 ขอบเขตด้านพื้นที่

การนำกรอบการดำเนินงาน LDN มาใช้เพื่อตอบสนองเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนที่เกี่ยวข้องกับดิน ในการศึกษาครั้งนี้มีการกำหนดพื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี

1.4.2 ขอบเขตด้านเนื้อหา

การศึกษาวิธีการประเมินความเสื่อมโทรมของที่ดิน โดยใช้เกณฑ์ตัวชี้วัดของ LDN ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน และตัวชี้วัดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการทำให้เกิดความเสื่อม

โทรมของดินในพื้นที่ รวมถึงวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานบริเวณพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย ลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ เส้นชั้นความสูง การใช้ประโยชน์ที่ดิน ธรณีวิทยา อินทรียวัตถุ

1.4.3 ขอบเขตด้านเวลา

การศึกษาประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) ในพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี มีการดำเนินงานโดย การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดที่ใช้ในการดำเนินงาน ระหว่าง ปี พ.ศ.2560 และ ปี พ.ศ.2563

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถใช้ผลการศึกษาเป็นข้อมูลสนับสนุนในการกำหนดนโยบาย แนวทาง หลักเกณฑ์ และกลไกการดำเนินงานตามอนุสัญญา UNCCD ซึ่งตอบสนองเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) ที่เกี่ยวข้องกับทรัพยากรดินและที่ดินได้

1.5.2 เป็นแนวทางสำหรับการประเมินสมดุลทรัพยากรที่ดินที่เสื่อมโทรม สำหรับพื้นที่อื่นๆ ในประเทศไทย โดยใช้เกณฑ์ตัวชี้วัดของ LDN ในระดับพื้นที่

1.5.3 เป็นข้อมูลฐาน สำหรับติดตามประเมินผลความเสื่อมโทรมของดิน และผลจากการใช้มาตรการฟื้นฟูทรัพยากรที่ดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ความเสื่อมโทรมของดิน (Land Degradation)

ความเสื่อมโทรมของดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553a) คือ ดินที่มีการเปลี่ยนแปลงสภาพจากเดิม และอยู่ในสภาพที่ไม่เอื้ออำนวยต่อผลผลิตทางเกษตร เนื่องจากคุณสมบัติของดินไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น สมบัติทางเคมี มีสภาพเป็นกรดจัด เค็มจัด สมบัติทางด้านกายภาพเกิดการสูญเสียโครงสร้างทำให้ดินมีการอัดตัวแน่น ความอุดมสมบูรณ์ หรือปริมาณธาตุอาหารในดินลดลง และทำให้ดินอยู่ในสภาวะไม่สมดุล สาเหตุที่ทำให้เกิดสภาพดินเสื่อมโทรม ประกอบด้วย การบริหารจัดการดินที่ไม่เหมาะสม การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ มลพิษและของเสีย การขยายตัวขอเมือง การเพิ่มขึ้นของประชากร และการบุกรุกป่าไม้

จากสาเหตุความเสื่อมโทรมของดินที่กล่าวมาข้างต้น ได้แบ่งประเภทของความเสื่อมโทรมของดินออกเป็น 5 ประเภท

1) การกร่อนของดิน คือการที่ผิวดินหลุด กร่อน หรือละลายออกไปโดยตัวการทางธรรมชาติ ปัจจัยที่ทำให้เกิดการกร่อนของดิน ประกอบด้วย น้ำ ลม และการกระทำของมนุษย์ ยกตัวอย่างเช่น การกร่อนโดยน้ำมักจะเกิดบริเวณพื้นที่ลาดชันมีฝนตกชุก กิจกรรมของมนุษย์ อาธิเช่น การตัดไม้ทำลายป่า หรือการทำการเกษตรไม่ถูกวิธี เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความรุนแรงของการกร่อนมากกว่าการกร่อนตามธรรมชาติ และการกร่อนโดยลม เกิดจากการที่เม็ดดินแตกตัวและถูกพัดพาไปตามลม และเกิดการตกตะกอน มักพบบริเวณที่มีความแห้งแล้ง

2) การแพร่กระจายความเค็ม คือการที่ดินมีปริมาณโซเดียมสูง จนเป็นอันตรายต่อพืช การเกิดดินเค็มตามธรรมชาติ จะพบในบริเวณที่น้ำทะเลท่วมถึง หรือบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยาในอดีต เช่น บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยเคยเป็นพื้นที่ที่น้ำทะแลท่วมถึง ทำให้ปัจจุบันพื้นดินบางส่วนของภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะมีชั้นหินเกลือ การแพร่กระจายของความเค็มเกิดจากการที่ดินความเค็มเพิ่มมากขึ้น จนเป็นอันตรายต่อพืช พบมากบริเวณพื้นที่แห้งแล้ง สาเหตุมาจากการกระทำของมนุษย์ เช่น การปลูกพืชรากสั้น ทำให้น้ำใต้ดินที่มีความเค็มยกระดับขึ้นมาใกล้ผิวดิน การทำนาเกลือ และการก่อสร้างแหล่งเก็บน้ำใกล้กับแหล่งเกลือ หรือบริเวณที่มีน้ำใต้ดินเค็ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) ความเสื่อมโทรมทางเคมีของดิน เกี่ยวข้องกับการเกิดกรด การเกิดพิษ และการสูญเสียธาตุอาการของพืช โดยการถูกชะออกไปจากดินโดยน้ำเป็นตัวกระทำ โดยทั่วไปพื้นที่ลุ่มน้ำตามชายฝั่ง หรือบริเวณที่เกิดจากตะกอนน้ำกร่อย ตามธรรมชาติจะมีซัลไฟด์สูง เมื่อมีการละบายน้ำออกหรือการขุดลอกหน้าดินจะทำให้เกิดการออกซิเดชันของซัลไฟด์เกิดเป็นกรดกำมะถัน ทำให้ดินบริเวณดังกล่าวมีสภาพเป็นกรดจัด เรียกดินบริเวณดังกล่าวว่า “ดินเปรี้ยว”

4) ความเสื่อมโทรมทางกายภาพของดิน สาเหตุมาจากการไถพรวนเพื่อการเกษตร ทำให้ดินเกิดการเสื่อมโทรมหลายรูปแบบ เช่น การที่ดินสูญเสียความสามารถในการยึดเกาะเม็ดดิน ทำให้ผิวดินเกิดเป็นแผ่นแข็ง การซึมน้ำลดลง เป็นสาเหตุทำให้การกร่อนรุนแรงขึ้น รวมถึงการใช้เครื่องจักรหนักในพื้นที่เพาะปลูก จะส่งผลให้หน้าดินแน่น ความพรุนของดินลดลงทำให้เกิดภาวะน้ำบ่าบนผิวดิน และส่งผลต่ออัตราการงอกของเมล็ดพืช

5) ความเสื่อมโทรมทางชีวภาพ ปกติเป็นการลดลงของอินทรียวัตถุในดิน และส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในดิน อินทรียวัตถุช่วยเสริมสร้างโครงสร้างดิน ต้านการกร่อนและดูดซับอาการพืช การไถพรวนนอกจากจะก่อให้เกิดการเสื่อมโทรมทางกายภาพแล้ว การที่ดินถ่ายเทอากาศได้ดีขึ้น จะทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรียวัตถุได้ดีขึ้นช่วย ส่งผลต่อการลดลงของอินทรียวัตถุ

ความเสื่อมโทรมของที่ดินในประเทศไทย ปัจจุบันปัญหาความเสื่อมโทรมของดินได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยสาเหตุหลักมีดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553a)

1) ชนิดของดิน ได้แก่ดินเนื้อหยาบ พวกดินทรายที่มีเนื้อดินเป็นดินทรายหยาบ ดินทราย ดินทรายปนดินร่วน ตั้งแต่ผิวดินถึงลึกมากกว่า 1 เมตร ที่มีกำเนิดมาจากการสลายตัวของหินทราย ดินทรายละเอียดถึงทรายแป้งที่กำเนิดมาจากลมหอบ (loess) ดินทรายชายทะเลที่กำเนิดจากลมและคลื่นทะเลดินเหล่านี้มีความสามารถการอุ้มน้ำต่ำ มีการชะล้างพังทลายสูง มีปริมาณแร่ธาตุอาหารตามธรรมชาติต่ำ และมีสภาพความเป็นกรดจัด pH ประมาณ 4.5-5.5 นอกจากนั้นเป็นดินปนกรวดลูกรังที่กำเนิดจาการสะสมปริมาณเหล็กมากเกิดจากกระบวนการเพิ่มออกซิเจนและลดออกซิเจนที่มีน้ำเป็นตัวการ ดินชนิดนี้จะมีการชะล้างพังทลายสูง ความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ดินมักจะเป็นกรดจัด pH ประมาณ 4.5-5.5 และดินเค็มที่กำเนิดจาการละลายของชั้นหินเกลือที่อยู่ใต้ผิวดินขึ้นมาแพร่กระจายบริเวณผิวดินที่เป็นน้ำไปถึงทำให้เกิดคราบเกลือในฤดูแล้งที่แห้งจาการละเหยของน้ำออกไป

ชนิดของดินที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ พบทั่วไปในทุกภาคของประเทศแต่ส่วนใหญ่พบมากทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่เป็นแปลงใหญ่ เป็นที่ดินที่ไม่ค่อยเหมาะสมสำหรับการทำเกษตรกรรม แต่ถ้ามีการจัดการอย่างเหมาะสม โดยยึดถือหลักสมดุลในระบบนิเวศสิ่งแวดล้อมของพื้นที่นั้นๆ จะสามารถช่วยบรรเทาความเสื่อมโทรมของดินได้

2) การใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสมกับคุณสมบัติของดินและที่ดิน เช่น การปลูกข้าวทำนาบนพื้นที่ดอน และดินเป็นทรายมากข้าวจะเสียหายจากการขาดแคลนน้ำ เนื่องจากดินไม่สามารถอุ้มน้ำทำให้พืชใช้ประโยชน์ได้ การทำการเกษตรบนพื้นที่ดินเค็มควรหาพืชชนิดทนเค็มมาปกคลุมดินและใช้ประโยชน์ทำนาเฉพาะพื้นที่ต่ำที่มีน้ำสนับสนุน น้ำจะเป็นตัวละลายเกลือให้ออกไปจากพื้นที่

3) การทำลายสมดุลของระบบนิเวศ สมดุลในระบบนิเวศ หมายถึง ระบบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อมในพื้นที่ความสัมพันธ์นี้ต่างต้องมีบทบาทและหน้าที่อย่างชัดเจนเพื่อให้อยู่ร่วมกันได้ครบวงจร องค์ประกอบของระบบนิเวศ ประกอบด้วย องค์ประกอบที่ไม่มีชีวิต ได้แก่ ดิน ที่มีส่วนประกอบของ อินทรีย์สาร เช่น แร่ธาตุ คาร์บอน น้ำ แสงแดด และอุณหภูมิ และองค์ประกอบที่มีชีวิต ได้แก่ ผู้ผลิตในระบบนิเวศคือพืช ผู้บริโภคคือมนุษย์และสัตว์ และผู้ย่อยสลายคือจุลินทรีย์

ผลกระทบจากการเสื่อมโทรมของดินส่งผลต่อด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ สังคม และความมั่นคงทางอาหาร โดยมีส่วนทำให้องค์ประกอบของดินมีการเปลี่ยนแปลงไป ส่งผลต่อผลิตผลและการเจริญเติมโตของพืชลดลง และมีผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ ในด้านเศรษฐกิจนอกจากผลกระทบโดยตรงต่อเกษตรกร และผู้บริโภคจากการลดลงของผลผลิตในพื้นที่ที่ดินมีความเสื่อมโทรมยังส่งผลกระทางอ้อมต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศด้วย ในด้านสังคมส่งผลกระทบหลายด้าน เช่น การอพยพย้านถิ่น การทิ้งพื้นที่ให้เป็นพื้นที่รกร้าง รวมถึงความขัดแย้งจากการใช้ทรัพยากร ดังนั้นการสร้างความเข้าใจถึงผลกระทบจากการเสื่อมโทรมของดิน จึงเป็นประโยชน์ต่อการกำหนดแนวทางสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา การวางแผน และกำหนดมาตรการสำหรับแก้ไขปัญหา เพื่อสร้างความยั่งยืนในการใช้ทรัพยากร

2.1.2 เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs)

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เกิดขึ้นเนื่องจากเป้าหมายการพัฒนาแห่งสหัสวรรษ (MDGs) ที่นานาประเทศ มีการกำหนดข้อตกลงกันในปี พ.ศ.2543 จะสิ้นสุดลงในปี พ.ศ. 2558 ทางองค์การสหประชาชาติ (UN) จึงเริ่มกระบวนการหารือ และมีการกำหนดทิศทางการพัฒนาของประชาคมโลกหลังจากปี พ.ศ. 2558 โดยมีการกำหนดเป้าหมายของการพัฒนาที่ยั่งยืน ประกอบด้วย 17 เป้าหมาย 169 เป้าประสงค์ (อรุณศรีมรกต, 2559)

ในปี พ.ศ. 2558 การประชุมรัฐภาคีอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย สมัยที่ 12 (COP 12) มีการจัดขึ้นที่กรุงอังการา สาธารณรัฐตุรกี ในที่ประชุมมีการตกลงร่วมกันกำหนดให้แนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (Land Degradation Neutrality: LDN) เชื่อมโยงกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป้าหมายที่ 15 และเป้าประสงค์ที่ 15.3 รวมถึงการสร้างขีดความสามารถในการบรรลุเป้าหมาย LDN ถูกกำหนดให้เป็นเป้าหมายหลัก

ของการดำเนินงานภายใต้อนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย (UNCCD) (Kust et al., 2017)

เป้าหมายที่ 15 อ้างถึงการใช้ประโยชน์จากระบบนิเวศทางบก (Life on land) ปกป้อง ฟื้นฟู และส่งเสริมการใช้ระบบนิเวศทางบกอย่างยั่งยืน ในปัจจุบันความเสื่อมโทรมของดินปรากฏขึ้นแบบที่ไม่เคยพบเห็นมาก่อน ภัยแล้ง และการแปรสภาพเป็นทะเลทรายยังคงเพิ่มขึ้นในแต่ละปี ซึ่ง SDGs จะมุ่งเน้นการอนุรักษ์ และฟื้นฟูประโยชน์จากระบบนิเวศทางบก ภายในปี พ.ศ. 2573 การส่งเสริมการจัดการป่าไม้อย่างยั่งยืน และแก้ไขปัญหาตัดไม้ทำลายป่า เป็นสิ่งสำคัญในการแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เป็นสิ่งที่ควารดำเนินการอย่างเร่งด่วน เพื่อลดการสูญเสียถิ่นที่อยู่ตามธรรมชาติ และความหลากหลายทางชีวภาพซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของมรดกทางวัฒนธรรม (กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น, 2560)ภายใต้เป้าหมายที่ 15 เป้าประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับสภาพดินที่เสื่อมโทรมได้แก่ เป้าประสงค์ที่ 15.3 ซึ่งเน้นเรื่องการหยุดยั้งการแปลสภาพเป็นทะเลทราย ฟื้นฟูแผ่นดินและดินที่เสื่อมโทรม รวมถึงแผ่นดินที่ได้รับผลกระทบจากการแปลสภาพเป็นทะเลทราย ความแห้งแล้ง และอุทกภัย และพยายามที่จะบรรลุถึงโลกที่ไร้ความเสื่อมโทรมของที่ดิน ภายในปี พ.ศ. 2573 (กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น, 2560)

2.1.3 การจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (Sustainable land management: SLM)

แนวคิดของการจัดการที่ดินที่ยั่งยืน เกิดจากการประชุมเชิงปฏิบัติการในปี พ.ศ. 2534 จัดขึ้นที่จังหวัดเชียงราย ประเทศไทย โดยคณะกรรมการระหว่างประเทศเพื่อการวิจัยและพัฒนาดินในกิจกรรมการติดตามผลหลังการประชุมเชิงปฏิบัติการต่าง ๆ มุ่งเน้นไปที่การอนุรักษ์ดินเป็นแนวคิดแบบบูรณาการที่อธิบายถึงการพัฒนาอย่างยั่งยืนในหลายมิติ รวมถึงทรัพยากรบนบกอื่น ๆ นอกเหนือจากดิน การจัดการที่ดินอย่างยั่งยืนอาจถูกกำหนดให้เป็นการใช้ทรัพยากรบนบก เช่น ดิน น้ำ สัตว์ และพืช เพื่อสร้างผลผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์ที่เปลี่ยนแปลงไป พร้อมกับสร้างความมั่นใจในศักยภาพการผลิตในระยะยาวของทรัพยากรเหล่านี้ และการบำรุงรักษากระบวนการทำงานของสิ่งแวดล้อม การจัดการที่ดินอย่างยั่งยืนมีการวางแนวทางที่มั่นคงต่อแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืน และมีเป้าหมายที่ชัดเจนในเรื่องผลการดำเนินงาน การจัดการที่ดินอย่างยั่งยืนเป็นระบบของเทคโนโลยี หรือการวางแผนหลักการทางสังคมเศรษฐกิจ และการเมืองในการจัดการที่ดินเพื่อการเกษตรและวัตถุประสงค์อื่น ๆ เพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกัน การจัดการที่ดินที่ยั่งยืน (SLM) ควรมุ่งเน้นไปที่ 5 หลักการของความยั่งยืน ประกอบด้วย (Breu et al., 2011)

1) การป้องกันเชิงนิเวศน์

2) การยอมรับทางสังคม

3) การป้องกันเชิงเศรษฐกิจ

4) สามารถใช้งานได้ในทางเศรษฐกิจ

5) การลดความเสี่ยง

องค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ มีการอธิบายเพิ่มเติมว่า ผลิตภาพ และความยั่งยืนของการใช้ที่ดินถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ ระหว่างทรัพยากรที่ดิน สภาพภูมิอากาศ และกิจกรรมของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศและความแปรปรวน การเลือกใช้ที่ดินให้เหมาะสมสำหรับสภาพทางชีวฟิสิกส์ เศรษฐกิจสังคม และการใช้หลักการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (SLM) มีความจำเป็นสำหรับการลดความเสื่อมโทรมของดิน ฟื้นฟูความเสื่อมโทรมของดิน และสร้างความมั่นใจในการใช้ทรัพยากรที่บนบกอย่างยั่งยืน (เช่น ดิน น้ำ และความหลากหลายทางชีวภาพ) หลักการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (SLM) ครอบคลุมวิธีการที่กำหนดการอนุรักษ์ดินและน้ำ การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ และการจัดการภูมิทัศน์แบบผสมผสาน (integrated landscape- management :ILM) ซึ่งเกี่ยวข้องกับวิธีการเพื่อให้การทำงานของระบบนิเวศที่มีประสิทธิภาพ และมีสุขภาพที่ดี โดยบูรณาการความต้องการ และคุณค่าทางสังคม เศรษฐกิจ กายภาพ และชีวภาพ เพื่อนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน และการพัฒนาพื้นที่ชนบท การจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (SLM) ตั้งอยู่บนพื้นฐาน 4 หลักการ ประกอบด้วย ((FAO), 2017)

1) กำหนดโยบาย และการสนับสนุนเชิงสถาบัน รวมถึงการพัฒนากลไกสำหรับการยอมรับ SLM และการสร้างรายได้ในระดับท้องถิ่น

2) แนวทางการขับเคลื่อน และการมีส่วนร่วมการใช้ที่ดิน

3) บูรณาการการใช้ทรัพยากรธรรมชาติในภาคเกษตรกรรม และระบบนิเวศ

4) การมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย และความร่วมมือในทุกระดับ ผู้ใช้ที่ดิน ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคนิค และผู้กำหนดนโยบาย

2.1.4 แนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN)

แนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน เป็นแนวคิดที่มีความชัดเจนในการแสดงออกถึงความต้องการสำหรับการป้องกันปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน โดยองค์ประกอบของแนวคิดประกอบด้วย 2 หลักการ คือ การลดอัตราความเสื่อมโทรมของพื้นที่ที่เกิดความเสื่อมโทรม และการเพิ่มอัตราการฟื้นฟูของดินที่เกิดความเสื่อมโทรม แนวคิด LDN ถูกใช้เพื่อกระตุ้นการตอบสนองเชิงนโยบายที่มีประสิทธิภาพ และถูกนำมาใช้เป็นเป้าหมายในการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Kust et al., 2017)

แนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน มีจุดมุ่งหมายหลักคือ การช่วยประเทศที่กำลังเผชิญกับปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน ในการดำเนินการเชิงกลยุทธ์เพื่อลดผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว โดยการบรรลุเป้าหมาย และกรอบการดำเนินงานของ LDN จะถูกกำหนดผ่านทางการประชุมการมีส่วนร่วม ระหว่างผู้เชี่ยวชาญ กับผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย โดยจะต้องมีการกำหนด 3 ประเด็นหลัก (Cowie et al., 2018) ดังต่อไปนี้

1) การกำหนดขอบเขตกรอบของแนวของ LDN จะต้องรวมด้านเศรษฐกิจสังคม มุมมองทางชีวฟิสิกส์ แบบจำลองกระบวนการคิด รวมถึงอธิบายการใช้งาน การติดตามประเมินผล และกำกับดูแลการทำงาน LDN

2) ในการพัฒนากรอบแนวคิด ควรทำตามทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงที่มีการตกลงร่วมกัน

3) แนวคิดเรื่องความยืดหยุ่นในการดำเนินงาน ควรตระหนักว่าการดำเนินงาน LDN จะต้องมีความยืดหยุ่นในการส่งมอบงาน สำหรับการจัดการดินเสื่อมโทรมในระยะยาว

องค์ประกอบหลักของกรอบการดำเนินงาน เนื่องจากแนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรดิน (LDN) เป็นวิธีการใหม่สำหรับการจัดการดินเสื่อมโทรม ดังนั้นกรอบการดำเนินงานจะต้องรองรับการปรับตัวระหว่าง การวางแผน การใช้งาน การติดตาม และการตีความ ซึ่งประกอบด้วย 5 ส่วนสำคัญที่มีความเชื่อมโยงกัน (Cowie et al., 2018)

Module A: วิสัยทัศน์ และวัตถุประสงค์ของ LDN

เป็นการอธิบาย วิสัยทัศน์ และวัตถุประสงค์ของ กรอบสาเหตุ และการเชื่อมโยงระหว่างดินตามธรรมชาติ (Land based natural capital: LBNC) กับการสนับสนุนทางระบบนิเวศ โดยเป้าหมายและวัตถุประสงค์ ของ LDN คือการบำรุงรักษา หรือการประคับประคองดินตามธรรมชาติ (LBNC) ที่ประสบปัญหาความเสื่อมโทรม เพื่อสนับสนุนความต้องการของมนุษย์ที่เพิ่มขึ้นในอนาคต ระบุสาเหตุ ให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับ การนำไปใช้ กลยุทธ์ในการติดตามตรวจสอบ และการตีความผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งจะเป็นส่วนหนึ่งของกรอบงานที่จะตามมา สำหรับการเชื่อมโยงระหว่างดินตามธรรมชาติ (LBNC) กับการสนับสนุนทางระบะนิเวศ เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินตามธรรมชาติ กับปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการต่างๆในการทำงานของระบบนิเวศ ประกอบด้วย การตอบสนองความต้องการของมนุษย์ การได้รับผลกระทบจากความเสื่อมโทรมของดิน องค์ประกอบที่กล่าวมานี้เป็นพื้นฐานสำหรับการกำหนดตัวชี้วัดในการติดตามตรวจสอบการดำเนินงาน LDN

Module B: การสร้างกรอบอ้างอิง

เป็นพื้นฐานในการใช้ประเมินความเป็นกลางของดิน (Neutrality) ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการดำเนินงาน LDN โดยความเป็นกลางของดิน คือ การที่ดินตามธรรมชาติไม่เกิดการสูญเสียภายในช่วงเวลาที่เหมาะสม ในส่วนนี้เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของแต่ละตัวชี้วัดที่ใช้ในการติดตามตรวจสอบนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ตามเวลาที่กำหนด เพื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของดินตามธรรมชาติ โดยค่าเป้าหมายของ LDN จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงหรือลดลงจากเดิม

Module C: การสร้างกลไกความเป็นกลาง

กลไกความเป็นกลาง สนับสนุนการบรรลุของ LDN ผ่านทางการวางแผน ประกอบด้วย กลไกความสมดุลในพื้นที่ที่คาดการณ์ว่าจะเกิดการสูญเสียของดินตามธรรมชาติ การที่จะบรรลุ LDN ได้นั้น ขนาดพื้นที่ต้องเกิดความสมดุล โดยพื้นที่ที่เสียไป จะต้องมีขนาดเท่ากันกับพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น

Module D: การบรรลุความเป็นกลาง

เพื่อให้ LDN ประสบผลสำเร็จ ต้องมีการทำงานร่วมกันระหว่าง การป้องกันความเสื่อมโทรมของดิน การลดระดับความเสื่อมโทรมของดิน และการฟื้นฟูความเสื่อมโทรมของดิน เช่นระหว่างพื้นที่ลดกับพื้นที่เพิ่ม ต้องมีความสมดุลกัน ส่วนนี้ช่วยสนับสนุนให้ LDN ประสบผลสำเร็จ รวมถึงทฤษฎีการเปลี่ยนแปลง เป็นการเชื่อมโยงแนวทางสำหรับการนำไปใช้งาน การประเมินเบื้องต้น การเปิดใช้งานนโยบาย และการกำกับดูแล

Module E: การติดตามประเมินผล LDN

เป็นการระบุรายละเอียดในการติดตามผลการดำเนินงาน LDN รวมถึงการตรวจสอบและตีความตัวชี้วัดที่กำหนดในการดำเนินงาน LDN ในส่วนนี้จะมีการระบุตัวชี้วัดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความเสื่อมโทรมของดินในพื้นที่

ตัวชี้วัดสำหรับการรายงานผลความเสื่อมโทรมของดิน การติดตามตรวจสอบ และการประเมินความเสื่อมโทรมของดิน ในการกำหนดตัวชี้วัดของการดำเนินงาน LDN ควรเป็นตัวชี้วัดที่ตรวจสอบง่าย และมีความเชื่อมโยงไปถึงความหลายหลายทางชีวภาพ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และความมั่นคงทางอาาร การกำหนดตัวชี้วัดสำหรับการประเมินความเสื่อมโทรมของดินแบ่งออกเป็น 2 วัตถุประสงค์

1) การอนุรักษ์ ใช้การประเมินความเสื่อมโทรมของดินในระดับต่าง ประกอบด้วย คุณภาพดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดิน ความสามารถของดิน และสุขภาพของดินหรือสิ่งแวดล้อมโดยรอบ

2) ด้านผลผลิต ใช้การประเมินผลผลิต ชีวฟิสิกส์ เศรษฐกิจสังคม ประกอบด้วย ผลผลิตทางชีวภาพ ผลผลิตพืชพรรณ NDVI หรือดัชนีพืชพรรณต่าง ๆ รายได้ ผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจสังคม และการสนับสนุนระบบนิเวศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตัวชี้วัดที่ถูกเสนอโดยคณะกรรมการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย (UNCCD) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติทั่วไปของดิน ประกอบด้วย 3 ตัวชี้วัด (Kust et al., 2017)

1) การเปลี่ยนแปลงการประโยชน์ใช้ที่ดิน (Land use change) เนื่องจากประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินมีความสำคัญแตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริบทของการใช้งาน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจึงเป็นตัวชี้วัดแรกที่ระบุว่าพื้นที่มีการสูญเสีย หรือเสื่อมโทรม และการได้รับการฟื้นฟูคุณภาพของที่ดินและดิน

2) ผลิตภาพของที่ดิน (Land productivity) เป็นตัวชี้วัดที่บอกปริมาณผลผลิตตั้งต้นของดิน ต่อพื้นที่ ดังนั้นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน เป็นการอธิบายผลผลิตของดินมีการเพิ่มขึ้น หรือสูญเสียซึ่งเป็นผลมาจากปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน

3) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (Soil organic carbon) เป็นตัวชี้วัดที่บอกปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมอยู่ภายในดิน ดังนั้นตัวชี้วัดการเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีส่วนสำคัญในการบ่งบอกถึงคุณภาพโดยรวมของดิน

นอกจากตัวชี้วัดพื้นฐานที่มีการกำหนดโดย UNCCD แล้วในการประเมินความเสื่อมโทรมของดินสามารถเพิ่มตัวชี้วัดอื่นที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความเสื่อมโทรมของดิน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและแม่นยำ ยกตัวอย่างเช่น พื้นที่ศึกษาที่ประเทศไนจีเรีย (Speranza et al., 2019) เป็นการศึกษาศักยภาพในการดำเนินการ LDN จากการศึกษานโยบาย และแผนการดำเนินงานภายในประเทศ และบริเวณโดยรอบพื้นที่ศึกษา มีการกำหนด 3 ตัวชี้วัดหลักตามที่ UNCCD กำหนด และมีการเพิ่มตัวชี้วัดมลพิษในดิน และตัวชี้วัดด้านการกัดเซาะ เข้ามาช่วยในการประเมินเนื่องจากประเทศไนจีเรีย บริเวณปากแม่น้ำไนเจอร์มีการทำอุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมันเกิดการรั่วไหล ส่งผลกระทบต่อทรัพยากรส่งแวดล้อมโดยรอบ จึงมีการกำหนดตัวชี้วัดด้านมลพิษในดินขึ้นมา และตัวชี้วัดด้านการกัดเซาะเนื่องจากปัญหาการกัดเซาะจากธารน้ำเป็นปัญหาหลักที่พบได้หลายพื้นที่ในทวีปแอฟริกา จึงมีการกำหนดตัวชี้วัดด้านการกัดเซาะเข้ามาช่วยในการประเมินความเสื่อมโทรมของดิน

2.1.5 การดำเนินงาน LDN ในประเทศไทย

การดำเนินงาน LDN ในประเทศไทย อยู่ในความรับผิดชอบของคณะกรรมการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทราย และคณะอนุกรรมการอนุสัญญาสหประชาชาติว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพ เป็นทะเลทราย ด้านวิชาการ ซึ่งมีหน้าที่ในการจัดทำเป้าหมายแนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) การติดตามสถานะความเสื่อมโทรมของที่ดิน และเสนอข้อคิดเห็นด้านวิชาการในการดำเนินงานอนุสัญญาฯ ประกอบด้วย 4 กิจกรรมหลัก ได้แก่

1) การจัดทำข้อมูลพื้นฐาน (baseline) เพื่อประเมินแนวโน้มความเสื่อมโทรมของดิน

2) ประเมินสภาพแวดล้อมโดยรอบที่เป็นตัวกระตุ้นความเสื่อมโทรมของดิน ติดตามสถานะความเสื่อมโทรมของดิน การจัดทำเป้าหมายและมาตรการในการจัดการที่ดินที่เหมาะสม เพื่ออนุรักษ์ ลดผลกระทบ และฟื้นฟูที่ดิน

3) เสนอข้อคิดเห็นด้านวิชาการในการกำหนดนโยบาย แนวทาง หลักเกณฑ์ และกลไกการดำเนินงานตามอนุสัญญา รวมถึงการขยายแนวคิดสู่ผู้เกี่ยวข้อง

4) การติดตามผลการดำเนินงาน และติดตามการเปลี่ยนแปลงของการดำเนินงานอย่างต่อเนื่องจากปี พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2573

โดยกำหนดตัวชี้วัดที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับความเสื่อมโทรมของดินนำมาใช้ในการจัดทำข้อมูลพื้นฐาน ประกอบด้วย 3 ตัวชี้วัด ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change)

2) ผลิตภาพของที่ดิน (land productivity)

3) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon)

กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ หน่วยงานในการประสานการดำเนินงานตามอนุสัญญาว่าด้วยการต่อต้านการแปรสภาพเป็นทะเลทรายของประเทศไทย ได้จัดทำตัวชี้วัดพื้นฐานทั้ง 3 ตัวชี้วัด โดยตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ใช้ฐานข้อมูลในระดับประเทศ (National scale - Tier 2) ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการให้ผลผลิตของดิน และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน ใช้ฐานข้อมูลในระดับโลก (Global scale – Tier 1)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Kust et al., 2017) อธิบายแนวคิด และส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับการศึกษา LDN มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายพื้นฐานทางวิทยาศาสตร์ และที่มาของแนวคิด LDN การดำเนินงาน LDN ในรูปแบบต่างๆ และการผสมผสานกับหลักการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (SLM) รวมถึงการใช้ LDN ในการจัดการดินเสื่อมโทรมระดับโลก ปัญหาความเสื่อมโทรมของดินมีการแพร่กระจายมากขึ้นเป็นวงกว้าง จึงทำให้เกิดการตระหนักถึงความสำคัญของทรัพยากรดิน จนเกิดเป็นแนวคิดความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน ดังนั้น เพื่อเป็นแนวทางในการลดปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน โดยแนวคิดประกอบด้วย 2 หลักการ คือ การลดอัตราความเสื่อมโทรมของพื้นที่ที่เกิดความเสื่อมโทรม และการเพิ่มอัตราการฟื้นฟูของดินที่เกิดความเสื่อมโทรม การเลือกตัวชี้วัดในการดำเนินงาน LDN ควรเป็นตัวชี้วัดที่ง่ายต่อการตรวจสอบ สามารถสรุปได้ว่าแนวคิด LDN เป็นแนวคิดใหม่ที่สะท้อนให้เห็นความตั้งใจในการลดปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน สามารถใช้เป็นเป้าหมายและตัวชี้วัดความสำเร็จของหลักการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (SLM) อย่างไรก็ตาม LDN เป็นแนวคิดการสร้างความสมดุลของระบบดินที่ต้องการงานศึกษาวิจัยเพิ่มเติม และการพัฒนาวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับการวัดความสมดุลระหว่างความเสื่อมโทรม กับการปรับปรุงคุณภาพระบบนิเวศบก

(Cowie et al., 2018) อธิบายกรอบทางวิทยาศาสตร์ของการดำเนินงาน LDN โดยเชื่อมโยงระหว่างส่วนประกอบที่สำคัญทั้ง 5 ส่วน ได้แก่

Module A: วิสัยทัศน์ และวัตถุประสงค์ของ LDN

Module B: การสร้างกรอบอ้างอิง

Module C: การสร้างกลไกความเป็นกลาง

Module D: การบรรลุความเป็นกลาง

Module E: การติดตามประเมินผล LDN

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากกรอบแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ข้างต้น เป็นเสมือนขั้นตอนในการประเมิน LDN โดยเน้นที่เป้าหมายเป็นหลัก ประกอบกับการสนับสนุนสิ่งที่จำเป็นในการดำเนินการให้ประสบผลสำเร็จ ซึ่งเป้าหมายของ LDN คือการหลีกเลี่ยงการสูญเสียดินตามธรรมชาติ (LBNC) เป็นการปฏิบัติตามหลักการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (SLM) โดยเน้นการหลีกเลี่ยง ลด และฟื้นฟูความเสื่อมโทรมของดิน

(Solomun et al., 2018) ได้ศึกษาประเมินสภาพที่ดิน ภายในประเทศสาธารณรัฐเซิร์ปสกา ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกของการดำเนินงาน LND โดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายกระบวนการประเมินสภาพที่ดิน และกำหนดเป้าหมายของการดำเนินงาน LDN Solomun สำรวจปัจจัยที่ส่งผลต่อความเสื่อมโทรม และพื้นที่เสื่อมโทรมใน 31 ชุมชนท้องถิ่นของประเทศสาธารณรัฐเซิร์ปสกา จากการสัมภาษณ์บุคคลที่เกี่ยวข้องบริเวณพื้นที่ศึกษา อย่างละเอียดจำนวน 279 ครั้ง เน้นเรื่องการออกกฎหมาย และการวางแผนการประโยชน์ที่ดินของชุมชน พบว่าผู้คนส่วนใหญ่ในชุมชนท้องถิ่น มักอาศัยรวมกลุ่มกันบริเวณใกล้เคียงกับพื้นที่เกษตรกรรมที่มีความอุดมสมบูรณ์ ในพื้นที่เหล่านี้เมื่อมีผู้คนมาอาศัยหนาแน่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งปกคลุมดินหลายพื้นที่ ทำให้เกิดปัญหาความเสื่อมโทรมรุนแรง ผลการประเมินสภาพปัจจุบันของดิน พบว่าปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเสื่อมโทรมของที่ดินในภูมิภาค คือการละทิ้งที่ดิน น้ำท่วม ภัยแล้ง การกัดเซาะ และการขยายตัวของเมือง จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า กฎหมายในประเทศสาธารณรัฐเซิร์ปสกา โดยทั่วไปตระหนักถึงการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน ซึ่งการคุ้มครองที่ดินถูกควบคุมโดยกฎระเบียบหลายภาค แต่ไม่มีการปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด ทำให้เป็นอุปสรรคต่อการดำเนินงาน LDN ดังนั้น การบังคับใช้กฎหมายที่มีอยู่อย่างสม่ำเสมอ พร้อมกับระบบการควบคุมที่ครอบคลุมเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการดำเนินงาน LDN ให้ประสบความสำเร็จในพื้นที่นี้

(Kiani-Harchegani & Sadeghi, 2020) ประเมิน LDN บริเวณลุ่มน้ำ Shazand ในประเทศอิหร่าน โดยใช้ตัวชี้วัดในการดำเนินงานทั้งหมด 3 ตัวชี้วัด ประกอบด้วย การประโยชน์ใช้ที่ดิน (LU) ผลิตภาพของที่ดิน (LP) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) มีการแบ่งช่วงเวลาในการดำเนินการศึกษา 2 ช่วงเวลาย่อย ระหว่างปี พ.ศ.2543 ถึง พ.ศ.2559 มีการกำหนดจุดเก็บตัวอย่างดินเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล SOC ทั้งหมด 140 ตัวอย่าง ที่ความลึก 0–30 เซนติเมตร ผลการศึกษาจากการคำนวณตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัด พบว่าในช่วง 8 ปีแรกของการดำเนินการศึกษา (พ.ศ. 2543 - พ.ศ. 2551) เกิดการเปลี่ยนแปลงไปในเชิงลบ ในขณะที่ ช่วง 8 ปีหลัง (พ.ศ. 2551 - พ.ศ. 2559) ทั้ง 3 ตัวชี้วัดอยู่ในสถานะที่มั่งคง และสมดุล เนื่องจาก LDN ในช่วงเวลาดังกล่าว แสดงความสมดุลระหว่างที่ดินที่เกิดการเสื่อมโทรมอยู่แล้วในช่วงเวลาก่อนหน้านี้ กับที่ดินที่ยังไม่เกิดการเสื่อมโทรม และเนื่องจากบริเวณพื้นที่ศึกษาในช่วง 8 ปีหลังมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่บางพื้นที่เป็นทุ่งปศุสัตว์ ส่งผลให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และไนโตรเจนในดินมีค่าเพิ่มขึ้น จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาพื้นที่การใช้ที่ดิน มีผลต่อการประเมินความเสื่อมโทรมของที่ดิน ดังนั้นการเลือกแผนพัฒนาควรเลือก

แผนที่เหมาะสม เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่ดินเสื่อมโทรม อันสืบเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน นอกจากนี้ชนิดของพืชในพื้นที่เกษตรกรรม และกิจกรรมของมนุษย์ เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อสถานะ LDN

(Cowie et al., 2019) ประเมินการปรับสภาพสู่สภาวะเดิมของทรัพยากรดิน ในการดำเนินการ LDN บริเวณทุ่งหญ้าทางตะวันตก ของรัฐนิวเซาท์เวลส์ ประเทศออสเตรเลีย โดยการใช้เครื่องมือ Resilience Adaptation Pathways and Transformation Approach (RAPTA) ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้แนวคิดความยืดหยุ่นในการจัดการระบบสังคมนิเวศ ในการศึกษานี้ เครื่องมือ RAPTA ถูกนำมาใช้ในการประเมินการปรับสภาพสู่สภาวะเดิมของการจัดการที่ดินในปัจจุบัน และสนับสนุนการใช้ประโยชน์ที่ดินทางเลือกที่เกี่ยวข้องกับการทำฟาร์มคาร์บอน โดยการใช้เครื่องมือดังกล่าว ในกรอบแนวคิดที่ครอบคลุมของการดำเนินงาน LDN กรณีศึกษานี้ใช้ข้อมูล และแนวคิดที่ตีพิมพ์จากวรรณกรรมทางวิทยาศาสตร์ ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ และประสบการณ์ของทีมวิจัย รวมถึงใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) สำหรับการตรวจวัดปริมาณคาร์บอนในดิน จากการศึกษาศักยภาพที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในระดับภูมิภาค พบว่าการขยายตัวของการทำฟาร์มคาร์บอนในพื้นที่ จะเป็นตัวช่วยในการกักเก็บปริมาณคาร์บอนในดิน จะช่วยเพิ่มโอกาสในการจัดการกับที่ดินเสื่อมโทรม รวมถึงช่วยยกระดับการใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างยั่งยืนในภูมิภาค และส่งผลต่อความสำเร็จของการดำเนินงาน LDN สามารถสรุปได้ว่า RAPTA เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประเมินความยืดหยุ่นในบริบทของการวางแผนการดำเนินงาน LDN โดยการประเมินการใช้ประโยชน์ที่ดินในที่มีอยู่ปัจจุบัน และทางเลือกอื่นๆ

(Speranza et al., 2019) ศึกษาศักยภาพในการดำเนินการ LND ในประเทศไนจีเรีย โดยได้รวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาดินตามธรรมชาติ (LBNC) ร่วมกับการวิเคราะห์นโยบายของภาครัฐ รวมถึงแผนการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความเสื่อมโทรมของดิน การศึกษาของ Speranza มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุจุดเริ่มต้น และข้อจำกัดของกระบวนการทำ LDN ซึ่งการศึกษาประเมินความเสื่อมโทรมมีการกำหนดตัวชี้วัด ทั้งหมด 5 ตัว ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงการประโยชน์ใช้ที่ดิน (Land use change) ผลิตภาพของที่ดิน (Land productivity) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (Soil organic carbon) มลพิษในดิน (Land pollution) และการกัดเซาะจากธารน้ำ (Gully erosion) ผลการศึกษาพบว่าข้อมูลที่จะศึกษาศักยภาพในการดำเนินการยังไม่เพียงพอที่จะทำให้ LDN ประสบผลสำเร็จ โดยนโยบายและแผนการดำเนินงานของรัฐมีความสนใจที่จะลดผลกระทบจากความเสื่อมโทรมของดิน แต่มีความสนใจในเรื่องปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (Soil organic carbon) และการกัดเซาะจากธารน้ำ (Gully erosion) น้อย ในเรื่องของกระบวนการติดตามตรวจสอบในด้านสิ่งแวดล้อมและดินเสื่อมโทรม พบว่ามีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะทำให้การติดตาม

เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนมาตรการในการตอบโต้ปัญหาดินเสื่อมโทรมพบว่า นโยบายส่วนใหญ่เน้นไปในแนวทางหลีกเลี่ยงไม่ให้ดินเสื่อมโทรมไปมากกว่านี้ แต่ยังคงต้องการความพยายาม และการให้ความร่วมมือจากฝ่ายต่าง ๆ รวมถึงเครื่องมือในการติดตามตรวจสอบที่มีคุณภาพ จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า LDN เป็นแนวคิดใหม่ที่มีกรอบการดำเนินงาน สำหรับตอบสนองแก้ไขปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน และยังเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับประเทศในการประเมินความพร้อมและองค์ประกอบที่สำคัญสำหรับการดำเนินการให้ LDN ประสบผลสำเร็จ การดำเนินงาน LDN จะไม่สามารถดำเนินงานได้หากปราศจากความสนใจจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และการเตรียมการในระดับชาติถึงระดับท้องถิ่น

(Wunder & Bodle, 2019) อธิบายกระบวนการดำเนินงาน LDN และการออกแบบตัวชี้การใช้ประโยชน์ที่ดิน ในประเทศเยอรมนี โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 นำเสนอกรอบแนวคิดสำหรับการดำเนินงาน LDN ในระดับชาติ และผลลัพธ์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดกระบวนการดำเนินงาน ในระดับชาติ ไม่ใช่เฉพาะในเยอรมนี แต่ในการศึกษาจะอธิบายบริบทเฉพาะของเยอรมนี ส่วนที่ 2 อธิบายตัวชี้วัดใหม่ ที่จะใช้ ตรวจวัดความเสื่อมโทรมโดยการใช้หมวดหมู่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อจำแนกผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับดิน และส่วนที่ 3 อธิบายข้อถกเถียงเกี่ยวกับการดำเนินงาน LDN ในประเทศเยอรมนี ในบริบททางกฎหมาย และการเมืองของประเทศเยอรมนี รวมถึงสำรวจโอกาสในการกำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้องกับดินและที่ดิน สามารถสรุปได้ว่าการมีส่วนร่วมในกระบวนการ และการปรับแนวคิด LDN ให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละประเทศมีส่วนสำคัญ ในประเทศเยอรมนีมีการดำเนินโครงการ และพัฒนาตัวชี้วัดใหม่ คือการจำแนกหมวดหมู่ของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ซึ่งตัวชี้วัดดังกล่าวสามารถเติมเต็มช่องว่างที่มีอยู่ของตัวชี้วัดเดิมในขณะเดียวกันยังช่วยรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเสื่อมโทรมของดินในประเทศเยอรมนี อย่างไรก็ตามการจำแนกหมวดหมู่ของการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นเพียงข้อมูลเบื้องต้น และยังคงต้องการการประเมินทางวิทยาศาสตร์เพิ่มเติม ส่วนเรื่องกรอบนโยบายในประเทศเยอรมนี ยังคงต้องปรับปรุงเพิ่มเติมเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการดำเนินงาน LDN โดยกฎหมายของประเทศ ไม่มีแนวคิดแบบองค์รวมที่ครอบคลุม ซึ่งเป็นจุดอ่อนของการป้องกันการเสื่อมโทรมของดิน ในประเทศเยอรมนี ประการแรกคือไม่มีการวางแผนทางกฎหมาย และเครื่องมือการจัดการที่เฉพาะเจาะจง ประการที่สองบทบัญญัติพระราชบัญญัติคุ้มคลองดิน อยู่ภายใต้ข้อบังคับ อื่นๆที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดินพบว่าปัจจุบัน ยังมีความต้องการการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติมร่วมกับการนำเทคโนโลยีมาใช้ในเกิดประโยชน์สูงสุด ให้เกิดความแม่นยำสำหรับการติดตามตรวจสอบผลการดำเนินงานมากที่สุด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษาวิจัย

งานวิจัยการประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน หรือ LDN ได้วางแผนทำการศึกษาในพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิพบว่าเป็นจังหวัดที่มีฐานข้อมูลด้านปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ค่อนข้างครบถ้วน เป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยในครั้งนี้ รายละเอียดของพื้นที่ศึกษาสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1.1 จังหวัดสระบุรี

จังหวัดสระบุรี อยู่บริเวณภาคกลางของประเทศไทยทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัดกรุงเทพมหานคร การเดินทางจากจังหวัดกรุงเทพมหานครไปยังจังหวัดสระบุรีส่วนใหญ่ใช้เส้นทางทางหลวงแผ่นดินหมายเลย 1 (ถนนพหลโยธิน) ระยะทางประมาณ 108 กิโลเมตร จังหวัดสระบุรีมีพื้นที่ทั้งหมด 3,576,486 ตารางกิโลเมตร หรือคิดเป็น 2,235,304 ไร่ แบ่งเขตการปกครองออกเป็น 13 อำเภอ 111 ตำบล 973 หมู่บ้าน แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยมีอาณาเขต ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับจังหวัดลพบุรี
ทิศใต้	ติดต่อกับจังหวัดปทุมธานี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับจังหวัดนครนายก และจังหวัดนครราชสีมา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับจังหวัดลพบุรี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

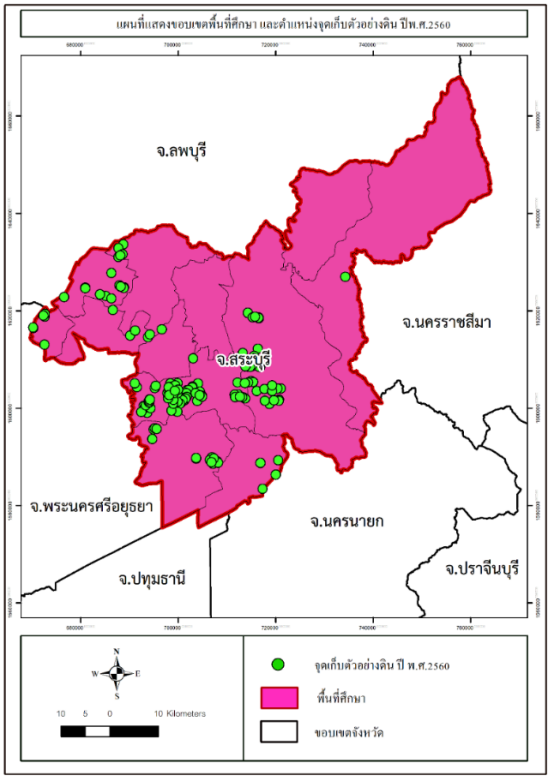
จังหวัดสระบุรี เป็นจังหวัดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ มูลค่าผลิตภัณฑ์มวลรวม (GPP) สูงเป็นลำดับที่ 9 ของประเทศ และเป็นลำดับที่ 1 ของภาคกลาง ซึ่งสาขาการผลิตด้านอุตสาหกรรมมีมูลค่าสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 55.30 เนื่องจากเป็นจังหวัดที่มีทรัพยกรธรรมชาติ และแหล่งพลังงานเพื่อการอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก จึงได้ถูกกำหนดให้เป็นพื้นที่ส่งเสริมการลงทุน (BOI ZONE 2) ซึ่งการลงทุนด้านอุตสาหกรรมในจังหวัดสระบุรีที่สำคัญประกอบด้วย อุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ได้แก่ การผลิต การคัดแยก หรือแปรรูปวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว จำนวน 397 โรงงาน รองลงมาคือ อุตสาหกรรมอโลหะ จำนวน 378 โรงงาน และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ จำนวน 190 โรงงาน ตามลำดับ

ด้านการเกษตร จังหวัดสระบุรี มีพื้นที่การเกษตร คิดเป็นร้อยละ 53.06 ของพื้นที่ทั้งหมด ซึ่งพื้นที่เกษตรกรรมส่วนใหญ่เป็นพืชไร่ รองลงมาคือ พื้นที่นา ไม้ยืนต้นและไม้ผล พื้นที่เกษตรอื่นๆ และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ตามลำดับ (สำนักงานจังหวัดสระบุรี, 2562)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม จังหวัดสระบุรี มีพื้นที่ป่าไม้คิดเป็นร้อยละ 25.63 ของพื้นที่ ประกอบด้วย พื้นที่ป่าไม้ในเขตอุทยานแห่งชาติ และป่าสงวนแห่งชาติ มีเนื้อที่ประมาณ 459,749.25 ไร่ และพื้นที่ป่าไม้มีลักษณะเป็นภูเขาในเขตนิคมสร้างตนเองพระพุทธบาท และที่สาธารณะมีเนื้อที่รวมกันประมาณ 113,240 ไร่ (สำนักงานจังหวัดสระบุรี, 2562)

ลักษณะดินจังหวัดสระบุรี ส่วนใหญ่ประกอบด้วยดินเหนียว และดินเหนียวปนทรายแป้งที่มีการระบายน้ำเลว หรือค่อนข้างเลว ใช้ในการทำนาปลูกข้าว ซึ่งบางแห่งพบชั้นของสารจาโรไซท์อยู่ตื้น มีปฏิกิริยาเป็นกรดซึ่งเป็นพิษต่อข้าว สำหรับดินเหนียวที่มีการระบายน้ำดี และมีความลาดชันใช้สำหรับปลูกพืชไร่ และไม้ผล บางแห่งพบชั้นกรวดหนาตื้น และบางแห่งถูกกัดกร่อน ส่วนพื้นที่ลาดชันสูงจะเป็นภูเขา บางแห่งพบชั้นหินพื้นซึ่งใช้เป็นพื้นที่ป่า (สำนักงานจังหวัดสระบุรี, 2562) ปัญหาความเสื่อมโทรมของที่ดินบริเวณจังหวัดสระบุรี คือ เกษตรกรมีการใช้ประโยชน์ที่ดินไม่เหมาะสม รวมถึงมีการใช้สารเคมีจำนวนมาก ส่งผลให้คุณสมบติของดินมีการเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้จังหวัดสระบุรีมีปัญหาเรื่อง การลดลงของพื้นที่สีเขียว เช่น พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม มีการเปลี่ยนแปลงไปใช้ประโยชน์รูปแบบอื่นตามการเติบโตของผังเมือง ซึ่งปัญหาดังกล่าวส่งผลต่อผลิตภาพมวลรวมของดิน เนื่องจากการลดลงของพื้นที่สีเขียวกระทบต่อปริมาณธาตุอาหารที่มีความสำคัญในดิน ทำให้ดินบริเวณดังกล่าวขาดความอุดมสมบูรณ์



รูปที่ *3.1* แผนที่แสดงพื้นที่ศึกษาครอบคลุมจังหวัดสระบุรี พร้อมแสดงตำแหน่งพิกัดข้อมูลฐานของตัวอย่างดิน ปี พ.ศ.2560 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560)

3.2 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

เมื่อจำแนกข้อมูลจากวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย สามารถจำแนกได้ 2 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) หรือข้อมูลเชิงประจักษ์ (empirical data) เป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างดินในพื้นที่ศึกษาโดยตรง และทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในห้องปฏิบัติการทางดิน เป็นลักษณะข้อมูลเชิงปริมาณ (quantitative data)

2) ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) เป็นข้อมูลที่ได้จากหน่วยงาน และเอกสารที่เกี่ยวข้องที่มีผู้วิจัยอื่น เก็บรวบรวมไว้แล้ว เช่น ข้อมูลอินทรียวัตถุในดิน ข้อมูลเกษตรกรรม การใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลความเสื่อมโทรมของดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

หากจำแนกข้อมูลตามลักษณะการประเมิน LDN สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial data) ประกอบด้วยข้อมูลในรูปแบบ ข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และข้อมูลจากการสำรวจระยะไกล (remote sensing) ของบริเวณพื้นที่ศึกษา ประกอบด้วย ลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน ชุดดิน อินทรียวัตถุ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม และข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลเชิงพื้นที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change) การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (soil organic carbon change) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา

2) ข้อมูลเชิงบรรยาย (attribute data) ประกอบด้วยข้อมูลในรูปแบบเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ข้อมูลเกษตรกรรม ข้อมูลสภาพแวดล้อม ข้อมูลรายละเอียดจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน และข้อมูลปัญหาความเสื่อมโทรมของดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.2 การศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลขั้นต้น เพื่อกำหนดตัวชี้วัด

จากการวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานบริเวณพื้นที่ศึกษา สามารถกำหนดตัวชี้วัดในการประเมินความเสื่อมโทรมของดินบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยใช้เกณฑ์ตัวชี้วัด LDN ได้ดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change) เนื่องจากประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษามีความสำคัญแตกต่างกัน ดังนั้นตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินจึงเป็นตัวชี้วัดแรกที่ระบุพื้นที่มีการเสื่อมโทรม หรือการได้รับการฟื้นฟูคุณภาพของที่ดินและดิน จากประเภทของการใช้ที่ดินที่แตกต่างกัน
- การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change) ใช้ดัชนีพืชพรรณ (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) เป็นตัวชี้วัดที่ระบุอธิบายผลิตภาพของดินโดยสะท้อนทิศทางการเพิ่มขึ้น หรือลดลงของ NPP ของดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา

- การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC change) เป็นตัวชี้วัดความอุดมสมบูรณ์ของดิน ที่ดินที่มีการกักเก็บ SOC ได้มากขึ้น บ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงของที่ดินในทางบวก หากดินสูญเสีย SOC บ่งบอกถึงสัญญาณความเสื่อมโทรมของดินบริเวณนั้น ดั้งนั้น ตัวชี้วัดการเปลี่ยนคาร์บอนอินทรีย์ในดินมีส่วนสำคัญในการแปลผลถึงคุณภาพโดยรวมของดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

ตัวชี้วัดที่กำหนดในการดำเนินงานครั้งนี้ทั้ง 3 ตัวชี้วัด เป็นตัวชี้วัดที่บ่งชี้คุณภาพโดยรวมของดินที่มีความเชื่อมโยงกันโดยที่ การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use) จะเป็นตัวชี้วัดที่มีความสำคัญ เนื่องจากประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เช่น พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ชุมชน มีความสำคัญแตกต่างกันขึ้นอยู่กับบริบทการใช้งาน และส่งผลต่อผลิตภาพของที่ดิน (land productivity) และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) ในบริเวณพื้นที่ (Kust et al., 2017)

3.2.3 การดำเนินงานภาคสนาม

ในปี พ.ศ.2560 ตามฐานข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน การออกแบบจุดเก็บตัวอย่างดินเป็นการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) รวมถึงเก็บตามแผนโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งดิน ตัวอย่าง มีจำนวนรวมทั้งหมด 169 จุดเก็บตัวอย่าง ดังนั้น เพื่อการเปรียบเทียบปริมาณ SOC ระหว่าง 2 ช่วงเวลา งานวิจัยครั้งนี้ดำเนินการเก็บตัวอย่างในปี พ.ศ.2563 ด้วยวิธีสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive sampling) โดยอ้างอิงจุดเก็บตัวอย่างดินจากปี พ.ศ.2560 เป็นหลัก โดยกำหนดให้มีตัวอย่างดินอย่างน้อย 100 ตัวอย่าง ให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งเดิมมากที่สุด หากไม่สามารถเก็บดินซ้ำตำแหน่งเดิมได้ จะดำเนินการเก็บตัวอย่างใกล้จุดเดิมในรัศมีไม่เกิน 200 เมตร จากการดำเนินงานภาคสนาม ได้จำนวนตัวอย่างดินในปี พ.ศ.2563 รวมทั้งหมด 136 ตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เก็บดินที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับเดียวกับปี พ.ศ.2560 ตัวอย่างดินที่เก็บได้จาก 3 จุดย่อย ของจุดเก็บตัวอย่างหลัก ถูกนำมาผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน และเก็บลงในถุงซิปล็อค ประมาณ 500 กรัม รีดอากาศออก ปิดให้สนิท ก่อนส่งต่อไปวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการทางดิน สำนักพัฒนาที่ดินเขต 1 จังหวัดปทุมธานี

3.2.4 การดำเนินงานในห้องปฏิบัติการ

เตรียมตัวอย่างดินจากการภาคสนามด้วยการผึ่งลมให้แห้งเป็นเวลา 7 วัน แล้วบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร จากนั้นวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่สะสมในดิน โดยใช้กระบวนการ Walkley-Black โดยใช้ สารโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เป็นตัวทำละลาย เพื่อหาปริมาณสารอินทรีย์วัตถุที่สะสมอยู่ในดิน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2553b)

1) ชั่งดิน 1 กรัม ใส่ขวดชมพู่ ขนาด 250 มล. (ปริมาณตัวอย่างดินอาจลดลงได้ตามความเหมาะสมถ้า ดินนั้นมีปริมาณอินทรียวัตถุสูง สังเกตได้จากสีของดิน ถ้าเป็นดินสีดำหรือ สีน้ำตาลเข้ม ต้องชั่งดิน ให้ลดลง แต่ถ้ากรณีเป็นดินทรายก็ต้องเพิ่มปริมาณดินให้มากขึ้นกว่าเดิม)

2) เติม สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 1.0 N 10 มล. เพื่อทำปฏิกิริยากับ reducing agent ที่มีอยู่ใน ดินจนหมด ซึ่งในที่นี้หมายถึง คาร์บอนอินทรีย์ (SOC)

3) เติม H_2SO_4 เข้มข้น 20 มล. โดยใช้ Dispenser พยายามให้กรดไหลลงข้าง ๆ ขวดให้ชะล้าง ตัวอย่างลงไปอยู่ในขวดให้หมด เพื่อป้องกันไม่ให้เม็ดดินเกาะติดอยู่ตามข้างขวด เขย่าเบาๆ ให้ตัวอย่างเข้ากันดีเป็นเวลาประมาณ 1 นาที

4) ตั้งทิ้งไว้จนสารละลายเย็นเท่าอุณหภูมิห้อง

5) เติมน้ำกลั่น 50 มล. แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

6) หยดอินดิเคเตอร์ออร์โทฟีแนนโทรลีน 5 หยด

7) ไตเตรทด้วยสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) 0.5 N โดยสารละลาย FAS จะทำปฏิกิริยากับ $K_2Cr_2O_7$ ที่เหลือในขวดทดลอง ที่จุด end poit สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง

8) ทำ Blank โดยเริ่มทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึง ขั้นตอนที่ 6 โดยไม่ต้องใช้ตัวอย่างดิน เพื่อคำนวนความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายเฟอรัสซัลเฟต

วิธีการคำนวน ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่อยู่ในตัวอย่างดินสามารถคำนวนได้จากสมการดังนี้

$$\% \text{ อินทรีย์วัตถุ} = \frac{10 \times (B\text{-}S) \times 100 \times 100 \times 3 \times 100 \times N}{B \times 77 \times 58 \times 1000 \times W}$$

โดยที่ B = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรท Blank (มล.)

S = ปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่างดิน (มล.)

W = ปริมาณตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดลอง (กรัม)

N = ความเข้มข้นของ $K_2Cr_2O_7$ (ในกรณีที่ความเข้มข้นไม่ใช่ 1.0 N)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อทราบปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวอย่างอย่างดิน จากนั้นคำนวนหาปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน จากสมการของ van Bemmelen เป็นสมการความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนอินทรีย์ กับอินทรีย์วัตถุซึ่งสามารถคำนวนได้ จากสมการ (Qian et al., 2018)

$$\% \text{ คาร์บอนอินทรีย์} = \frac{\% \text{ อินทรีย์วัตถุ}}{1.724}$$

วิธีดังกล่าวเป็นวิธีเดียวกันกับที่กรมพัฒนาที่ดิน ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างดิน ที่ดำเนินการเก็บตัวอย่างใน ปี พ.ศ.2560

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลตามตัวชี้วัด LDN

การประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) ในพื้นที่เกษตรตรรม จังหวัดสระบุรี เป็นการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัด โดยมีการกำหนดช่วงเวลาในการดำเนินงานตั้งแต่ ปี พ.ศ.2560 ถึง ปี พ.ศ.2563 แบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น 3 ขั้นตอน ตามตัวชี้วัดที่กำหนดในการดำเนินงาน ดังนี้

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change)

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change) ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และการแปลภาพถ่ายดาวเทียม จำแนกประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ด้วยโปรแกรมทางภูมิศาสตร์สารสนเทศ (ArcMap version 10.7) เพื่อเปรียบเทียบหาการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษาตามช่วงเวลาที่กำหนด คือ ปี พ.ศ.2560 และ พ.ศ. 2563 โดยใช้พื้นที่สีเขียว คือ พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม เป็นตัวชี้วัด ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน หากพบว่ามีพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้นแสดงว่าที่ดินดังกล่าวไม่เสื่อมโทรม แต่หากพื้นที่สีเขียวลดลงแสดงว่าดินบริเวณดังกล่าวอาจเผชิญกับปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change)

การวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change) ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เพื่อทำการวิเคราะห์ผลิตภาพของดิน ด้วยค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) ระหว่าง ปี พ.ศ.2560 และ ปี พ.ศ.2563 ข้อมูลที่ใช้ในแต่ละช่วงปี จะใช้ข้อมูลในช่วงฤดูแล้ง (ช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึงเมษายน) และฤดูฝน (ช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม) เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ArcMap version 10.7 โดยที่ NDVI สามารถคำนวณได้ตามสมการต่อไปนี้ (แสงประดิษฐ์, 2560)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$$

โดยที่ NDVI = ค่าดัชนีพืชพรรณ

NIR = การสะท้อนในช่วงคลื่นใกล้อินฟาเรด

RED = การสะท้อนในช่วงคลื่นตามองเห็นสีแดง

ผลลัพธ์ที่ได้จากสมการข้างต้น มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ค่าที่เข้าใกล้ 1 แสดงว่ามีพืชพรรณปกคลุมบริเวณดังกล่าวสูง หากค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่าพืชพรรณที่ปกคลุมบริเวณดังกล่าวมีปริมาณน้อย แต่หากค่าติดลบ แสดงว่าบริเวณดังกล่าวเป็นพื้นผิวน้ำ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (Land productivity) ซึ่งสามารถคำนวนการเปลี่ยนได้จากสมการ ดังนี้

$$\mathbf{NDVI_{ch} = NDVI_{2563} - NDVI_{2560}}$$

โดยที่ $NDVI_{ch}$ = ค่าการเปลี่ยนแปลงดัชนีพืชพรรณ

$NDVI_{2563}$ = ค่าดัชนีพืชพรรณจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียวปี พ.ศ.2563

$NDVI_{2560}$ = ค่าดัชนีพืชพรรณจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียวปี พ.ศ.2560

หากค่าที่ได้จากการวิเคราะห์มีผลลัพธ์เป็นบวกแสดงว่าพื้นที่ดังกล่าวมีผลิตภาพของดินเพิ่มขึ้น แต่ถ้าค่าติดลบแสดงว่าพื้นที่ดังกล่าวมีผลิตภาพของดินลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน

3.3.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC

การวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC ดำเนินการโดยการเปรียบเทียบค่าปริมาณ SOC จากข้อมูล ประจำปี พ.ศ. 2560 ของกรมพัฒนาที่ดิน และข้อมูลที่ได้จากการออกภาคสนามเก็บตัวอย่างดินในปี พ.ศ.2563 ของงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งการคำนวนเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC แบ่งออกเป็น 2 วิธี

- การเปรียบเทียบตามตำแหน่ง (collocated site) เป็นวิธีการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณ SOC ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง ปี พ.ศ. 2563 โดยการหาผลต่างแต่ละตำแหน่งเก็บตัวอย่าง จากนั้นนำค่าทั้งหมดหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าเฉลี่ยที่ได้ระบุถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) บริเวณพื้นที่ศึกษา
- การประมาณค่าช่วง (interpolation) เป็นการเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณ SOC ระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง ปี พ.ศ. 2563

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดยทั่วไปการประมาณค่าช่วงมี 2 รูปแบบหลัก คือ deterministic interpolation และ geostatistic interpolation ซึ่งแบบ determisnistic ใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณค่าในตำแหน่งที่ไม่ทราบค่าด้วยความสัมพันธ์ของตำแหน่งข้อมูลใกล้เคียงรอบข้างในการสร้างพื้นผิว จุดที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่ต้องการแทรกค่า จะมีน้ำหนักมากกว่าจุดที่อยู่ห่างไกลออกไป เช่น วิธี inverse distance weighted (IDW) ส่วนแบบ geostatistic ใช้สมการทางคณิตศาสตร์ร่วมกับทางสถิติร่วมกันในการประมาณค่า โดยสันนิษฐานว่าระยะทางและทิศทางมีผลต่อข้อมูลที่มี เช่น วิธี kriging การแทรกค่าด้วยวิธีนี้ประกอบด้วยการทำงานหลายขั้นตอน เริ่มจากการสำรวจวิเคราะห์ค่าทางสถิติของข้อมูล สร้างแบบจำลอง variogram และขั้นตอนสุดท้ายคือสร้างพื้นผิว นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบความแปรปรวนของพื้นผิวได้ด้วย วิธีนี้ส่วนใหญ่ใช้ในการศึกษาด้านธรณีวิทยาและปฐพีวิทยา

งานวิจัยนี้ประมาณค่าช่วงข้อมูล SOC ของปี พ.ศ. 2563 และปี พ.ศ.2560 ด้วยวิธี ordinary kriging หลังจากนั้นตัดพื้นที่ที่มีค่าความแปรปรวนสูงออกเพื่อลดค่าความผิดพลาดจากขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง จากนั้นคำนวณหาผลต่างของ SOC ระหว่างช่วงปีที่กำหนด ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงแผนที่และค่าการเปลี่ยนแปลง SOC

3.3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล ที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวชี้วัด ทั้ง 3 ตัวชี้วัด จะใช้วิธีการตรวจสอบความถูกต้องแบบ Field validation และ Split validation

- ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะใช้การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบบ Field validation คือการกำหนดจุดตัวอย่างเพื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องในแต่ละตำแหน่ง โดยที่การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน จะกำหนดจุดตัวอย่างเพื่อดำเนินการตรวจสอบในการดำเนินภาคสนาม เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากการแปลภาพถ่ายดาวเทียม
- ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณ SOC ใช้การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลแบบ split validation คือ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ Training data set (70% ของข้อมูลทั้งหมด) และ Testing data set (30% ของข้อมูลทั้งหมด) จากนั้นใช้ชุดตัวอย่าง Training data สร้างโมเดลคำนวนปริมาณ SOC เชิงพื้นที่ ด้วยโปรแกรม ArcMap แล้วใช้ชุดตัวอย่าง Testing data ทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล เมทริกซ์ที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของโมเดล คือ ค่า R^2 ใช้ประเมินความสมรูปของโมเดล (goodness of fit) ค่า mean absolute error (MAE) และ root mean square error (RMSE) ใช้สำหรับประเมินค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการสร้างโมเดลเชิงพื้นที่ หากค่า MAE และ RMSE เข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าการทำนายของโมเดลมีความน่าเชื่อถือ ค่า ratio of performance to interquartile distance (RPIQ) ใช้ในการประเมินความสามารถในการใช้โมเดลในการแปลผล (Zhang et al., 2020)

โดยที่ MAE RMSE และ RPIQ สามารถคำนวนได้จากสมการ ดังนี้

$$\text{MAE}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[|Z^*(X_i)-Z(X_i)|]$$

$$\text{RMSE}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}[Z^*(X_i)-Z(X_i)]^2}$$

โดยที่ MAE = ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อน

RMSE = รากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

$Z^*(X_i)$ = ค่าที่ได้จากการคำนวน ในตำแหน่ง X_i

$Z(X_i)$ = ค่าที่อ่านได้ ในตำแหน่ง X_i

n = จำนวนตัวอย่าง

$$RPIQ = \frac{IQ}{RMSE}$$

โดยที่ RPIQ = สัดสวนของคาเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุมทดสอบสมการ

IQ = ค่าความแตกต่างระหว่าง ควอร์ไทล์ที่ 1 และ 3 ของการกระจายข้อมูล

RMSE = รากที่สองของค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนกำลังสอง

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนา (descriptive statistics) โดยแสดงเป็นค่าเฉลี่ยและร้อยละของตัวชี้วัด และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุมาน (inferential statistics) เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัด ในสองช่วงเวลา จำแนกตามอำเภอ

สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดระหว่างสองปี คือ paired sample t-test และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) ร่วมกับสถิติ Tukey-Kramer สำหรับวิเคราะห์ค่าความแตกต่างของ SOC เป็นรายคู่อำเภอในแต่ละปี การทดสอบสมมติฐานทั้งหมดใช้ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังนั้น จะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ (p-value) มีค่าน้อยกว่า 0.05 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรม R 4.0.3

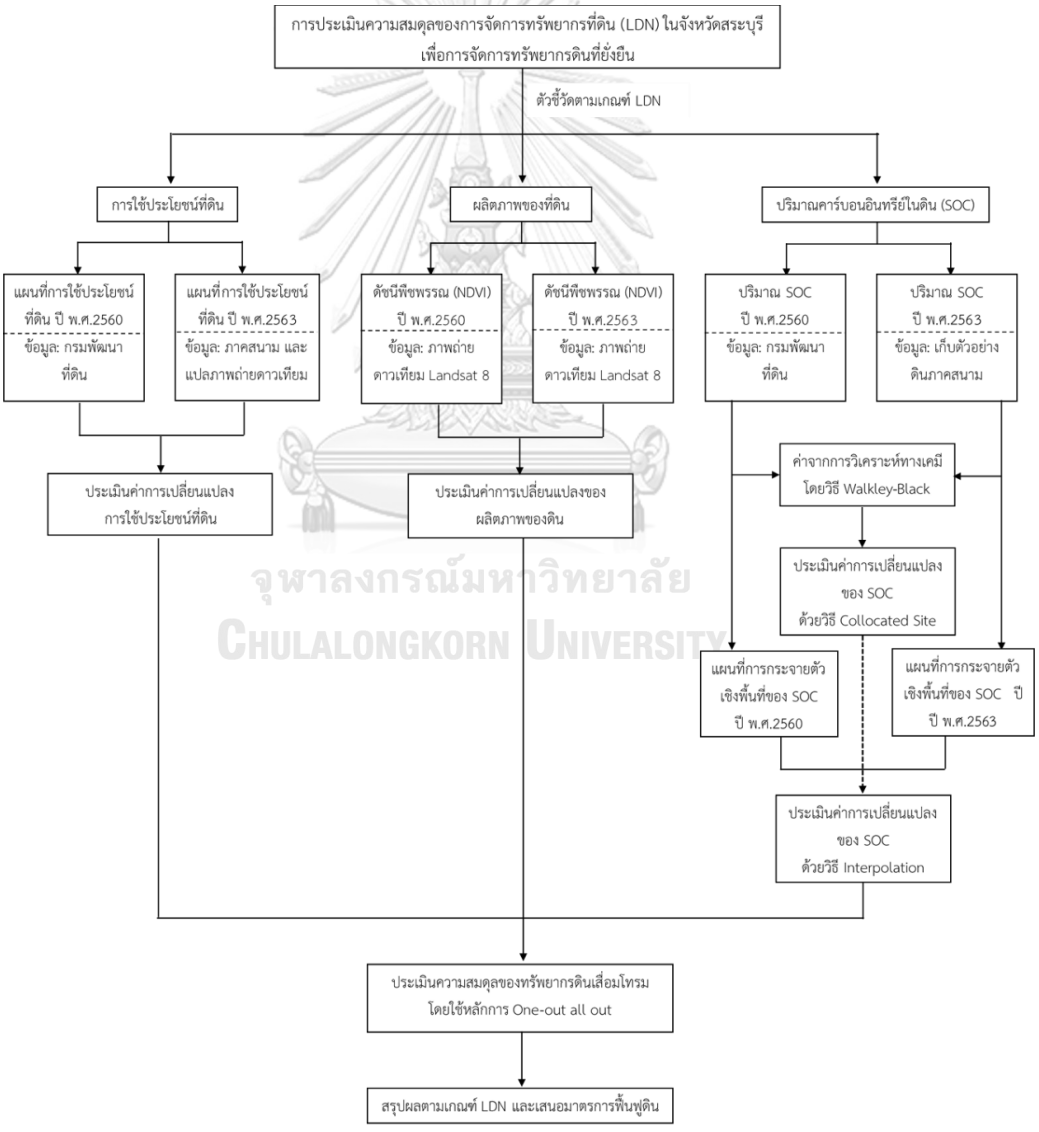
3.5 การประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม

การตีความความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน จากตัวชี้วัด LDN พร้อมระบุทิศทางการเปลี่ยนแปลง ใช้หลักการ One-out all out กล่าวคือ หากตัวชี้วัดที่กำหนดในการดำเนินงานประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change) การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change) และ การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) ตัวใดมีการเปลี่ยนแปลงเชิงลบ หรือเกิดการสูญเสียในเชิงพื้นที่ แสดงว่าพื้นที่ดังกล่าวประสบปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน (Speranza et al., 2019)

นำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการประเมินสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน มาสรุปผลการดำเนินงาน และนำเสนอมาตรการเพื่อฟื้นฟูสภาพความเสื่อมโทรมของดินบริเวณพื้นที่ศึกษา ให้อยู่ในสภาพที่สมบูรณ์เหมาะแก่การใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และตอบสนองต่อเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

3.6 กรอบแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัย

รูปที่ 3.2 แสดงกรอบแนวคิดของงานวิจัย และทิศทางการดำเนินงานอย่างเป็นระบบ เริ่มตั้งแต่การวางแผนกำหนดตัวชี้วัด วิธีการดำเนินงานวิจัยสำหรับตัวชี้วัด LDN จนถึงการการตีความและสรุปผล



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ *3.2* กรอบแนวคิดและวิธีดำเนินการวิจัย

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษา

งานวิจัยการประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน หรือ LDN ในพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี เพื่อการจัดการทรัพยากรดินที่ยั่งยืน ได้กำหนดตัวชี้วัดในการดำเนินงาน 3 ตัวชี้วัด ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change) การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) โดยผลที่ได้จากการดำเนินงานสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยใช้การแปลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 จำแนกประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของการใช้ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษาตามช่วงเวลาที่กำหนด คือ ปี พ.ศ.2560 และ พ.ศ.2563 ซึ่งสามารถจำแนกประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษาออกเป็น 5 ประเภท แสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ *4.1* ตารางแสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การใช้ประโยชน์ที่ดิน	พ.ศ. 2560		พ.ศ. 2563	
	ตร.กม.	ร้อยละ	ตร.กม.	ร้อยละ
เกษตรกรรม	2,139.55	61.39	2,237.75	64.21
ป่าไม้	1,029.15	29.53	883.96	25.36
พื้นที่ว่างเปล่า	19.11	0.55	19.01	0.55
ชุมชน สิ่งปลูกสร้าง	262.36	7.53	307.15	8.81
แหล่งน้ำ	34.84	1.00	37.11	1.06
รวม	3,484.99	100.00	3,484.98	100.00

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสระบุรีเป็นพื้นที่เกษตรกรรม รองลงมาได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง ตามลำดับ

พื้นที่เกษตรกรรมในปี พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ประมาณ 2,237.75 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 65.21 ของพื้นที่ทั้งหมดในจังหวัดสระบุรี เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 ที่มีเนื้อที่ประมาณ 2,139.55 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 61.39 ของพื้นที่ ส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอมวกเหล็ก อำเภอแก่งคอย และอำเภอหนองแค ตามลำดับ

พื้นที่ป่าไม้ ในปี พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ประมาณ 883.96 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 25.36 ของพื้นที่ทั้งหมดในจังหวัดสระบุรี ลดลงจากปี พ.ศ. 2560 ที่มีเนื้อที่ประมาณ 1,029.15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 29.53 ของพื้นที่ พื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอแก่งคอย อำเภอมวกเหล็ก และอำเภอวังม่วง ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินพบว่า พื้นที่ป่าไม้ส่วนใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ในขณะที่พื้นที่ชุมชน สิ่งปลูกสร้าง ในปี พ.ศ. 2563 มีเนื้อที่ประมาณ 307.15 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 8.81 ของพื้นที่ทั้งหมดในจังหวัดสระบุรี เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2560 ที่มีเนื้อที่ประมาณ 262.36 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.53 ของพื้นที่ ส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอแก่งคอย อำเภอหนองแค และอำเภอเมืองสระบุรี ตามลำดับ การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณพื้นที่ศึกษา รายอำเภอ แสดงดังตารางที่ 4.2

ในขั้นตอนการวิเคราะห์ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของ LDN ในงานวิจัยนี้กำหนดให้พื้นที่สีเขียว ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้ เป็นเกณฑ์ในการดำเนินงาน จากการศึกษา ในปี พ.ศ. 2563 จังหวัดสระบุรี มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 3,121.70 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 89.58 ของพื้นที่ทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกับ ปี พ.ศ. 2560 มีพื้นที่สีเขียวประมาณ 3,168.69 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 90.92 ของพื้นที่ พื้นที่สีเขียวบริเวณพื้นที่ศึกษาลดลงเฉลี่ย 46.99 ตารางกิโลเมตร โดยลดลงมากที่สุดใน อำเภอมวกเหล็ก อำเภอแก่งคอย และอำเภอเสาไห้ตามลำดับ จากข้อมูลพบว่าพื้นที่สีเขียวเปลี่ยนเป็นพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้างมากขึ้น และจากการวิเคราะห์ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่ามีเพียง 5 อำเภอ จากทั้งหมด 13 อำเภอ ในพื้นที่จังหวัดสระบุรี ประกอบด้วย อำเภอหนองแค อำเภอบ้านหมอ อำเภอดอนพุด อำเภอพระพุทธบาท และอำเภอวังม่วง ที่มีพื้นที่สีเขียวเพิ่มขึ้น ซึ่งพื้นที่สีเขียวที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดดังกล่าว เป็นการขยายตัวของพื้นที่เกษตรกรรม แสดงดังตารางที่ 4.3

อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบโดยใช้สถิติ paired sample t-test รายอำเภอ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่น 95% โดยภาพรวมพบว่าค่าเฉลี่ยพื้นที่สีเขียวในสองช่วงปีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p-value = 0.13)

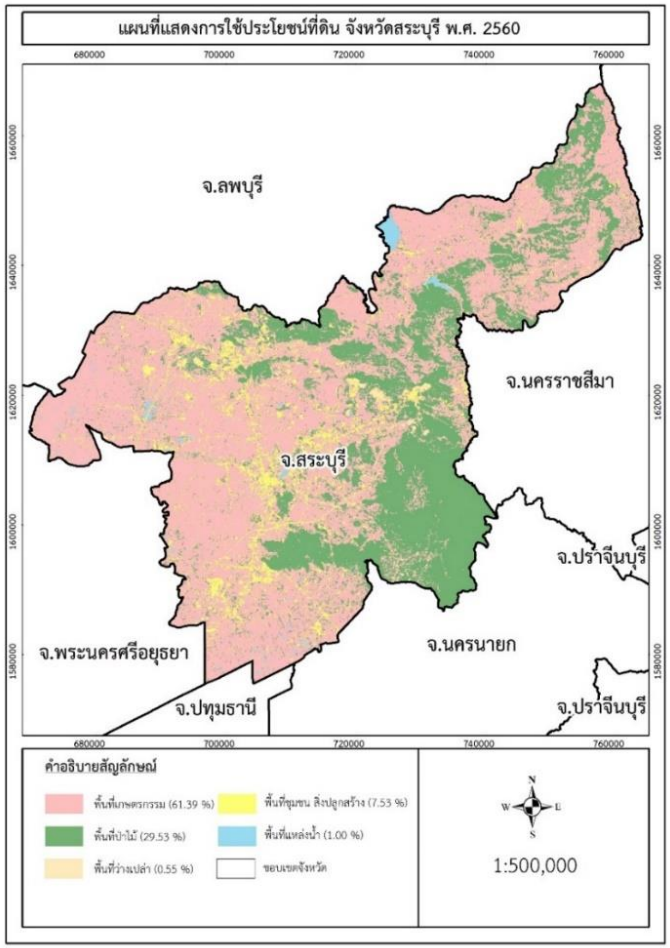
ตารางที่ *4.2* ตารางแสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี รายอำเภอ ปี พ.ศ.2560 และ พ.ศ.2563

	2560 (ตร.กม.)						2563 (ตร.กม.)					
	เกษตรกรรม	ป่าไม้	พื้นที่ว่างเปล่า	ชุมชน สิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	รวม	เกษตรกรรม	ป่าไม้	พื้นที่ว่างเปล่า	ชุมชน สิ่งปลูกสร้าง	แหล่งน้ำ	รวม
อำเภอเมืองสระบุรี	108.54	37.31	1.26	31.90	1.69	180.70	107.85	36.11	0.54	32.84	3.37	180.70
อำเภอแก่งคอย	317.13	392.11	10.06	49.33	1.22	769.84	369.42	326.90	5.28	64.47	3.76	769.83
อำเภอหนองแค	231.85	32.74	1.55	39.57	2.11	307.81	236.58	29.02	0.75	38.11	3.34	307.81
อำเภอวิหารแดง	128.55	38.05	0.16	14.05	3.40	184.22	132.63	33.33	0.27	14.36	3.62	184.21
อำเภอหนองแซง	78.95	2.06	0.02	3.93	0.41	85.36	80.28	0.24	0.01	4.63	0.20	85.36
อำเภอบ้านหมอ	120.61	6.26	0.06	9.84	2.73	139.49	126.01	1.61	0.22	8.72	2.93	139.50
อำเภอดอนพุด	52.57	0.75	0.00	1.56	2.34	57.22	54.34	0.58	0.13	1.63	0.56	57.23
อำเภอหนองโดน	119.85	5.14	0.31	6.91	1.67	133.86	121.21	3.41	0.37	7.42	1.47	133.88
อำเภอพระพุทธบาท	171.25	34.00	1.29	30.65	1.92	239.11	171.99	34.61	3.07	27.22	2.22	239.11
อำเภอเสาไห้	103.62	3.29	0.08	10.96	1.39	119.34	95.43	1.28	0.25	20.00	2.39	119.34
อำเภอมวกเหล็ก	413.59	374.69	2.98	25.07	0.51	816.84	443.80	319.13	6.24	46.46	1.20	816.83
อำเภอวังม่วง	185.66	64.99	0.11	10.71	14.73	276.20	191.32	60.60	0.46	13.11	10.73	276.21
อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	107.38	37.76	1.23	27.88	0.73	174.98	106.88	37.14	1.44	28.18	1.34	174.98
รวม	2139.55	1029.15	19.11	262.36	34.84	3484.99	2237.75	883.96	19.01	307.15	37.11	3484.98

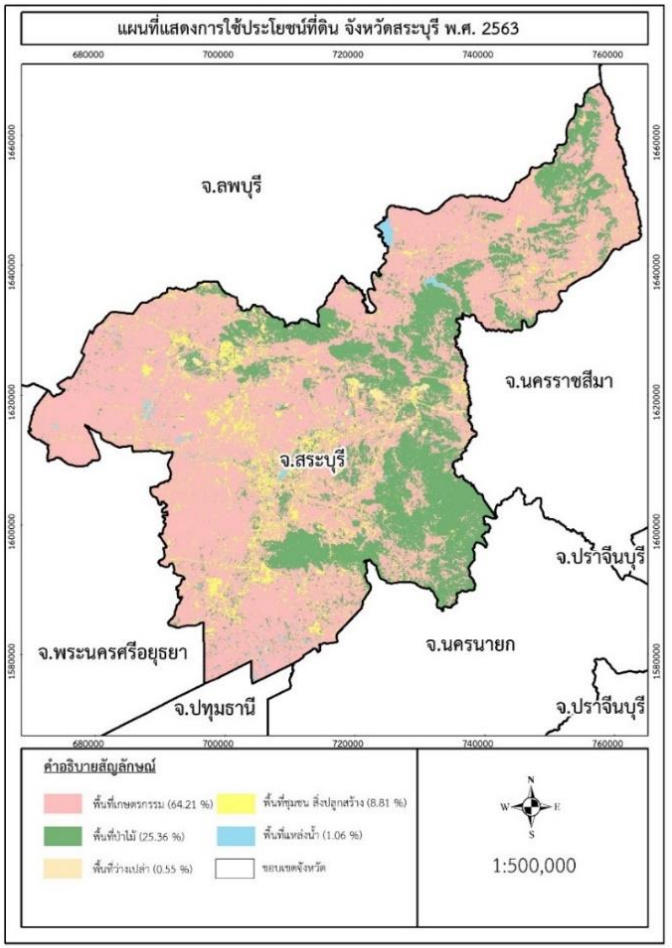
ตารางที่ *4.3* ตารางแสดงการเปรียบเทียบพื้นที่สีเขียว จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563

	2560 (ตร.กม.)			2563 (ตร.กม.)			การเปลี่ยนแปลง (ตร.กม.)
	เกษตรกรรม	ป่าไม้	รวม	เกษตรกรรม	ป่าไม้	รวม	
อำเภอเมืองสระบุรี	108.54	37.31	145.85	107.85	36.11	143.96	-1.90
อำเภอแก่งคอย	317.13	392.11	709.24	369.42	326.90	696.32	-12.92
อำเภอหนองแค	231.85	32.74	264.59	236.58	29.02	265.61	1.02
อำเภอวิหารแดง	128.55	38.05	166.60	132.63	33.33	165.96	-0.64
อำเภอหนองแซง	78.95	2.06	81.01	80.28	0.24	80.52	-0.49
อำเภอบ้านหมอ	120.61	6.26	126.86	126.01	1.61	127.63	0.76
อำเภอดอนพุด	52.57	0.75	53.32	54.34	0.58	54.92	1.60
อำเภอหนองโดน	119.85	5.14	124.98	121.21	3.41	124.62	-0.36
อำเภอพระพุทธบาท	171.25	34.00	205.25	171.99	34.61	206.60	1.35
อำเภอเสาไห้	103.62	3.29	106.91	95.43	1.28	96.71	-10.21
อำเภอมวกเหล็ก	413.59	374.69	788.28	443.80	319.13	762.93	-25.35
อำเภอวังม่วง	185.66	64.99	250.65	191.32	60.60	251.92	1.27
อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	107.38	37.76	145.14	106.88	37.14	144.02	-1.12
รวม	2139.55	1029.15	3168.69	2237.75	883.96	3121.70	-46.99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



ก) แผนที่แสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560



ข) แผนที่แสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563

รูปที่ *4.1* แผนที่แสดงการจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563

4.1.2 การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change)

การวิเคราะห์ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 คำนวนค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระหว่าง ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563 ดำเนินการโดยอาศัยการคำนวณแต่ละเดือนภายในปีที่กำหนด จากนั้นนำค่าที่ได้คำนวณเป็นค่า NDVI เฉลี่ยรายปี จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าค่า NDVI เฉลี่ยรายปีของช่วงเวลาที่กำหนด มีค่าไม่แตกต่างกันโดยที่ค่า NDVI เฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2560 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.58 และค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.22 ขณะที่ค่า NDVI เฉลี่ยรายปี พ.ศ. 2563 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.58 และค่าต่ำสุดเท่ากับ -0.23 แสดงดังรูปที่ 4.2 – 4.3

ผลการวิเคราะห์สามารถจำแนกค่า NDVI บริเวณพื้นที่ศึกษาออกเป็น 4 กลุ่ม แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับการจำแนกค่า NDVI ของสารสนเทศอุตุนิยมวิทยาเกษตร (2558) กล่าวคือมีการจำแนกค่า NDVI 4 กลุ่มโดยที่พื้นที่เกษตรกรรมจะมีค่า NDVI ตั้งแต่ 0.2 ขึ้นไป

ตารางที่ *4.4* ตารางแสดงการจำแนกค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี

ค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI)	ลักษณะพื้นที่
< 0	แหล่งน้ำ
0 - 0.2	ที่พักอาศัย พื้นที่ว่างเปล่า
0.2 - 0.4	พื้นที่เกษตรกรรม
> 0.4	พื้นที่ป่าไม้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.4 พบว่าพื้นที่ที่มีค่า NDVI มากกว่า 0.2 ขึ้นไป ได้แก่ พื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่ป่าไม้ ในเขตพื้นที่จังหวัดสระบุรี มีขนาดพื้นที่เพิ่มขึ้นในทุกเขตอำเภอ โดย ปี พ.ศ. 2563 มีพื้นที่ประมาณ 3,242.55 ตารางกิโลเมตร ในขณะที่ ปี พ.ศ. 2560 มีพื้นที่ประมาณ 3,136.67 ตารางกิโลเมตร เพิ่มขึ้นจากเดิม 105.88 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขตอำเภอพระพุทธบาทรองลงมา ได้แก่ อำเภอเสาไห้ และอำเภอมวกเหล็ก ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.5

จากการทดสอบโดยใช้สถิติ paired sample t-test รายอำเภอ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 หรือระดับความเชื่อมั่น 95% โดยภาพรวมพบว่าค่าเฉลี่ยดัชนีพืชพรรณประเภทพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ระหว่างสองช่วงปีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.003) และเมื่อทดสอบสมมติฐานแบบทางเดียว (one-tailed test) พบว่า NDVI ประเภทพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p-value = 0.001)

เมื่อทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดผลิตภาพของที่ดิน ภายในช่วงเวลาที่กำหนด คือ ปี พ.ศ. 2560 และพ.ศ. 2563 พบว่าค่า NDVI เฉลี่ยรายอำเภอส่วนใหญ่บริเวณพื้นที่ศึกษามีค่าเพิ่มมากขึ้น มีเพียง 3 อำเภอ ที่มีค่าเฉลี่ยลดลง ได้แก่ อำเภอหนองแค อำเภอบ้านหมอ และอำเภอหนองโดน

พื้นที่ที่มีค่า NDVI เพิ่มมากขึ้น คิดเป็นพื้นที่ประมาณ 2,284 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 65.5 ของพื้นที่ทั้งหมด โดยเพิ่มมากสุดในเขตอำเภอมวกเหล็ก รองลงมา ได้แก่ อำเภอแก่งคอย และอำเภอพระพุทธบาท ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ที่มีค่า NDVI ลดลง มีพื้นที่ประมาณ 1,202.81 ตารางกิโลเมตร หรือร้อยละ 34.5 ของพื้นที่ทั้งหมด ลดลงมากสุดในเขตอำเภอมวกเหล็ก รองลงมา ได้แก่ อำเภอแก่งคอย และอำเภอหนองแค ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ *4.5* ตารางแสดงการเปรียบเทียบค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI*)* ประเภทพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563

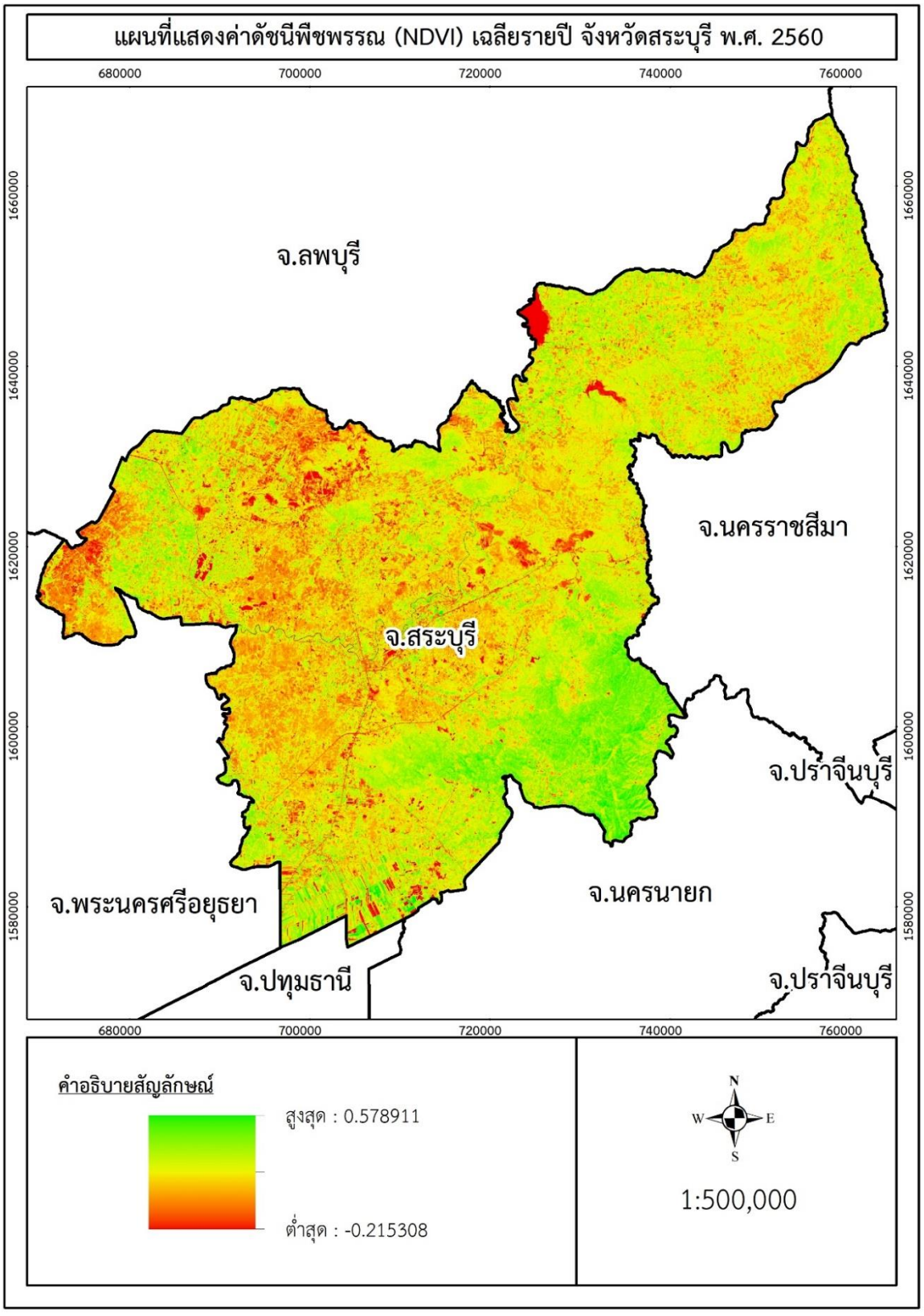
	NDVI > 0.2		การเปลี่ยนแปลง (ตร.กม.)
	2560 (ตร.กม.)	2563 (ตร.กม.)	
อำเภอเมืองสระบุรี	158.48	161.81	3.33
อำเภอแก่งคอย	715.01	722.78	7.77
อำเภอหนองแค	278.36	280.04	1.68
อำเภอวิหารแดง	170.29	170.39	0.10
อำเภอหนองแซง	75.95	83.92	7.97
อำเภอบ้านหมอ	126.65	128.20	1.55
อำเภอดอนพุด	31.75	37.27	5.52
อำเภอหนองโดน	113.60	119.30	5.70
อำเภอพระพุทธบาท	187.46	217.90	30.43
อำเภอเสาไห้	97.10	112.03	14.93
อำเภอมวกเหล็ก	787.43	798.97	11.54
อำเภอวังม่วง	249.15	255.92	6.77
อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	145.44	154.03	8.60
รวม	3,136.67	3,242.55	105.88

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

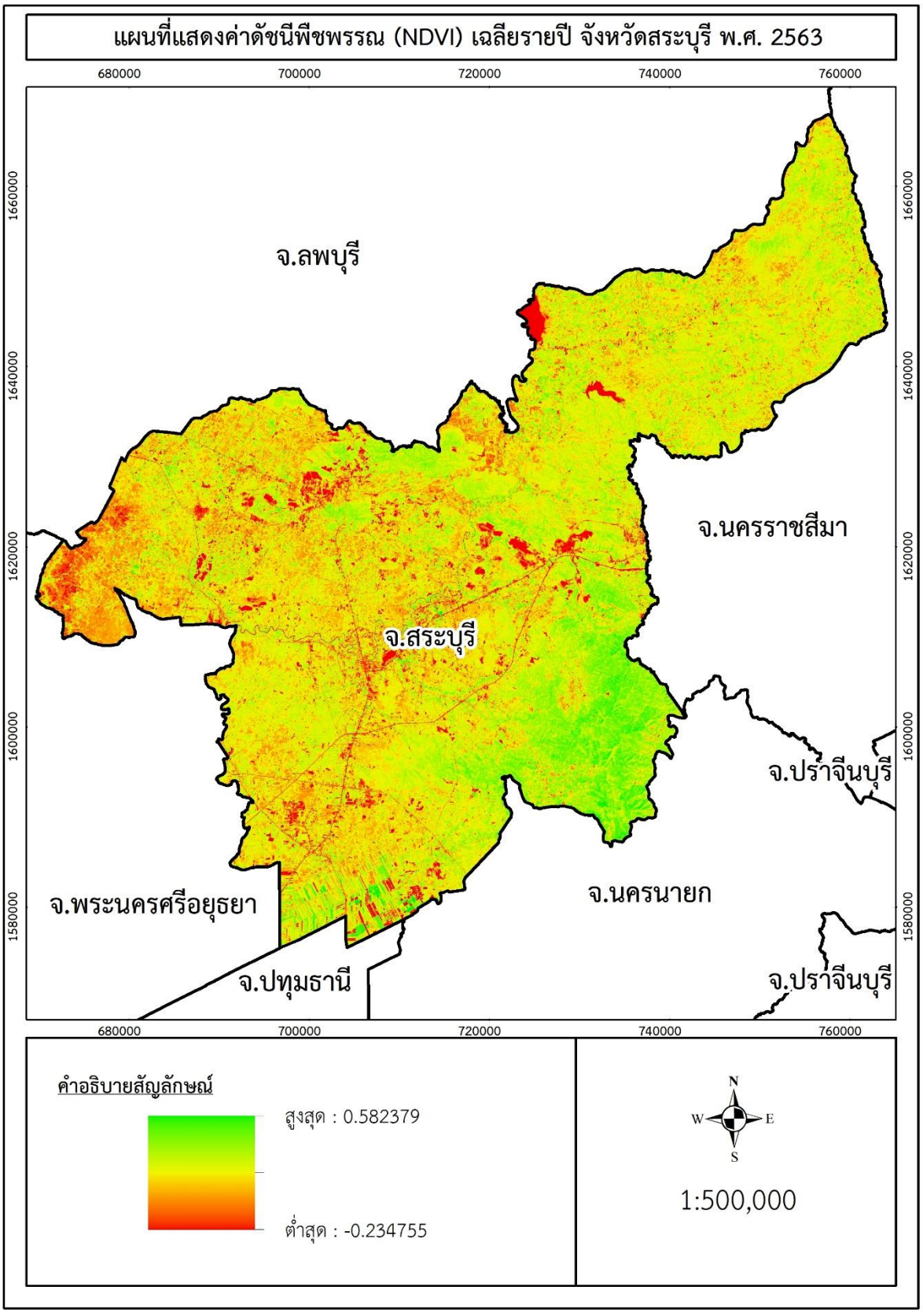
ตารางที่ *4.6* ตารางแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี ระหว่าง ปี พ.ศ. 2560 ถึงพ.ศ. 2563

	ค่าเฉลี่ย NDVI		การเปลี่ยนแปลง	การเปลี่ยนแปลงค่า NDVI	
	พ.ศ. 2560	พ.ศ. 2563		ลดลง (ตร.กม.)	เพิ่มขึ้น (ตร.กม.)
อำเภอเมืองสระบุรี	0.27	0.29	0.02	67.76	112.94
อำเภอแก่งคอย	0.31	0.32	0.01	219.55	550.47
อำเภอหนองแค	0.29	0.287	-0.003	172.96	134.98
อำเภอวิหารแดง	0.31	0.31	0.00	87.11	97.39
อำเภอหนองแซง	0.25	0.30	0.05	10.61	74.76
อำเภอบ้านหมอ	0.29	0.27	-0.02	76.38	63.24
อำเภอดอนพุด	0.22	0.23	0.01	25.68	31.57
อำเภอหนองโดน	0.28	0.27	-0.01	69.68	64.19
อำเภอพระพุทธบาท	0.25	0.28	0.03	55.79	183.38
อำเภอเสาไห้	0.24	0.28	0.04	25.48	93.86
อำเภอมวกเหล็ก	0.30	0.32	0.02	230.24	587.59
อำเภอวังม่วง	0.28	0.29	0.01	117.80	158.40
อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	0.26	0.28	0.02	43.76	131.23
	รวม			1,202.81	2,284.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ *4.2* แผนที่แสดงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560



รูปที่ *4.3* แผนที่แสดงค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563

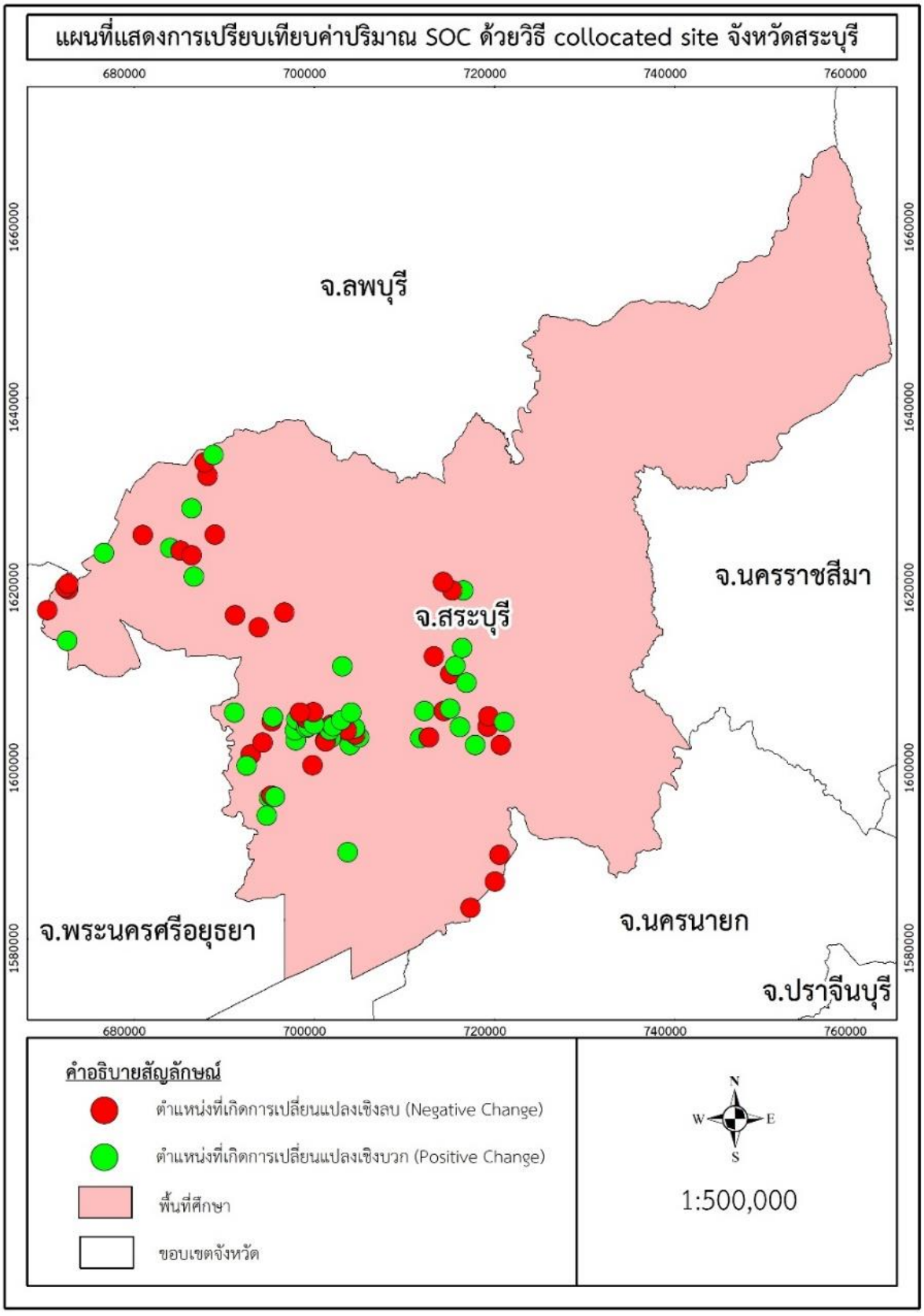
4.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC)

การเปรียบเทียบตามตำแหน่งเดิม (collocated site) จากการออกภาคสนามเก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ศึกษา มีการเก็บตัวอย่างซ้ำ ตำแหน่งเก็บตัวอย่างดินตามฐานข้อมูลจากกรมพัฒนาที่ดิน ปี พ.ศ.2560 ทั้งหมด 78 ตำแหน่ง หลังจากวิเคราะห์ตัวอย่างดินที่ได้จากการออกภาคสนามในห้องปฏิบัติการ โดยใช้กระบวนการ Walkley-Black พบว่าปริมาณ SOC จากตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ศึกษา 39 ตัวอย่าง เปลี่ยนแปลงเชิงลบ จากทั้งหมด 78 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 50 ของตัวอย่างดินทั้งหมด ค่าเฉลี่ยที่คำนวนจากการเปลี่ยนแปลง ในช่วงเวลาที่กำหนดเท่ากับ -0.2 % ซึ่งค่าเฉลี่ยดังกล่าวเป็นตัวระบุทิศทางการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SOC บริเวณพื้นที่ศึกษา แสดงดังรูปที่ 4.4 อย่างไรก็ตาม ผลจากการทดสอบสถิติด้วย paired t-test ไม่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ SOC ระหว่างสองช่วงปีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value = 0.84)

เนื่องจากงานวิจัยนี้ ดำเนินการเก็บตัวอย่างดินในเดือนสิงหาคม เป็นช่วงเวลาที่เกษตรกร ในจังหวัดสระบุรี เริ่มมีการปลูกข้าว ซึ่งในบางพื้นที่มีการใส่ปุ๋ยในพื้นที่นาข้าว จึงอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ SOC ในปี พ.ศ. 2563 โดยค่าที่ได้อาจจะมีปริมาณ SOC สูง หรือต่ำกว่าค่าความเป็นจริง

เมื่อพิจารณาความแตกต่างของปริมาณ SOC จำแนกตามอำเภอด้วย One-way ANOVA - Tukey test พบว่าในปี พ.ศ.2563 มีอำเภออย่างน้อย 1 อำเภอที่มีปริมาณเฉลี่ย SOC ที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p-value < 0.0001) จากการวิเคราะห์เพิ่มเติมพบว่าปริมาณ SOC ในอำเภอแก่งคอยน้อยกว่า 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมือง อำเภอหนองโดน อำเภอหนองแซง และอำเภอพระพุทธบาท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้อำเภอวิหารแดงมีปริมาณ SOC น้อยกว่า อำเภอหนองโดน และอำเภอพระพุทธบาท อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน

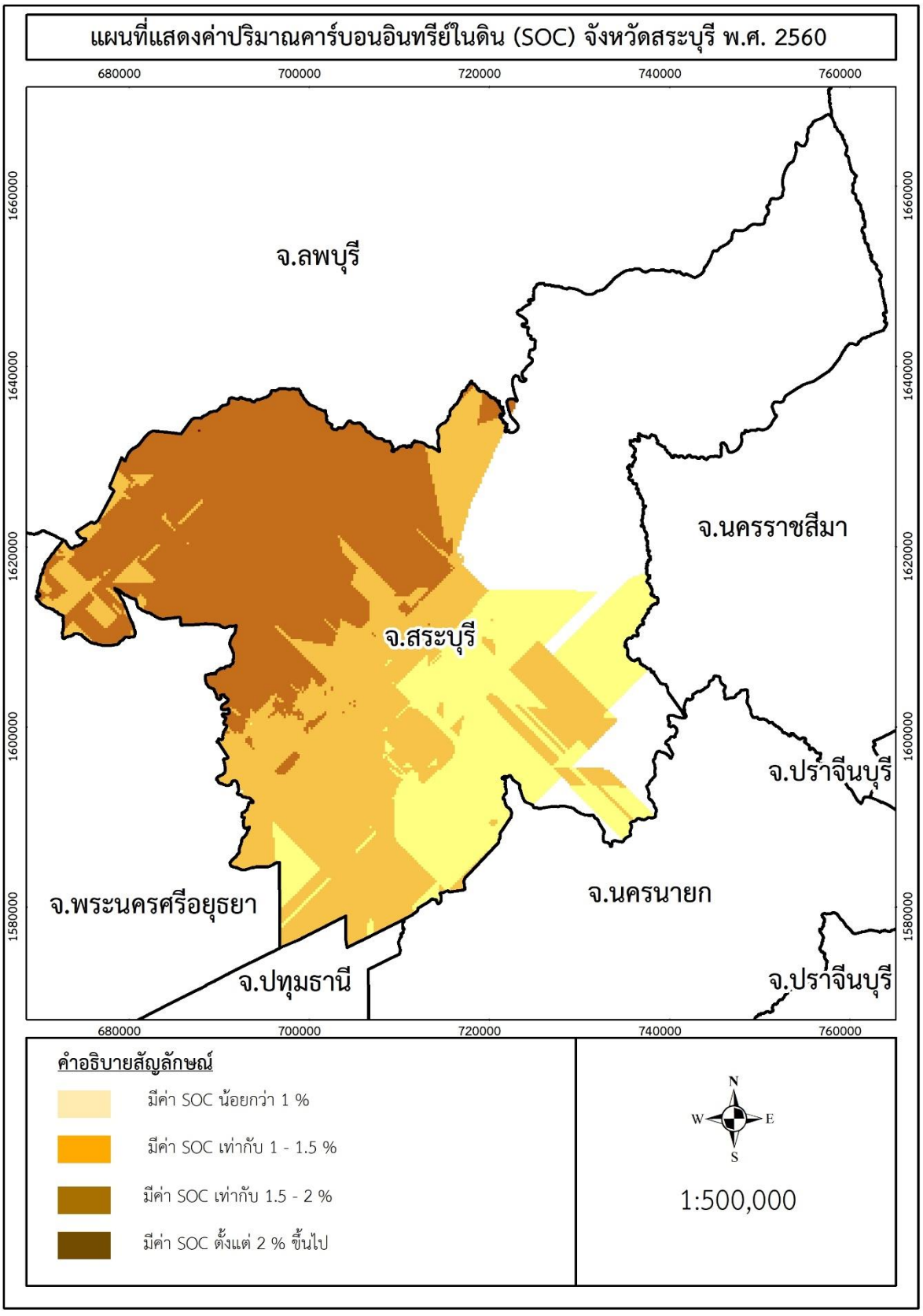
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



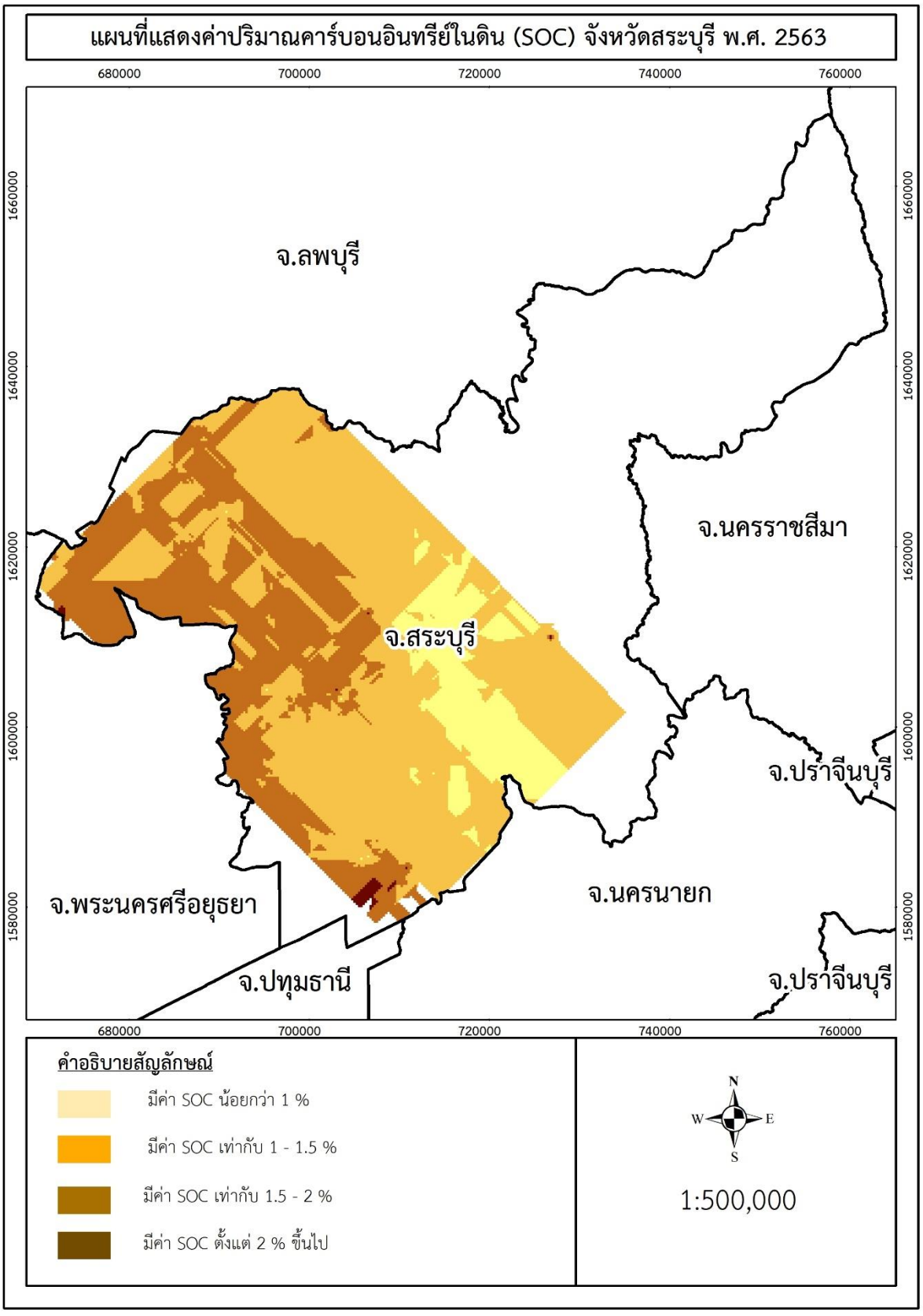
รูปที่ 4.4 แผนที่แสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณ SOC ด้วยวิธี collocated site จังหวัดสระบุรี

การประมาณค่าช่วง (interpolation) จากการรวบรวมข้อมูลตัวอย่างดินปี พ.ศ. 2560 จากกรมพัฒนาที่ดิน จำนวน 169 จุด และข้อมูลตัวอย่างดินปี พ.ศ. 2563 จากการออกภาคสนามเก็บตัวอย่าง จำนวน 136 จุด และดำเนินการคำนวนปริมาณ SOC เชิงพื้นที่ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ศึกษาทั้งหมด โดยใช้เครื่องมือ Ordinary kriging จากโปรแกรม ArcMap version 10.7 พบว่าในปี พ.ศ. 2560 ค่า SOC บริเวณพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.33% โดยที่ค่าสูงสุดเท่ากับ 2.11% และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.50% ในขณะที่ พ.ศ. 2563 ค่า SOC บริเวณพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.32% โดยที่ค่าสูงสุดเท่ากับ 2.54% และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.27% แสดงดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

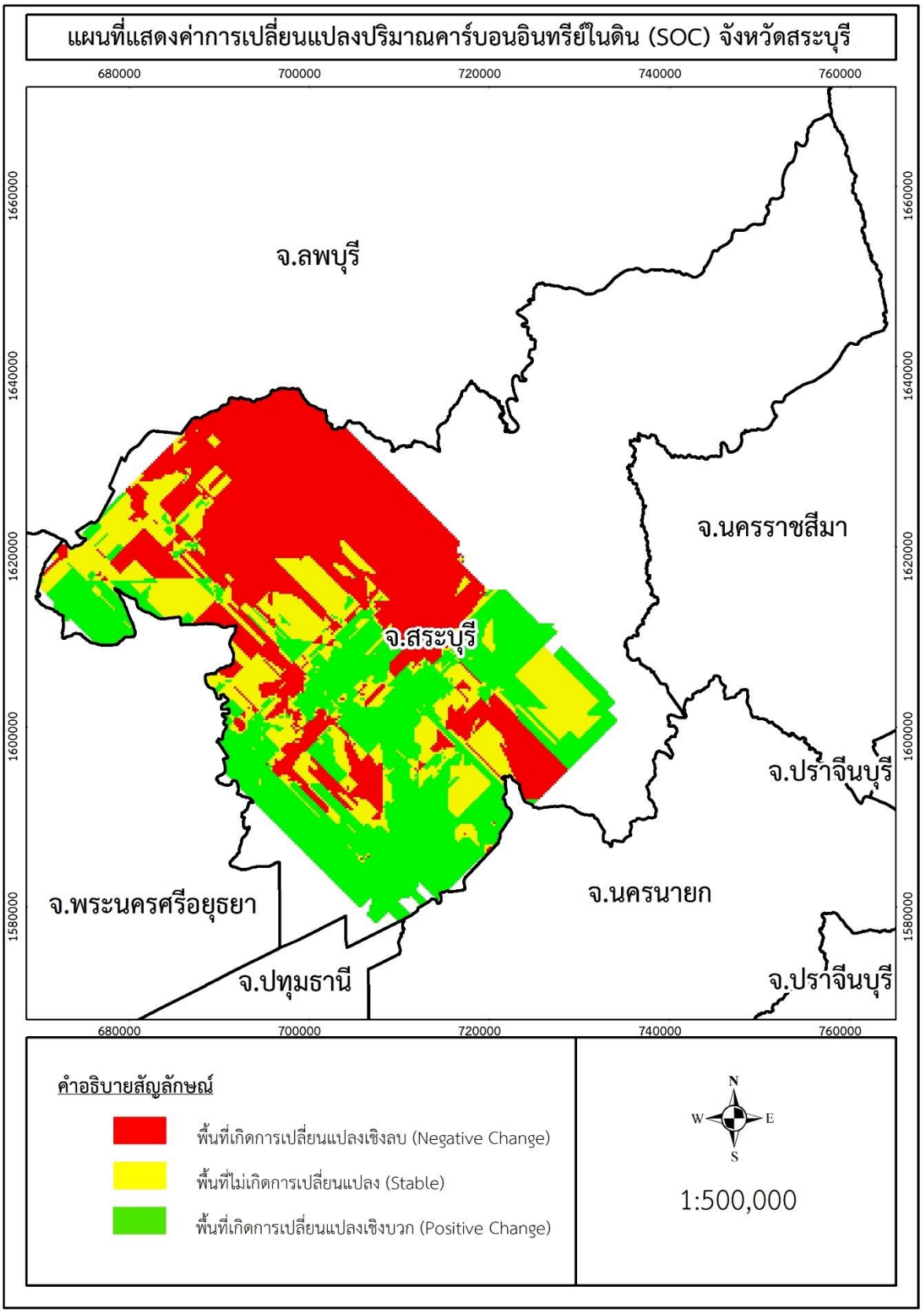
จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัด SOC โดยการประมาณค่าช่วง (interpolation) พบว่าค่าปริมาณ SOC บริเวณพื้นที่ศึกษามีค่าเฉลี่ยลดลงเท่ากับ -0.04 % โดยที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ SOC มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.27 % และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -1.28 % แสดงดังรูปที่ 4.7 สอดคล้องกับการศึกษาผลกระทบจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน ต่อค่าความแตกต่างของปริมาณ SOC ในเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน ของ (YE et al., 2016) และการศึกษาผลกระทบต่อ SOC จากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ของ (Zhou et al., 2019) กล่าวคือทั้งสองการศึกษาใช้วิธีการ เก็บตัวอย่างดินบริเวณพื้นที่ศึกษา และทำการวิเคราะห์หาปริมาณ SOC ในดินด้วยวิธี Walkley-Black และทำแผนที่ปริมาณ SOC บริเวณพื้นที่ศึกษา โดยอาศัยการประมาณค่าช่วง (interpolation) ด้วยโปรแกรมทางสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นความเข้มข้นของปริมาณ SOC บริเวณพื้นที่ศึกษา ที่ลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินเดิมเป็นพื้นที่นาข้าว และปริมาณ SOC จะเพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงเป็นพืชไร่ และพื้นที่ที่ป่าไม้ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ดินบริเวณพื้นที่ป่าไม้มีความสามารถในการสะสมปริมาณ SOC ต่อหน่วยมวลดินได้มากที่สุด รองได้มาได้แก่ ดินบริเวณพื้นที่ปลูกพืชไร่ ทุ่งหญ้า หรือพื้นที่เพาะปลูกพืชผัก ในขณะที่ดินบริเวณพื้นที่นาข้าวมีความสามารถในการสะสมปริมาณ SOC ต่อหน่วยมวลดินน้อยที่สุด



รูปที่ *4.5* แผนที่แสดงค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (***SOC)*** จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560



รูปที่ *4.6* แผนที่แสดงค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (***SOC)*** จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563



รูปที่ *4.7* แผนที่แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (***SOC***) จังหวัดสระบุรี

4.1.4 ค่าความถูกต้องของข้อมูล

- การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ที่ได้จากการจำแนกภาพถ่ายดาวเทียม ดำเนินการโดยการสุ่มตัวอย่างทั้งหมด 250 ตำแหน่ง ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลพบว่า ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2560 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 73.2% และข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2563 มีค่าความถูกต้องโดยรวมเท่ากับ 74.4% ซึ่งผลการศึกษาถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ แสดงดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ *4.7* ตารางแสดงการค่าความถูกต้องของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560

		ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการแปลภาพถ่าย					รวม	EC (%)	Precision CA (%)
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5			
การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2560	Class 1	35	2	0	1	12	50	30	70
	Class 2	0	38	0	3	9	50	24	76
	Class 3	1	0	36	3	10	50	28	72
	Class 4	0	3	1	33	13	50	34	66
	Class 5	1	1	7	0	41	50	18	82
		37	44	44	40	85			
	Recall	94.59	86.36	81.82	82.50	48.24			
		รวม					250		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าความถูกต้องโดยรวม (183÷250)×100= 73.2%

หมายเหตุ Class 1 = พื้นที่แหล่งน้ำ Class 2 = พื้นที่ป่าไม้ Class 3 = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง
Class 4 = พื้นที่ว่างเปล่า Class 5 = พื้นที่เกษตรกรรม

จากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2560 พื้นที่เกษตรกรรมมีค่าความถูกต้องสำหรับผู้ใช้งาน (Consumer accuracy: CA) มากที่สุด คือ 82% รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่แหล่งน้ำ และพื้นที่ว่างเปล่า ตามลำดับ

ตารางที่ *4.8* ตารางแสดงการค่าความถูกต้องของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563

		ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการแปลภาพถ่าย					รวม	EC (%)	Precision CA (%)
		Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5			
การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2563	Class 1	37	3	0	1	9	50	26	74
	Class 2	0	39	0	0	11	50	22	78
	Class 3	0	0	34	5	11	50	32	68
	Class 4	0	1	6	34	9	50	32	68
	Class 5	0	7	1	0	42	50	16	84
		37	50	41	40	82			
	Recall	100.00	78.00	82.93	85.00	51.22			
				รวม			250		

ค่าความถูกต้องโดยรวม (186÷250)×100= 74.4%

หมายเหตุ Class 1 = พื้นที่แหล่งน้ำ Class 2 = พื้นที่ป่าไม้ Class 3 = พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง
Class 4 = พื้นที่ว่างเปล่า Class 5 = พื้นที่เกษตรกรรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากตารางที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2563 พื้นที่เกษตรกรรมมีค่า CA มากที่สุด คือ 84% รองลงมา ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่ว่างเปล่า ตามลำดับ

ขณะที่ค่าคำนวณการส่งคำตอบ (Recall) ของข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ภายในช่วงเวลาที่กำหนดถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ มีเพียงพื้นที่เกษตรกรรมที่มีค่าค่อนข้างต่ำ คือ 48.24% ในปี พ.ศ.2560 และ 51.22% ในปี พ.ศ.2563 เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสระบุรีเป็นพื้นที่เกษตรกรรม ซึ่งภายในพื้นที่เกษตรกรรม และบริเวณพื้นที่ข้างเคียงประกอบไปด้วย ที่พักอาศัย อาคารโรงเลี้ยงสัตว์ และแหล่งน้ำ จึงส่งผลต่อการจำแนกโดยภาพถ่ายดาวเทียม ทำให้ค่า Recall ของพื้นที่เกษตรกรรมออกมาค่อนข้างต่ำกว่าการจำแนกพื้นที่อื่นๆ

- การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC)

ค่าการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลแบบ cross-validation ที่พบได้บ่อยครั้งนั้น เหมาะกับงานวิจัยที่มีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนจุดเก็บตัวอย่าง มักจะให้ค่าความถูกต้องในการทำนายสูงเกินจริง ซึ่งแสดงถึงปัญหา overfitting การตรวจสอบความถูกต้องของการวิเคราะห์ตัวชี้วัด SOC ของงานวิจัยนี้ จึงใช้วิธี split validation คือ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ Training data set (70% ของข้อมูลทั้งหมด) และ Testing data set (30% ของข้อมูลทั้งหมด) จากนั้นใช้ชุดตัวอย่าง Testing data ทดสอบประสิทธิภาพของโมเดล แบ่งเป็น ข้อมูล SOC ปี พ.ศ. 2560 จำนวน 50 ตัวอย่าง และ SOC ปี พ.ศ. 2563 จำนวน 40 ตัวอย่าง ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ *4.9 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการประมาณค่าปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (***SOC***) จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2563 ด้วยวิธี* ordinary kriging (คำนวณจากชุด Testing data set)

ข้อมูล	การตรวจสอบความถูกต้อง			
	R^2	MAE (%)	RMSE (%)	RPIQ
SOC ปี พ.ศ.2560	0.58	0.02	0.25	2.05
SOC ปี พ.ศ.2563	0.22	0.02	0.45	0.64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

งานวิจัยนี้ประเมินความน่าเชื่อถือของโมเดลจากค่า R^2, MAE, RMSE และ RPIQ โดยทั่วไปหากค่า R^2 และ RPIQ สูง ในขณะที่ค่า RMSE และ MAE ต่ำ จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการทำนายค่าของโมเดลที่ดี เกณฑ์ของค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่ตายตัว มักจะใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโมเดลในการศึกษาเดียวกัน หรือเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นในเรื่องที่มีความคล้ายคลึงกัน

จากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่า แผนที่การประมาณค่าปริมาณคาร์บอนในดิน ปี พ.ศ. 2560 ด้วยวิธี ordinary kriging มีความน่าเชื่อถือสูงกว่าแผนที่ในปี พ.ศ.2563 ค่าความสมรูปของโมเดล (R^2) ของข้อมูล SOC ปี พ.ศ. 2560 มีค่าเท่ากับ 0.58 และข้อมูล SOC ปี พ.ศ. 2563 มีค่า 0.22 ค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากการสร้างโมเดลเชิงพื้นที่ ได้แก่ ค่า mean absolute error (MAE) ของข้อมูล SOC ปี พ.ศ.2560 และ ปี พ.ศ.2563 มีค่าเท่ากัน คือ 0.02%ค่า root mean square error (RMSE) ข้อมูล SOC ปี พ.ศ. 2560 มีค่าเท่ากับ 0.25% ต่ำกว่าค่า RMSE จากโมเดล ปี พ.ศ. 2563 ซึ่งมีค่า 0.45% ค่า RMSE นี้แสดงความคลาดเคลื่อนจากค่าทำนายจากแบบจำลองกับค่าจริงที่เกิดขึ้น

หากมีค่าน้อยหรือเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าผลที่ได้จากการทำนายมีค่าเข้าใกล้ค่าจริง ค่าความน่าเชื่อถือของโมเดล (ratio of performance to interquartile distance : RPIQ) (Bellon-Maurel et al., 2010) ของข้อมูล SOC ปี พ.ศ. 2560 มีค่าเท่ากับ 2.05% และข้อมูล SOC ปี พ.ศ. 2563 มีค่า 0.64%

เมื่อเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นที่ใกล้เคียงกัน Peng et al. (2015) พบว่าการทำนายค่า SOC ด้วยข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลร่วมกับข้อมูลทางสิ่งแวดล้อมและข้อมูลสเปคตรัม (3 ชุดข้อมูล) จากห้องปฏิบัติการ ให้ความน่าเชื่อถือของการทำนายค่า SOC ด้วยวิธี Bayesian Kriging (R^2=0.59; RMSE=2.8; RPIQ=0.8) ดีกว่าการทำนายค่า SOC เพียงใช้ข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลกับข้อมูลทางสิ่งแวดล้อม (2 ชุดข้อมูล) (R^2=0.46; RMSE=3.6; RPIQ=0.6) (หน่วยเป็น %) นอกจากนี้ (Chaikaew et al., 2016) ทำนายค่าคาร์บอนอินทรีย์ในระบบนิเวศบนบกด้วยวิธี Regression Kriging จากปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมประกอบด้วยสิ่งมีชีวิตในดิน สมบัติดิน และลักษณะภูมิประเทศ ให้ผลความน่าเชื่อถือของโมเดลซึ่งแสดงค่า R^2=0.65 RMSD=3.10 และ RPIQ=2.27 หน่วยวัดคือ กิโลกรัมคาร์บอนอินทรีย์ต่อตารางกิโลเมตร

จากผลงานวิจัยนี้ แผนที่การประมาณปริมาณ SOC ในปี พ.ศ.2560 ทำนายค่าได้ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ใช้ในการอ้างอิงทั้งสองข้างต้น ส่วนแผนที่การประมาณค่า SOC ในปี พ.ศ.2563 มีความน่าเชื่อถือค่อนข้างต่ำ อาจเป็นเพราะจำนวนตัวอย่างดินที่น้อยกว่า และชุดข้อมูล testing data ได้สุ่มจุดเก็บตัวอย่างที่มีค่าทำนายและค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการแตกต่างกันมาก

4.2 การประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม

แม้ว่าการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดด้วยวิธีทางสถิติจะระบุว่ามีเพียงตัวชี้วัด LP ที่แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรและป่าไม้อย่างมีนัยสำคัญ ส่วน LU และ SOC ไม่มีหลักฐานเพียงพอที่จะทดสอบสมมติฐานความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในเชิงสถิติได้ งานวิจัยนี้จึงใช้ค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัด ประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดินให้พร้อมสำหรับการจัดการที่ดิน

โดยกำหนดให้ตัวชี้วัดที่มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ร้อยละ 5 ของข้อมูลเดิมถือว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น หากตัวชี้วัดใดมีการเปลี่ยนแปลงไม่ถึงเกณฑ์ที่กำหนดจะถือว่ามีสถานะคงที่หรือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากตัวชี้วัดดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเกินกว่าจะส่งผลกระทบต่อการประเมินความเสื่อมโทรมของดินบริเวณพื้นที่ศึกษา และใช้หลักการ One-out all out ในการประเมินสถานะของการดำเนินงาน LDN เพื่อความชัดเจนในการระบุพื้นที่ที่ประสบปัญหาความเสื่อมโทรมของดิน แสดงดังตารางที่ 4.10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ *4.10* ตารางแสดงผลการประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563 จากค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัด โดยไม่อ้างอิงการทดสอบทางสถิติ

		พ.ศ.2560	พ.ศ.2563	การเปลี่ยนแปลง		สถานะ LDN
อำเภอเมืองสระบุรี	LU (ตร.กม)	145.85	143.96	-1.90	คงที่	Positive
	NDVI	0.27	0.29	0.02	+	
	SOC	1.21	1.32	0.11	+	
อำเภอแก่งคอย	LU (ตร.กม)	709.24	696.32	-12.92	คงที่	Negative
	NDVI	0.31	0.32	0.01	คงที่	
	SOC	1.12	1.00	-0.12	-	
อำเภอหนองแค	LU (ตร.กม)	264.59	265.61	1.02	คงที่	Positive
	NDVI	0.29	0.29	-0.003	คงที่	
	SOC	1.16	1.38	0.21	+	
อำเภอวิหารแดง	LU (ตร.กม)	166.60	165.96	-0.64	คงที่	Positive
	NDVI	0.31	0.31	0.00	คงที่	
	SOC	0.98	1.25	0.27	+	
อำเภอหนองแซง	LU (ตร.กม)	81.01	80.52	-0.49	คงที่	Positive
	NDVI	0.25	0.30	0.05	+	
	SOC	1.51	1.52	0.01	คงที่	
อำเภอบ้านหมอ	LU (ตร.กม)	126.86	127.63	0.76	คงที่	Stable
	NDVI	0.29	0.27	-0.02	คงที่	
	SOC	1.61	1.58	-0.03	คงที่	
อำเภอดอนพุด	LU (ตร.กม)	53.32	54.92	1.60	คงที่	Positive
	NDVI	0.22	0.23	0.01	คงที่	
	SOC	1.51	1.61	0.10	+	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.10(ต่อ) ตารางแสดงผลการประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ. 2563 จากค่าเฉลี่ยของตัวชี้วัด โดยไม่อ้างอิงการทดสอบทางสถิติ

		พ.ศ.2560	พ.ศ.2563	การเปลี่ยนแปลง		สถานะ LDN
อำเภอหนองโดน	LU (ตร.กม)	124.98	124.62	-0.36	คงที่	Stable
	NDVI	0.28	0.27	-0.01	คงที่	
	SOC	1.61	1.54	-0.07	คงที่	
อำเภอพระพุทธบาท	LU (ตร.กม)	205.25	206.60	1.35	คงที่	Negative
	NDVI	0.25	0.28	0.03	+	
	SOC	1.75	1.39	-0.36	-	
อำเภอเสาไห้	LU (ตร.กม)	106.91	96.71	-10.21	คงที่	Positive
	NDVI	0.24	0.28	0.04	+	
	SOC	1.63	1.59	-0.05	คงที่	
อำเภอมวกเหล็ก	LU (ตร.กม)	788.28	762.93	-25.35	คงที่	Positive
	NDVI	0.30	0.32	0.02	+	
อำเภอวังม่วง	LU (ตร.กม)	250.65	251.92	1.27	คงที่	Stable
	NDVI	0.28	0.29	0.01	คงที่	
อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	LU (ตร.กม)	145.14	144.02	-1.12	คงที่	Negative
	NDVI	0.26	0.28	0.02	+	
	SOC	1.59	1.26	-0.33	-	

หมายเหตุ: LU = Landuse; LP = Land productivity; SOC = Soil organic carbon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.10 การศึกษาสถานะ LDN ในจังหวัดสระบุรี พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงในตัวชี้วัด LP และ SOC โดยที่ส่วนใหญ่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ดีขึ้น ขณะที่ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินจัดอยู่ในสถานะคงที่ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้ ในบางอำเภอไม่สามารถวิเคราะห์ตัวชี้วัดได้ครบทั้ง 3 ตัวชี้วัด เช่น อำเภอมวกเหล็ก และอำเภอวังม่วง ไม่มีตัวชี้วัด SOC มีเพียง LU และ LP เนื่องจากในอำเภอทั้งสองมีพื้นที่ป่าไม้เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ไม่มีข้อมูลฐาน SOC ซึ่งมุ่งวิจัยในพื้นที่เกษตรกรรมเป็นหลัก เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่มีตามหลักการ One-out all out พบว่า จากอำเภอ ทั้งหมด 13 อำเภอในจังหวัดสระบุรี ส่วนมากเกิดการ

เปลี่ยนแปลงในเชิงบวก (Positive change) จำนวน 7 อำเภอ การเปลี่ยนแปลงคงที่ (Stable) จำนวน 3 อำเภอ และเกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงลบ (Negative change) จำนวน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแก่งคอย อำเภอพระพุทธบาท และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงลบในตัวชี้วัด SOC

เมื่อพิจารณาแผนยุทธศาสตร์การพัฒนาของจังหวัดสระบุรี ระหว่างปี พ.ศ.2561-2565 (สำนักงานจังหวัดสระบุรี, 2562) ซึ่งครอบคลุมระยะเวลาของงานวิจัยนี้ ช่วงเวลาดังกล่าวจังหวัดสระบุรีต้องการพัฒนาจังหวัดให้เป็นเมืองอุตสาหกรรมเชิงนิเวศ พร้อมเพิ่มขีดความสามารถการแข่งขันด้านการค้า การลงทุน การเกษตร และการท่องเที่ยว ซึ่งมีการสร้างความสมดุลด้านการส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมสู่การเป็นเมืองน่าอยู่ควบคู่กันไป หนึ่งในตัวชี้วัดคือ จำนวนพื้นที่สีเขียว ซึ่งถือว่าแผนพัฒนาประสบความสำเร็จเพราะผลการวิจัยชี้ว่าการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวจากทั้งตัวชี้วัด LU และ LP เป็นไปในทิศทางเชิงบวกหรือไม่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตาม หากจะยกระดับให้ตอบโจทย์ระดับประเทศและสากล แนะนำให้เพิ่มตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงของ SOC ตามช่วงระยะเวลาของแผนพัฒนาจังหวัดให้ครอบคลุมทุกอำเภอ หรือตำบล เนื่องจาก SOC เป็นตัวชี้วัดเดียวณ ขณะนี้ที่ระบุว่าบางอำเภอของจังหวัดสระบุรีเริ่มมีการเสื่อมโทรมของทรัพยากรดิน อาจนำมาตรการถ่วงดุล (counterbalance) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นการศึกษาสาเหตุของการเสื่อมโทรมของดินในพื้นที่นั้น และใช้มาตรการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาความเสื่อมโทรม ซึ่งมาตรการดังกล่าวอาจจัดกลุ่มตามหลักการการจัดการที่ดินอย่างยั่งยืน (SLM) เช่น การหลีกเลี่ยง (avoid) การลดความรุนแรง (reduce) และการฟื้นฟูความเสื่อมโทรม (rehabilitation)

นอกจากนี้ ผลจากงานวิจัยบางส่วนสอดคล้องกับการดำเนินงาน LDN บริเวณลุ่มน้ำ Shazand ในประเทศอิหร่าน ของ (Kiani-Harchegani & Sadeghi, 2020) กล่าวว่ามีกำหนดตัวชี้วัดในการดำเนินงานทั้งหมด 3 ตัวชี้วัด และใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทั้ง 3 ตัวชี้วัด ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าในระยะแรกของการดำเนินงานการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดเป็นเชิงลบเนื่องจากเกิดความเสื่อมโทรมของดินบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งในช่วงท้ายการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัด จะอยู่ในสถานะคงที่เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงน้อยเกินไป และดินบริเวณพื้นที่ศึกษามีความเสื่อมโทรมอยู่ก่อนหน้านี้ในระยะแรก

4.3 มาตรการพื้นฟูความเสื่อมโทรมของที่ดิน

จากการประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน จังหวัดสระบุรี พบว่ามี 3 อำเภอจากทั้งหมด 13 อำเภอ เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงลบ (negative change) ในตัวชี้วัด SOC จำนวน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแก่งคอย อำเภอพระพุทธบาท และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง

ที่เกิดขึ้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าบริเวณพื้นที่ดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของที่ดิน ในระยะยาว จากการสูญเสียปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้มาตรการเพื่อบำรุงรักษาดินตามธรรมชาติ

ในกรณีนี้เนื่องจากทั้ง 3 อำเภอมีลักษณะพื้นที่แตกต่างกัน มาตรการถ่วงดุล (counterbalance) จึงถือว่าเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด คือการศึกษาสาเหตุของการเสื่อมโทรมของดินในพื้นที่นั้น และใช้มาตรการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาความเสื่อมโทรม เพื่อลดอัตราการเสื่อมโทรมของที่ดิน

อำเภอแก่งคอย จากผลศึกษาพบว่า บริเวณพื้นที่มีการลดลงของพื้นที่สีเขียว เนื่องจากเป็นพื้นที่อุตสาหกรรม และเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมแก่งคอย ซึ่งมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลกระทบต่อคุณภาพดินบริเวณพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งแนวทางพื้นฟูความเสื่อมโทรมของที่ดิน คือ ควบคุมการวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน เพิ่มพื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม รวมถึงพยายามควบคุมการขยายตัวของพื้นที่อุตสาหกรรมไม่ให้มีการขยายตัวเข้าไปบริเวณพื้นที่ป่าไม้

อำเภอพระพุทธบาท และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ จากผลศึกษาพบว่าตัวชี้วัด LU และ LP มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ดีขึ้น ในขณะที่ตัวชี้วัด SOC พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเชิงลบ ซึ่งเหตุผลน่าจะมาจากปัจจัยภายในพื้นที่เกษตรกรรม เช่น ชนิดพืช ลักษณะดิน ลักษณะภูมิประเทศ รวมถึงการใช้สารเคมี ซึ่งมีส่วนสำคัญกับการวิเคราะห์ SOC แนวทางพื้นฟูความเสื่อมโทรมของที่ดิน คือการลดใช้สารเคมีในพื้นที่เกษตรกรรม เปลี่ยนมาใช้ปุ๋ยที่ปราศจากสารเคมี รวมถึงการปลูกพื้นที่มีความสามารถในการพื้นฟูความเสื่อมโทรมของดิน และมีความสามารถในการตรึงคาร์บอน เช่น ข้าว ข้าวสาลี และพืชตระกูลถั่ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการประเมินความสมดุลของการจัดการทรัพยากรที่ดิน (LDN) ในพื้นที่เกษตรกรรม จังหวัดสระบุรี จากการรวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูลตัวชี้วัดในการดำเนินงาน สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน (land use change)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน พบว่าระหว่างปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ.2563 พื้นที่สีเขียว ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม บริเวณจังหวัดสระบุรีเกิดการสูญเสียในเชิงพื้นที่ประมาณ 46.99 ตารางกิโลเมตร โดยจากการศึกษาพบว่าพื้นที่เกษตรกรรมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น 98.20 ตารางกิโลเมตร ในขณะพื้นที่ป่าไม้มีปริมาณพื้นที่ลดลง 145.19 ตารางกิโลเมตร แม้ว่าไม่พบการเปลี่ยนแปลงของการใช้ประโยชน์ที่ดินทางสถิติ แต่ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินถือว่าเป็นตัวชี้วัดหลักในการดำเนินงาน LDN จึงจำเป็นต้องมีมาตรการที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันการเสื่อมโทรมของดิน ที่มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ยกตัวอย่างเช่น การวางแผนการใช้ประโยชน์ ควรเลือกแผนที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่ เพื่อให้การป้องกันปัญหาความเสื่อมโทรมของดินมีประสิทธิภาพสูงที่สุด

5.1.2 การเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน (land productivity change)

ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงผลิตภาพของที่ดิน เป็นตัวชี้วัดที่แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนที่สุด จากทั้ง 3 ตัวชี้วัดที่กำหนดในการดำเนินงานศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากพบการเพิ่มขึ้นของพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดสระบุรีมีค่า NDVI เฉลี่ย รายปีเพิ่มมากขึ้น และมีเพียง 3 อำเภอที่มีค่า NDVI เฉลี่ยรายปีลดลง แต่ก็เป็นการลดลงเพียงเล็กน้อย ได้แก่ อำเภอหนองโดน อำเภอบ้านหมอ และอำเภอหนองแค มีค่า NDVI เฉลี่ยรายปีลดลง 0.01 0.02 และ 0.003 ตามลำดับ

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน (SOC change)

ตัวชี้วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในดิน แบ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเป็น 2 วิธี ได้แก่ การเปรียบเทียบตามตำแหน่ง (collocated site) และ การประมาณค่าช่วง (interpolation) ซึ่งทั้งสองวิธีผลที่ได้แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงในเชิงลบของปริมาณ SOC บริเวณจังหวัดสระบุรี โดยที่ collocated site ค่าที่ได้มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ -0.2 และ interpolation ค่าที่ได้มีค่าเฉลี่ยการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ -0.04 แม้ว่าจะไม่พบการเปลี่ยนแปลงของ

SOC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α = 0.05) แต่ตัวชี้วัด SOC เป็นตัวชี้วัดเดียวที่เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงจากเดิมร้อยละ 5 แล้วพบการเปลี่ยนแปลงเชิงลบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจได้รับอิทธิพลมาจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

5.1.4 การประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม

การประเมินความสมดุลของทรัพยากรดินที่เสื่อมโทรม หรือ การประเมินสถานะของ LDN ดำเนินการโดยใช้หลักการ One-out all out ในการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวชี้วัดที่ใช้ในการดำเนินงาน พบว่าบริเวณพื้นที่ศึกษา จังหวัดสระบุรี ซึ่งประกอบด้วย 13 อำเภอ ส่วนมากเกิดสถานะของ LDNจัดอยู่ในเกณฑ์เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงบวก (Positive change) จำนวน 7 อำเภอ สถานะคงที่ (Stable) จำนวน 3 อำเภอ ในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในเชิงลบ (Negative change) จำนวน 3 อำเภอ ได้แก่ อำเภอแก่งคอย อำเภอพระพุทธบาท และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ เนื่องจากผลการวิเคราะห์ตัวชี้วัด แสดงให้เห็นว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงลบในตัวชี้วัด SOC บริเวณพื้นที่ดังกล่าว

จากผลการศึกษา สามารถสรุปได้ว่า บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดสระบุรี พบสัญญาณของความเสื่อมโทรมของที่ดิน ในเขตพื้นที่อำเภอแก่งคอย อำเภอพระพุทธบาท และอำเภอเฉลิมพระเกียรติ เนื่องจากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัด SOC ภายในช่วงเวลาที่กำหนด ได้แก่ ปี พ.ศ. 2560 ถึง ปี พ.ศ. 2563 แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเชิงลบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าบริเวณพื้นที่ดังกล่าว มีแนวโน้มที่จะเกิดปัญหาความเสื่อมโทรมของที่ดิน ในระยะยาว ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้มาตรการเพื่อบำรุง รักษาดินตามธรรมชาติ โดยที่มาตรการถ่วงดุล (counterbalance) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด คือการศึกษาสาเหตุของการเสื่อมโทรมของดินในพื้นที่นั้น และใช้มาตรการที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหาความเสื่อมโทรม เพื่อลดอัตราการเสื่อมโทรมของที่ดิน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์สถานะ LDN จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของแต่ละตัวชี้วัดมากขึ้น เพราะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน ส่งผลต่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวชี้วัดที่ใช้ในการดำเนินงานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเลือกตัวชี้วัด สำหรับ LDN ควรเป็นตัวชี้วัดที่ส่งผลปัญหาความเสื่อมโทรมของที่ดินบริเวณพื้นที่ศึกษา นอกจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่สีเขียวแล้ว ควรเพิ่ม SOC เข้าไปในแผนกลยุทธ์ระดับพื้นที่

5.2.2 การประเมิน LDN ควรใช้ข้อมูลที่มีความละเอียด และครอบคลุมพื้นที่ศึกษา เพื่อให้ผลการศึกษามีความถูกต้อง และแม่นยำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2.3 การ LDN จำเป็นต้องใช้ระยะเวลา และดำเนินการอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ผลการดำเนินงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.3.4 ดินบางพื้นที่ในจังหวัดสระบุรี มีจาโรไซท์ซึ่งเป็นสารประกอบของกำมะถันอยู่ในดินตื้น และมีมากขึ้นในดินชั้นล่าง ทำให้ดินเป็นกรด หากมีการศึกษา LDN ในพื้นที่เพิ่มเติม ควรเพิ่มพารามิเตอร์การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดในดิน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

(FAO), F. a. A. O. o. t. U. N. (2015). *Soil functions* http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/

(FAO), F. a. A. O. o. t. U. N. (2017). *Sustainable Land Management* http://www.fao.org/land-water/land/sustainable-land-management/en/

Bellon-Maurel, V., Fernandez-Ahumada, E., Palagos, B., Roger, J.-M., & McBratney, A. (2010). Critical review of chemometric indicators commonly used for assessing the quality of the prediction of soil attributes by NIR spectroscopy. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *29*(9), 1073-1081.

Breu, T. M., Hurni, H., Portner, B., Schwilch, G., Wolfgramm, B., Messerli, P., & Herweg, K. G. (2011). Sustainable land management and global development: Factors affecting land users' efforts to adopt and sustain the productive use of natural resources.

Chaikaew, P., Grunwald, S., & Xiong, X. (2016). Estimation of the actual and attainable terrestrial carbon budget. In *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries* (pp. 153-164). Springer.

Cowie, A., Waters, C., Garland, F., Orgill, S., Baumber, A., Cross, R., O'Connell, D., & Metternicht, G. (2019). Assessing resilience to underpin implementation of Land Degradation Neutrality: A case study in the rangelands of western New South Wales, Australia. *Environmental Science & Policy*, *100*, 37-46.

Cowie, A. L., Orr, B. J., Sanchez, V. M. C., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G. I., & Minelli, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, *79*, 25-35.

Kiani-Harchegani, M., & Sadeghi, S. H. (2020). Practicing land degradation neutrality (LDN) approach in the Shazand Watershed, Iran. *Science of the Total Environment*, *698*, 134319.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Kust, G., Andreeva, O., & Cowie, A. (2017). Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment. *Journal of environmental management*, *195*, 16-24.

Qian, J., Liu, J., Wang, P., Wang, C., Hu, J., Li, K., Lu, B., Tian, X., & Guan, W. (2018). Effects of riparian land use changes on soil aggregates and organic carbon. *Ecological Engineering*, *112*, 82-88.

Solomun, M. K., Barger, N., Cerda, A., Keesstra, S., & Marković, M. (2018). Assessing land condition as a first step to achieving land degradation neutrality: A case study of the Republic of Srpska. *Environmental Science & Policy*, *90*, 19-27.

Speranza, C. I., Adenle, A., & Boillat, S. (2019). Land Degradation Neutrality-Potentials for its operationalisation at multi-levels in Nigeria. *Environmental Science & Policy*, *94*, 63-71.

Wunder, S., & Bodle, R. (2019). Achieving land degradation neutrality in Germany: Implementation process and design of a land use change based indicator. *Environmental Science & Policy*, *92*, 46-55.

YE, H.-c., HUANG, Y.-f., CHEN, P.-f., HUANG, W.-j., ZHANG, S.-w., HUANG, S.-y., & Sen, H. (2016). Effects of land use change on the spatiotemporal variability of soil organic carbon in an urban-rural ecotone of Beijing, China. *Journal of integrative agriculture*, *15*(4), 918-928.

Zhang, Z., Ding, J., Wang, J., & Ge, X. (2020). Prediction of soil organic matter in northwestern China using fractional-order derivative spectroscopy and modified normalized difference indices. *Catena*, *185*, 104257.

Zhou, Y., Hartemink, A. E., Shi, Z., Liang, Z., & Lu, Y. (2019). Land use and climate change effects on soil organic carbon in North and Northeast China. *Science of the Total Environment*, *647*, 1230-1238.

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553a). ความเสื่อมโทรมของที่ดิน และการจัดการแก้ไข https://www.ldd.go.th/Thai-html/Work12/Project3/PDF/All.pdf

กรมพัฒนาที่ดิน. (2553b). คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี https://www.ldd.go.th/PMQA/2553/Manual/OSD-03.pdf

กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น. (2560). เป้าหมายการพัฒนาแห่งสหัสวรรษ *Sustainable Development Goals (SDGs)* ฉบับเต็ม http://e-plan.dla.go.th/activityImage/422.pdf

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำนักงานจังหวัดสระบุรี. (2562). แผนปฏิบัติราชการประจำปี งบประมาณ พ.ศ.*2563* http://www.saraburi.go.th/web2/files/com_news_devpro_year/2019-08_c826e03accb15b4.pdf

สำนักงานจังหวัดสระบุรี. (2562). แผนพัฒนาจังหวัดสระบุรี (พ.ศ. *2561 – 2565)* ฉบับทบทวน http://www.saraburi.go.th/web2/files/com_news_devpro/2020-07_13d6fa50e69e9f7.pdf

แสงประดิษฐ์, ส. (2560). พยากรณ์การเปลี่ยนแปลงเชิงอนุกรมเวลาค่าเฉลี่ยดัชนีความต่างพืชพรรณ ด้วย วิธีการเฉลี่ยเคลื่นที่ และวิธีการทำให้เรียบแบบเอ็กซ์โพแนนเชียล. วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยอัสเทิร์น เอเชีย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, *11*, 185-195.

อรุณศรีมรกต, ส. (2559). เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน 17 ประการของสหประชาชาติเพื่อโลกอนาคต. วารสารวิจัยสหวิทยาการไทย, *11*, 1-7.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่า SOC ตามตำแหน่งเดิม (collocated site)

ลำดับ	พิกัด		Name	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พ.ศ.2560		พ.ศ.2563		การเปลี่ยนแปลง
	X	Y					OM	SOC	OM	SOC	
1	694818	1595719	A1	ต.โพนทอง	อ.หนองแค	สระบุรี	2.22	1.29	2.80	1.62	0.34
2	695092	1595805	A2	ต.โพนทอง	อ.หนองแค	สระบุรี	3.13	1.81	2.12	1.23	-0.58
3	695383	1595721	A3	ต.โพนทอง	อ.หนองแค	สระบุรี	1.47	0.85	1.88	1.09	0.24
4	694630	1593591	A4	ต.คชสิทธิ์	อ.หนองแค	สระบุรี	1.74	1.01	2.20	1.28	0.27
5	703668	1589628	A5	ต.หนองไข่น้ำ	อ.หนองแค	สระบุรี	1.75	1.01	2.33	1.35	0.34
6	703908	1601436	A6	ต.หนองยาว	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.90	1.68	3.01	1.75	0.06
7	704882	1602291	A7	ต.หนองยาว	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	3.33	1.93	3.36	1.95	0.02
8	704407	1602640	A8	ต.หนองยาว	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	3.08	1.79	3.05	1.77	-0.02
9	704699	1603520	A9	ต.หนองยาว	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.06	1.20	3.33	1.93	0.73
10	703378	1603066	A10	ต.หนองยาว	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	3.78	2.19	1.47	0.85	-1.34
11	701803	1602281	A11	ต.หนองโน	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.14	1.24	3.54	2.05	0.81
12	701147	1601981	A12	ต.หนองโน	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	0.73	0.42	2.58	1.50	1.07
13	701216	1601902	A13	ต.หนองโน	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	3.24	1.88	1.44	0.84	-1.04

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่า SOC ตามตำแหน่งเดิม (collocated site)

ลำดับ	พิกัด		Name	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พ.ศ.2560		พ.ศ.2563		การเปลี่ยนแปลง
	X	Y					OM	SOC	OM	SOC	
14	701701	1603095	A14	ต.หนองโน	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	1.55	0.90	2.71	1.57	0.67
15	701853	1603709	A15	ต.โคกสว่าง	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	3.56	2.06	1.94	1.13	-0.94
16	702073	1603602	A16	ต.โคกสว่าง	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.06	1.20	2.39	1.39	0.19
17	702933	1604281	A17	ต.โคกสว่าง	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.14	1.24	3.94	2.29	1.04
18	704046	1605092	A18	ต.โคกสว่าง	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.01	1.17	3.00	1.74	0.57
19	703094	1610220	A19	ต.ดาวเรือง	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.62	1.52	2.91	1.69	0.17
20	711763	1602334	A20	ต.หนองปลาไหล	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	0.26	0.15	2.05	1.19	1.04
21	712720	1602392	A21	ต.ห้วยแห้ง	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.47	0.85	1.06	0.61	-0.24
22	712150	1605232	A22	ต.กุดนกเปล้า	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	0.30	0.17	2.74	1.59	1.42
23	714336	1605278	A23	ต.ห้วยแห้ง	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.89	1.10	1.42	0.82	-0.27
24	714995	1605555	A24	ต.ห้วยแห้ง	อ.แก่งคอย	สระบุรี	0.96	0.56	1.20	0.70	0.14
25	715092	1609340	A25	ต.ตาลเดี่ยว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	2.34	1.36	0.78	0.45	-0.90
26	716810	1608400	A26	ต.ตาลเดี่ยว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.07	0.62	2.00	1.16	0.54

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่า SOC ตามตำแหน่งเดิม (collocated site)

ลำดับ	พิกัด		Name	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พ.ศ.2560		พ.ศ.2563		การเปลี่ยนแปลง
	X	Y					OM	SOC	OM	SOC	
27	715618	1610231	A27	ต.ตาลเดี่ยว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.77	1.03	1.93	1.12	0.09
28	716286	1612287	A28	ต.ตาลเดี่ยว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.22	0.71	1.37	0.79	0.09
29	713231	1611335	A29	ต.ตาลเดี่ยว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	3.19	1.85	0.26	0.15	-1.70
30	716488	1618637	A30	ต.บ้านธาตุ	อ.แก่งคอย	สระบุรี	2.22	1.29	2.36	1.37	0.08
31	715294	1618668	A31	ต.บ้านธาตุ	อ.แก่งคอย	สระบุรี	3.56	2.06	1.53	0.89	-1.18
32	713854	1619743	A32	ต.บ้านธาตุ	อ.แก่งคอย	สระบุรี	2.30	1.33	2.21	1.28	-0.05
33	715933	1603446	A33	ต.ห้วยแห้ง	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.35	0.78	1.82	1.06	0.27
34	717716	1601514	A34	ต.ห้วยแห้ง	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.54	0.89	2.22	1.29	0.39
35	719208	1603450	A35	ต.ชำผักแพว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	2.32	1.35	1.84	1.07	-0.28
36	719284	1604687	A36	ต.ชำผักแพว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.61	0.93	1.41	0.82	-0.12
37	721011	1604007	A37	ต.ท่ามะปราง	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.16	0.67	1.30	0.75	0.08
38	720794	1601426	A38	ต.ชำผักแพว	อ.แก่งคอย	สระบุรี	1.95	1.13	1.06	0.61	-0.52
39	717355	1583438	A39	ต.วิหารแดง	อ.วิหารแดง	สระบุรี	1.89	1.10	1.17	0.68	-0.42

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่า SOC ตามตำแหน่งเดิม (collocated site)

ลำดับ	พิกัด		Name	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พ.ศ.2560		พ.ศ.2563		การเปลี่ยนแปลง
	X	Y					OM	SOC	OM	SOC	
40	720041	1586381	A40	ต.คลองเรือ	อ.วิหารแดง	สระบุรี	1.15	0.66	1.08	0.63	-0.04
41	720152	1589462	A41	ต.คลองเรือ	อ.วิหารแดง	สระบุรี	2.44	1.42	1.80	1.04	-0.37
42	693227	1600194	B1	ต.หนองกบ	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.91	1.69	2.33	1.35	-0.34
43	692471	1599207	B2	ต.หนองกบ	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.63	1.53	2.75	1.60	0.07
44	694224	160158	B3	ต.หนองควายโซ	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.83	1.64	2.13	1.24	-0.40
45	669771	1599261	B4	ต.หนองโน	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.68	1.56	1.87	1.08	-0.47
46	697903	1602020	B5	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.75	1.60	2.95	1.71	0.11
47	697827	1603087	B6	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.53	1.47	2.90	1.68	0.21
48	698686	1603855	B7	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.14	1.24	2.13	1.24	-0.01
49	698020	1604319	B8	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	1.94	1.13	2.14	1.24	0.11
50	699075	1603390	B9	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.96	1.72	3.50	2.03	0.31
51	699296	1603541	B10	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	1.87	1.08	2.31	1.34	0.26
52	699056	1604301	B11	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.75	1.60	1.57	0.91	-0.69

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่า SOC ตามตำแหน่งเดิม (collocated site)

ลำดับ	พิกัด		Name	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พ.ศ.2560		พ.ศ.2563		การเปลี่ยนแปลง
	X	Y					OM	SOC	OM	SOC	
53	699147	1604754	B12	ต.ม่วงหวาน	อ.หนองแซง	สระบุรี	3.63	2.11	2.96	1.72	-0.39
54	699952	1603780	B13	ต.หนองโน	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	2.00	1.16	3.19	1.85	0.69
55	699867	1605143	B14	ต.หนองโน	อ.เมืองสระบุรี	สระบุรี	3.62	2.10	3.09	1.79	-0.31
56	698395	1605057	B15	ต.หนองสีดา	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.73	1.58	2.65	1.54	-0.05
57	695232	1604121	B16	ต.หนองควายโซ	อ.หนองแซง	สระบุรี	3.26	1.89	1.23	0.71	-1.18
58	695385	1604562	B17	ต.หนองสีดา	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.08	1.21	3.19	1.85	0.64
59	691080	1605065	B18	ต.หนองแซง	อ.หนองแซง	สระบุรี	2.74	1.59	3.09	1.79	0.20
60	696587	1616225	B19	ต.หัวปลวก	อ.เสาไห้	สระบุรี	3.10	1.80	2.66	1.54	-0.25
61	693811	1614735	B20	ต.หนองบัว	อ.บ้านหมอ	สระบุรี	2.63	1.53	2.58	1.50	-0.03
62	691125	1615887	B21	ต.หนองบัว	อ.บ้านหมอ	สระบุรี	3.08	1.78	2.80	1.62	-0.16
63	672543	1613051	B22	ต.บ้านหลวง	อ.ดอนพุด	สระบุรี	2.64	1.53	4.62	2.68	1.15
64	670333	1616438	B23	ต.ดงตะงาว	อ.ดอนพุด	สระบุรี	3.85	2.23	1.40	0.81	-1.42
65	627282	1618650	B24	ต.ดงตะงาว	อ.ดอนพุด	สระบุรี	3.31	1.92	1.97	1.14	-0.78

ตารางที่ 1 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่า SOC ตามตำแหน่งเดิม (collocated site)

ลำดับ	พิกัด		Name	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด	พ.ศ.2560		พ.ศ.2563		การเปลี่ยนแปลง
	X	Y					OM	SOC	OM	SOC	
66	672363	1618879	B25	ต.ดงตะงาว	อ.ดอนพุด	สระบุรี	2.67	1.55	2.23	1.29	-0.25
67	672679	1619228	B26	ต.ดงตะงาว	อ.ดอนพุด	สระบุรี	2.01	1.16	1.41	0.82	-0.35
68	676447	1622678	B27	ต.ดอนทอง	อ.หนองโดน	สระบุรี	2.84	1.65	4.25	2.47	0.82
69	680822	1624803	B28	ต.หนองโดน	อ.หนองโดน	สระบุรี	3.43	1.99	1.68	0.97	-1.02
70	683916	1623380	B29	ต.หนองโดน	อ.หนองโดน	สระบุรี	1.35	0.78	4.14	2.40	1.62
71	685024	1623061	B30	ต.หนองโดน	อ.หนองโดน	สระบุรี	3.48	2.02	2.65	1.54	-0.48
72	686609	1620160	B31	ต.ตลาดน้อย	อ.บ้านหมอ	สระบุรี	2.36	1.37	3.33	1.93	0.56
73	386332	1622519	B32	ต.หนองโดน	อ.หนองโดน	สระบุรี	2.76	1.60	2.41	1.40	-0.20
74	688935	1624814	B33	ต.บ้านโปร่ง	อ.หนองโดน	สระบุรี	3.38	1.96	3.31	1.92	-0.04
75	686272	1627708	B34	ต.บ้านโปร่ง	อ.หนองโดน	สระบุรี	2.47	1.44	3.29	1.91	0.47
76	688153	1631356	B35	ต.นายาว	อ.พระพุธบาท	สระบุรี	2.90	1.68	2.88	1.67	-0.01
77	687778	1632830	B36	ต.นายาว	อ.พระพุธบาท	สระบุรี	3.99	2.31	3.51	2.04	-0.28
78	688732	1633659	B37	ต.นายาว	อ.พระพุธบาท	สระบุรี	3.23	1.87	3.25	1.89	0.01
										ค่าเฉลี่ย	-0.02

ตารางที่ 2 แสดงค่าการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลแบบ cross-validation ของ SOC จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ.2560

OBJECTID *	No	SOC	RASTERVALU	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|$	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|2$
1	1	1.519983	1.464654	-0.055329	0.003061298
2	2	1.096288	1.042892	-0.053396	0.002851133
3	4	1.096288	0.852893	-0.243395	0.059241126
4	18	0.858469	0.915879	0.05741	0.003295908
5	19	0.893271	0.932781	0.03951	0.00156104
6	23	0.986079	0.998419	0.01234	0.000152276
7	30	0.603248	0.731111	0.127863	0.016348947
8	31	0.783063	0.876125	0.093062	0.008660536
9	33	0.672854	0.915879	0.243025	0.059061151
11	36	0.768151	0.644092	-0.124059	0.015390635
12	44	0.854817	0.721728	-0.133089	0.017712682
13	46	0.625522	0.825236	0.199714	0.039885682
14	47	1.168537	1.275952	0.107415	0.011537982
15	58	0.876243	1.040807	0.164564	0.02708131
16	60	0.897989	1.245302	0.347313	0.12062632
17	68	1.448039	1.388401	-0.059638	0.003556691
18	71	1.354659	1.60555	0.250891	0.062946294
19	72	2.191247	1.369077	-0.82217	0.675963509
20	74	1.702597	1.418573	-0.284024	0.080669633
21	78	1.989559	1.701273	-0.288286	0.083108818
22	82	1.646313	1.442956	-0.203357	0.041354069
23	84	1.87081	1.786239	-0.084571	0.007152254
24	91	1.508121	1.653157	0.145036	0.021035441
25	92	1.492811	1.643985	0.151174	0.022853578
26	94	1.395009	1.600077	0.205068	0.042052885
27	96	1.262429	1.12907	-0.133359	0.017784623
28	97	0.855632	1.016961	0.161329	0.026027046
29	99	1.321929	1.39428	0.072351	0.005234667
30	102	1.014082	1.132631	0.118549	0.014053865

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 (ต่อ) แสดงค่าการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลแบบ cross-validation ของ SOC จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ.2560

OBJECTID *	No	SOC	RASTERVALU	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|$	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|2$
31	107	1.352325	1.384035	0.03171	0.001005524
32	108	0.878914	1.195822	0.316908	0.10043068
33	109	1.59097	1.623832	0.032862	0.001079911
34	121	1.206809	1.611599	0.40479	0.163854944
35	125	1.142782	1.359119	0.216337	0.046801698
36	126	1.160244	1.31049	0.150246	0.022573861
37	130	1.404711	1.522821	0.11811	0.013949972
38	131	1.243673	1.544701	0.301028	0.090617857
39	132	1.362026	1.327646	-0.03438	0.001181984
40	135	1.596144	1.603393	0.007249	5.25E-05
41	138	1.58515	1.499487	-0.085663	0.00733815
42	142	2.107066	1.638109	-0.468957	0.219920668
43	144	1.162184	1.372663	0.210479	0.044301409
44	147	1.460977	1.614709	0.153732	0.023633528
45	149	1.127261	1.538604	0.411343	0.169203064
46	151	1.084576	1.18908	0.104504	0.010921086
47	155	1.525522	1.742552	0.21703	0.047102021
48	160	2.231239	1.412417	-0.818822	0.670469468
49	165	1.600928	1.55643	-0.044498	0.001980072
50	168	1.212297	0.996615	-0.215682	0.046518725
			sum	1.020267	3.173198568
			MAE	0.02040534	0.063463971
			RMSE		0.251920566
			std	0.355044225	
			RPD	1.409349903	
			IQ	0.515623	
			RPIQ	2.04676819	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3 แสดงค่าการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลแบบ cross-validation ของ SOC จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ.2563

OBJECTID	No	SOC	RASTERVALU	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|$	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|2$
1	2	1.221321	1.2452	0.023879	0.000570207
2	4	1.604557	1.47963	-0.124927	0.015606755
3	5	1.020671	1.22698	0.206309	0.042563403
4	7	1.160093	1.32836	0.168267	0.028313783
5	12	1.096288	1.29205	0.195762	0.038322761
6	18	0.744212	1.48192	0.737708	0.544213093
7	20	0.749202	1.11236	0.363158	0.131883733
8	22	1.658037	1.5874	-0.070637	0.004989586
9	23	1.792343	1.50955	-0.282793	0.079971881
10	26	0.730858	1.74436	1.013502	1.027186304
11	30	1.719091	1.07056	-0.648531	0.420592458
12	35	0.975104	1.24975	0.274646	0.075430425
13	38	1.064694	1.2184	0.153706	0.023625534
14	39	1.144221	1.2184	0.074179	0.005502524
15	41	0.168144	1.2184	1.050256	1.103037666
16	43	2.839616	2.20261	-0.637006	0.405776644
17	46	0.977701	1.53822	0.560519	0.314181549
18	53	1.154292	1.20627	0.051978	0.002701712
19	58	1.537123	1.16252	-0.374603	0.140327408
20	64	1.090487	1.28347	0.192983	0.037242438
21	70	1.931555	1.51201	-0.419545	0.176018007
22	73	1.49652	1.23401	-0.26251	0.0689115
23	75	1.571926	1.59113	0.019204	0.000368794
24	76	1.12529	1.5185	0.39321	0.154614104
25	83	1.589327	1.10887	-0.480457	0.230838929
26	84	0.823666	1.0371	0.213434	0.045554072
27	94	1.055684	0.87944	-0.176244	0.031061948
28	95	1.287703	0.81777	-0.469933	0.220837024
29	100	0.678654	1.29722	0.618566	0.382623896
30	102	1.044084	1.08363	0.039546	0.001563886

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3 (ต่อ) แสดงค่าการตรวจสอบความถูกต้องของโมเดลแบบ cross-validation ของ SOC จังหวัดสระบุรี ปี พ.ศ.2563

OBJECTID	No	SOC	RASTERVALU	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|$	$\|Z*(Xi)-Z(Xi)\|2$
31	103	1.351508	1.4869	0.135392	0.018330994
32	117	1.537123	1.27862	-0.258503	0.066823801
33	119	1.850348	1.4257	-0.424648	0.180325924
34	122	1.49652	1.37668	-0.11984	0.014361626
35	125	0.812065	1.49214	0.680075	0.462502006
36	126	1.142691	1.34775	0.205059	0.042049193
37	129	2.465197	1.54538	-0.919817	0.846063313
38	131	2.401392	1.57085	-0.830542	0.689800014
39	134	1.397912	1.58047	0.182558	0.033327423
40	139	1.885151	1.44504	-0.440111	0.193697692
			sum	0.613249	8.301714012
			MAE	0.015331225	0.20754285
			RMSE		0.455568711
			std	0.322466213	
			RPD	0.707832223	
			IQ	0.291765	
			RPIQ	0.640441262	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นครินทร์ มูลรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	29 สิงหาคม 2535
สถานที่เกิด	สระแก้ว
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยบรูพา
ที่อยู่ปัจจุบัน	5/87 เอกบดินทร์ ซอยลาดพร้าว 17 ถ.ลาดพร้าว แขวงลาดยาว เขตจตุจักร 10900

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University