

ผลงานลำดับที่ 3

การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์
รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน

Utilization of Remote Sensing Database derived
from Open-source software and Cloud computing
platform for Land Development

โดย

นายทศน์ศว์ รัตนแก้ว

เอกสารประกอบการขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
ผู้เชี่ยวชาญด้านสำรวจการใช้ที่ดินด้วยเทคโนโลยีระยะไกล

(นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ)

ตำแหน่งเลขที่ 9

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

คำนำ

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ได้เข้ามามีบทบาทต่อการวิเคราะห์วางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน และติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถบันทึกข้อมูลสภาพสิ่งปกคลุมดินหรือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมทั้งสภาพทรัพยากรในพื้นที่นั้น ๆ ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ การจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล นับเป็นพื้นฐานและขั้นตอนที่สำคัญที่สุดสำหรับการใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน การติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ การประมาณจำนวนเนื้อที่ และการประเมินผลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น การพัฒนาของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในอดีตถึงปัจจุบัน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการประมวลผลภาพได้ก้าวหน้าผ่านการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (Object-based classification) โดยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุเป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้ทุกจุดภาพ (Pixel) ในการจำแนกเพียงอย่างเดียว แต่มีการใช้พารามิเตอร์อื่นร่วมในการจำแนกด้วย เช่น พื้นผิว มาตรฐาน สี จากการจัดกลุ่มของจุดภาพหรือการแบ่งส่วนของภาพในการจัดประเภทข้อมูล จึงมีความแตกต่างกับวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel-based classification) ที่ใช้จุดภาพทุกจุดในการจัดประเภทข้อมูล ซึ่งมักเกิดข้อผิดพลาดในการจำแนกหากภาพที่ใช้ในการจำแนกมีสิ่งรบกวน เช่น เงาของเมฆ มุมตกกระทบของแสงที่ทำให้วัตถุมีค่าการสะท้อนผิดเพี้ยนไปจากปกติ ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนเชิงช่วงคลื่นของพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งค่าดังกล่าวอาจมีประโยชน์อย่างมากในการแยกแยะชนิดของพืชที่เซนเซอร์ของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ ประกอบกับระบบการเพาะปลูกพืชในภาคเกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสังเกตพัฒนาการของพืชในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น การประมาณผลผลิตพืช เป็นต้น ดังนั้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์การจำแนกที่มีความถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นต้องมีหลายปัจจัยเข้ามามีส่วนร่วม ได้แก่ การเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลสนับสนุน การเลือกใช้ขั้นตอนในการจำแนกที่เหมาะสม รวมถึงทักษะการวิเคราะห์และประสบการณ์ของผู้ศึกษา ระบบการเรียนรู้เครื่อง (Machine learning) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากอัลกอริทึมของระบบดังกล่าวเป็นอัลกอริทึมแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non-parametric algorithms) ไม่ตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูล ไม่ใช้ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ทางสถิติ (Statistical parameters) ในการจำแนกข้อมูล สามารถใช้จำแนกข้อมูลที่มีการกระจายหลากหลายแบบมีความรวดเร็วและแม่นยำในการจำแนกข้อมูลที่มีความซับซ้อนและปริมาณมาก มีการพัฒนาของอัลกอริทึมหลากหลายชนิดเพื่อนำมาเป็นทางเลือกในการจำแนกอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น เช่น อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ (Decision tree) อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) อัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) และอัลกอริทึมป่าสุ่ม (Random forest) ทำให้การใช้ระบบการเรียนรู้เครื่องกลายเป็นเรื่องยากน้อยลงเนื่องจากความก้าวหน้าของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ (Hamidisepehr *et al.*, 2020)

Google Earth Engine (GEE) เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open-source software) และเป็นแพลตฟอร์มสำหรับประมวลผลแบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ (Cloud computing platform) ให้บริการโดย

บริษัทกูเกิล (Google Inc.) ตั้งแต่ พ.ศ. 2553 GEE ถูกใช้เพื่อการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ (Geospatial data) ของภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite image) โดยกูเกิลได้จัดทำภาพถ่ายดาวเทียมและเก็บข้อมูลบันทึกย้อนหลังมากกว่า 40 ปี ไว้ในแบบคลังข้อมูลสาธารณะ (Data mining) โดยการใช้งานโปรแกรม GEE จะเป็นการเขียนโค้ดคำสั่ง (Code editor) ในภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel และ ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Modis หรือชุดข้อมูลภาพอื่นๆ ที่ได้จากดัดแปลงโดยการคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตั้งต้น เช่น ชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ชุดข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวและชุดข้อมูลการเผาไหม้ เป็นต้น เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และการสร้างภาพ (Visualization) จากชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial information) นำมาวิเคราะห์และประมวลผลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น แสดงข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Precipitation) หรือข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) เป็นต้น (พงศ์พันธุ์ และคณะ, 2564) ซึ่งการทำงานของระบบจะทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต บนเว็บไซต์ <https://earthengine.google.com> โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องความสามารถของอุปกรณ์และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากปริมาณของข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นการทำงานผ่านระบบคลาวด์ ซึ่งถือเป็นเครื่องมือประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างมากสำหรับการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล โดยไม่จำเป็นต้องดาวน์โหลดข้อมูล ซึ่งการให้บริการ GEE หากใช้เพื่อการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้อง สามารถใช้บริการได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ถือเป็นทางเลือกในการลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และลดข้อจำกัดในการเข้าถึงซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่อาจมีราคาสูง (พงศ์พันธุ์ และคณะ, 2564)

นายทศนัศว์ รัตนแก้ว

พฤษภาคม พ.ศ. 2567

สารบัญ

	หน้า
คำนำ	(1)
สารบัญ	(3)
สารบัญตาราง	(4)
สารบัญภาพ	(5)
แบบการเสนอผลงาน ระดับเชี่ยวชาญ	1
ส่วนที่ 1 ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง	1
ส่วนที่ 2 ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน	3
1. ชื่อเรื่อง	3
2. ระยะเวลาการดำเนินการ	3
3. ความรู้ ความชำนาญงาน หรือความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	3
4. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน	51
5. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)	52
6. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ	78
7. ความยุ่งยากและซับซ้อนในการดำเนินการ	78
8. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ	80
9. ข้อเสนอแนะ	80
10. การเผยแพร่ผลงาน	81
11. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน (ถ้ามี)	85
เอกสารอ้างอิง	87

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	10
ตารางที่ 2	17
ตารางที่ 3	19
ตารางที่ 4	21
ตารางที่ 5	23
ตารางที่ 6	39
ตารางที่ 7	46
ตารางที่ 8	47

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 การจัดเก็บข้อมูลโดยเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลระดับพื้นดิน ระดับอากาศ และระดับอวกาศ	4
ภาพที่ 2 การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยใช้เครื่องวัดติดเซ็นเซอร์แบบมือถือ	5
ภาพที่ 3 การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยใช้เซ็นต์เซอร์ติดกับพาหนะ	5
ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000	6
ภาพที่ 5 การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยใช้เซ็นต์เซอร์ติดกับโดรน	7
ภาพที่ 6 ภาพถ่ายที่ได้จากโดรนที่ติดกล้องชนิด multispectral ขนาดรายละเอียดของจุดภาพ 0.05 เมตร	7
ภาพที่ 7 การจัดเก็บข้อมูลระดับอวกาศโดยใช้เซ็นต์เซอร์ติดกับดาวเทียม	8
ภาพที่ 8 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	9
ภาพที่ 9 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	10
ภาพที่ 10 แบบจำลองแนวคิดของกระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องในกระบวนการรับรู้ระยะไกล	11
ภาพที่ 11 หน้าต่างบรรยากาศ	12
ภาพที่ 12 การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก	13
ภาพที่ 13 กราฟลายเซ็นต์เชิงคลื่น (spectral signature) ของวัตถุต่างๆ	14
ภาพที่ 14 ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution)	15
ภาพที่ 15 ความละเอียดเชิงสเปกตรัม (Spectral Resolution)	16
ภาพที่ 16 ความละเอียดเชิงรังสี (Radiometric Resolution)	16
ภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพถ่าย Landsat 5 TM Path 128 Row 50 บันทึกเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2549 โดยการผสมสีแบบเท็จ แบนด์ 4R-5G-3B	21
ภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพถ่าย Landsat 8 Path 128 Row 50 บันทึกเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2559 โดยการผสมสีแบบเท็จ แบนด์ 5R-6G-4B	22
ภาพที่ 19 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากสีของภาพถ่าย Landsat 8 ซึ่งผสมสีแบบเท็จ แบนด์ 5R-6G-4B	29
ภาพที่ 20 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากขนาด และ รูปร่างของพื้นที่จากภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข	30
ภาพที่ 21 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากเนื้อภาพของพื้นที่จากภาพดาวเทียม Landsat 8	30
ภาพที่ 22 หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแลโดยวิธี Maximum likelihood	34
ภาพที่ 23 หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแลโดยวิธี Minimum Distance	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 24 กระบวนการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแลโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร	37
ภาพที่ 25 กระบวนการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน	38
ภาพที่ 26 ค่าลายเซ็นเชิงคลื่นของพืชเมื่อระดับความชื้นของดินต่างกัน	41
ภาพที่ 27 องค์ประกอบบนเว็บไซต์ Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน	55
ภาพที่ 28 หน้าต่างที่ 1 ของ Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน	56
ภาพที่ 29 หน้าต่างที่ 2 ของ Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน	56
ภาพที่ 30 การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน กูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยวิธีปักหมุด	58
ภาพที่ 31 การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน กูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยวิธีการวาดรูปร่าง ภาพหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือวาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular)	59
ภาพที่ 32 การนำเข้าขอบเขตที่เตรียมไว้สู่ระบบกูเกิลเอิร์ธเอนจิน	60
ภาพที่ 33 การเรียกใช้ขอบเขตจังหวัดราชบุรีเข้าสู่ระบบกูเกิลเอิร์ธเอนจิน	61
ภาพที่ 34 หน้าต่าง Data catalog ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม	62
ภาพที่ 35 การเรียกใช้ภาพการนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในคลังข้อมูลบนคลาวด์	63
ภาพที่ 36 ภาพดาวเทียม Landsat 8 บริเวณจังหวัดราชบุรี ที่เรียกจากคลังภาพโดยใช้ Code editor 3-5	64
ภาพที่ 37 ภาพ Landsat 8 TOA reflectance ผสมสีภาพแบบสีจริง บริเวณจังหวัดราชบุรี	64
ภาพที่ 38 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 บริเวณจังหวัดราชบุรี ที่ใช้คำสั่งผสมสีภาพแบบสีจริง และตัดภาพ	66
ภาพที่ 39 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 บริเวณจังหวัดราชบุรี ที่ดาวน์โหลดผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน นำเข้าใช้งานในโปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศอื่นๆ	67
ภาพที่ 40 ภาพสีผสมของดาวเทียม Sentinel 1 บริเวณจังหวัดราชบุรี ในช่วงฤดูเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2565 โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน	69
ภาพที่ 41 ภาพการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน unsupervised classification แบบ k-mean แบบ 10 ประเภทของดาวเทียม Sentinel 1 บริเวณจังหวัดราชบุรี ในช่วง ฤดูเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2565 โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน	70
ภาพที่ 42 ภาพดัชนี NDVI บริเวณจังหวัดราชบุรีที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8	71
ภาพที่ 43 กราฟค่า NDVI เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา บริเวณจังหวัดราชบุรี โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน	72
ภาพที่ 44 ภาพการดาวน์โหลดข้อมูลความชื้นดินรายเดือนจากฐานข้อมูล SMAP บริเวณจังหวัดราชบุรี	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 45 การใช้ข้อมูลข้อมูลความขึ้นดินรายเดือนจากฐานข้อมูล SMAP บริเวณจังหวัด ราชบุรีในโปรแกรม Microsoft excel	75
ภาพที่ 46 การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ติดตามพื้นที่เผาไหม้ในประเทศไทยโดยใช้ กูเกิลเอิร์ธเอนจิน	76
ภาพที่ 47 การเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข จากฐานข้อมูล SRTM90_V4' บริเวณจังหวัดราชบุรี	77
ภาพที่ 48 การเผยแพร่ผลงานผ่านเว็บไซต์ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน	81
ภาพที่ 49 การเผยแพร่ผลงานผ่านเว็บไซต์ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดินผ่านเว็บไซต์กองนโยบาย และแผนการใช้ที่ดิน	82
ภาพที่ 50 เอกสารกำหนดการถ่ายทอดความรู้ (coaching) ให้บุคคลากรในหน่วยงาน	83
ภาพที่ 51 เอกสารแสดงความเห็นชอบให้จัดการถ่ายทอดความรู้ (coaching) ให้บุคคลากร ในหน่วยงาน	84

แบบการเสนอผลงาน ระดับเชี่ยวชาญ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลบุคคล/ตำแหน่ง

ชื่อผู้ขอประเมิน นายทศนัศว์ รัตนแก้ว

ตำแหน่งปัจจุบัน นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งปัจจุบัน

1. ศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์ และวิจัยเชิงลึก เพื่อประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับงานสำรวจและทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ เพื่อการคาดการณ์ผลผลิต พื้นที่มีศักยภาพการปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญ การติดตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของประเทศ ตลอดจนศึกษาแนวโน้มของการสำรวจด้วยข้อมูลระยะไกลเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการใช้ที่ดินและกำหนดเขตปลูกพืชเศรษฐกิจ

2. ให้คำปรึกษา และเสนอแนะต่อกรมพัฒนาที่ดิน ในการกำหนดนโยบายการใช้ที่ดิน ศักยภาพการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับเป้าหมาย แผนงาน โครงการต่างๆ ตามยุทธศาสตร์ที่กำหนดเขตการใช้ที่ดินเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการกำหนดเขตการใช้ที่ดิน

3. ให้คำปรึกษา วินิจฉัยปัญหาที่สำคัญเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและการจัดทำข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของพืชเศรษฐกิจแก่นักวิจัยบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อประโยชน์สูงสุดของงานวิจัย

4. ให้คำปรึกษา แนะนำ ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีระยะไกล ในการดำเนินงานวิเคราะห์วิจัยของกรมพัฒนาที่ดินเพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ที่กำหนดไว้

5. ประสานงานและให้ความร่วมมือกับหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้อง ทั้งในและต่างประเทศเพื่อสร้างความร่วมมือในทางวิชาการ

6. ปฏิบัติงานอื่นๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย เพื่อสนับสนุนให้สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดินในภาพรวมบรรลุภารกิจที่กำหนดไว้

ตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ

หน้าที่ความรับผิดชอบของตำแหน่งที่จะแต่งตั้ง

1. ศึกษา ค้นคว้า วิเคราะห์ และวิจัยเชิงลึก เพื่อประยุกต์เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์กับงานสำรวจและทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ เพื่อการคาดการณ์ผลผลิต พื้นที่มีศักยภาพการปลูกพืชเศรษฐกิจสำคัญ การติดตามสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินของประเทศ ตลอดจนศึกษานวัตกรรมใหม่ของการสำรวจด้วยข้อมูลระยะไกลเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการวางแผนการใช้ที่ดินและกำหนดเขตปลูกพืชเศรษฐกิจ
2. ให้คำปรึกษา และเสนอแนะต่อกรมพัฒนาที่ดิน ในการกำหนดนโยบายการใช้ที่ดิน ศักยภาพการใช้ที่ดินให้สอดคล้องกับเป้าหมาย แผนงาน โครงการต่างๆ ตามยุทธศาสตร์ที่กำหนดเขตการใช้ที่ดินเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการกำหนดเขตการใช้ที่ดิน
3. ให้คำปรึกษา วินิจฉัยปัญหาที่สำคัญเกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและการจัดทำข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ของพืชเศรษฐกิจแก่นักวิจัยบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อประโยชน์สูงสุดของงานวิจัย
4. ให้คำปรึกษา แนะนำ ถ่ายทอดองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีระยะไกล ในการดำเนินงานวิเคราะห์วิจัยของกรมพัฒนาที่ดินเพื่อให้สอดคล้องกับยุทธศาสตร์ที่กำหนดไว้
5. ประสานงานและให้ความร่วมมือกับหน่วยงานและองค์กรที่เกี่ยวข้อง ทั้งในและต่างประเทศเพื่อสร้างความร่วมมือในทางวิชาการ
6. ปฏิบัติงานอื่นๆ ตามที่ได้รับมอบหมาย เพื่อสนับสนุนให้สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดินในภาพรวมบรรลุภารกิจที่กำหนดไว้

ส่วนที่ 2 ผลงานที่เป็นผลการปฏิบัติงานหรือผลสำเร็จของงาน

1. เรื่อง การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่อ
งานพัฒนาที่ดิน

Utilization of Remote Sensing Database derived from Open-source software and
Cloud computing platform for Land Development

2. ระยะเวลาการดำเนินการ ดำเนินงาน 12 เดือน (ตุลาคม พ.ศ. 2563 - กันยายน พ.ศ. 2564)

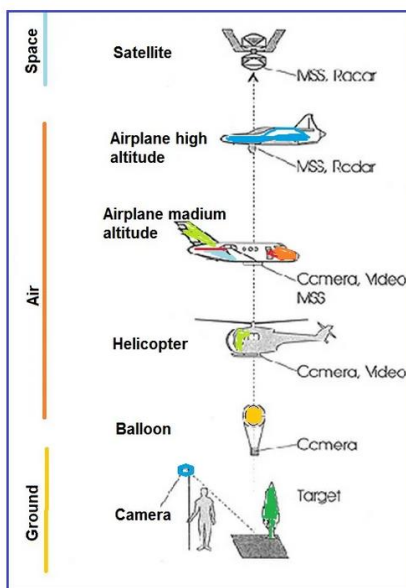
3. ความรู้ ความชำนาญงาน หรือความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

เอกสารวิชาการฉบับนี้ได้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน ซึ่งเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของได้มีการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านต่าง ๆ ได้แก่ หลักการด้านการสำรวจระยะไกล หลักการด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ ความรู้ด้านการพัฒนาที่ดิน ความรู้ด้านปฐพีวิทยา ความรู้ด้านเกษตรศาสตร์ และ การใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

3.1.1 หลักการเบื้องต้นเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing: RS) เป็นการได้มาของข้อมูล (Data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information extraction) ต่างๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานไปยังวัตถุ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์จัดเก็บพลังงานสะท้อนกลับ แล้วทำการสกัดสารสนเทศต่างๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ซึ่งการได้มาของข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่างๆ บนผิวโลกกระบวนการตรวจวัดข้อมูล และการบันทึกข้อมูล (Jensen, 2000; อมร, 2558; ทศนัศร, 2558; Kulo, 2018; Aggarwa, n.d.) เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล สามารถแยกตามระดับการจัดเก็บข้อมูลได้เป็น 3 ประเภทหลัก (ภาพที่ 1) ได้แก่ การสำรวจระดับพื้นดิน (Ground based) ระดับอากาศ (Aerial based) และระดับอวกาศ (Satellite based) (Liaghat and Balasundram, 2010; Kulo, 2018; Sishodia *et al.*, 2020; Navalgund, 2001; ทศนัศร, 2558) ซึ่งการสำรวจในแต่ละระดับของการสำรวจมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น ค่าใช้จ่าย ขนาดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล ข้อจำกัดของสภาพอากาศ และระยะเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล โดยในการเลือกใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลในแต่ละระดับมีเกณฑ์มากมายในการเลือกแต่เกณฑ์ที่สำคัญที่สุดคือความละเอียดที่ต้องการ ความครอบคลุมของพื้นที่ และค่าใช้จ่าย (Kulo, 2018; ทศนัศร, 2558)



ภาพที่ 1 การจัดเก็บข้อมูลโดยเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลระดับพื้นดิน ระดับอากาศ และระดับอวกาศ
ที่มา : GISRSStudy (2023)

1) เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลแยกตามระดับการจัดเก็บข้อมูล 3 ประเภท

1.1) การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดิน (Ground based) เป็นการการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เซ็นเซอร์จัดเก็บค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับพื้นดิน เช่น เครื่องวัดติดเซ็นเซอร์แบบมือถือ (Hand-held) (ภาพที่ 2) เครื่องวัดที่ติดบนหอคอย cranes หรือ ติดกับพาหนะ (ภาพที่ 3) (Navalgund, 2001) การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินอาศัยหลักการสะท้อนแสงและจัดเก็บค่าสะท้อนแสงเช่นเดียวกับเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลแยกตามระดับอื่นๆ ปัจจุบันมีการใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากการพัฒนาเซ็นเซอร์ active-light remote sensing devices หรือ on-the-go proximal system อย่างต่อเนื่อง สามารถจัดเตรียมข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และใช้ประโยชน์ได้ทันที (real time) ประกอบกับการกำหนดค่าพิกัดบนพื้นโลก เซ็นเซอร์ชนิดนี้จะถูกติดกับพาหนะเช่นรถไถในบริเวณด้านหน้าหรือด้านหลังแล้วขับในแปลงปลูกพืชเซ็นเซอร์จะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) ไปยังต้นพืช และรับคลื่นดังกล่าวที่พืชสะท้อนกลับ รวบรวมจากจุดต่างๆทั่วทั้งแปลง และสามารถจัดทำเป็นแผนที่ระดับแปลง แต่อย่างไรก็ตามการจัดเก็บข้อมูลในระดับพื้นดินมีค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลานานเพื่อให้ได้ข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (ทศนัศร, 2558; Chang and clay, 2016; Hamidisepehr *et al.*, 2020) การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดิน โดยทั่วไปนิยมใช้สำหรับวัดค่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับสอบเทียบกับเซ็นเซอร์ในระดับอากาศและระดับอวกาศ ใช้เป็นปัจจัยสำหรับการจัดทำแบบจำลองการเติบโตทางกายภาพระดับทรงพุ่มของพืช และใช้เป็นปัจจัยป้อนเข้าโดยตรงสำหรับการตัดสินใจด้านการจัดการ (Kulo, 2018; Clarke, n.d.)



ภาพที่ 2 การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยใช้เครื่องวัดตื้นเซ็นเซอร์แบบมือถือ
ที่มา : Clarke (n.d.)



ภาพที่ 3 การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยใช้เซ็นเซอร์ติดกับพาหนะ
ที่มา : Piekutowska *et al.* (2018)

1.2) การจัดเก็บข้อมูลระดับอากาศ (Aerial based) การสำรวจระดับอากาศ ซึ่งใช้กล้องชนิด multispectral หรือ hyperspectral และ เครื่อง GPS ติดกับเครื่องบินหรืออากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) เฮลิคอปเตอร์ บอลลูน และเครื่องบิน เป็นต้น (Navalgund, 2001; Kulo, 2018) เพื่อการเก็บข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งสามารถใช้จัดทำเป็นภาพถ่ายออร์โธรีโธกราฟิก เช่น โครงการภาพถ่ายออร์โธรีโธกราฟิก มาตราส่วน 1 : 4,000 ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี 2545 (ภาพที่ 4) เป็นข้อมูลภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดกับเครื่องบิน ข้อมูลภาพที่ได้มีกระบวนการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเนื่องจากเรขาคณิตของการถ่ายภาพ และความสูงต่างของภูมิประเทศ (relief displacement) โดยมีระบบพิกัดอ้างอิง ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพถ่ายที่ปรากฏรายละเอียดลักษณะสิ่งปกคลุมภูมิประเทศ ณ เวลาที่ทำการถ่ายภาพไว้ทั้งหมด มีมาตราส่วนและความถูกต้อง สามารถวัดพิกัด ทิศทาง ระยะทาง ขนาด และรูปร่างของวัตถุได้

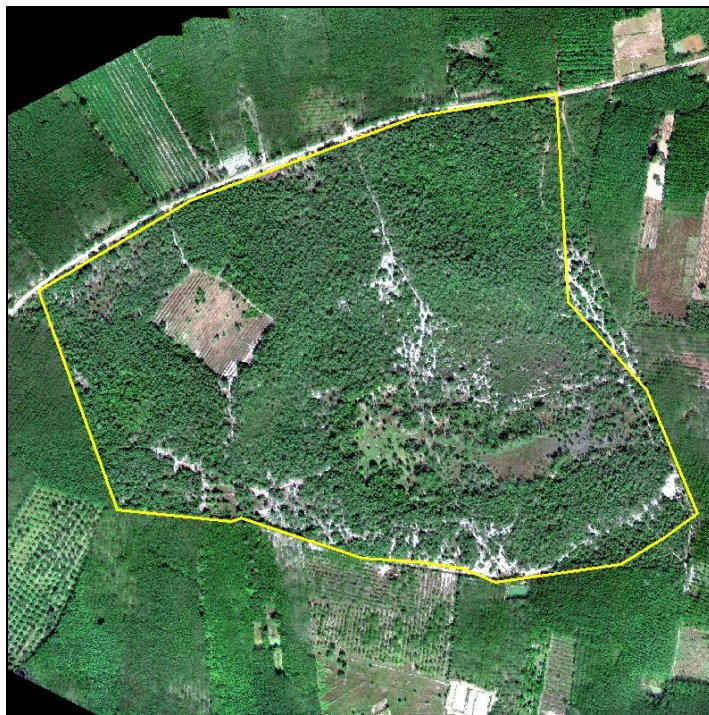
เช่นเดียวกับแผนที่ลายเส้น หรือแผนที่ภูมิประเทศ มีระวางขนาด 50 x 50 เซนติเมตร ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 2 x 2 ตารางกิโลเมตรต่อระวาง ระบบพิกัดกริด UTM พื้นหลักฐาน WGS84 ทั้งนี้แผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000 มีความละเอียดจุดภาพ (pixel) 3 ระดับ ได้แก่ ความละเอียดจุดภาพ 0.50 1 และ 10 เมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2560) และภาพที่ได้จาก UAV หรือ โดรน (drone) ที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดกับ UAV (ภาพที่ 5 และภาพที่ 6) ข้อดีของภาพถ่ายทางอากาศ คือ ข้อมูลที่ได้มีความเป็นปัจจุบันสูง ความละเอียดจุดภาพสูง สามารถบินถ่ายภาพในช่วงเวลาต่างๆได้ตามที่ต้องการ ได้ข้อมูลและสาระที่ถูกต้องครบถ้วน ประหยัดต้นทุน และเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับในการเดินสำรวจในพื้นที่จริง (Chang and Clay, 2016) แต่ยังมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า ภาพถ่ายครอบคลุมได้น้อยกว่าและใช้เวลาการถ่ายภาพเก็บข้อมูลนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเก็บข้อมูลระดับอวกาศ



ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000
ที่มา : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2545)



ภาพที่ 5 การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยใช้เซ็นเซอร์ติดกับโดรน

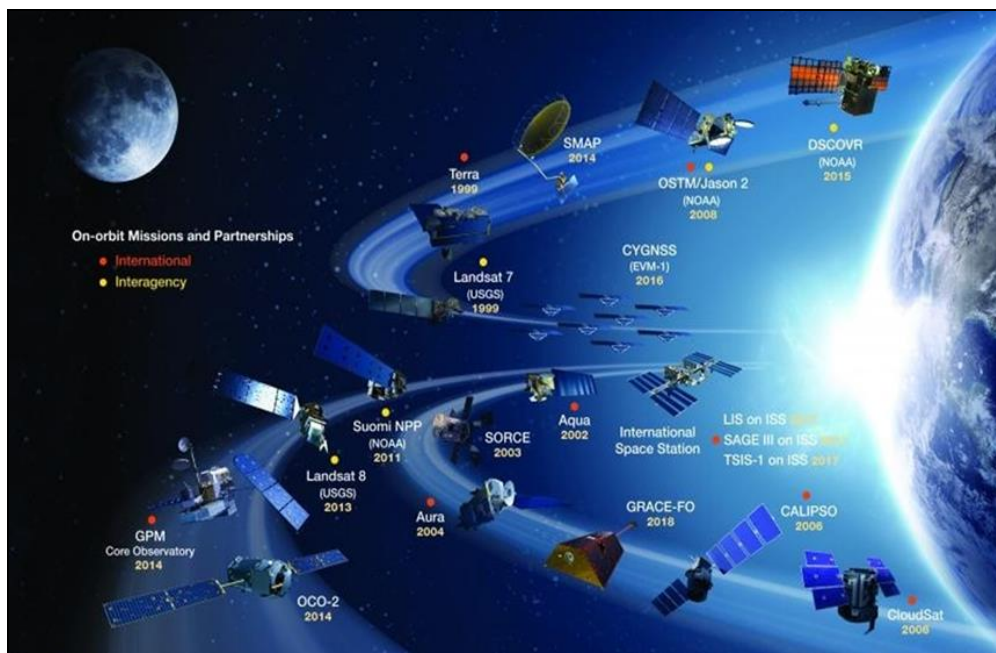


ภาพที่ 6 ภาพถ่ายที่ได้จากโดรนที่ติดกล้องชนิด multispectral ขนาดรายละเอียดของจุดภาพ 0.05 เมตร

1.3) การจัดเก็บข้อมูลระดับอวกาศ

การสำรวจระดับอวกาศเป็นการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้เซ็นเซอร์ที่ติดบนพาหนะที่อยู่ในระดับอวกาศ (Kulo, 2018) เช่น กระสวยอวกาศ (space shuttles) ดาวเทียมโคจรผ่านขั้วโลก (polar-orbiting satellites) และดาวเทียมวงโคจรประจำที่ geostationary satellites (Navalgund, 2001) ซึ่งปัจจุบันมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้บริการในปริมาณมากมีทั้งดาวเทียมรายละเอียดสูง เช่น Quickbird 2 และ

IKONOS (ทศน์ศว์, 2558) และดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง เช่น ดาวเทียม Landsat ซึ่งได้รับความนิยมในการใช้เพื่อการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินเนื่องจากสามารถจัดเก็บข้อมูลบริเวณกว้างได้อย่างรวดเร็ว และความถี่ในการบันทึกภาพขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงทำให้สามารถเลือกใช้ข้อมูลได้ตามช่วงเวลาที่ต้องการ ดาวเทียมบางดวงจัดทำเป็นภารกิจเป็นชุดดาวเทียมโดยกำหนดให้ข้อมูลมีลักษณะคงที่ไม่แตกต่างกันในแต่ละดวงที่สร้างขึ้นใหม่ เช่น ภารกิจดาวเทียม Landsat ซึ่งเริ่มปล่อยดาวเทียม Landsat 1 ในวันที่ 6 มกราคม พ.ศ. 2521 และดาวเทียม Landsat ดวงล่าสุดที่ปล่อยสู่วงโคจรโลกคือ ดาวเทียม Landsat 9 ในวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2564 (USGS, n.d.) ทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้ข้อมูลภาพในแต่ละช่วงเวลาเปรียบเทียบกันได้ง่าย เหมาะสำหรับใช้ศึกษาแนวโน้มต่างๆ ทั้งสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจ เป็นต้น ในอนาคต นอกจากนี้ปัจจุบันภาพถ่ายดาวเทียมมีบริการให้ใช้หลายแหล่งทั้งแบบไม่คิดค่าบริการและคิดค่าบริการ (Hird *et al.*, 2017) ดาวเทียมที่สร้างขึ้นใหม่บางภารกิจที่ให้บริการแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย เช่น ภารกิจดาวเทียม Sentinel ได้พัฒนาโดยติดเซ็นเซอร์ หลายแบบทำให้สามารถใช้งานได้หลากหลายขึ้น และมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้น (European Space Agency, 2022)



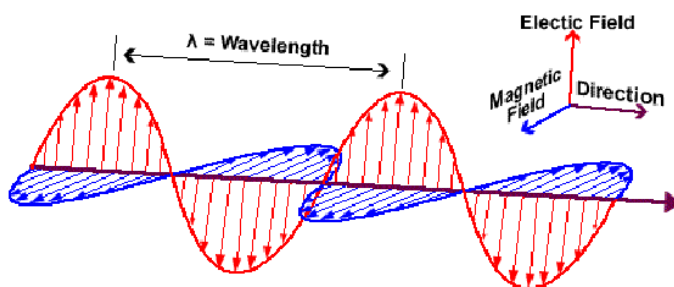
ภาพที่ 7 การจัดเก็บข้อมูลระดับอวกาศโดยใช้เซ็นเซอร์ติดกับดาวเทียม
ที่มา : Amondi (2019)

2) องค์ประกอบของเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

เนื่องจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลต้องอาศัยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ปล่อยออกมาแล้วสะท้อนจากวัตถุไปยังเซ็นเซอร์เพื่อจัดเก็บ ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะถูกปลดปล่อยออกมาแล้วสะท้อนกลับไปยังเซ็นเซอร์เพื่อจัดเก็บระดับปริมาณของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะช่วยในการระบุและจำแนกประเภทของวัตถุต่างๆ บนพื้นโลก ทำให้วิธีการรวบรวมการประมวลผล และการตีความข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลมีความหลากหลาย โดยองค์ประกอบของสำรวจจากระยะไกลมีดังนี้ (Aggarwal, n.d.; Ray, n.d.; GISRSStudy, 2023)

2.1) แหล่งพลังงานหรือแสงสว่าง

แหล่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยไปยังวัตถุสำหรับเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แหล่งพลังงานตามธรรมชาติ ซึ่งโดยทั่วไปคือพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ และแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้น (Horning *et al.*, n.d.) ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้จะส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปสัมผัสวัตถุต่างๆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ ปัจจุบันมีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในหลายๆ ด้าน เช่น การติดต่อสื่อสาร (มือถือ โทรศัพท์ วิทยุ เรดาร์ ไบแกว์นำแสง) ทางการแพทย์ (รังสีเอกซ์) การทำอาหาร (คลื่นไมโครเวฟ) การควบคุมรีโมท (รังสีอินฟราเรด) คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คือ เป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กตั้งฉากกันและเคลื่อนที่ไปยังทิศทางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : Aritra (2016)

คุณลักษณะสองประการของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจการรับรู้จากระยะไกล คือ ความยาวคลื่นและความถี่ (Jensen, 2000)

ความยาวคลื่น หมายถึง ความยาวของรอบคลื่นหนึ่งรอบ หรือระยะทางจากตำแหน่งใดๆ ในรอบหนึ่งไปยังตำแหน่งเดิมในรอบถัดไป โดยปกติจะใช้แทนด้วยอักษรกรีกแลมบ์ดา (λ) ความยาวของคลื่นมักจะวัดเป็นไมโครเมตร (มิลลิเมตร, 10^{-6} เมตร) และนาโนเมตร (นาโนเมตร, 10^{-9} เมตร)

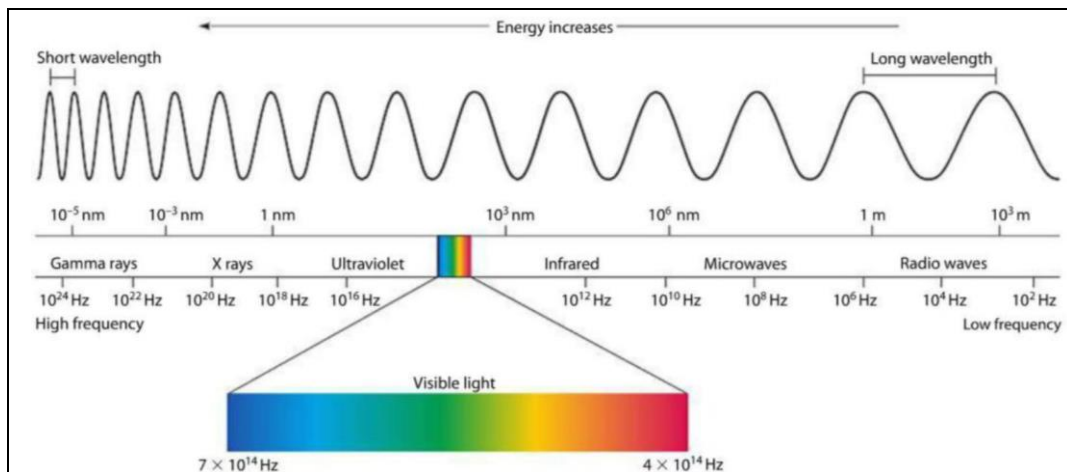
ความถี่ หมายถึง จำนวนยอดคลื่นที่ผ่านจุดที่กำหนดในหน่วยเวลาเฉพาะ โดยปกติจะวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hz) ความยาวและความถี่ของคลื่นมีความสัมพันธ์กับสมการต่อไปนี้

$$v = c / \lambda$$

v = ความถี่ c = ความเร็วของแสง λ = ความยาวคลื่น

ช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Spectrum) ประกอบด้วย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และความยาวคลื่นแตกต่างกัน (ภาพที่ 9) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรศัพท์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีประโยชน์มากในการสื่อสารและโทรคมนาคม ทางการแพทย์ และเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับช่วงของความยาวคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีประโยชน์ในการทำเข้าใจประเภทของพลังงานที่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องตรวจจับการรับรู้ระยะไกลที่หลากหลาย ซึ่งหน่วย

พื้นฐานของปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้า คือ โฟตอน โฟตอนที่ไม่มีมวลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที (186,000 ไมล์ต่อวินาที) อยู่ในรูปของคลื่นที่เรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานของโฟตอน กำหนดความยาวคลื่น และค่าที่เป็นรอบต่อวินาที โดยเมื่อโฟตอนมีพลังงานมากขึ้นความยาวคลื่นของแสงก็จะสั้นลง และขณะเดียวกันมีความถี่สูงขึ้น และในทางกลับกันเมื่อโฟตอนมีพลังงานน้อยลงความยาวคลื่นของแสงก็จะยาวขึ้น แต่ค่าความถี่จะลดลง ช่วงสเปกตรัมได้รับการแบ่งออกเป็นช่วงและมีการใช้ชื่อที่สื่อความหมายตามขนาดของ พลังงาน (ตารางที่ 1) โดยช่วงที่มีพลังมากที่สุด จะมีความถี่สูง ความยาวคลื่นสั้น คือรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ การแผ่รังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ตขยายจากประมาณ 1 นาโนเมตร (10^{-9} เมตร) ถึงประมาณ 360 นาโนเมตร (0.36 ไมโครเมตร หรือ 10^{-6} เมตร) ช่วงคลื่นที่สายตามองเห็น (visible wavelength) อยู่ในช่วง 0.40 ถึง 0.70 ไมโครเมตร (400 ถึง 700 นาโนเมตร) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (infrared wavelength) อยู่ในช่วง 0.70 ถึง 100 ไมโครเมตร เป็นต้น (Jensen, 2000)



ภาพที่ 9 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา : Jensen (2000)

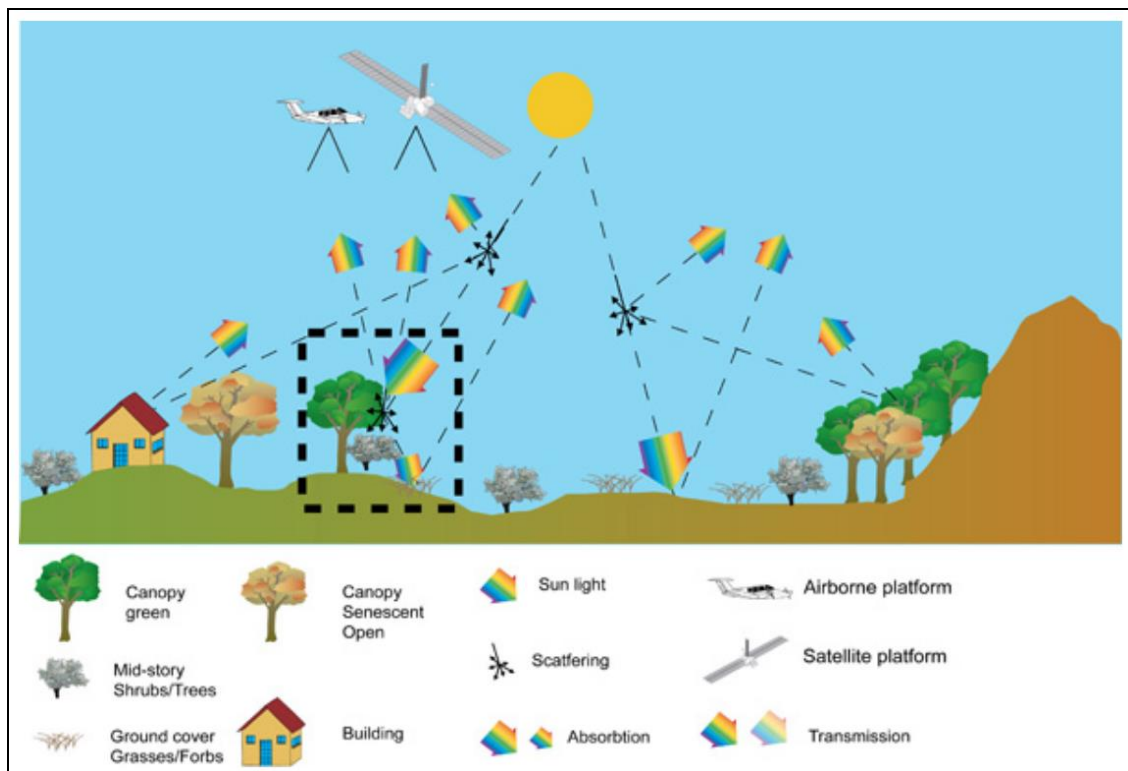
ตารางที่ 1 การแบ่งช่วงสเปกตรัมตามความยาวช่วงคลื่น

ชื่อช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น
Ultraviolet (UV)	0.30 - 0.48 ไมโครเมตร
Visible light	0.40 - 0.70 ไมโครเมตร Blue: 0.40 – 0.50 ไมโครเมตร Green: 0.500 – 0.60 ไมโครเมตร Red: 0.60 – 0.70 ไมโครเมตร
Near Infrared (NIR)	0.70 - 1.5 ไมโครเมตร
Middle Infrared (MIR)	1.5-5 ไมโครเมตร SWIR (1.5-3 ไมโครเมตร) MIR (3.0-5.0 ไมโครเมตร)
Microwave	1 มิลลิเมตร – 1 เมตร

ที่มา : Jensen (2000)

2.2) การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุ

การรับรู้จากระยะไกลเป็นการวัดสัดส่วนในการสะท้อนพลังงานของวัตถุบนผิวโลก ช่วงคลื่นใดช่วงคลื่นหนึ่ง เรียกว่า การสะท้อนเชิงคลื่น แต่อย่างไรก็ตามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านลงมาตกกระทบกับวัตถุต่างๆ และสะท้อนกลับไปยังเซ็นเซอร์ จะมีปฏิสัมพันธ์เกิดขึ้นตั้งแต่ชั้นบรรยากาศจนถึงวัตถุ ได้แก่ การดูดซับ (Absorption) การกระจัดกระจาย (scattering) การส่งผ่าน (transmission) และการสะท้อนกลับ (reflection) (ภาพที่ 10) ซึ่งการทำความเข้าใจและประมวลผลภาพที่ได้จากการรับรู้จากระยะไกลจำเป็นต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการเกิดปฏิสัมพันธ์เหล่านี้

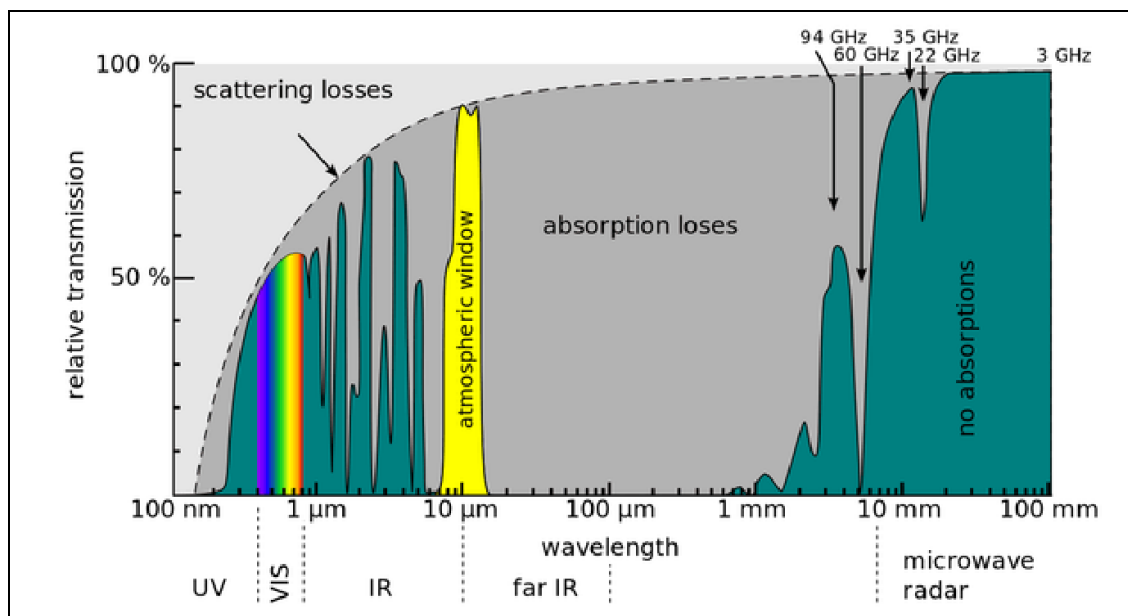


ภาพที่ 10 แบบจำลองแนวคิดของกระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องในกระบวนการรับรู้ระยะไกล
ที่มา : School of Earth and Environmental Sciences (n.d.)

2.2.1) การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศ

การดูดซับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบอาจเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศและบนพื้นโลก พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่มีส่วนประกอบของแก๊สชนิดต่างๆ จะถูกดูดกลืนไปตามสัดส่วนในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะตามชนิดของแก๊สนั้นๆ เมื่อรวมรูปแบบการดูดกลืนของแก๊สหลักๆ ทั้งหมดในชั้นบรรยากาศเข้าไว้ด้วยกันจะได้รูปแบบการดูดกลืนของชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามจากรูปแบบการดูดซับดังกล่าวจะเห็นว่าชั้นบรรยากาศยังเปิดให้หรือยินยอมให้ส่งผ่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในบางช่วง ซึ่งปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric Windows) (ภาพที่ 11) ชั้นบรรยากาศเปิดให้มีการส่งผ่านพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในสามช่วงหลักๆ ช่วงแรกความยาวคลื่นตรงกับช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นถึงอินฟราเรดใกล้และกลาง ซึ่งสามารถใช้ตามนุษย์หรือกล้องถ่ายรูปเป็นอุปกรณ์รับรู้ได้ หรือใช้เครื่องกราดภาพแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral scanner) ก็จะสามารถตอบสนองต่อพลังงาน

ในช่วงแคบๆ ได้หลายช่วง ช่วงที่สองจะเป็นช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ถึง 5 ไมโครเมตร และ 8 ถึง 14 ไมโครเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการปลดปล่อยความร้อนของผิวโลก ทั้งนี้ต้องใช้เครื่องกราฟิกเชิงความร้อน (Thermal scanner) และสุดท้ายช่วงเปิดกว้างอีกช่วงคือประมาณ 1 มิลลิเมตร ถึง 1 เมตร ซึ่งตรงกับช่วงไมโครเวฟ และความถี่วิทยุ ซึ่งมีการนำมาใช้งานทางด้านการถ่ายภาพด้วยเรดาร์ จากความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าและหน้าต่างชั้นบรรยากาศที่เปิดออกเพื่อให้พลังงานสามารถส่งผ่านไปยังและสะท้อนมาจากพื้นผิวโลก และการตอบสนองเชิงคลื่นของอุปกรณ์รับรู้ที่ใช้ในงานการรับรู้จากระยะไกล เราจึงต้องคำนึงถึงการตอบสนองของอุปกรณ์รับรู้ที่มีให้เลือกใช้ได้ ช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการใช้ที่เหมาะสมกับหน้าต่างชั้นบรรยากาศ แหล่งกำเนิด ขนาด และองค์ประกอบเชิงคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นดังกล่าว



ภาพที่ 11 หน้าต่างบรรยากาศ

ที่มา : Cepheiden (2009)

การกระจายการกระเจิงในชั้นบรรยากาศเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่แล้วมากระทบกับอนุภาคต่างในชั้นบรรยากาศ เช่น แก๊ส ละอองน้ำ หรือ ฝุ่น เป็นต้น ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้นมาชนกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศที่มีขนาดเล็กกว่าก็สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่หากอนุภาคในชั้นบรรยากาศมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนั้นก็จะเกิดการกระจายขึ้น ซึ่งการกระจายจะมียู่ 3 ลักษณะได้แก่

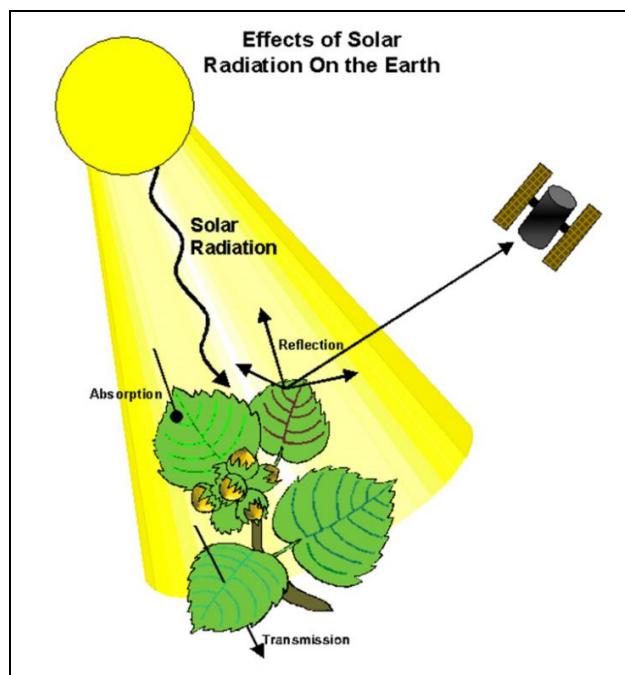
- Rayleigh scattering เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก แต่มีขนาดใหญ่กว่าช่วงแสงอัลตราไวโอเล็ตที่ 0.3 ไมโครเมตร การกระเจิงของเรย์ลีส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ 4.5 กิโลเมตร ปริมาณการกระเจิงจะแปรผกผันกับกำลังสี่ของความยาวคลื่นของรังสี มีหน้าที่รับผิดชอบในการปรากฏเป็นสีฟ้าของท้องฟ้า ความยาวคลื่นสีม่วงและสีน้ำเงินที่สั้นกว่าจะกระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าความยาวคลื่นสีเขียวและสีแดงที่ยาวกว่า นั่นคือเหตุผลที่ระบบการสำรวจระยะไกลส่วนใหญ่หลีกเลี่ยงการตรวจจับและบันทึกความยาวคลื่นในส่วนรังสีอัลตราไวโอเล็ตและสีน้ำเงินของสเปกตรัม

- Mie Scattering เกิดขึ้นที่ชั้นบรรยากาศต่ำกว่า 4.5 กิโลเมตร ซึ่งอาจมีอนุภาคทรงกลมจำนวนมากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณเท่ากับขนาดของความยาวคลื่นของพลังงานที่ตกกระทบ ขนาดที่แท้จริงของอนุภาคอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1 ถึง 10 เท่าของความยาวคลื่นของพลังงานที่ตกกระทบ สำหรับแสงที่ตามองเห็น สารกระจายตัวหลัก คือ ฝุ่น และ อนุภาคอื่นๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ประมาณสิบไมโครเมตรไปจนถึงหลายไมโครเมตร

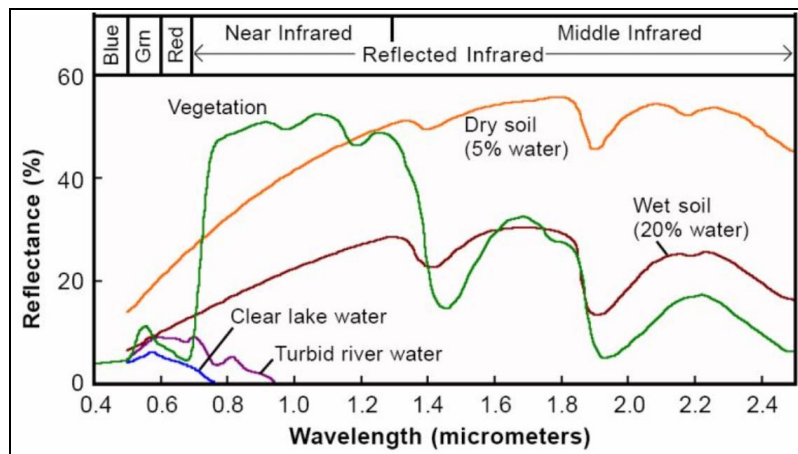
- Non- Selective Scattering เกิดขึ้นในส่วนต่ำสุดของบรรยากาศซึ่งมีอนุภาคมากกว่า 10 เท่าของความยาวคลื่นของ EMR ที่ตกกระทบ การกระเจิงแบบนี้ไม่มีการเลือก กล่าวคือ แสงทุกความยาวคลื่นจะกระเจิง ไม่ใช่แค่สีน้ำเงิน เขียว หรือแดง ดังนั้น หยตน้ำและผลึกน้ำแข็งที่ประกอบกันเป็นก้อนเมฆและกลุ่มหมอก จะกระจายความยาวคลื่นทั้งหมดของแสงที่มองเห็นได้ดีพอๆ กัน ทำให้เมฆปรากฏเป็นสีขาว เนื่องจากแสงสีน้ำเงินผสมกับแสงสีเขียวและแสงสีแดงในสัดส่วนที่ใกล้เคียงกันจะกลายเป็นแสงสีขาว

2.2.2) การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก

ส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศโดยไม่ถูกดูดซับ หรือกระจายกลับสู่อวกาศ เมื่อมาถึงพื้นผิวโลกแล้ว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถถูกดูดซับโดยพื้นผิวโลก และวัตถุต่างๆ บนผิวโลก หรือสามารถสะท้อนกลับไปยังอวกาศได้ (ภาพที่ 12) ซึ่งความน่าจะเป็นของการสะท้อนกลับมากกว่าการดูดกลืนเกิดขึ้นเรียกว่า การสะท้อนแสงของพื้นผิว และขึ้นอยู่กับวัสดุบนพื้นผิว เช่นเดียวกับความยาวคลื่นของรังสีที่เข้ามา วัสดุพื้นผิวแต่ละชนิดมี 'ลายเซ็น' เฉพาะที่กำหนดสัดส่วนของรังสีที่สะท้อนสำหรับแต่ละความยาวคลื่น ตัวอย่างเช่น น้ำจะสะท้อนความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีเขียวในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 ขึ้นอยู่กับความขุ่น และมีการสะท้อนน้อยมากความยาวคลื่นสีแดง และแทบไม่มีการสะท้อนเลยในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด ในทางกลับกันพืชพรรณสะท้อนรังสีอินฟราเรดประมาณครึ่งหนึ่งที่เข้ามาทั้งหมด ยกเว้นความยาวคลื่นเฉพาะที่น้ำของเหลวในใบไม้ดูดซับไว้ได้ ซึ่งลายเซ็นเชิงคลื่นเหล่านี้มักแสดงเป็นกราฟ โดยมีความยาวคลื่นตามแนวแกน x และการสะท้อนแสงตามแนวแกน y (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 12 การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก
ที่มา : University of Hawaii (n.d.)

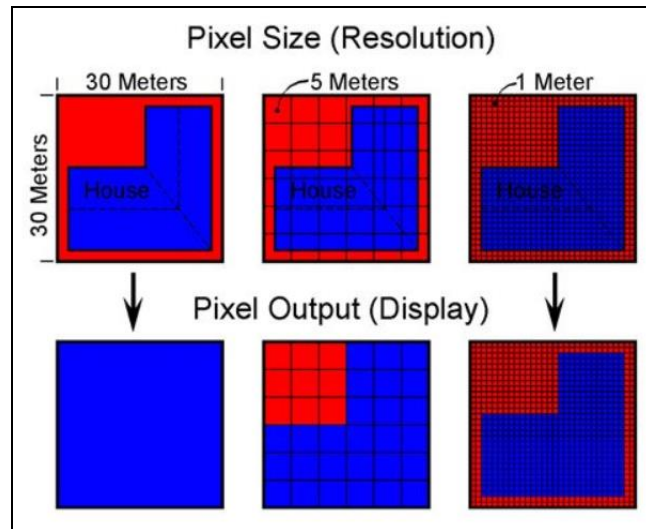


ภาพที่ 13 กราฟลายเซ็นต์เชิงคลื่น (spectral signature) ของวัตถุต่างๆ
ที่มา : Hatari lab (2018)

2.2.3) การจัดเก็บข้อมูลคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

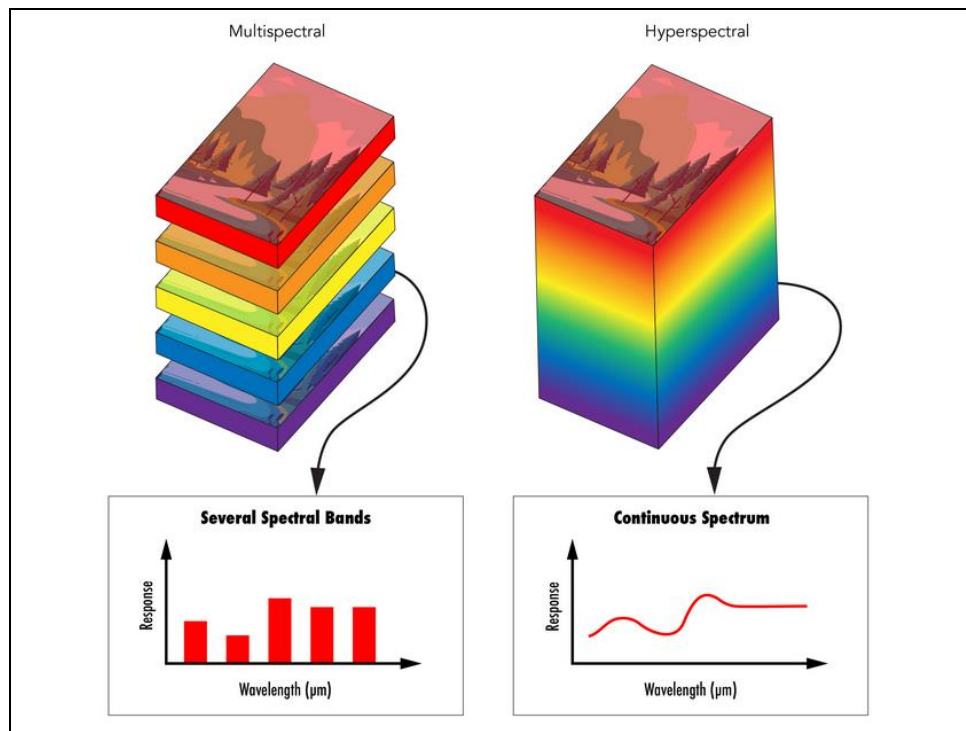
ข้อมูลภาพที่ได้จากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลสามารถให้ข้อมูลได้ทั้งให้การประมาณเชิงพื้นที่ เชิงคลื่น และเชิงเวลา และเชิงรังสี (Sowmya *et al.*, 2017; Kyriakos and Vavalis, 2023) ซึ่งแต่ละข้อมูลจะมีความละเอียด (resolution) ของข้อมูลโดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ จะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) เป็นความละเอียดของจุดภาพในการบันทึกของภาพถ่ายดาวเทียมที่ขนาดพื้นที่ของวัตถุที่เล็กที่สุดที่ เครื่องตรวจจับสามารถแยกแยะได้หรือหมายถึง พื้นที่ในสนามที่แสดงโดย 1 จุดภาพ (Pixel) เช่น ความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร หมายถึง ข้อมูลนั้นสามารถแสดงวัตถุขนาด 10 ตารางเมตร ด้วย 1 จุดภาพ (ภาพที่ 14) ชุดข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำถึงปานกลางมีลักษณะตามขนาดจุดภาพตั้งแต่ 30 ถึง มากกว่า 200 เมตร จากความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมนำไปสู่การใช้เซ็นเซอร์ทั้งในระดับอากาศและระดับอวกาศที่มีความละเอียดสูง ซึ่งขนาดจุดภาพมีขนาดน้อยกว่า 10 เมตร ทำให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ดี สามารถตรวจจับคุณลักษณะของพื้นที่ได้อย่างละเอียด เซ็นเซอร์เหล่านี้สามารถใช้การสำรวจพืชพรรณได้ถึงระดับทรงพุ่ม ซึ่งตัวอย่างของชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูงได้แก่ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Worldview-2 QuickBird และ RapidEye เป็นต้น แต่ข้อมูลส่วนใหญ่มีราคาแพงมาก (Gxokwe *et al.*, 2020)



ภาพที่ 14 ความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution)
ที่มา : Satellite Imaging Corporation (2022a)

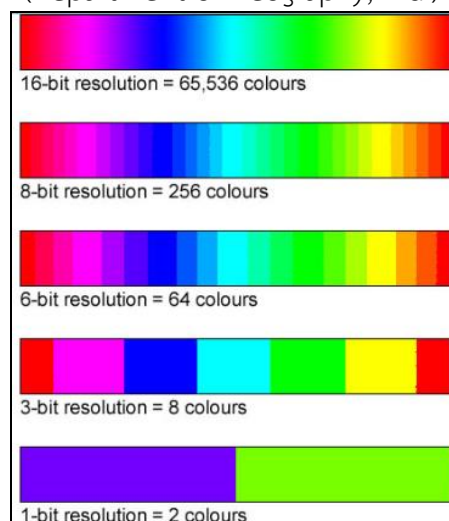
(2) ข้อมูลเชิงคลื่น (ภาพที่ 15) จะมีความละเอียดเชิงคลื่น (Spectral Resolution) เป็นความสามารถของเครื่องตรวจจับในการใช้ช่วงคลื่นสำหรับบันทึกภาพแต่ละแถบช่วงคลื่น ถ้าช่วงคลื่นที่เครื่องสามารถตรวจจับได้มีช่วงห่าง แสดงว่าภาพนั้นมีรายละเอียดเชิงช่วงคลื่นหยาบกว่าภาพที่ใช้เซ็นเซอร์ที่สามารถตรวจจับช่วงคลื่นได้แคบกว่า และมีจำนวนแถบช่วงคลื่นมากกว่า จะมีความละเอียดมากกว่า เช่น เซ็นต์เซอร์บางชนิดที่เรียกว่า Multi-Spectral (MSI) จะจัดเก็บแถบช่วงคลื่นได้น้อยกว่า 100 แถบช่วงคลื่น ขณะที่เซ็นเซอร์บางชนิดที่สามารถจัดเก็บช่วงคลื่นได้ถึง จำนวน 100-200 แถบช่วงคลื่น เรียกว่า Hyper-Spectral (HSI) (Dozie, 2004) บางคนมองว่า MSI เป็นรูปแบบที่แยกว่าของ HSI ซึ่งมีความละเอียดสเปกตรัมต่ำกว่า ความจริงแล้วเทคโนโลยีทั้งสองต่างก็นำเสนอข้อดีของตัวเองซึ่งทำให้เป็นเครื่องมือที่ต้องการสำหรับงานที่แตกต่างกัน HSI เหมาะที่สุดสำหรับการใช้งานที่ไวต่อความแตกต่างเล็กน้อยของสัญญาณตามสเปกตรัมต่อเนื่อง สัญญาณขนาดเล็กเหล่านี้อาจพลาดได้โดยระบบที่สุ่มตัวอย่างแถบคลื่นขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม บางระบบจำเป็นต้องปิดกั้นส่วนสำคัญของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเลือกจับแสง การรับรู้จากระยะไกล การถ่ายภาพพื้นผิวโลกทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) และดาวเทียม อาศัยทั้ง HSI และ MSI มานานหลายทศวรรษ การถ่ายภาพสเปกตรัมสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศของโลกและเมฆปกคลุมต่างๆ เพื่อให้ได้มุมมองที่ไม่บิดบังของพื้นดินด้านล่าง เทคโนโลยีนี้สามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของประชากร สังเกตการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา และศึกษาแหล่งโบราณคดี นอกจากนี้ เทคโนโลยี HSI และ MSI มีความสำคัญมากขึ้นในการศึกษาสภาพแวดล้อม สามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการตัดไม้ทำลายป่า ความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศ การรีไซเคิลคาร์บอน และรูปแบบสภาพอากาศที่แปรปรวนมากขึ้นเรื่อยๆ นักวิจัยใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาเพื่อสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ของระบบนิเวศทั่วโลก ซึ่งขับเคลื่อนความคิดริเริ่มด้านสิ่งแวดล้อมมากมายเพื่อต่อสู้กับผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและอิทธิพลของมนุษย์ที่มีต่อธรรมชาติ (Edmund Optics Inc., 2023)



ภาพที่ 15 ความละเอียดเชิงสเปกตรัม (Spectral Resolution)

ที่มา: Edmund Optics Inc. (2023)

(3) ข้อมูลเชิงคลื่นรังสี (ภาพที่ 16) จะมีความละเอียดคลื่นรังสี (Radiometric Resolution) เป็นความละเอียดของระดับค่าความสว่างในการแสดงผลของภาพใน 1 จุดภาพจำนวนของค่าไฟล์ข้อมูลที่เป็นไปได้ในแต่ละช่วงคลื่น ที่แบ่งระดับการแยกแยะความเข้มในแต่ละแถบช่วงคลื่น ตัวอย่างเช่นรูปภาพจากกล้องปกติ คือ ข้อมูล 8 บิต แสดงค่าที่แตกต่างกันได้ $2^8 = 256$ ระดับ สำหรับข้อมูลดาวเทียม เช่น Landsat 8 อาจมีข้อมูลแบบ 16 บิต แสดงค่าได้ $2^{16} = 65,536$ ระดับ ในกรณีนี้ จำนวนบิตที่มาก จะแยกแยะความเข้มได้ละเอียดมากกว่านั่นเอง (Department of Geography, n.d.)



ภาพที่ 16 ความละเอียดเชิงรังสี (Radiometric Resolution)

ที่มา : Department of Geography (n.d.)

(4) ข้อมูลเชิงเวลา เนื่องจากดาวเทียมมีการโคจรและบันทึกภาพในบริเวณเดิมซ้ำอยู่ตลอดเวลาทำให้สามารถใช้ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ ซึ่งข้อมูลเชิงเวลาจะมีความละเอียดเชิงเวลา (Temporal Resolution) เข้ามาเกี่ยวข้อง ความละเอียดเชิงเวลา หมายถึง ระยะเวลาที่สามารถกลับมาบันทึกภาพซ้ำในพื้นที่เดิม เรียกว่า “Return time” หรือ “Revisit time” (Jensen, 2000) เช่น ดาวเทียม Landsat 9 มีความละเอียดเชิงเวลา 16 วัน ความละเอียดเชิงเวลาต่ำกว่าดาวเทียม WorldView 3 ซึ่งมีความละเอียดเชิงเวลา 1 วัน แต่อย่างไรก็ตามมีดาวเทียมบางดวงจัดทำเป็นชุดดาวเทียมทำให้ช่วยลดข้อจำกัดด้านความละเอียดเชิงเวลาเพื่อให้ได้รายละเอียดเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโดยทั่วไปหากดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงเวลาสูงจะมีรายละเอียดเชิงพื้นที่ เช่น ภารกิจดาวเทียม Sentinel ที่ใช้กลุ่มดาวเทียมคือใช้ดาวเทียม 2 ดวง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความละเอียดเชิงเวลาของดาวเทียมที่นิยมใช้ในการศึกษาทรัพยากรธรรมชาติ

ชื่อภารกิจดาวเทียม	จำนวนดาวเทียม	ความละเอียดเชิงเวลา (ดาวเทียม 1 ดวง)	ความละเอียดเชิงเวลา (กลุ่มดาวเทียม)
Sentinel 1	2	12 วัน	6 วัน
Sentinel 2	2	10 วัน	5 วัน
Landsat 9	1	16 วัน	16 วัน
WorldView 3	1	1 วัน	1 วัน
Terre	1	16 วัน	16 วัน

2.2) เซ็นต์เซอร์ (sensor)

เซ็นต์เซอร์ในเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งในรูปแบบแอนะล็อก เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ กราฟที่ถ่ายจากเครื่องบินที่ติดตั้งกล้องฟิล์ม หรือรูปแบบดิจิทัล เช่น เมทริกซ์สองมิติ (หรือภาพ) ประกอบด้วยจุดภาพ (pixel) ที่เก็บค่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่บันทึกโดยกล้องดิจิทัลหรือเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ดาวเทียมหรือเครื่องบินซึ่งพบได้ทั่วไปในปัจจุบัน เซ็นต์เซอร์เหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักตามแหล่งพลังงานที่ใช้ ได้แก่ เซ็นต์เซอร์แบบ passive และ เซ็นต์เซอร์แบบ active (Jensen, 2000; Kulo, 2018; Omia *et al.*, 2023; Kyriakos and Vavalis, 2023)

2.2.1) ระบบ passive sensor system เป็นระบบที่อาศัยการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก ซึ่งโดยทั่วไปคือแสงจากดวงอาทิตย์ ในกรณีที่ใช้แสงจากดวงอาทิตย์ เครื่องมือวัดจะทำงานได้เฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น นอกจากการศึกษารูปแบบของเมฆในทางอุตุนิยมวิทยา การตรวจวัดยังต้องการท้องฟ้าที่ปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือฝนในช่วงที่ทำการตรวจวัด ซึ่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system แสดงในตารางที่ 3 โดยดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system ที่นิยมใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ (Zhu, 2018; Htitiou *et al.*, 2019; Poortinga *et al.*, 2019; Sudhakar *et al.*, 2020; Kyriakos and Vavalis, 2023) ได้แก่

(1) ชุดดาวเทียม Landsat (United States Geological Survey, n.d) เป็นชุดดาวเทียมที่พัฒนาและให้บริการมาอย่างยาวนาน ทำให้สามารถศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่องจากอดีตถึงปัจจุบัน ข้อมูลภาพที่ได้จากดาวเทียม Landsat มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร และขอบเขตเชิงพื้นที่ 185 ตารางกิโลเมตรต่อภาพ และได้พิสูจน์แล้วว่าไม่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดิน และระบบนิเวศวิทยา อย่างไรก็ตามความละเอียดเชิงเวลาค่อนข้างต่ำคือใช้เวลา 16 วันจึงกลับมาถ่ายภาพที่เดิมอีกครั้ง ทำให้ยากที่จะ

บันทึกภาพเหตุการณ์ในบางเวลาที่ต้องการ สำหรับการจำแนกการใช้ที่ดินในประเทศไทยซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมนุษย์เป็นผู้กำหนดลักษณะการใช้ที่ดินว่าจะเป็นไปในลักษณะใด เช่น การทำเกษตรกรรม การก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน หรือการสร้างสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ถูกนำมาใช้โดยกรมพัฒนาที่ดินในการศึกษา และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนการจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภทมาอย่างยาวนาน การนำข้อมูลจากดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพที่ดินสามารถทำได้สองวิธี คือ การแปลด้วยสายตา และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ชุดดาวเทียม Landsat ได้เริ่มต้นขึ้นและให้บริการข้อมูลภาพมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ พ.ศ. 2515 ดาวเทียมดวงแรกในชุดคือ ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น Landsat 1 และมีการส่งดาวเทียมขึ้นทดแทนในช่วงเวลาต่อมาได้แก่ Landsat 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 โดยประเทศไทยได้เข้าร่วมโครงการ ERTS นี้ตั้งแต่แรกเริ่มใน พ.ศ. 2514 และมีการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินจากดาวเทียมที่เขตลาดกระบังใน พ.ศ. 2524 ซึ่งนับเป็นสถานีรับสัญญาณฯ แห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นับตั้งแต่ Landsat 5 ถูกปล่อยขึ้นสู่อวกาศตั้งแต่ พ.ศ. 2527 ประเทศไทยได้รับประโยชน์จากข้อมูลภาพเป็นอย่างมาก โดย Landsat 5 ได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานในวงโคจรได้อย่างน้อย 3 ปี ได้ให้บริการภาพถ่ายที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษยชาติอย่างต่อเนื่องยาวนานจนได้รับการบันทึกจาก Guinness ว่าเป็นดาวเทียมที่โคจรปฏิบัติการกิจยาวนานที่สุดถึง 29 ปี โคจรรอบโลกมากกว่า 150,000 รอบ และส่งข้อมูลภาพพื้นทั่วโลกกลับลงมาให้เราได้ใช้ประโยชน์กันมากกว่า 2.5 ล้านภาพ ในช่วงที่ผ่านมา ดาวเทียม Landsat 5 เกิดข้อขัดข้องในการทำงานโดยเฉพาะช่วงท้ายของภารกิจ นักวิทยาศาสตร์ก็ยังสามารถแก้ไขให้ดาวเทียมกลับมาใช้งานดังเดิมได้เสมอ จนกระทั่งอุปกรณ์ถ่ายภาพหลักของดาวเทียมมีปัญหาและถูกหยุดการใช้งานลงในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ในที่สุดดาวเทียมต้องหยุดการทำงานอย่างสิ้นเชิงในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 (สมพงษ์, 2560) ชุดดาวเทียม Landsat มีให้บริการมาอย่างต่อเนื่องโดยดาวเทียม Landsat 9 เป็นดาวเทียมดวงล่าสุดที่มีการพัฒนาและให้บริการ โดยข้อมูลภาพจากชุดดาวเทียม Landsat ที่นิยมใช้ในแต่ละช่วงมีดังนี้

ตารางที่ 3 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system

Sensor	Pixel Size (m)	Bands	Revisit Time	Acquisition Cost	Scale of Application	Spatial Resolution
AVHRR	1100	5	1	Readily available	Regional to global	Low
Hyperspectral	<1	>100	-	Very expensive	Plot	High
IKONOS	4	5	1-2	Expensive	Local	High
Landsat TM	30	7	16	Readily available	Local to regional	Medium
Landsat ETM+	30	8,11	16	Readily available	Local to regional	Medium
Landsat MSS	80	4	180	Readily available	Local to regional	Low
Landsat OLI	30	11	16	Readily available	Local to regional	Medium
MERIS	300	15	3	Readily available	Regional	Low
MODIS	500/1000	7	1	Readily available	Regional to global	Low
QuickBird	2.4	5	1-3.5	Expensive	Local	High
RapidEye	5	5	5.5	Expensive	Local	High
Sentinel 2	10,20,60	13	5	Readily available	Local to regional	High/Medium
SPOT	10,20	4	26	Readily available	Local to regional	High
Worldview-2	<1	8	1	Very expensive	Local	High
Sentinel 1	5	1	12	Readily available	Local to regional	High

ที่มา : Gxokwe *et al.* (2020)

(1.1) ดาวเทียม Landsat 5 เป็นดาวเทียมที่นิยมใช้สำหรับการติดตามทรัพยากรธรรมชาติ ถูกส่งขึ้นสู่วงโคจรโดยจรวด McDonald Douglas Delta 3920 จากฐานทัพอากาศ Vandenberg, California เมื่อวันที่ 1 มีนาคม พ.ศ. 2527 โดยดาวเทียม Landsat 5 ซึ่งบันทึกข้อมูลระบบ

Thematic Mapper (TM) มีรายละเอียดภาพ 30 เมตร บันทึกข้อมูลซ้ำ ที่เดิมทุก 16 วัน ประกอบด้วย 7 แบนด์ ดังนี้ (USGS, 2016)

- แบนด์ 1 : 0.45 - 0.52 ไมโครเมตร (น้ำเงิน)
- แบนด์ 2 : 0.52 - 0.60 ไมโครเมตร (เขียว)
- แบนด์ 3 : 0.60 - 0.69 ไมโครเมตร (แดง)
- แบนด์ 4 : 0.77 - 0.90 ไมโครเมตร (อินฟราเรดใกล้)
- แบนด์ 5 : 1.55 - 1.75 ไมโครเมตร (อินฟราเรดคลื่นสั้น)
- แบนด์ 6 : 10.40 - 12.50 ไมโครเมตร (อินฟราเรดความร้อน)
- แบนด์ 7 : 2.08 - 2.35 ไมโครเมตร (อินฟราเรดสะท้อน)

(1.2) ดาวเทียม Landsat 8 เริ่มปฏิบัติการวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2556 ภายใต้การบริหารจัดการของ USGS โคจรสูงเหนือพื้นโลก 705 กิโลเมตร ดาวเทียม LANDSAT 8 มีอุปกรณ์บันทึกข้อมูล ระบบ LANDSAT 8 Operational Land Imager (OLI) และ Thermal Infrared Sensor (TIRS) ประกอบด้วย 11 แบนด์ ดังนี้

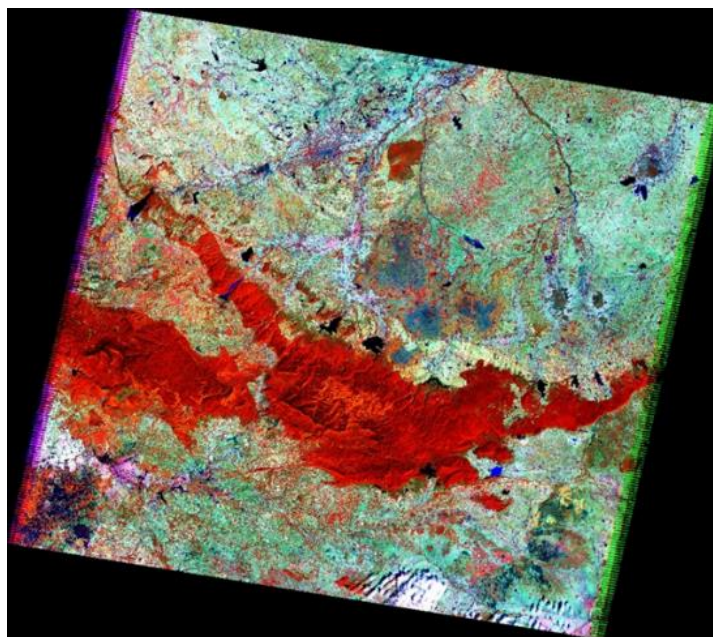
- แบนด์ 1 : 0.43 - 0.45 ไมโครเมตร (Coastal Aerosol) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 2 : 0.45 - 0.51 ไมโครเมตร (Blue) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 3 : 0.53 - 0.59 ไมโครเมตร (Green) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 4 : 0.64 - 0.67 ไมโครเมตร (Red) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 5 : 0.85 - 0.88 ไมโครเมตร (Near Infrared NIR) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 6 : 1.57 - 1.65 ไมโครเมตร (SWIR 1) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 7 : 2.11 - 2.29 ไมโครเมตร (SWIR 2) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 8 : 0.50 - 0.68 ไมโครเมตร (Panchromatic) รายละเอียดภาพ 15 เมตร
- แบนด์ 9 : 1.36 - 1.38 ไมโครเมตร (Cirrus) รายละเอียดภาพ 30 เมตร
- แบนด์ 10 : 10.60 - 11.19 ไมโครเมตร (Thermal Infrared - TIRS 1) รายละเอียดภาพ 100 เมตร
- แบนด์ 11 : 11.50 - 12.51 ไมโครเมตร (Thermal Infrared - TIRS 2) รายละเอียดภาพ 100 เมตร

เนื่องจากการแสดงข้อมูลจากดาวเทียมออกมาเป็นภาพสีนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะการแสดงผลภาพจากดาวเทียมที่อยู่ในรูปของช่วงความแตกต่างของสี (Range of different colors) จะช่วยในการแปลตีความด้วยสายตาได้ดีกว่าภาพระดับสีเทา (Tone of gray) เนื่องจากตามปกติสายตาของมนุษย์สามารถที่จะแยกแยะลำดับขั้นของสี (Shade of color) ได้ดีกว่าการแยกระดับความเข้มของสีเทา โดยปกติข้อมูลภาพจากดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่น (แบนด์) จะเป็นสีขาวดำ (tone of gray) และสามารถนำมาซ้อนทับกันได้ครั้งละ 3 แบนด์ให้เกิดเป็นเฉดสีต่างๆ การผสมข้อมูลภาพจากดาวเทียม 3 แบนด์ ให้เป็นภาพสีผสมนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการขยายรายละเอียดเฉพาะเรื่องให้ชัดเจนสามารถจำแนกหรือมีสีแตกต่างจากสิ่งแวดล้อม (Jensen, 2000) โดยทั่วไปแล้วภาพดาวเทียมสีผสมที่มาตรฐาน (Standard False Color Composite) ที่รู้จักกันทั่วไปคือการผสมสีให้พืชพรรณปรากฏเป็นสีแดง โดยมีหลักการดังนี้คือ การแทนข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีเขียว (green) ในช่องแสงสีน้ำเงิน (blue) การแทนข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีแดง (red) ในช่องแสงสีเขียว (green) และการแทนข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared) ในช่องแสงสีแดง (red) ตัวอย่างของการผสมข้อมูลภาพจากดาวเทียม 3 แบนด์ ให้เป็นภาพดาวเทียมสีผสมที่มาตรฐานของดาวเทียม Landsat (ตารางที่ 4 ภาพที่ 17 และ ภาพที่ 18)

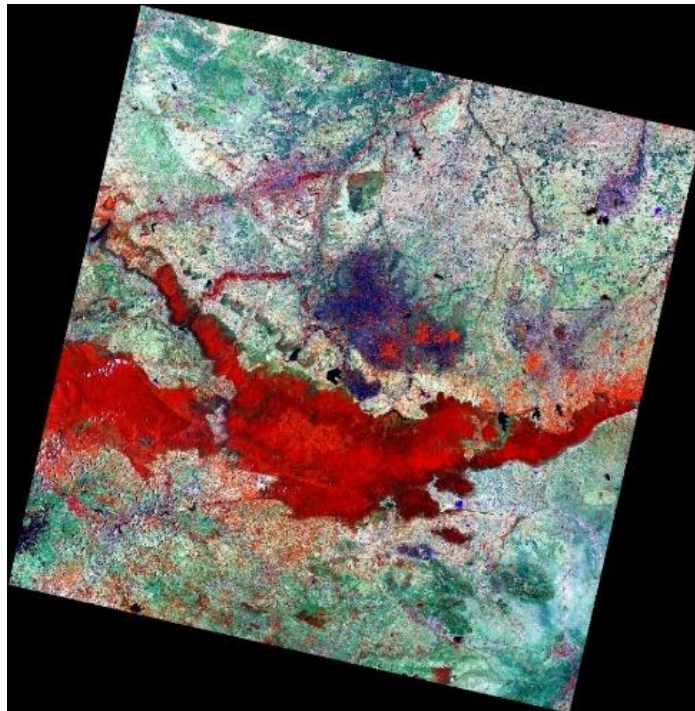
ตารางที่ 4 ตัวอย่างการผสมแบนด์ของภาพถ่าย Landsat และคุณสมบัติในการจำแนกวัตถุบนพื้นโลก

การผสมแบนด์ Landsat 5TM แบบ R G B	การผสมแบนด์ Landsat 8 แบบ R G B	คุณสมบัติ
5 4 1	6 5 2	จำแนกพื้นที่เกษตรกรรม: ภาพสีผสมที่ได้จำแนกพื้นที่ทางการเกษตร ซึ่งปรากฏเป็นสีเหลืองอ่อน
4 5 1	5 6 2	จำแนกลักษณะการเจริญเติบโตของพืช สุขภาพพืช โดย: ภาพสีผสมที่ได้ช่วยในการบรรยายลักษณะของพืชในแง่ของการเจริญเติบโต และความสมบูรณ์ของต้นพืช
4 5 3	5 6 4	จำแนกลักษณะแผ่นดินและน้ำ: ภาพสีผสมที่ได้ช่วยในการจำแนกน้ำให้เห็นเด่นชัดขึ้น
5 4 3	6 5 4	วิเคราะห์พืชพรรณ: ภาพสีผสมที่ได้ช่วยในการจำแนกชนิดพืช การเจริญเติบโต และความสมบูรณ์ของต้นพืช

ที่มา : GIF (2008); Acharya and Yang (2015)



ภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพถ่าย Landsat 5 TM Path 128 Row 50 บันทึกเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2549 โดยการผสมสีแบบเท็จ แบนด์ 4R-5G-3B



ภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพถ่าย Landsat 8 Path 128 Row 50 บันทึกเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2559
โดยการผสมสีแบบเท็จ แบนด์ 5R-6G-4B

(2) ดาวเทียม Sentinel 2 เป็นกลุ่มดาวเทียมประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวง ได้แก่ Sentinel 2A และดาวเทียม Sentinel 2B ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2558 และ 7 มีนาคม พ.ศ. 2560 เกิดจากความร่วมมือของคณะกรรมการยุโรป (European Commission: EC) และ องค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency : ESA) โดยมีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมการสังเกตการณ์สิ่งแวดล้อมบนพื้นผิวโลก อาทิ พืชพรรณและสิ่งแวดล้อม ดาวเทียม Sentinel 2 จัดเป็นดาวเทียมในช่วงคลื่นแสง (Optical remote sensing) ที่ให้ข้อมูลความละเอียดเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 10 ถึง 60 เมตร ประกอบด้วย 13 แบนด์ (ตารางที่ 5) ระหว่างช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) อินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared: NIR) ไปจนถึง อินฟราเรดคลื่นสั้น (Short wave infrared: SWIR) โดยโคจรถูกกลับมาถ่ายภาพที่บริเวณเดิมทุก 10 วัน ภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel 2 มีระดับการประมวลผล (Processing Level) ได้แก่ Level-0 Level-1A Level-1B Level-1C และ Level-2A Level-0A Level-1A และ Level-1B ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric correction) Level-1C ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงรังสี (Radiometric correction) และความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ในขณะที่ Level-2A ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 เป็นข้อมูลที่ผ่านการจำแนกข้อมูลมาเบื้องต้น (Scene Classification) และทำการปรับแก้ค่าการสะท้อนจากชั้นบรรยากาศ (Atmospheric correction) ในระดับ Top-Of-Atmosphere (TOA) ไปสู่ระดับ Bottom-Of-Atmosphere (BOA) (European Space Agency, n.d.)

ตารางที่ 5 รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2

ช่วงคลื่น	ค่ากึ่งกลางช่วงคลื่น (ไมโครเมตร)	รายละเอียดจุดภาพ (เมตร)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.708	20
Band 6- Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7- Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	2

ที่มา : Satellite Imaging Corporation (2022b)

2.2) ระบบ active sensor system เป็นระบบที่ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือ แหล่งพลังงานของตนเองในการบันทึกข้อมูล เช่น เซอร์สังเคราะห์แสงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัตถุที่ต้องการ จากนั้นตรวจจับและวัดความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับมา เช่น เซอร์ที่ใช้ทำงานอยู่ส่วนใหญ่ทำงาน ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งช่วยให้สามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ในเกือบทุกสภาพอากาศ ข้อดีของเซ็นเซอร์ ประเภทนี้คือไม่มีเงาเนื่องจากไม่เปลี่ยนแปลงตามมุมของดวงอาทิตย์ ใช้งานง่าย เช่น ใช้ติดบนรถแทรกเตอร์ หรือเครื่องบิน ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถส่งสัญญาณทะลุ ผ่านกลุ่มเมฆ หมอก ฝนได้ บันทึกสัญญาณได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน และในทุกฤดูกาล (Clark, n.d.; Horning *et al.*, n.d.; Kyriakos and Vavalis, 2023) ข้อเสียคือ ไม่สามารถใช้ร่วมกับเซ็นเซอร์แบบ passive ไม่สามารถใช้สำหรับการศึกษาในแถบช่วงคลื่น เช่น การคำนวณดัชนีพืชพรรณ (Clark, n.d.) ระบบ active sensor system เป็นระบบที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานจากการสร้างขึ้นของอุปกรณ์สำรวจในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ที่นำมาใช้ในระบบเรดาร์ (Radio Detector and Ranging) โดยส่งผ่านพลังงานนั้นไปยังพื้นที่เป้าหมายและ บันทึกสัญญาณการกระจัดกระจายกลับ (Backscatter) จากพื้นที่เป้าหมาย Active remote sensing ซึ่งหลักการทำงานของระบบเรดาร์ (RADAR) ในการสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ที่ต้องการมี รายละเอียดสูง(High Resolution) ใช้ระบบการบันทึกข้อมูลแบบ Synthetic Aperture Radar (SAR) ที่พัฒนาจากรับสัญญาณเรดาร์แบบสังเคราะห์ (Synthetic Antenna) ให้มีขนาดใหญ่กว่าจานเรดาร์ธรรมดา จึงให้รายละเอียดที่สูงโดยการบันทึกภาพของระบบเรดาร์นั้นบันทึกจากทางด้านข้างของดาวเทียมมุมตกกระทบ ในการบันทึกจะแตกต่างกันไปในแต่ละดาวเทียม ซึ่งมุมตกกระทบดังกล่าวมีผลต่อพลังงานที่กระเจิงกลับ การบันทึกของระบบเรดาร์มีช่วงความถี่คลื่นไมโครเวฟ ระหว่าง 0.3 - 12.5 GHz หรือความยาวคลื่น 2.4 - 100 เซนติเมตร

และด้วยย่านความถี่แต่ละแถบความถี่มีความสามารถในการทะลุทะลวงที่แตกต่างกัน ระบบเรดาร์จึงแบ่งแถบความถี่ (Band) ออกเป็น 5 แถบความถี่ ได้แก่ X-band ที่มีความถี่สูงสุด รองลงมาคือ C-band S-band L-band และ P-band ตามลำดับ แสดงการสำรวจด้วยระบบเรดาร์ย่านความถี่ต่าง ๆ ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system ในวงโคจรมีให้บริการจำนวนมาก เช่น

ดาวเทียม Sentinel 1 เป็นชุดของดาวเทียมที่ใช้เทคโนโลยีเรดาร์ พัฒนาและควบคุมโดยองค์การอวกาศสหภาพยุโรป (European Space Agency: ESA) ประกอบด้วยดาวเทียม Sentinel 1A ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2557 และ Sentinel 1B ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2559 ดาวเทียม Sentinel 1 โดยมีภารกิจในการคาดการณ์มหาสมุทร และที่ดิน ในทุกสภาพอากาศ ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน เช่น การสังเกตการณ์พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่เกษตรกรรม การทำแผนที่ภัยพิบัติ การคาดการณ์การเดินเรือในมหาสมุทร การคาดการณ์การเคลื่อนตัวของน้ำแข็ง ทำแผนที่การรั่วไหลของน้ำมัน และการแจ้งเตือนเรือเดินทะเล เป็นต้น ดาวเทียมทั้งสองดวงมีการโคจรแบบสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ (Sun-synchronous) โคจรเป็นวงกลมใกล้ขั้วโลก (Near-polar) ที่ความสูง 693 กิโลเมตร เอียง 98.18 องศา โคจรกลับมาที่เดิมทุก 12 วัน และเนื่องจากดาวเทียม Sentinel 1 มีดาวเทียม 2 ดวงในหนึ่งวงโคจร ซึ่งวางตัวห่างกัน 180 องศาในวงโคจร ทำให้ใช้เวลาในการกลับมาบันทึกข้อมูลในพื้นที่เดิมในทุก 6 วัน โดยดาวเทียม Sentinel 1 ระบบบันทึกข้อมูล C-SAR (C-band Synthetic Aperture Radar) จะบันทึกข้อมูลและส่งสัญญาณ ข้อมูลมายังสถานีภาคพื้นดิน (European Space Agency, n.d.) ดาวเทียม Sentinel 1 บันทึกข้อมูลทรัพยากรบนพื้นโลก โดยอุปกรณ์บันทึกข้อมูล ระบบเรดาร์ SAR ในช่วงคลื่นไมโครเวฟแถบความถี่ C ที่ย่านความถี่ 5.41 GHz บันทึกข้อมูลโดยใช้ระนาบคลื่น (Polarization) ในแนวนอน (Horizontal) และแนวตั้ง (Vertical) ทั้งการส่งและรับสัญญาณ (VV+VH, HH+HV, HH และ VV) สามารถปรับมุมตกกระทบ (Incidence Angle) ในการบันทึกข้อมูลได้ระยะ 20 - 45 องศา เพื่อตอบสนองความต้องการด้านการประยุกต์ข้อมูล ดาวเทียม Sentinel 1 จึงมีรูปแบบการบันทึกข้อมูลที่ลักษณะแตกต่างกัน 4 รูปแบบ (European Space Agency, n.d.; Gulácsi and Kovács, 2020) ประกอบด้วย

- Strip Map Mode แนวบันทึกกว้าง 80 กิโลเมตร ความละเอียดจุดภาพ 5 × 5 เมตร บันทึกภาพแบบเป็นแนว โดยแนวหนึ่ง ๆ จะมี 6 ภาพที่ซ้อนทับกันบางส่วน (Overlap) สามารถเปลี่ยนแปลงมุมและความสูงการบันทึกได้

- Interferometric Wide Swath Mode แนวบันทึกกว้าง 250 กิโลเมตร ความละเอียดจุดภาพ 5 × 20 เมตร บันทึกภาพแบบเป็นแนว ประกอบด้วย 3 แนวบันทึกหลัก โดยใช้ความก้าวหน้าทางด้านการสังเกตพื้นดิน (Terrain Observation with Progressive Scanner SAR: TOPSAR)

- Extra Wide Swath Mode แนวบันทึกกว้าง 400 กิโลเมตร ความละเอียดจุดภาพ 20 × 40 เมตร บันทึกภาพแบบเป็นแนวประกอบด้วย 5 แนวบันทึกย่อย ใช้เทคนิคเดียวกับ Interferometric Wide Swath Mode เหมาะกับใช้ประกอบการเดินเรือ

- Wave Mode บันทึกขนาดพื้นที่ 20 × 20 ตารางกิโลเมตร ความละเอียดจุดภาพ 5 × 5 เมตร สลับมุมในการบันทึกภาพ ที่มุม 20 องศา และ 37 องศา ห่างกันทุก 100 กิโลเมตรโดยแสดงรูปแบบการรับข้อมูลของดาวเทียม Sentinel 1

ดาวเทียม RADARSAT ดาวเทียมในระบบ radar ควบคุมโดย the Canadian Space Agency (CSA) ดาวเทียมดวงนี้ให้ข้อมูลภาพในหลายช่วงคลื่น เพื่อใช้ในการสำรวจ และติดตาม เช่น การเปลี่ยนแปลงของธารน้ำแข็ง ความปลอดภัยทางทะเล และบริหารจัดการทรัพยากร เป็นต้น

ดาวเทียม TerraSAR-X เป็นดาวเทียมที่เกิดจากความร่วมมือ German Aerospace Center (DLR) และ Airbus Defense and Space ชุดภาพดาวเทียมนี้ให้บริการข้อมูลภาพ X-band SAR รายละเอียดสูง ซึ่งเหมาะสำหรับใช้วางผังเมือง การทหาร และงานวิจัยด้านธรณีวิทยา

ดาวเทียม COSMO-SkyMed เป็นชุดดาวเทียมที่ควบคุมโดย Italian Space Agency (ASI) ให้บริการข้อมูลภาพ SAR รายละเอียดสูง เพื่อใช้ในการเฝ้าระวัง การติดตามพื้นดินและการเกษตร

3.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อการพัฒนาที่ดิน

ข้อมูลการสำรวจระยะไกลถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ด้าน เช่น การสำรวจทางภูมิศาสตร์ การบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติ การควบคุมและความปลอดภัย เป็นต้น (Navalgund *et al.*, 2007; Sowmya *et al.*, 2017; Onojeghuo *et al.*, 2018; Onojeghuo *et al.*, 2021; GISGeography, 2022; Pakdel-Khasmakhi, 2022; Kyriakos and Vavalis, 2023) สำหรับงานพัฒนาที่ดิน ข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับงานหลายประเภท ดังนี้

3.2.1 การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและติดตามการใช้ที่ดิน

ข้อมูลการสำรวจระยะไกลมีประโยชน์ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน จัดทำแผนที่การใช้ที่ดิน การใช้ที่ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในพื้นที่ขนาดใหญ่ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว ลดต้นทุนในการสำรวจ และมีความแม่นยำ โดยเฉพาะในบริเวณที่เข้าถึงได้ยากหรือเข้าถึงไม่ได้ เช่น พื้นที่ป่าไม้ หรือพื้นที่ที่ไม่มีเส้นทางคมนาคม สามารถใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและผลกระทบ เช่น การตัดไม้ทำลายป่า และความเสื่อมโทรมของที่ดิน (Mishra and Jabin, 2020; Rahman and Rahman, 2021) และด้วยเหตุที่การใช้ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอโดยมนุษย์เป็นผู้นำมาดัดแปลงการใช้ที่ดินว่าจะไปในลักษณะใด เช่น การทำเกษตรกรรม การก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน หรือการสร้างสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น ข้อมูลการสำรวจระยะไกล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการแปลตีความการใช้ที่ดิน เพื่อจัดทำเป็นแผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่ดิน (Land use/ Land cover) เพื่อใช้สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เช่น การติดตามการเปลี่ยนแปลงจากการเติบโตของชนบทสู่การเติบโตของเมือง การศึกษาความเป็นเมืองเชื่อมโยงกับความเป็นอุตสาหกรรม ข้อมูลนี้จะถูกใช้โดยนักวางแผนและผู้บริหารระดับภูมิภาค โดยใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจด้านต่างๆ เพื่อวางกรอบนโยบายสำหรับการพัฒนาของภูมิภาคครอบคลุมรอบด้าน เช่น การวางแผนการใช้ที่ดินสำหรับอนาคต ได้แก่ การกำหนดแผนการใช้ที่ดินในเขตเมือง การปรับปรุงแผนที่ถนน การกำหนดพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นต้น การวางแผนการเพื่อการอนุรักษ์ที่ดิน เช่น การคุ้มครองพื้นที่เกษตรกรรมขั้นดี เป็นต้น การประเมินปริมาณและการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การเกษตร โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถนำไปบริหารจัดการพื้นที่ ผลผลิตและราคาได้ต่อไป และการปรับเปลี่ยนแผนการใช้ที่ดินให้ทันต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป ส่งผลให้มีการพัฒนาที่ดินได้อย่างยั่งยืน (Huth *et al.* 2012)

การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถทำได้โดยการแปลตีความข้อมูลภาพด้วยสายตาและการแปลตีความข้อมูลภาพโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแลโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินแบบอัตโนมัติ ได้มีการศึกษาและนิยมใช้มากขึ้น เนื่องจากตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1990 จำนวนดาวเทียมมีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีจำนวนภาพพื้นผิวโลกที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น และคาดว่าแนวโน้มของจำนวนดาวเทียมจะเพิ่มขึ้นอีกอย่างต่อเนื่องในอนาคต นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดใหม่ที่ทำให้ความหลากหลายและความละเอียดสูงขึ้น และคลังข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้น

เป็นผลโดยตรงที่ทำให้การสำรวจระยะไกลกลายเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและติดตามการใช้ที่ดินในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ดังนั้นจากการพัฒนานี้จำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบการเข้าถึงข้อมูล การแลกเปลี่ยนข้อมูล การประมวลผลให้เป็นแบบอัตโนมัติ และเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สามารถผลิตได้ภายในระยะเวลาอันสั้น (Huth *et al.*, 2012; Kulo, 2018)

ข้อมูลการสำรวจระยะไกลได้จากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ซึ่งเป็นกระบวนการบันทึกข้อมูลโดยการวัดค่าการสะท้อนรังสีที่ปล่อยออกมาจากวัตถุต่างๆ ในระยะห่างจากพื้นที่เป้าหมาย ปัจจุบันข้อมูลการสำรวจระยะไกลกลายเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็นสูงเนื่องจากถูกใช้ในงานหลายสาขา อีกทั้งปัจจุบันการปฏิบัติทางเทคโนโลยีได้ปรับปรุงความละเอียดเชิงพื้นที่ เวลา และการวัดรังสีของภาพถ่ายดาวเทียม ทำให้สามารถวิเคราะห์ชุดข้อมูลต่างๆ ได้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น การบูรณาการข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ทำให้มีการรวมภาพหลายมาตราส่วนและหลากหลายเวลาถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน โดยกระบวนการรวมข้อมูลหลายช่วงเวลาที่ใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระหว่างสองช่วงเวลา ซึ่งในยุคปัจจุบันนี้มีความสำคัญมากสำหรับการปรับปรุงแผนที่ทำแผนที่ที่มีอยู่หรือฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีอยู่อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอกระบวนการรวมข้อมูลหลายความละเอียดซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพหลายสเปกตรัม กระบวนการนี้ช่วยให้รักษาคุณสมบัติทางสเปกตรัมของภาพหลายสเปกตรัมดั้งเดิมได้มากที่สุด โดยมีเป้าหมายในการค้นหาข้อมูลใหม่และการจำแนกภาพที่แม่นยำยิ่งขึ้น (Kulo, 2018) การรับรู้จากระยะไกลช่วยให้ได้ข้อมูลการสำรวจครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งช่วยให้สามารถสำรวจระดับภูมิภาคและระดับโลก การรับรู้จากระยะไกลมีการบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องทำให้มีประโยชน์เมื่อรวบรวมข้อมูลในรูปแบบพลวัต เช่น น้ำ พื้นที่เกษตรกรรม และอื่นๆ การรับรู้จากระยะไกลช่วยให้สามารถรวบรวมข้อมูลได้ง่ายในขนาดและความละเอียดที่หลากหลาย ภาพหนึ่งภาพที่บันทึกโดยการสำรวจระยะไกลสามารถวิเคราะห์และตีความเพื่อประยุกต์ใช้ในวัตถุประสงค์ต่างๆ อย่างไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับขอบเขตของข้อมูลที่สามารถรวบรวมได้จากภาพที่รับรู้จากระยะไกลเพียงภาพเดียว ข้อมูลที่รับรู้จากระยะไกลสามารถประมวลผลและวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วโดยใช้คอมพิวเตอร์และข้อมูลที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ การรับรู้จากระยะไกลไม่มีข้อจำกัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเซ็นเซอร์มีบันทึกพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนจากหรือปล่อยออกมาจากปรากฏการณ์ที่ต้องการ ซึ่งหมายความว่า การรับรู้ระยะไกลแบบ *passive* สามารถบันทึกข้อมูลจากวัตถุหรือพื้นที่ที่ต้องการได้ ข้อมูลที่รวบรวมผ่านการสำรวจระยะไกลจะได้รับการวิเคราะห์ที่ห้องปฏิบัติการ ซึ่งช่วยลดงานที่ต้องทำในภาคสนามให้เหลือน้อยที่สุด การรับรู้จากระยะไกลช่วยให้สามารถแก้ไขแผนที่ในระดับขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ซึ่งทำให้ราคาถูกลงและเร็วขึ้นเล็กน้อย การผสมสีสามารถรับหรือสร้างจากภาพแถบสีที่แยกจากกันสามภาพ ซึ่งช่วยให้มั่นใจได้ว่ารายละเอียดของพื้นที่นั้นชัดเจนกว่าเมื่อสร้างภาพแถบสีเดียวหรือภาพถ่ายทางอากาศเท่านั้น ง่ายต่อการค้นหาตำแหน่งน้ำท่วมหรือไฟป่าที่ลุกลามเป็นบริเวณกว้าง ทำให้ง่ายต่อการวางแผนภารกิจกู้ภัยได้ง่ายและรวดเร็ว การสำรวจระยะไกลเป็นวิธีการที่ค่อนข้างถูกและสร้างสรรค์ในการสร้างแผนที่ฐานขั้นใหม่โดยที่ไม่มีวิธีการสำรวจที่ดินโดยละเอียด ดังนั้นข้อมูลจากดาวเทียมจึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกและจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศและภาพถ่ายดาวเทียม โดยกรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายเหล่านี้ในการศึกษา และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนการจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภท เช่น ด้านการเกษตร ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ศึกษาพื้นที่เพาะปลูก การเปลี่ยนแปลงบริเวณเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ การประเมินความเสียหายจากศัตรูพืช เป็นต้น

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ได้แก่ ดาวเทียม LANDSAT ดาวเทียม Sentinel ดาวเทียม Theos ซึ่งเป็นให้ข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง ดาวเทียม SPOT ดาวเทียม WorldView และดาวเทียม Pléiades ซึ่งให้ข้อมูลภาพดาวเทียมรายละเอียดสูง มีการถ่ายภาพซ้ำที่เดิมตามระยะเวลาที่กำหนดทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพบริเวณเดียว ซึ่งถ่ายภาพต่างวัน และต่างฤดูกันได้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, ม.ป.ป.) กรมพัฒนาที่ดินใช้ข้อมูลจากดาวเทียมรายละเอียดปานกลางและรายละเอียดสูงในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินทั้งระดับประเทศและระดับท้องถิ่น การใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ เช่น พื้นที่นาข้าว พื้นที่ปลูกยางพารา พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งการวิเคราะห์นี้จะถูกสร้างเป็นฐานข้อมูลและแผนที่เพื่อใช้ในการประเมินศักยภาพเชิงพื้นที่ของพืชชนิดต่างๆ และใช้ในการบริหารจัดการด้านต่างๆ ต่อไป ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีการบันทึกภาพในระบบเชิงตัวเลขเพื่อใช้แทนวัตถุบนพื้นโลก โดยมีการเก็บเป็นแบบแถวจุดภาพ (Arrays of pixel) ซึ่งแต่ละจุดภาพ (Pixel) มีระดับสีเทา และตำแหน่งโดยอ้างอิงจากแถวและคอลัมน์ ค่าของจุดภาพ (Pixel value) หรือ จำนวนตัวเลข (Digital number) เป็นค่าที่บันทึกได้จากพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นโลกไปยังเครื่องตรวจจับกระบวนการต่างๆ ในการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข มีไว้เพื่อช่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลภาพไปใช้ ขั้นตอนการประมวลผลภาพ ได้แก่ การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Pre-processing) ข้อมูลดิบที่ได้จากการถ่ายภาพของดาวเทียมจะต้องมาผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การปรับแก้เชิงคลื่น (Radiometric correction) เพื่อปรับแก้ค่าของจุดภาพที่คลาดเคลื่อนจากการบันทึก ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนจากชั้นบรรยากาศ เช่น หมอก ไอน้ำ ส่วนการตรวจแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ใช้เพื่อปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตที่เกิดจากการบันทึกและการหมุนของโลก และปรับให้ถูกต้องตามตำแหน่งที่อ้างอิงบนพื้นผิวโลกซึ่งต้องใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCP) สำหรับการปรับและแก้ไขภาพ การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ให้มีข้อมูลค่าของจุดภาพใหม่ที่มีความคมชัดมากขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการแปลตีความจากภาพ โดยการปรับในแผนภูมิภาพ (Image histogram) การประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นกระบวนการหรือกรรมวิธีจัดจำแนกค่าของจุดภาพลงในชั้นการจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อจัดกลุ่มของจุดภาพให้เป็นกลุ่มหรือชั้นของการจำแนก ตามเงื่อนไขที่กำหนดทำให้ได้ผลที่ดี และเป็นที่เชื่อถือได้ ข้อมูลที่ได้ทันต่อเหตุการณ์ และมีความต่อเนื่อง ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน เช่น ดาวเทียม LANDSAT ดาวเทียม SPOT และ ดาวเทียม Theos มีการถ่ายภาพซ้ำที่เดิมทุกๆ 18 วันของดาวเทียม LANDSAT และทุกๆ 16 วันของดาวเทียม SPOT ทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพบริเวณเดียว ซึ่งถ่ายภาพต่างวัน และต่างฤดูกันได้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, ม.ป.ป.)

ด้วยเหตุที่การใช้ที่ดินในประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอข้อมูลจากดาวเทียมจึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกและจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยกรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายเหล่านี้ในการศึกษา และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนการจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภท เช่น ด้านการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่ใช้ศึกษาพื้นที่เพาะปลูก การเปลี่ยนแปลงบริเวณเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ การประเมินความเสียหายจากศัตรูพืช เป็นต้น การนำข้อมูลจากดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินสามารถทำได้สองแบบ คือ การแปลด้วยสายตา และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ทำให้ได้ผลที่ดี และเป็นที่เชื่อถือได้ ข้อมูลที่ได้ทันต่อเหตุการณ์ และมีความต่อเนื่อง การนำข้อมูลการสำรวจระยะไกลซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินสามารถ

ทำได้สองแบบ คือ การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินด้วยสายตา และการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ซึ่งรายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังนี้

1) การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยสายตา (ทศนัศร, 2560)

การแปลตีความข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยสายตา (Visual interpretation) เป็นวิธีการแปลความหมายจากข้อมูลโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ การจำแนกข้อมูลวิธีนี้มักจะประมวลผลและตีความข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมหรือภาพถ่ายทางอากาศ ร่วมกับข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม หรือแผนที่การใช้ที่ดินในอดีต เป็นต้น วิธีนี้เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินโดยเฉพาะเมื่อนักวิเคราะห์คุ้นเคยกับพื้นที่ที่ถูกจำแนก วิธีนี้ต้องอาศัยทักษะที่ต้องพัฒนาสำหรับแปลภาพโดยอาศัยสัญลักษณ์ หรือลักษณะต่างๆ ของวัตถุ เช่น สี สรรค์ พื้นผิว รูปร่าง รูปแบบ และความสัมพันธ์กับวัตถุอื่นเพื่อระบุประเภทสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกัน (Sudhakar and Kameshwara, 2020) การแปลตีความภาพจากดาวเทียมด้วยสายตาต้องอาศัยประสบการณ์ ความรู้ ความเข้าใจในลักษณะของพื้นที่ศึกษา และกิจกรรมที่เกิดขึ้น ณ พื้นที่นั้นๆ ในช่วงเวลาต่างๆ โดยการแปลภาพจากดาวเทียม ซึ่งการแปลตีความ (Interpretation) ด้วยสายตาต้องอาศัยพื้นฐานความรู้และความเข้าใจของผู้แปล และการตรวจสอบในภาคสนามเพื่อทำแผนที่และจัดการสารสนเทศ องค์ประกอบของการแปลตีความภาพด้วยสายตา อาจจำเป็นต้องพิจารณาจากหลายองค์ประกอบร่วมกัน ได้แก่ สี (color) ความเข้มของสี (Tone) ขนาด (Size) รูปร่าง (Shape) เนื้อภาพ (Texture) ความสูง (Height) และ เงา (shadow) เป็นต้น (อมร, 2558) ซึ่งในการจำแนกการใช้ที่ดินในแต่ละพื้นที่สามารถจำแนกโดยพิจารณาองค์ประกอบหลักที่สำคัญ (Elements of interpretation) ได้แก่

1.1) ความเข้มของสีและสี (Tone/Color) ระดับความแตกต่างของความเข้มของสีหนึ่งๆ มีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นและการผสมสีของช่วงคลื่นต่างๆ เช่น น้ำในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ถูกดูดกลืนทำให้ปรากฏเป็นสีดำ ในภาพสีผสมที่พรรณปรากฏเป็นสีแดงเมื่อกำหนดให้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เป็นสีแดง ช่วงคลื่นสีแดงกำหนดให้เป็นสีเขียว และช่วงคลื่นสีเขียวกำหนดให้เป็นสีน้ำเงิน

1.2) ขนาด (Size) ขนาดของภาพวัตถุที่ปรากฏในข้อมูลจากดาวเทียมขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุ และมาตราส่วนของข้อมูลจากดาวเทียม เช่น ความยาว ความกว้าง หรือพื้นที่ แสดงให้เห็นความแตกต่างของขนาดระหว่างแม่น้ำและลำคลอง

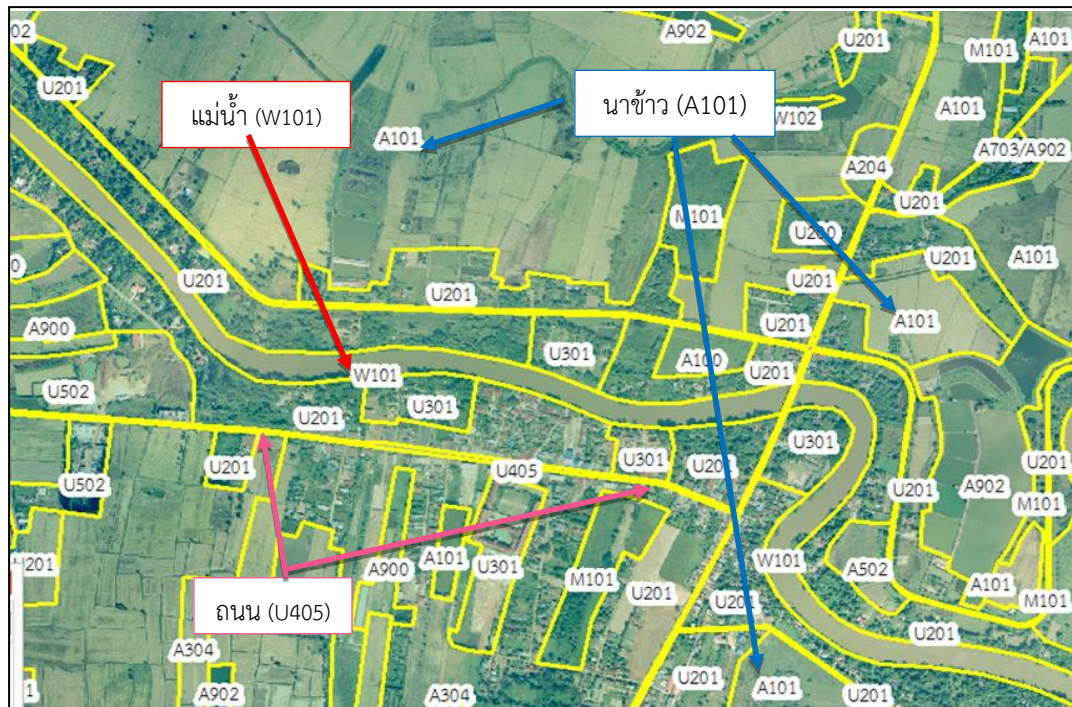
1.3) รูปร่าง (Shape) รูปร่างของวัตถุที่เป็นเฉพาะตัวอาจสม่ำเสมอ (Regular) หรือไม่สม่ำเสมอ (Irregular) วัตถุที่มนุษย์สร้างขึ้นมีรูปร่างส่วนใหญ่เป็นรูปทรงเรขาคณิต เช่น สนามบิน พื้นที่นาข้าว ถนนคลองชลประทาน และเขื่อนเก็บกักน้ำ เป็นต้น

1.4) เนื้อภาพ (Texture) หรือความหยาบละเอียดของผิววัตถุ เป็นผลมาจากความแปรปรวนหรือความสม่ำเสมอของวัตถุ เช่น น้ำมีลักษณะเรียบ และป่าไม้มีลักษณะขรุขระ เป็นต้น

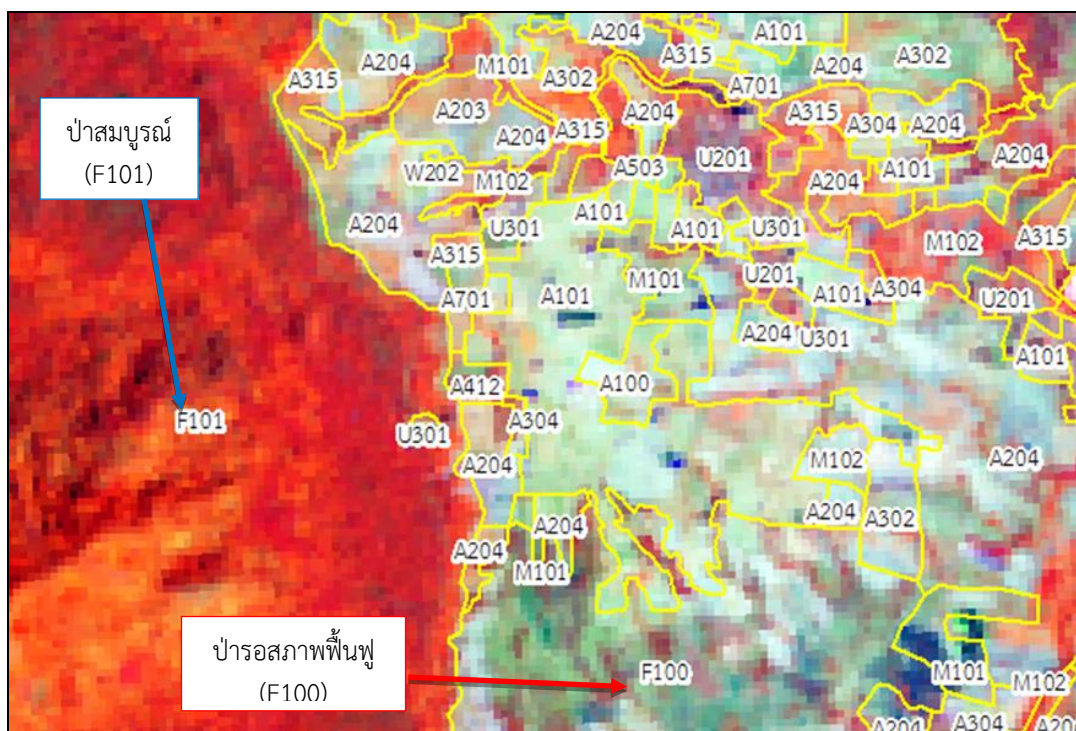
1.5) รูปแบบ (Pattern) ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัดระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แม่น้ำ คลอง กับคลองชลประทาน บ่อ และสระน้ำกับเขื่อน เป็นต้น

1.6) ความสูงและเงา (Height and Shadow) เงาของวัตถุมีความสำคัญในการคำนวณหาความสูงและมุมสูงของดวงอาทิตย์ เช่น เงาบริเวณเขาหรือหน้าผา เงาของเมฆ เป็นต้น

1.7) ที่ตั้ง (Site) หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเลน้ำท่วมถึง สนามบินอยู่ใกล้แหล่งชุมชน เป็นต้น



ภาพที่ 20 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากขนาด และ รูปร่างของพื้นที่จากภาพถ่ายออร์โธรีซิเจนซ์



ภาพที่ 21 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากเนื้อภาพของพื้นที่จากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8

2) การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์

การสำรวจระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และศิลป์ที่ทำให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลที่อยู่บนพื้นผิวโลก

ซึ่งการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์อาศัยความแตกต่างของค่าการสะท้อนแสงของวัตถุแต่ละประเภท โดยการจัดกลุ่มประเภทตามค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยกลุ่มของจุดภาพที่เหมือนกัน จะถูกจัดให้อยู่ในประเภทเดียวกัน เช่น พื้นที่น้ำ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่เกษตรกรรม จะมีการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต่างกัน โดยใช้กระบวนการหรือกรรมวิธีจัดจำแนกค่าของจุดภาพลงในชั้นการจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อจัดกลุ่มของจุดภาพให้เป็นกลุ่มหรือชั้นของการจำแนก ตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์มี 2 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แบบไม่มีการกำกับดูแล และการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แบบมีการกำกับดูแล

2.1) การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แบบไม่มีการกำกับดูแล (Unsupervised classification)

เป็นการจำแนกโดยใช้การจำแนกประเภทข้อมูลจากค่าสถิติของการสะท้อนของช่วงคลื่นของวัตถุต่างๆ เรียกว่าการจัดกลุ่มของข้อมูล (Clustering) โดยอาศัยความแตกต่างของความสว่างของจุดภาพ และแบ่งแยกรายละเอียดที่ใกล้เคียงกันออกเป็นกลุ่ม (Cluster) การจำแนกประเภทนี้มักถูกใช้เมื่อผู้วิเคราะห์ไม่คุ้นเคยกับสถานที่หรือมีตัวอย่างข้อมูลในพื้นที่น้อย (Punia, n.d.; Sowmya *et al.*, 2017) การจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแล มีสองวิธีหลัก ได้แก่ K-means clustering และ Isodata clustering (Punia, n.d.; Sowmya *et al.*, 2017)

2.1.1) การจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแลโดยวิธีการใช้ K-mean เป็นวิธีการในการทำ clustering model ในประเภท hard cluster โดยมีขั้นตอนกำหนดจำนวนกลุ่มของชุดข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่ม (ค่า k) algorithm จะสุ่มตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของการจัดกลุ่มในพื้นที่ของข้อมูล จากจุดศูนย์กลางจะมีการคำนวณระยะทางจากจุดข้อมูลต่าง ๆ มายังจุดศูนย์กลางโดยจะกำหนดให้ข้อมูลถูกจัดกลุ่มอยู่กับจุดศูนย์กลางที่มีระยะทางใกล้ที่สุดเท่านั้นโดยคำนวณระยะทางนั้นทั้งหมดของข้อมูลแต่ละจุดมายังจุดศูนย์กลางแล้วเก็บค่าไว้เปลี่ยนจุดศูนย์กลางและทำซ้ำจนกระทั่งได้ระยะทางรวมน้อยที่สุด algorithm จะสุ่มวางเมื่อพบว่าไม่สามารถพัฒนาการจัดกลุ่มให้ได้ดีมากไปกว่านี้แล้ว algorithm จะหยุดวนลูปทันที ดังนั้นแต่ละครั้งที่สร้าง clustering model แม้ว่าให้จำนวนชุดเท่าเดิมแต่ผลที่ได้อาจจะไม่เหมือนเดิม K-mean เป็นหนึ่งในกระบวนการการเรียนรู้แบบไม่มีผู้ดูแลที่ง่ายที่สุดที่ใช้แก้ปัญหาที่รู้จักกันดี ปัญหาการรวมกลุ่ม ขั้นตอนนี้เป็นไปตามวิธีที่ง่ายและสะดวกในการจำแนกชุดข้อมูลที่กำหนดผ่านคลัสเตอร์จำนวนหนึ่ง (สมมติ k คลัสเตอร์) แกะไขลำดับความสำคัญแนวคิดหลักคือการกำหนด k centroids หนึ่งตัวสำหรับแต่ละคลัสเตอร์ เซนทรอยด์เหล่านี้ควรวางอย่างมีไหวพริบ เพราะสถานที่ต่างกันทำให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นทางเลือกที่ดีกว่าคือวางไว้เท่าๆ อาจอยู่ห่างไกลกัน ขั้นตอนต่อไปคือการใช้แต่ละจุดที่เป็นของข้อมูลที่กำหนดตั้งค่าและเชื่อมโยงกับเซนทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด เมื่อไม่มีประเด็นใดค้างอยู่ แสดงว่าขั้นตอนแรกเสร็จสิ้นและจัดกลุ่มก่อนกำหนด ณ จุดนี้ เราจำเป็นต้องคำนวณ k centroid ใหม่อีกครั้งเป็น barycenters ของคลัสเตอร์ที่เกิดจากขั้นตอนที่แล้ว หลังจากที่เราได้เซนทรอยด์ใหม่ k เหล่านี้แล้วต้องทำการเชื่อมโยงใหม่ระหว่างจุดชุดข้อมูลเดียวกันและเซนทรอยด์ใหม่ที่ใกล้ที่สุด สร้างลูปแล้ว

จากผลของลูปนี้ เราอาจสังเกตเห็นว่า k centroids เปลี่ยนไปสถานที่ที่ละขั้นตอนจนกว่าจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงอีก กล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเซนทรอยด์ไม่เคลื่อนไหวใดๆ

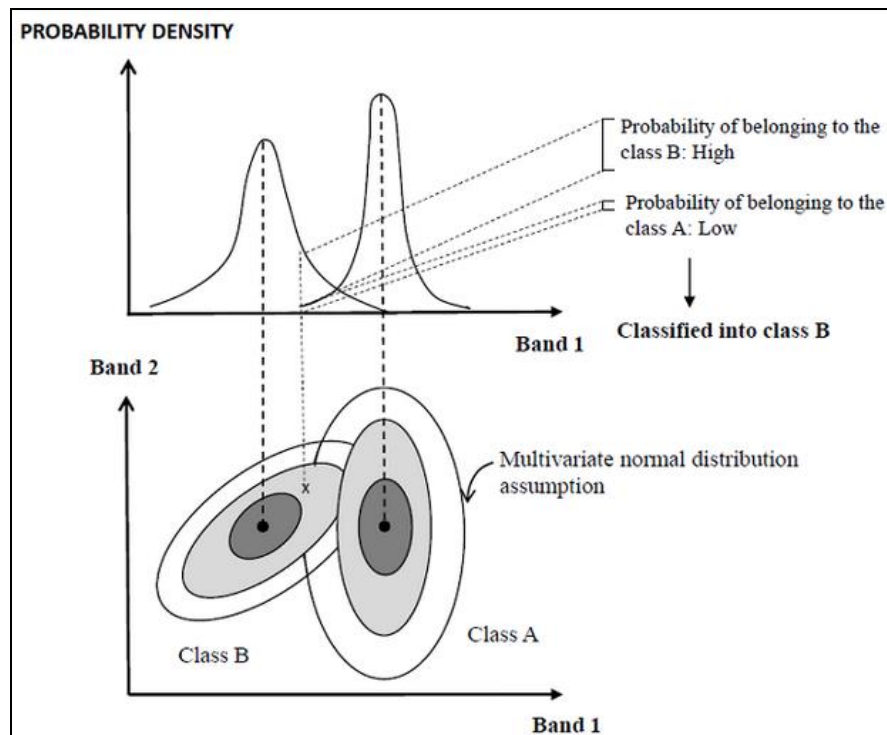
2.1.2) การจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแลโดยวิธี ISODATA เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการจัดระเบียบตนเองแบบวนซ้ำ แสดงถึงความครอบคลุมชุดขั้นตอนวิธีฮิวริสติกที่รวมอยู่ในอัลกอริทึมการจัดหมวดหมู่แบบวนซ้ำหลายขั้นตอนที่รวมอยู่ในอัลกอริทึมเป็นผลมาจากประสบการณ์ที่สั่งสมมา การทดลองอัลกอริทึม ISODATA เป็นการดัดแปลงอัลกอริทึมการจัดกลุ่มค่า k-mean ซึ่งรวมถึง การรวมคลัสเตอร์หา ระยะห่างของคลัสเตอร์ในพื้นที่คุณลักษณะหลายสเปกตรัมต่ำกว่าผู้ใช้เกณฑ์ที่กำหนดและ กฎสำหรับการแบ่งคลัสเตอร์เดียวออกเป็นสองคลัสเตอร์ ISODATA เป็นแบบวนซ้ำ เนื่องจากการทำให้การส่งผ่านข้อมูลระยะไกลเป็นจำนวนมาก ชุดข้อมูลจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ระบุ แทนที่จะผ่านเพียงสองครั้ง ISODATA ไม่จัดสรรเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยเริ่มต้นตามการวิเคราะห์จุดภาพในครั้งแรก บรรทัดข้อมูลในแบบที่อัลกอริทึมของ two-pass chain ทำค่อนข้างเป็นการมอบหมายโดยพลการเริ่มต้นของกลุ่ม Cmax ทั้งหมดเกิดขึ้นตามเวกเตอร์ n มิติที่วางระหว่างเฉพาะเจาะจงมากจุดในพื้นที่คุณลักษณะ พื้นที่ในพื้นที่คุณลักษณะถูกกำหนดโดยใช้ค่าเฉลี่ย และมาตรฐานความเบี่ยงเบนของแต่ละวงในการวิเคราะห์ วิธีการเพาะ Cmax ดั้งเดิมนี้โดยอัตโนมัติเวกเตอร์ทำให้แน่ใจว่าข้อมูลสองสามบรรทัดแรกไม่มีอคติต่อการสร้างคลัสเตอร์ ISODATA มีการจัดระเบียบตัวเองเนื่องจากต้องใช้ข้อมูลของมนุษย์ค่อนข้างน้อย ISODATA ทั่วไปโดยปกติอัลกอริทึมต้องการให้นักวิเคราะห์ระบุเกณฑ์ต่อไปนี้:

- Cmax: จำนวนคลัสเตอร์สูงสุดที่อัลกอริทึมระบุได้ (เช่น 20 คลัสเตอร์) อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่เรื่องแปลกที่จะพบน้อยลงในแผนที่การจัดประเภทขั้นสุดท้ายหลังจากการแยกและเกิดการผสมผสานขึ้น
- T: เปอร์เซนต์สูงสุดของจุดภาพที่อนุญาตให้เปลี่ยนค่าคลาสระหว่างกันได้การทำซ้ำเมื่อถึงจำนวนนี้ อัลกอริทึม ISODATA จะสิ้นสุดลง บางชุดข้อมูลอาจไม่เคยถึงเปอร์เซนต์ที่ต้องการไม่เปลี่ยนแปลง หากสิ่งนี้เกิดขึ้นจำเป็นต้องขัดจังหวะประมวลผลและแก้ไขพารามิเตอร์
- M: จำนวนครั้งสูงสุดที่ ISODATA ใช้ในการจำแนกจุดภาพและคำนวณค่าเฉลี่ยของคลัสเตอร์ใหม่เวกเตอร์ อัลกอริทึม ISODATA จะสิ้นสุดลงเมื่อถึงจำนวนนี้ สมาชิกขั้นต่ำในคลัสเตอร์ (%): หากคลัสเตอร์มีสมาชิกละเอียดกว่าเปอร์เซนต์ขั้นต่ำ คลัสเตอร์นั้นจะถูกลบและสมาชิกถูกกำหนดให้อยู่ในคลัสเตอร์ทางเลือก สิ่งนี้ยังส่งผลต่อการเรียนในชั้นเรียนอีกด้วยที่จะแยก (ดูค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด) เปอร์เซนต์ขั้นต่ำเริ่มต้นของสมาชิกคือ มักจะตั้งค่าเป็น 0.01 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด (σ_{max}) เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับคลัสเตอร์เกิน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดที่กำหนดและจำนวนสมาชิกในชั้นเรียนมากกว่าสองเท่าของสมาชิกขั้นต่ำที่ระบุในคลาส คลัสเตอร์จะแบ่งออกเป็นสองคลัสเตอร์ ความหมายเวกเตอร์สำหรับกลุ่มใหม่สองกลุ่มคือ ศูนย์คลาสเก่า ± 1 ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ) ขีดสุดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง 4.5 ถึง 7 เป็นเรื่องปกติค่าการแยกส่วน: ถ้าค่านี้เปลี่ยนจาก 0.0 จะเป็นค่ามาตรฐานความเบี่ยงเบนในการระบุตำแหน่งของเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยใหม่บวกและลบการแยกค่าการแยกระยะห่างต่ำสุดระหว่างกลุ่มหมายถึง (C): กลุ่มที่มีระยะทางถ่วงน้ำหนักน้อยกว่านี้รวมค่าแล้ว มักใช้ค่าเริ่มต้นเป็น 3.0

2.2) การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แบบมีการกำกับดูแล (Supervised classification) โดยใช้การแบ่งประเภทของการสะท้อนช่วงคลื่นออกเป็นกลุ่มตัวอย่างหลายๆ กลุ่มแล้วกำหนดให้เป็นพื้นที่ของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง (Training area) เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะต่างๆ ใช้สำหรับคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวจะถูกใช้เป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทของข้อมูลการจำแนกภาพ ซึ่งการจำแนกภาพแบบมีการกำกับดูแลอาจใช้

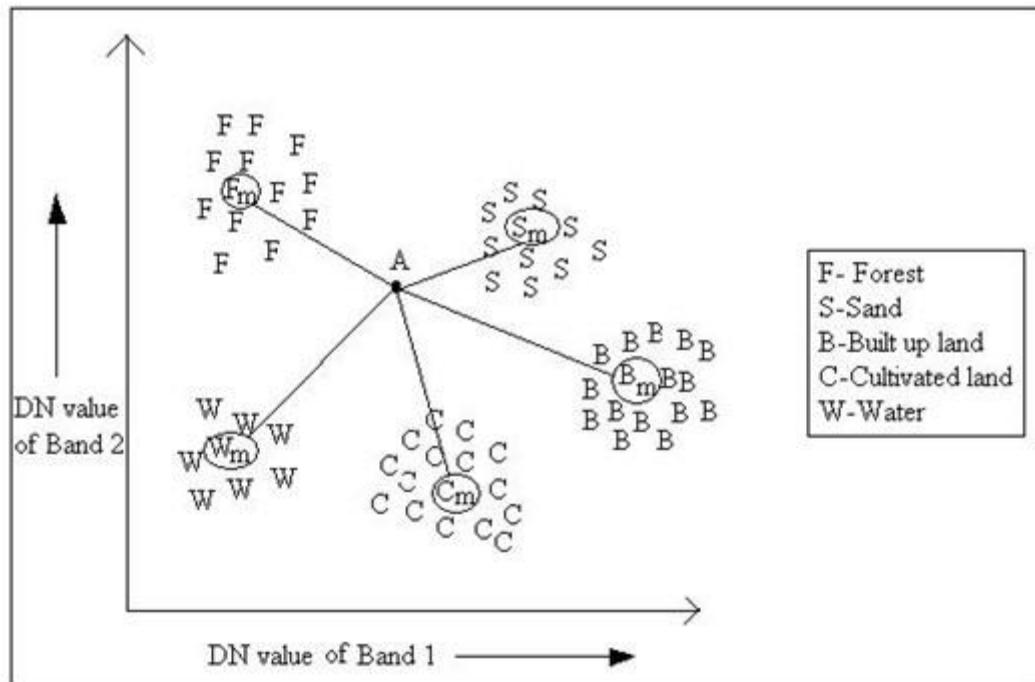
ข้อมูลสำรวจภาคสนามซึ่งทราบประเภทและตำแหน่งการใช้ที่ดินจากสถานที่จริงการวิเคราะห์ก็จะแม่นยำขึ้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแลจะเป็นการกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของ รายละเอียดก่อนการจำแนก การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดลักษณะของประเภทข้อมูลเอง โดยเป็นผู้เลือกตัวอย่างประเภทข้อมูลให้แก่เครื่อง จึงเรียกการจำแนกข้อมูลประเภทนี้ว่าเป็นวิธีแบบควบคุมโดยผู้วิเคราะห์ต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ข้อมูลตัวแทนหรือข้อมูลตัวอย่างที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดนั้นได้จากการตีความหมายภาพดาวเทียมที่ถูกต้องด้วยสายตาโดยอาศัยประสบการณ์ ความเข้าใจและความรู้ที่มีอยู่ ตลอดจนกระบวนการต่างๆ ในการตีความหมาย เช่น การสำรวจภาคสนาม การใช้แผนที่ภาพถ่ายต่างๆ และสถิติอื่นๆ เป็นต้นทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความหมายถูกต้องตามระบบการจำแนก ตัวอย่างที่เลือกเป็นข้อมูลทางสถิติที่กำหนดคุณลักษณะของข้อมูล ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์จะนำคุณลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่างนั้นไปทำการประมวลผลแล้วจำแนกแต่ละจุดภาพของข้อมูลดาวเทียมให้เป็นประเภทข้อมูลตามที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ตามพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการจำแนกวิธีนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของพื้นที่ตัวอย่างว่ามีความหลากหลายครอบคลุมทุกประเภทข้อมูลหรือไม่และเป็นตัวแทนของประชากรข้อมูลทุกประเภทหรือไม่ วิธีการนี้ผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ในพื้นที่ศึกษาเป็นอย่างดี โดยศึกษาจากข้อมูลเสริมประกอบตลอดจนการสังเกตลักษณะเชิงกายภาพ (Physical characteristics) ของประเภทข้อมูลดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยวิธีการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แบบมีการกำกับดูแลมีหลักการ ได้แก่

2.2.1) การจำแนกประเภทโดยวิธีใช้ความน่าจะเป็นมากที่สุด (Maximum likelihood) เป็นการพิจารณาโอกาสสูงสุดจะพิจารณาว่าค่าการสะท้อนแสงในแต่ละคลาสเหมาะสมกับการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งช่วยให้สามารถอธิบายแต่ละคลาสด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นจากเมทริกซ์เวกเตอร์เฉลี่ยและความแปรปรวนหรือความแปรปรวนร่วม ฟังก์ชันนี้คล้ายกับการกระจายค่าการสะท้อนแสงของแต่ละหมวดหมู่ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณความน่าจะเป็นที่ค่าการสะท้อนแสงเป็นสมาชิกของคลาสที่กำหนดได้ มีการคำนวณสำหรับแต่ละกลุ่มที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดจุดภาพให้กับสิ่งที่เพิ่มฟังก์ชันความน่าจะเป็นให้สูงสุด (Medina and Atehortúa, 2018) (ภาพที่ 22)



ภาพที่ 22 หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแลโดยวิธี Maximum likelihood
ที่มา : Alzate (2011) อ้างอิงใน Medina and Atehortúa (2018)

2.2.2) การจำแนกประเภทโดยใช้วิธีระยะทางที่น้อยที่สุด (Minimum Distance) เป็นการจัดกลุ่มข้อมูลโดยใช้ระยะห่างระหว่างค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลลายเซ็นต์เชิงคลื่นของแต่ละกลุ่มที่ได้จากกลุ่มข้อมูลตัวอย่างและค่าจุดภาพ ซึ่งจะคำนวณแบบแบนด์ต่อแบนด์ จากนั้นจึงคำนวณระยะทางทั้งหมด การคำนวณระยะทางทั้งหมดนี้จะทำซ้ำกับลายเซ็นต์เชิงคลื่นของกลุ่มข้อมูลทั้งหมด กลุ่มข้อมูลที่แสดงระยะทางรวมขั้นต่ำจะถูกกำหนดให้กับจุดภาพ วิธีระยะทางขั้นต่ำนี้มีความรวดเร็วและใช้แนวคิดที่ง่าย (ภาพที่ 23) (Indian Agricultural Statistics Research Institute, 2014; Short and Robinson., n.d.)



ภาพที่ 23 หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแลโดยวิธี Minimum Distance
ที่มา : Indian Agricultural Statistics Research Institute (2014)

3) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักรในการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

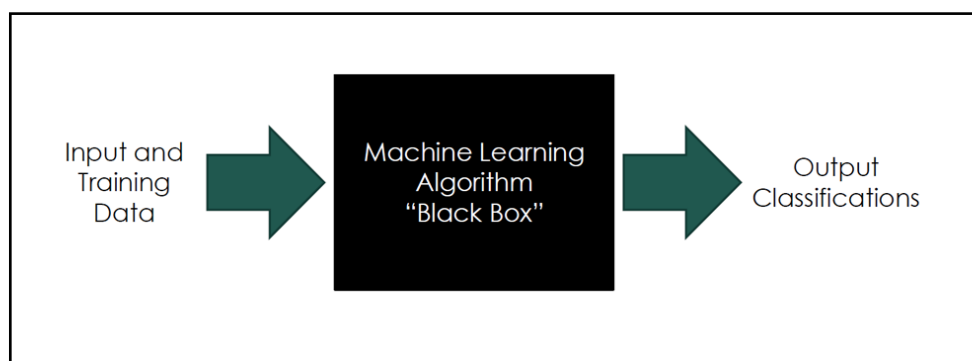
ปัจจุบันมีข้อมูลจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลให้บริการจำนวนมาก สามารถเข้าถึงได้ง่าย ทำให้ผู้ใช้สามารถปรับปรุงฐานข้อมูลการใช้ที่ดินได้บ่อยขึ้น และสามารถพัฒนาความแม่นยำในการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินให้สูงขึ้น (Samardžic-Petrovic et al., 2017; Wagle et al., 2020 Duan and Zhang, 2021) ทำให้มีความพยายามในการหาแนวทางที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง (Machine learning) ในการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ ทั้งการแปลแบบมีการกำกับดูแลและไม่มีการกำกับดูแลการพัฒนาของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในอดีตถึงปัจจุบัน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการประมวลผลภาพได้ก้าวหน้าผ่านการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (Object based classification) โดยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ เป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้ทุกจุดภาพ ในการจำแนกเพียงอย่างเดียว มีการใช้พารามิเตอร์อื่นร่วมในการจำแนกด้วย เช่น พื้นผิว มาตรฐานสี จากการจัดกลุ่มของจุดภาพหรือการแบ่งส่วนของภาพในการจัดประเภทข้อมูล จึงมีความแตกต่างกับวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel based classification) ที่ใช้จุดภาพทุกจุดในการจัดประเภทข้อมูล ซึ่งมักเกิดข้อผิดพลาดในการจำแนก หากภาพที่ใช้ในการจำแนกมีสิ่งรบกวน เช่น เงาของก้อนเมฆ มุมตกกระทบของแสงที่ทำให้วัตถุมีค่าการสะท้อนผิดเพี้ยนไปจากปกติ และยังมีการนำกระบวนการของระบบการเรียนรู้ด้วยเครื่อง มาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากอัลกอริทึมของระบบดังกล่าวเป็นอัลกอริทึมแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non-parametric algorithms) ไม่ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูล ไม่ใช่ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ทางสถิติ (Statistical parameters) ในการจำแนกข้อมูล สามารถใช้จำแนกข้อมูลที่มีการกระจายหลากหลายแบบ มีความรวดเร็วและแม่นยำในการจำแนกข้อมูลที่มีความซับซ้อนและปริมาณมาก การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรเป็นการพัฒนากระบวนการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอัตโนมัติ

(Van Leeuwen *et al.*, 2020; Triscowati and Wijayanto, 2020; Talukdar *et al.*, 2022) ซึ่งเดิมการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นิยมใช้กัน ได้แก่ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual Interpretation) การแปลตีความด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของการแปลตีความที่หลากหลาย ทั้งนี้กระบวนการดำเนินงานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพต้องใช้ทั้งเวลาและบุคลากรที่มี ความรู้ความชำนาญ ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ทันต่อสถานการณ์ของผู้ใช้งาน ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้เกิด การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงาน โดยมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานให้อยู่ในรูปแบบอัตโนมัติมากขึ้น เช่นเดียวกับ ผลงานการพัฒนากระบวนการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้พัฒนาขึ้น โดยกระบวนการประกอบด้วยการ พัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการประมวลผลใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1.กระบวนการดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบอัตโนมัติ (API Downloader) 2.กระบวนการเตรียมข้อมูลภาพจากดาวเทียมแบบอัตโนมัติ (Pre-processing) และ 3. การพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธี Machine Learning ผลการพัฒนากระบวนการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอัตโนมัติจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน เพิ่มความถี่ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้มากขึ้น และสามารถประมวลผลได้แบบอัตโนมัติโดยปราศจากบุคลากรในการป้อนนำเข้าข้อมูล (Input) ซึ่งก่อให้เกิดการทำงานที่เป็นระบบ ไม่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาทำงาน อีกทั้งยังสามารถต่อยอดและพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการจำแนกชั้นข้อมูลอื่นๆ ได้ต่อไป

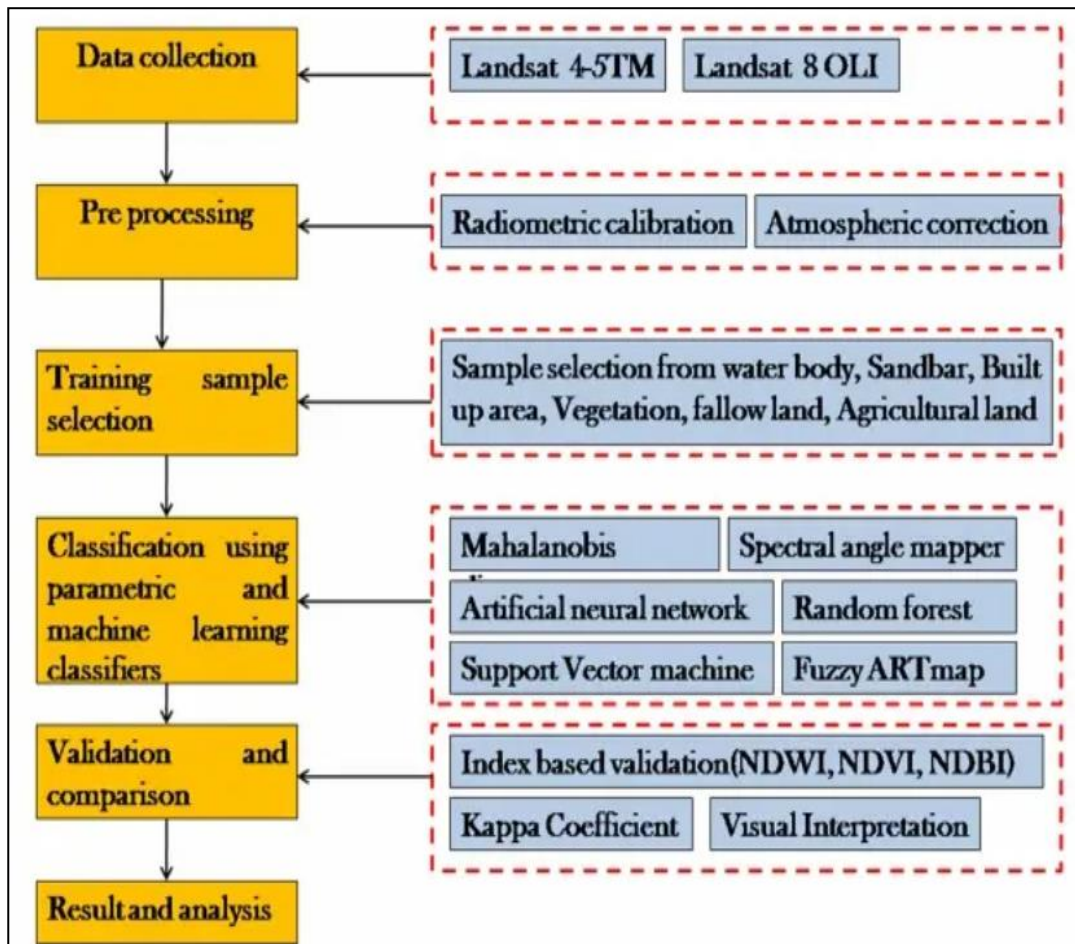
การแปลตีความภาพเพื่อจำแนกวัตถุได้ดีและถูกต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมๆ กันไป ตามความยากง่ายและมาตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจไม่แน่นอนเสมอไปรูปร่าง สี และขนาด อาจใช้เป็นองค์ประกอบในการแปลตีความภาพพื้นที่หนึ่งหรือลักษณะหนึ่ง ส่วนอีกบริเวณอื่นของพื้นที่เดียวกันอาจต้องใช้องค์ประกอบอีกอย่างก็ได้ นอกจากนี้จำเป็นต้องนำข้อมูลจากดาวเทียมอีก 3 ลักษณะมาประกอบการพิจารณา คือ ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ (Spectral characteristic) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วงคลื่นแสงในแต่ละแบนด์โดยวัตถุต่างๆ สะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นไม่เท่ากัน ทำให้สีของวัตถุในภาพแต่ละแบนด์แตกต่างกันในระดับสีขาว-ดำ ซึ่งทำให้สีแตกต่างในภาพสีผสมด้วย ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ (Spatial characteristic) แตกต่างตามมาตราส่วนและรายละเอียดภาพจากดาวเทียม เช่น MSS วัตถุหรือพื้นที่ขนาด 80×80 เมตร จึงจะปรากฏในภาพ และระบบ PLA มีขนาด 10×10 เมตร เมื่อค้นเคยกับลักษณะรูปร่างวัตถุทำให้ทราบลักษณะที่จำลองในภาพจากดาวเทียม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal characteristic) ซึ่งทำให้สถานะของวัตถุต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงรายปี หรือรายคาบ เป็นต้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้มีความแตกต่างของระดับสีในภาพขาวดำ และภาพสีผสม ทำให้เราสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมที่ถ่ายซ้ำที่เดิมในช่วงเวลาต่างๆ มาติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สามารถติดตามการบุกรุกทำลายป่าการเติบโตของพืชตั้งแต่ปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์มากขึ้น จากการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากหลายแหล่งและหลายช่วงเวลา และความถี่ในการแผนที่การใช้ที่ดินที่เร่งด่วน ใกล้กับเวลาปัจจุบันมากที่สุด ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยสายตาเกิดข้อจำกัดขึ้นเนื่องจากสามารถทำได้ช้า ต้องการปริมาณคนในการปฏิบัติงานมาก และการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์ ทั้งแบบการจำแนกประเภทแบบไม่มีการกำกับดูแลและแบบมีการกำกับดูแลแบบดั้งเดิม (Al-doski *et al.*, 2013; Samardžić-Petrovic *et al.*, 2017; Ganjirad and Delavar, 2023; Ramachandra *et al.*, 2023)

เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลและกระบวนการในการจำแนกจุดภาพ (Pixel) โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ได้รับความสนใจจากนักวิชาการ นักวิจัย และผู้ปฏิบัติงานสูงชันอย่างต่อเนื่อง (Wu *et al.*, 2023) เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เป็นการรวมความฉลาดของมนุษย์สู่เครื่องจักร (Machine) ได้แก่ ชุดของคำสั่ง (code) เทคนิค หรือกระบวนการ ที่ทำให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถเลียนแบบพัฒนาและแสดงพฤติกรรมของมนุษย์ได้ การเรียนรู้ของเครื่องจักร (machine learning) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้พัฒนาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เป็นศาสตร์ที่ทำให้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักรสามารถเรียนรู้ที่จะทำความเข้าใจความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ถูกป้อนเข้า (Input) และสร้างผลลัพธ์การตอบสนองต่อข้อมูล (Output) ขึ้นมาได้เองโดยไม่ต้องถูกป้อนคำสั่งเข้าไปใหม่ทุกครั้งที่คอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักรได้รับข้อมูลใหม่ ซึ่งการเรียนรู้ของเครื่องจักรเป็นการนำศาสตร์ด้านคณิตศาสตร์และสถิติขั้นสูงมาประยุกต์เข้ากับความรู้ด้านการจัดการข้อมูล และการเขียนโปรแกรม (Samardžić-Petrovic *et al.*, 2017) ซึ่งกระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจักรสำหรับการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน ประกอบด้วย 1. ปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ข้อมูลภาพและข้อมูลสำหรับควบคุมเพื่อจัดกลุ่มและจำแนกจุดภาพ 2. กระบวนการเรียนรู้ที่ใช้ คือ กล่องดำ (black box) และ 3. ผลลัพธ์ที่ได้ (ภาพที่ 24) การสร้างโครงสร้างหรือสถาปัตยกรรมที่ซับซ้อนมีความคาดหวังที่จะบูรณาการฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากหลายแหล่ง ที่มีความหลากหลายทั้งมิติเชิงคลื่นและเวลา เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลคุณสมบัติอื่น ๆ เชิงพื้นที่ เช่น ข้อมูลที่วัดได้จากภาคสนาม ข้อมูลประวัติการปลูกพืช เช่น การหมุนเวียนชนิดพืชที่ปลูก แล้ววิเคราะห์โดยกระบวนการเรียนรู้ต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวม (Wu *et al.*, 2023) ซึ่งกระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจักรที่ทันสมัยมีอยู่หลายกระบวนการ (ตารางที่ 25) เช่น เทคนิคป่าสุ่ม (Random forest) เทคนิคการจัดหมวดหมู่และต้นไม้ถดถอย (Classification and Regression Trees: CART) เทคนิคการสนับสนุนเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine: SVM) เทคนิคการจำแนกแบบมาตรฐานแบบความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood : ML) และ เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียม artificial neural network (ANN) เป็นต้น (Mather and Tso, 2009; Wang *et al.*, 2017; Mojaddadi *et al.*, 2017; Samardžić-Petrovic *et al.*, 2017; Opella and Hernandez, 2019; Avand *et al.*, 2020; Esfandiari *et al.*, 2020; Triscowati *et al.*, 2020; Farhadi and Najafzadeh, 2021; Ganjirad and Delavar, 2023; Rong and Fu, 2023; Wu *et al.*, 2023) การใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักรได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและจัดทำแผนที่การใช้ที่ดิน และเป็นแนวทางที่สำคัญที่สามารถนำไปใช้งานในระบบคลาวด์เพื่อให้การทำแผนที่และประมาณการพื้นที่ที่แม่นยำและรวดเร็วทั่วโลก (Wagle *et al.*, 2020; Wu *et al.*, 2023)



ภาพที่ 24 กระบวนการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ด้วยเครื่องจักร



ภาพที่ 25 กระบวนการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน
ที่มา : Talukdar *et al.* (2020)

ตารางที่ 6 เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน

S. No.	Methods used for LULC classification	Best method	Study area
1	Random forest (RF), K-nearest neighbor (KNN), Support vector machine (SVM)	SVM	Red river delta, Vietnam
2	RF, SVM	RF	Eastern suburbs of Deyang city, China
3	naïve Bayes (NB), Decision trees J-48, RF, Multilayer perception, SVM	SVM	Brazilian Tropical Savana
4	SVM, NB, Decision trees (DT), KNN	SVM	Haidian District of Beijing, China
5	Maximum likelihood classifier (MLC), SVM, Artificial neural network (ANN)	ANN	Walnutcreek, Iowa, USA
6	SVM, ANN, Classification and regression tree (CART)	SVM	Albemarle-Pamlico Estuary System,
7	Bagging, Boosting, RF, Classification tree	Boosting and RF	Cape cod, Massachusetts, USA
8	MLC, ANN, SVM	SVM	Koh Tao, western Gulf of Thailand
9	RF, SVM	RF	Eastern Coast of KwaZulu-Natal, South Africa
10	DT, RF, ANN, SVM	RF	Granada, Spain
11	MLC, SVM, DT	DT	Kibale Sub-county, Eastern Uganda
12	NB, AdaBoost, ANN, RF, SVM	RF	Riau, Jambi and West Sumatra, Indonesia
13	SVM, RF, ANN	ANN	North Western part of Karkonosze National Park, Poland
14	MLC, SVM	SVM	Johor, Malaysia
15	SVM, MLC, ANN	SVM	Klang District, Malaysia
17	RF, MLC	MLC	Sihu Township of Yun-Ling, Taiwan
18	ANN, SVM	ANN	Abbottabad, Pakistan
19	ANN, SVM, Rotation Forest, RF, Meta Classifier	RF and Meta Classifier	Gomukh, Uttarakhand, India

ที่มา : Talukdar et al. (2020)

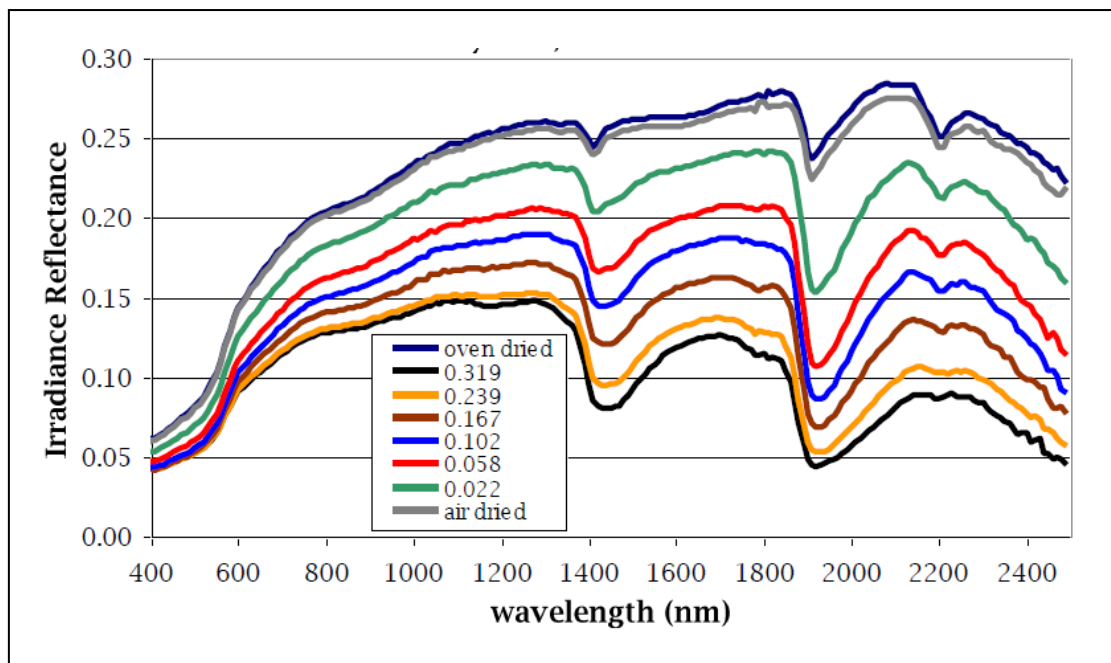
3.2.2 การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช

การศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชโดยใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย การติดตามการเจริญเติบโตและผลผลิตพืชที่ได้มาจากดาวเทียมถูกใช้งานโดยหลายภาคส่วน เนื่องจากข้อมูลเหล่านี้เป็นทรัพยากรที่สำคัญที่มีค่าทางเศรษฐกิจและมีผลกระทบต่อความมั่นคงทางด้านอาหาร (Wu *et al.*, 2023) ข้อมูลเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล โดยเฉพาะข้อมูลจากภาพดาวเทียมได้กลายเป็นหนึ่งในวิธีหลักที่ใช้ในการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชในระดับท้องถิ่น ภูมิภาค และทั่วโลก การตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืช ประกอบด้วยการวิเคราะห์ทางเกษตร สภาพอากาศ การสุขภาพและความเครียดของพืช และการคาดการณ์ผลผลิตพืช บางระบบยังรวมถึงการประเมินความมั่นคงปลอดภัยทางอาหาร และการเตือนภัยล่วงหน้าเกี่ยวกับความไม่มั่นคงในการจัดหาอาหาร ปัจจุบันการเข้าถึงข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดระดับกลางถึงสูงโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายได้สร้างโอกาสใหม่ในการพัฒนาความสามารถในการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชที่มีการขับเคลื่อนด้วยดาวเทียมได้ทุกสภาพอากาศและทุกช่วงเวลาที่มีความละเอียดสูงทั้งพื้นที่และเวลา แพลตฟอร์มคลาวด์คอมพิวเตอร์ เช่น Amazon, Google Earth Engine และ Microsoft AI for Earth ได้เสริมความสามารถในการประมวลผลข้อมูลดาวเทียมและเทคนิคการแยกข้อมูลด้วยข้อมูลอื่น ๆ เช่น ข้อมูลอากาศ ข้อมูลดิน ข้อมูลระดับความสูง รวมถึงข้อมูลเสริมอื่น ๆ ดังนั้น ข้อมูลดาวเทียมและความสามารถในการประมวลผลไม่ได้เป็นข้อจำกัดในการตรวจสอบการเจริญเติบโตของพืชอีกต่อไป ดังนั้นการตรวจสอบแปลงเพาะปลูกในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางของการพัฒนาวิธีใหม่ในการดึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูกจากข้อมูลที่ได้มาจากดาวเทียมและการสร้างระบบตรวจสอบแปลงเพาะปลูกที่เสถียรขึ้น อย่างไรก็ตาม การผสมผสานระหว่างพืชที่ปลูก ตำแหน่ง ขอบเขตภูมิศาสตร์ และพลวัตของเวลาทำให้การเข้าถึงข้อมูลการตรวจสอบแปลงเพาะปลูกเป็นงานที่ซับซ้อน (Wu *et al.*, 2023)

การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชเป็นการใช้เทคโนโลยีทางดาวเทียมหรืออุปกรณ์ที่ติดตั้งบนพื้นผิวโลกเพื่อรวบรวมข้อมูลที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เกี่ยวกับพืชและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยข้อมูลที่ได้จะช่วยในการทำนายผลผลิตพืช, ประเมินสภาพสุขภาพของพืช, และจำแนกประเภทพืชต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลด้านเวลาและพื้นที่ (Temporal-spatial) และคุณภาพเกี่ยวกับสภาพการเจริญเติบโตของพืชมีความสำคัญต่อการตัดสินใจทางนโยบาย เพื่อป้องกันการขัดขวางทางการตลาดและการพิสูจน์ ซึ่งทำให้มีส่วนร่วมในการเตือนภัยเร็วเพื่อความมั่นคงของอาหาร คุณลักษณะเหล่านี้เป็นจุดมุ่งหลักของการตรวจสอบสภาพการเจริญเติบโตของพืช (ตาราง 6) ลักษณะชีวภาพของพืชถือเป็นตัวแทนของสภาพการเจริญเติบโตของพืช (Wu *et al.*, 2023) ปัจจุบันมีดัชนีพืชพรรณหลายชนิด หรือตัววัดที่เกี่ยวข้องกับลักษณะทางรูปร่าง สรีรวิทยา และชีวภาพของพืชถูกพัฒนาขึ้นเพื่อบรรยายสถานะการเจริญเติบโตของพืช เช่น ดัชนี NDVI ดัชนีพื้นที่ใบ (Leaf Area Index หรือ LAI) สัดส่วนของแสงที่ถูกดูดซับที่ใช้กับการสังเคราะห์แสงสังเคราะห์ (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation หรือ fAPAR) บนพื้นผิวของพืช ดัชนีผลผลิตสุทธิขั้นต้น (Net Primary Productivity หรือ NPP) ปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (Leaf Chlorophyll Content หรือ LCC) ปริมาณคลอโรฟิลล์ทรงพุ่มของพืช (Canopy Chlorophyll Content หรือ CCC) ดัชนีสุขภาพของพืช (Vegetation Health Index หรือ VHI) เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้สามารถนำมาใช้ในการประเมินสถานะการเจริญเติบโตของพืชและผลกระทบจากสภาพอากาศทางเกษตร แมลงศัตรูและโรค น้ำ สภาพดิน และสภาวะเครียด (Wu *et al.*, 2023)

3.2.3 การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาทรัพยากรดิน

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลได้นำหลักการสะท้อนและดูดซับพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของวัตถุมาประยุกต์ใช้ ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีค่าการสะท้อนพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ในการสะท้อนแสงของพืชส่วนใหญ่วัดปริมาณการสะท้อนพลังงานของวัตถุที่ความยาวช่วงคลื่น 675 นาโนเมตร และความยาวช่วงคลื่น 750 นาโนเมตร ซึ่งเทียบได้กับภาพจากดาวเทียม Landsat TM ในแบนด์ 3 เป็นช่วงคลื่นที่ถูกดูดซับโดยคลอโรฟิลล์และใช้แยกชนิดของพืชแบนด์ 4 ใช้บ่งบอกถึงโครงสร้างเซลล์ของพืชและมวลชีวภาพ ซึ่งประโยชน์จากการวัดปริมาณค่าการสะท้อนแสงโดยพืชพรรณธรรมชาติจะสะท้อนพลังงานได้ดีในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้จะสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นแสงสีเขียวซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 500 ถึง 600 นาโนเมตร และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Wavelength) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 700 ถึง 1,300 นาโนเมตร ส่วนการสะท้อนพลังงานของดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการในดิน เช่น ความชื้นในดิน แร่ธาตุในดิน เป็นต้น และน้ำจะไม่มี การสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ เช่น จากรายงานของ Philpot (2010) พืชชนิดเดียวกันที่ได้ปลูกในที่มีความชื้นดินระดับต่างกันจะมีค่าสะท้อนลายเซ็นต์เชิงคลื่นที่ต่างกัน (ภาพที่ 26) จากคุณสมบัติการสะท้อนและดูดซับพลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงคลื่นของพืช จึงได้มีการนำข้อมูลจากการสำรวจจากระยะไกลที่นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาด้านการเกษตรกรรม เช่น การแยกประเภทพืชที่เพาะปลูก (Crop type Classification) การจัดทำแผนที่ความอุดมสมบูรณ์ของดิน เช่น แผนที่ปริมาณธาตุอาหารในดิน แผนที่ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และแผนที่ความชื้นดิน ณ เวลาต่างๆ เป็นต้นเพื่อใช้ในการจัดการพืชที่เพาะปลูก (Crop Management)



ภาพที่ 26 ค่าลายเซ็นต์เชิงคลื่นของพืชเมื่อระดับความชื้นของดินต่างกัน

ที่มา: Philpot (2010)

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มมากขึ้น โดยใช้ความแตกต่างของค่าการสะท้อนและการดูดซับพลังงานของพืช ในช่วงคลื่นต่างๆ ที่แตกต่างกันเพื่อหาอัตราส่วน (Band Ratio) ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่า ดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices) ซึ่งค่าที่นำมาคำนวณนี้มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์กับพืชพรรณที่สะท้อนปริมาณแสงตกกระทบในพื้นที่เพาะปลูกพืชในสัดส่วนที่ต่างกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดัชนีพืชพรรณถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับเน้นข้อมูลให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน หรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลให้แสดงความชัดเจนในสิ่งที่ทำการศึกษามากขึ้น ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิวสถานะของพืชรวมถึงสภาพความแข็งแรงและความผิดปกติของพืชชั้นในพื้นที่แปลงปลูกพืช โดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณ (VI) สามารถประยุกต์ วิธีการคำนวณไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น ดัชนีความต่างของพืชพรรณ (normalized difference vegetation index:NDVI) (Rouse *et al.*, 1974; Thompson *et al.*, 2015) ดัชนีความต่างของพืชพรรณด้วยช่วงคลื่นแสงสีเขียว (green normalized difference vegetation index: GNDVI) (Gitelson *et al.*, 1996) และ ดัชนีความต่างของคลื่นอินฟราเรด (Normalized Difference Infrared Index: NDII) (Hunt and Rock, 1989) เป็นต้น (ตารางที่ 4) สามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตของพืชตามเวลาจริง การทำนายหรือประเมินคุณลักษณะของพืช เช่น พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ความสมบูรณ์ของพืชและความหนาแน่นของพืชซึ่งจะเป็นประโยชน์ในแง่มุมต่างๆ เช่น เพื่อวัดสถานะของต้นกล้า (ก่อนและระหว่างขั้นตอนการปลูก) เพื่อปรับใช้เทคนิคการจัดการเวลาอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อความอยู่รอดและผลผลิตของพืช หรือเพื่อส่งเสริมแนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืนมากขึ้น การประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับภัยแล้ง และเหตุการณ์รุนแรง เช่น คลื่นความร้อนซึ่งเริ่มเข้าสู่ภูมิภาคที่ขณะนี้ประสบปัญหาภัยแล้ง เป็นต้น (ชรินทร์, 2540) โดยการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในการหาค่าความสัมพันธ์กับความอุดมสมบูรณ์ของดินมีดังนี้

Glowienka *et al.* (2016) วิเคราะห์เชิงพื้นที่และเชิงเวลาในการกระจายความเค็มของดิน และระดับความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ในโปแลนด์ตะวันออกเฉียงใต้ ในปี 2538, 2543, 2548 และ 2010 โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการสำรวจระยะไกล ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าระดับความเค็มและความเป็นกรดเป็นด่างของดินมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากเช่นเดียวกับ โพแทสเซียม (K) และโซเดียม (Na) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่วนใหญ่เกิดขึ้นในภาคเหนือและภาคใต้ของพื้นที่ที่ตรวจสอบ สาเหตุหลักของการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้นอาจเป็นเพราะน้ำท่วมซึ่งกระทบภูมิภาคในเดือนมิถุนายน 2010

Vaudour *et al.* (2019) ศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 โดยการคำนวณดัชนี NDVI ในการประมาณค่าสมบัติดินของชั้นดินบนในเขตเขตอบอุ่น และในแถบเมดิเตอร์เรเนียน ได้แก่ ปริมาณอนุภาคดินเหนียว ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก โดยใช้สมการ partial least squares regressions (PLSR) พบว่าการใช้ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณอนุภาคดินเหนียวที่ค่า r^2 เท่ากับ 0.39 ถึง 0.42 ความเป็นกรดเป็นด่าง ที่ค่า r^2 เท่ากับ 0.08 ถึง 0.51 ปริมาณอินทรีย์วัตถุค่า r^2 เท่ากับ 0.04 ถึง 0.09 และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก ที่ค่า r^2 เท่ากับ 0.13 ถึง 0.48

Taghadosi *et al.* (2019) ประเมินความเค็มของดินโดยการคำนวณค่าการนำไฟฟ้า ของดิน โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมจากดาวเทียม Sentinel 2 และข้อมูล Landsat 8 การศึกษาภาคสนามได้ดำเนินการโดยใช้ข้อมูลเหล่านั้น และได้สกัดคุณลักษณะต่างๆ ของเกลือซึ่งสัมพันธ์กับค่าการนำไฟฟ้า ของดิน

ของตัวอย่างภาคสนามกับคุณลักษณะของเกลือที่ได้รับจากดาวเทียม การศึกษาใช้สมการการถดถอย 2 แบบ ได้แก่ Multi-Layer Perceptron (MLP) และ Support Vector (SV) การศึกษาสรุปว่าวิธีการที่เสนอสำหรับแบบจำลองความเค็มและการทำแผนที่ของค่าการนำไฟฟ้าของดินถือเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจสอบความเค็มของดิน

Elhag and Bahrawi (2016) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ทำแผนที่ความเค็มของดินโดยใช้ดัชนีพืชพรรณชนิดต่างๆ พบว่า ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับความเค็มสูงสุด รองลงมา คือ ดัชนี Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) และ Water Supply Vegetation Index (WSVI) ตามลำดับ

Abbas *et al.* (2020) ใช้เซ็นเซอร์ระดับพื้นดินหลายชนิดรวมกับการใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องในการประมาณผลผลิตมันฝรั่งในจังหวัด Prince Edward Island และ New Brunswick ของประเทศแคนาดา เซ็นเซอร์ที่ใช้ประกอบด้วย DualEM-2 (DualEM Inc, Milton, Canada) โดยวางไปวางบนพื้นดินตามแนวร่องของมันฝรั่ง เพื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน โดยการตีกกริด (grid) แล้ววัดเป็นระยะรัศมี 2 เมตร รอบเซ็นเตอร์ FieldScout TDR 350 (Spectrum Technologies, Aurora, USA) ใช้วัดความชื้นดินที่ระดับ 15 เซนติเมตร โดยวัดบริเวณที่ใกล้กับจุดวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน handheld slope meter (Mastercraft Torpedo Level, Vonore, USA) FieldScout CM 1000 NDVI Meter (Spectrum Technologies, Aurora, USA) ใช้วัดค่า NDVI โดยวัดเหนือทรงพุ่มของมันฝรั่งระยะ 0.5 เมตร การเก็บตัวอย่างดินทำโดยเก็บในช่วงการปลูกมันฝรั่งที่ระดับ 15 เซนติเมตร เพื่อวัดระดับ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และเก็บตัวอย่างผลผลิตตามกริดที่เก็บข้อมูล จากนั้นวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองในการประมาณผลผลิตมันฝรั่งโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งพบว่าดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับความเป็นกรดเป็นด่าง โดยมีค่า r^2 ระหว่าง -0.54 ถึง 0.12 และ มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยมีค่า r^2 ระหว่าง -0.10 ถึง 0.31 ซึ่งระดับความสัมพันธ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสถานที่ ฤดูกาลและปีที่ปลูก

Gogumalla *et al.* (2021) ศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและวิเคราะห์ผลผ่านแพลตฟอร์มแบบเปิดที่ทำงานด้วยความเร็วสูง ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้ได้แก่ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel 1, Sentinel 2, และ Landsat 8 เพื่อคำนวณดัชนีพืชพรรณและใช้เป็นตัวแปรในการสร้างโมเดลทางสถิติเพื่อประมาณค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดยการสร้างโมเดลทางสถิติ ได้แก่ Step-wise multiple regression (SWMR), artificial neural networks (ANN), และ random forest (RF) regression โดยการเลือกปัจจัยนำเข้าสำหรับการสร้างโมเดลทางสถิติ ได้ใช้วิธี SWMR greedy ซึ่งโดยตัวแปรที่ถูกเลือก คือ ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel 2 ได้แก่ข้อมูลภาพช่วงคลื่นที่ 2 (B2) ช่วงคลื่นที่ 11 (B11) ดัชนี Brightness index ดัชนี Salinity index 2 ดัชนี Salinity index 5 ข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel 1 ได้แก่ ดัชนี VH/VV index และ ข้อมูลจากดาวเทียม Landsat 8 ช่วงคลื่นTIR1 (thermal infrared band1) ซึ่งมีค่า p -value < 0.05 ซึ่งพบว่า โมเดล RF ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่า cumulative correlation coefficient (r) เท่ากับ 0.87

Urbina-Salaza *et al.* (2021) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ที่บันทึกในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ. 2560 และ ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม พ.ศ. 2561 ที่คำนวณดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ ดัชนี NDVI และดัชนี Normalized Burn Ratio 2 (NBR2) ในการหาความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินในพื้นที่เพาะปลูกพืช ในบริเวณตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศฝรั่งเศส การศึกษาพบว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงบางช่วงเท่านั้นที่สามารถแสดงความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินสูง และ ช่วงเวลาการเก็บข้อมูลดินก็มีผลต่อความสัมพันธ์ โดยชุดข้อมูลดินภาคสนามที่มีช่วงเวลาเก็บ (พ.ศ. 2559 ถึง 2561)

มีความสัมพันธ์กับข้อมูลภาพดาวเทียมสูงกว่า ชุดข้อมูลดินภาคสนามที่มีช่วงเวลาเก็บนานออกไปซึ่งอาจเกิดจากปริมาณอินทรีย์วัตถุลดลงตามช่วงเวลาที่มีการปลูกพืชซ้ำในบริเวณพื้นที่เดิม

Luo *et al.* (2022) ศึกษาการใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินในการสร้างภาพสมมติดินสังเคราะห์ (synthetic soil images) จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 และ Sentinel 2 ในช่วงที่ดินไม่มีพืชปกคลุมในประเทศจีน โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมใช้แบบช่วงคลื่นเดียวและคำนวณดัชนีพืชพรรณเพื่อใช้เป็นตัวแปรในการสร้างโมเดลทางสถิติแบบป่าสุ่ม (random forest) การศึกษาพบว่า ช่วงเวลาที่เหมาะสำหรับการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินอยู่ในช่วงวันที่ 120 ถึง 140 ของปี สำหรับที่ราบของเนน (Songnen Plain) และการศึกษาความสัมพันธ์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ให้ผลดีกว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 โดยค่าการสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามความยาวคลื่นที่เพิ่มขึ้นภายในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็นไปจนถึง SWIR 1 ขณะที่จากช่วงคลื่น SWIR 1 ไปยัง SWIR 2 ค่าการสะท้อนแสงจะลดลง ตั้งแต่วันที่ 80-140 (DOY 80-140) เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในดินมากขึ้น ค่าการสะท้อนแสงจะลดลง นอกจากนี้หลังจากวันที่ 140 (DOY 140) ความสัมพันธ์กลับไม่ชัดเจน

Mazur *et al.* (2022) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนี NDVI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในปี พ.ศ. 2560 และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ในปี พ.ศ. 2561 และ ปี พ.ศ. 2562 กับ โดยข้อมูลค่าการนำไฟฟ้าของดินได้จากเครื่อง EC scanning ที่สำรวจในฤดูร้อนปี 2015 ในบริเวณตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศโปแลนด์ถูกใช้เป็นข้อมูลกำหนดเขตการเก็บตัวอย่างดินเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณธาตุอาหารในดิน ได้แก่ ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และแมกนีเซียมในดินที่ปลูกข้าวสาลี ข้าวบาร์เลย์ และ เรปซีด (rapeseed) ซึ่งพบว่าดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์สูงมากกับปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ย 3 ปี โดยแปลงปลูกข้าวสาลี มีค่า r อยู่ในช่วง 0.37 ถึง 0.60 และข้าวบาร์เลย์ มีค่า r อยู่ในช่วง 0.05 to 0.63 แต่เรปซีดพบความสัมพันธ์ต่ำมากและไม่คงที่ และพบว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ในปี พ.ศ. 2561 และ ปี พ.ศ. 2562 ให้ความสัมพันธ์ที่สูงกว่าข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในปี พ.ศ. 2560 นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำไฟฟ้ากับปริมาณมหาตุเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับที่ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับมหาตุ ดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดเป็นด่างของดิน โดย แปลงปลูกข้าวสาลี มีค่า r อยู่ในช่วง -0.45 ถึง 0.23 แปลงปลูกข้าวบาร์เลย์ มีค่า r อยู่ในช่วง -0.17 ถึง -0.03 และ แปลงปลูกเรปซีด มีค่า r อยู่ในช่วง -0.26 ถึง 0.03 ซึ่งผลจากการทดลองนี้สรุปได้ว่า ดัชนี NDVI สามารถใช้ในการกำหนดโซนการจัดการแปลงพืชได้เช่นเดียวกับการใช้ค่าการนำไฟฟ้าในการจัดโซน

การใช้ศึกษาการใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลในการศึกษาความชื้นดิน (Montzka *et al.*, 2020) ปัจจุบันมีการพัฒนาเซ็นเซอร์ที่มีความสามารถในการศึกษาความชื้นดินหลายประเภท เช่น เซ็นต์เซอร์ที่ใช้ตรวจวัดในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้แสง ไปจนถึง เซ็นต์เซอร์ที่ใช้ตรวจวัดในช่วงคลื่นไมโครเวฟและช่วงคลื่นวิทยุที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับดาวเทียมและเครื่องบิน โดยมีการกึ่งเฉพาะที่ใช้เซ็นเซอร์เหล่านี้ตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงความชื้นในระดับโลก เช่น ดาวเทียม Soil Moisture Active Passive (SMAP) ที่ใช้เครื่องวัดวิทยุย่านความถี่ L ในการจัดเก็บข้อมูล นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยจำนวนมาก ที่ใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ประเภทหลายสเปกตรัมและไฮเปอร์สเปกตรัมที่ติดอยู่กับดาวเทียมที่นิยมใช้ เช่น ดาวเทียม Landsat และ ดาวเทียม Sentinel เป็นต้น นอกจากนี้ปัจจุบันยังนิยมใช้เซ็นเซอร์เหล่านี้ติดกับอากาศยานไร้คนขับทำให้การพัฒนากล้องถ่ายภาพที่มีเซ็นเซอร์ประเภทต่างๆ และมีขนาดเล็กลงทำให้ข้อมูลที่ได้มีความละเอียดเชิงพื้นที่สูง (Graham *et al.*, 2022; Montzka *et al.*, 2020) การใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลในการศึกษาความชื้นในดินพื้นผิว (surface soil moisture: SSM) เริ่มต้นขึ้นในกลางทศวรรษ 1970 (Montzka *et al.*, 2020) โดยการศึกษาที่มีการใช้ทั้งแบบช่วงคลื่นเดียว

ทั้งจากช่วงคลื่นแบบออปติคและช่วงคลื่นอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) และการใช้ดัชนีพืชพรรณ โดยวิธีที่ใช้ดัชนีพืชเป็นพื้นฐาน หลักการคือการพัฒนาดัชนีพืชทางสถิติเพื่อประมาณการระดับความเครียดของ ความชื้นในพืช ซึ่งสามารถใช้สำหรับการประมาณการโดยอ้อมของความชื้นในดินได้ทางอ้อม (Martinez-Fernandez *et al.*, 2016) ตัวอย่างของดัชนีพืชที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่เชื่อมโยงกับการประมาณค่าความชื้นในดิน ได้แก่

(2.1) ดัชนี normalized difference water index (NDWI) นำเสนอโดย Gao (1996) ดัชนี NDWI ใช้ข้อมูลในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ และ ในช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้นที่มีความยาวช่วงคลื่น $1.24 \mu\text{m}$ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงนี้มีความไวต่อระดับความชื้นขิงดิน และดัชนีนี้ยังมิได้รับผลกระทบจากสภาพอากาศต่ำโดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{NDWI} = (\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR})$$

โดยค่า NDWI ที่มีค่ามากกว่า 0.5 จะเป็นพื้นที่แหล่งน้ำ และในบริเวณที่เป็นพืชจะมีค่าต่ำกว่า ทำให้สามารถใช้ จำแนกแหล่งน้ำออกจากบริเวณที่เป็นพืชได้ นอกจากนี้บริเวณที่เป็นสิ่งปลูกสร้างจะมีค่า NDWI อยู่ในช่วง 0-0.2 การใช้ดัชนี NDWI ศึกษาทั่วและภัยแล้ง ค่า NDWI ช่วง 0.2-1 จะเป็นแหล่งน้ำ ช่วง 0.0-0.2 เป็นบริเวณน้ำท่วมหรือความชื้นสูง ช่วง -0.3 – 0.0 ดินแห้งหรือแล้งปานกลาง ช่วง -1 – -0.3 เกิดภาวะภัยแล้ง

(2.2) ดัชนี normalized multi-band drought index (NMDI) นำเสนอ โดย Wang and Gu (2007) เป็นดัชนีที่มีความไวสูงขึ้นในการตรวจสอบสภาวะภัยแล้ง ดัชนี NMDI ใช้ช่วงคลื่น อินฟราเรดใกล้ และช่วงคลื่นอินฟราเรดสั้น 2 ช่วงในการคำนวณ เพื่อใช้หาปริมาณน้ำในดินและพืช โดยใช้ สูตรคำนวณดังนี้

$$\text{NMDI} = \frac{R_{860\text{nm}} - (R_{1640\text{nm}} - R_{2130\text{nm}})}{R_{860\text{nm}} + (R_{1640\text{nm}} - R_{2130\text{nm}})}$$

นอกจากนี้มีหน่วยงานได้วิเคราะห์และสร้างผลิตภัณฑ์เพื่อศึกษาความชื้นของดิน เพื่อใช้ในการ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา และให้บริการ เช่น ชุดข้อมูล Soil Moisture Active Passive (SMAP) ซึ่งผลิตโดยองค์การNASA-USDA ที่ให้บริการข้อมูลความชื้นดิน ได้แก่

- ชุดข้อมูล SMAP Level-4 (L4) ประกอบด้วยชุดข้อมูล Soil Moisture product includes surface soil moisture (0-5 cm vertical average), root-zone soil moisture (0-100 cm vertical average), and additional research products (not validated), including surface meteorological forcing variables, soil temperature, evapotranspiration และ net radiation

- ชุดข้อมูล SPL3SMP_E.005 SMAP L3 Radiometer Global Daily ซึ่งเป็นชุดข้อมูล การเปลี่ยนแปลงความชื้นดินรายวัน โดยใช้ข้อมูลในช่วงคลื่น L-Band โดยข้อมูลรายวันนี้เก็บในช่วงพระอาทิตย์ขึ้น (local solar time of 6 am) และตก (local solar time of 6 pm) ในแต่ละพื้นที่

3.2.4 การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อคุณภาพดิน

การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมและผลกระทบ การศึกษาปัจจัยด้านภูมิอากาศจากอดีตถึงปัจจุบันมี ความสำคัญอย่างมากโดยองค์การ NASA กำลังทำแผนที่ปัจจัยด้านสภาพอากาศ (Global Time-Series Climate Maps) ที่แตกต่างกันในแต่ละเดือนเพื่อดูว่าตัวแปรเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด ทำให้ สามารถจัดทำข้อมูลแผนที่ตัวแปรสภาพอากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คลอโรฟิลล์ และขนาดละอองลอย

ในแต่ละช่วงเวลาได้โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น MODIS, CERES, AMSR-E, TRMM และ MOPITT นอกจากนี้โปรแกรม Copernicus ของ European Space Agency (ESA) องค์การอวกาศยุโรป ก็มีการศึกษาสภาพแวดล้อม โดยการใช้ดาวเทียม Sentinel หกดวงของ Copernicus เก็บภาพที่ครอบคลุมเนื้อหา ได้แก่ พื้นดิน มหาสมุทร การรับมือเหตุฉุกเฉิน บรรยากาศ ความปลอดภัย และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) ของสัตว์และพืชในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงสเปกตรัมของเซ็นเซอร์ที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกลในความหลากหลายทางชีวภาพจึงเริ่มมีบทบาทมากขึ้น เช่น การใช้ภาพถ่ายชนิดไฮเปอร์สเปกตรัม และ 3 มิติโดยใช้ LiDAR ศึกษาโครงสร้างพืชพรรณ เป็นต้น การประเมินการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพโดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถใช้สำหรับการทำแผนที่ความหลากหลายทางชีวภาพ ชนิดพันธุ์ที่รุกราน เป็นต้น นอกจากนี้การใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมสามารถใช้เพื่อติดตามขอบเขตและความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ป่า เขตอนุรักษ์พันธุ์ไม้ และเขตพื้นที่ชุ่มน้ำ (Gxokwe *et al.*, 2020)

การเผาไหม้ในที่โล่งแจ้งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดมลภาวะและส่งผลกระทบต่อคุณภาพดิน การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมติดตามพื้นที่ที่มีบทบาทสำคัญในการตรวจจับและการติดตามไฟป่า โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม รูปถ่ายทางอากาศ และเทคโนโลยีเซ็นเซอร์อื่น ๆ เพื่อบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดไฟ คลื่นควัน และพื้นที่ที่ไหม้ การใช้ Remote sensing ช่วยในการระบุและติดตามไฟป่าในพื้นที่ที่กว้างมีขนาดใหญ่ โดยให้ข้อมูลมีค่าสำหรับการตัดสินใจและการจัดสรรทรัพยากร การตรวจจับไฟที่กำลังเผา มีสามลักษณะของไฟที่กำลังเผาที่สามารถตรวจจับได้โดยเซ็นเซอร์ดาวเทียม: ความร้อน แสง และคลื่นควัน การแผ่รังสีความร้อน ความร้อนที่ถูกส่งออกจากไฟที่กำลังเผา คือสัญญาณที่ใช้มากที่สุดในการตรวจจับไฟที่กำลังเผา ตัวเซ็นเซอร์ AVHRR ของดาวเทียม NOAA Polar Orbiting Environment Satellites ถูกใช้ต่อไปเป็นที่นิยมเพื่อตรวจจับการแผ่รังสีความร้อนจากไฟเพื่อสร้างแผนที่กระจายของจุดร้อนจากไฟ ปริมาณรังสีความร้อนที่ถูกส่งออกที่ความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจงจากวัตถุที่อุ่น โดยปัจจุบันมีดาวเทียมที่ให้บริการข้อมูลการเผาไหม้ (ตารางที่ 7) และดัชนีพืชพรรณที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ (ตารางที่ 8)

ตารางที่ 7 ดาวเทียมที่ให้บริการข้อมูลการเผาไหม้

Satellite / Sensor	Dataset	Variable	Resolution	Dataset Coverage
MODIS Terra, MODIS Aqua*	MOD/MYD14A1	active fires	1 km, daily	Global, 2001 to present
	MCD64A1	burned area	500 m, monthly**	Global, 2001 to present
GOES-16, GOES-17*	FDCF	active fires	2 km, every 15 minutes	North / South America, 2017 to present

ตารางที่ 8 ดัชนีพืชพรรณที่สามารถใช้ในการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้

Spectral Index	Band Formula	References
Normalized burn ratio (NBR)	$\frac{B8-B12}{B8+B12}$	Key and Benson (2005) [40]
Relativized burn ratio (RBR)	$\frac{dNBR}{NBR_{prefire}+1.001}$	Parks et al. (2014) [31]
Burned area index for Sentinel 2 (BAIS2)	$(1 - \sqrt{\frac{B6*B7*B8}{B4}}) * (\frac{B12-B8A}{\sqrt{B12+B8A}} + 1)$	Filipponi (2018) [34]
Thermal anomaly index (TAI)	$\frac{(B12-B11)}{B8A}$	Liu et al. (2021) [32]

โดยการศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพื่อประเมินพื้นที่เผาไหม้ มีดังนี้

Giglio *et al.* (2013) สร้างชุดข้อมูลพื้นที่เผาไหม้โดยการรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ความละเอียดจุดภาพ 500 เมตร เพื่อจัดทำแผนที่พื้นที่เผาไหม้ประจำปีทั่วโลกตั้งแต่ ปี 1997 ถึง ปี 2011 พบพื้นที่เผาไหม้ขนาดตั้งแต่ 301 ถึง 377 ล้านเฮกตาร์ โดยเฉลี่ย 348 ล้านเฮกตาร์ ซึ่งการประเมินความแปรปรวน ระหว่างปีและแนวโน้มในพื้นที่เผาไหม้ ค่าดัชนีเฉพาะภูมิภาคของปีที่เกิดเพลิงไหม้

Fornacca *et al.* (2017) พัฒนาระบบการประเมินพื้นที่เผาไหม้โดยใช้ชุดข้อมูล MODIS จำนวน 4 ผลิตรายณ์ ได้แก่ ผลิตรายณ์ MCD45A1 ผลิตรายณ์ MCD64A1 ผลิตรายณ์ MCD14ML และ ผลิตรายณ์ ESA's Fire_CCI ในบริเวณพื้นที่ภูเขาทางตะวันตกเฉียงเหนือของมณฑลยูนนาน ประเทศจีน ผลการศึกษาพบว่า การสุ่มใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 2 ปี ได้แก่ ปี 2006 และ ปี 2009 ผลิตรายณ์ 2 ผลิตรายณ์ ได้แก่ ผลิตรายณ์ MCD45A1 และ ผลิตรายณ์ MCD14ML แสดงผลการประเมินดีที่สุด โดยที่ค่า F1 score เท่ากับ 0.42 และ 0.26 ในปี 2006 และ 0.24 และ 0.24 ในปี 2009 ตามลำดับ ขณะที่ค่า producer's accuracies (PA) เท่ากับ 30 เปอร์เซนต์ และ 43 เปอร์เซนต์ ในปี 2006 และ 47 เปอร์เซนต์ ในปี 2009 ตามลำดับ ซึ่งผลิตรายณ์ทั้ง 4 ผลิตรายณ์ มีศักยภาพในการพื้นที่เผาไหม้ที่มีขนาดเล็ก โดยค่า PAs เท่ากับ 53 เปอร์เซนต์ และ 61 เปอร์เซนต์ ในปี 2006 และ 41 เปอร์เซนต์ และ 66 เปอร์เซนต์ ในปี 2009 สำหรับ MCD45A1 และ MCD14ML ตามลำดับ สำหรับบริเวณที่มีการเผาไหม้ ขนาดใหญ่กว่า 50 เฮกตาร์

ยิ่งลักษณ์ และคณะ (2566) ประเมินพื้นที่เผาไหม้ทางการเกษตร ได้แก่ นาข้าว พื้นที่ปลูกอ้อยและข้าวโพด ปี พ.ศ. 2564 ในประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมระบบ MODIS ชนิดผลิตรายณ์ MCD64A1.006 MODIS Burned Area Monthly Global 500m พบว่า พื้นที่นาข้าวมีการเผาไหม้ รวม 551,727 ไร่ โดยร้อยละ 42 อยู่ในภาคเหนือ รองลงมาคือภาคกลางร้อยละ 33 โดยจังหวัดที่มีพื้นที่เผาไหม้มากที่สุด ได้แก่ จังหวัดอุดรธานี 94,484 ไร่ จังหวัดสุพรรณบุรี 68,263 ไร่ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 41,481 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 17.13 12.37 และ 7.52 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งประเทศตามลำดับ พื้นที่ปลูกข้าวโพดมีการเผาไหม้เผาไหม้รวม 175,009 ไร่ พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่เผาไหม้ข้าวโพด มากที่สุดร้อยละ 74.58 รองลงมาคือภาคกลางร้อยละ 15.19 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือร้อยละ 9.94 แต่ไม่มีการเผาไหม้ในภาคใต้ โดยจังหวัดที่มีพื้นที่เผาไหม้ในข้าวโพดมาก ได้แก่ จังหวัดตากมี 45,694 ไร่ จังหวัดเพชรบูรณ์ 30,996 ไร่ และ จังหวัดกาญจนบุรี 15,804 ไร่ โดยคิดเป็นร้อยละ 26.11 17.71 และ 9.03 ของพื้นที่เผาไหม้ในพื้นที่ปลูกข้าวโพดทั้งหมดของประเทศตามลำดับ ประเทศไทยมีพื้นที่เผาไหม้ในอ้อยรวม 156,362 ไร่ โดยภาคกลางมีพื้นที่เผา

ใหม่ในอ้อยมากที่สุด ร้อยละ 50.74 รองลงมาคือภาคเหนือ ร้อยละ 19.25 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือร้อยละ 18.7 ร้อยละ 11.31 และภาคใต้ ไม่มีพื้นที่เผาไหม้ในอ้อย โดยจังหวัดที่มีพื้นที่เผาไหม้ในอ้อย ได้แก่ จังหวัด สุพรรณบุรี 31,959 ไร่ จังหวัดลพบุรี 31,465 ไร่ และจังหวัดสระแก้วมีพื้นที่เผาไหม้ในอ้อยทั้งหมด 126,84 ไร่ โดยคิดเป็นร้อยละ 20.44 20.12 และ 8.11 ของพื้นที่เผาไหม้ในอ้อยทั้งหมดของประเทศ

3.3 การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติง

ปัจจุบันซึ่งได้เข้าสู่ยุคที่การเข้าถึงข้อมูลแบบเปิด (Open Data) ได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งผู้ให้บริการบางแห่งให้บริการข้อมูลโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย ทำให้การใช้งานข้อมูลด้านการสำรวจทรัพยากรของโลกสำหรับการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม (Hird *et al.*, 2017) มีความหลากหลายขึ้น เช่น การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ การเกิดภัยแล้ง และความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นต้น และจากความก้าวหน้าอันทันสมัยของเทคโนโลยีด้านซอฟต์แวร์รหัสเปิด (open software) และคลาวด์คอมพิวติง (cloud computing) ทำให้หลายหน่วยงานได้พัฒนารูปแบบการใช้งานข้อมูลขนาดใหญ่ (big data) โดยการนำอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ขึ้นสูงและระบบการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud) เช่น งานด้านภูมิสารสนเทศที่มีการใช้ Google Earth Engine ในการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ ในการปรับปรุงการติดตามและการประเมินการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของวิธีการเหล่านี้เป็นมิติใหม่ที่จะทำให้การใช้งานฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกล ทำได้เร็วและสะดวกขึ้น (Gxokwe, 2020; Kyriakos and Vavalis, 2023)

แนวโน้มความพร้อมใช้งานของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมผ่านคลาวด์คอมพิวติงและการเรียนรู้ด้วยเครื่องสำหรับการใช้ชุดข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับการทำแผนที่ การตรวจสอบ และการศึกษาระบบและสภาพแวดล้อมของโลก เริ่มเปลี่ยนไปเพื่อตอบสนองต่อแนวโน้มที่โดดเด่นสามประการในวิทยาศาสตร์ภูมิสารสนเทศ ได้แก่ การเพิ่มจำนวนของแหล่งให้บริการข้อมูลดาวเทียมแบบเปิดที่เข้าถึงได้ การกำเนิดของคลาวด์คอมพิวติง และการใช้กระบวนการเรียนรู้ด้วยเครื่องที่เพิ่มขึ้น ไม่เพียงแต่มีข้อมูลดาวเทียมในปริมาณที่มากขึ้นเท่านั้น แต่การประมวลผลและการบูรณาการชุดข้อมูลปริมาณมากและหลากหลายนั้นเป็นไปได้ง่ายมากขึ้น และด้วยจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้น การผสมผสานของปัจจัยเหล่านี้ได้นำไปสู่ชุดของการใช้งานที่กว้างขึ้นในระดับเชิงพื้นที่และระดับโลก ข้อมูลดาวเทียมแบบเปิดจากหลายหน่วยงาน เช่น Landsat ซึ่งให้บริการคลังข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม แบบเปิดที่ยาวนานที่สุด และปัจจุบันยังมีข้อมูลชุดข้อมูลแบบเปิดที่ช่วยเสริมการทำงานของ Landsat จากดาวเทียมดวงอื่น ๆ เช่น โครงการ Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), โครงการ Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) โครงการ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)) โครงการ Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) และ ชุดดาวเทียม Sentinel ของ European Space Agency ที่นำเสนอข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมรายละเอียดสูง และช่วงเวลาการจัดเก็บข้อมูลที่ถี่ขึ้น นอกจากนี้ยังมีการรวบรวมผลิตภัณฑ์ชุดข้อมูลสำเร็จรูปหลายชุดข้อมูลให้เข้าถึงและใช้ประโยชน์ได้ง่ายขึ้น เช่น ผลิตภัณฑ์การเปลี่ยนแปลงที่ปกคลุมผืนป่าทั่วโลก แผนที่น้ำบนผิวโลกและพลวัตของน้ำบนผิวโลก และมีการพัฒนาการ แผนที่โลกที่มีชีวิตแสดงพลวัตเพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโลก การใช้กระบวนการเรียนรู้ด้วยเครื่องที่ขยายตัวจากสาขาปัญญาประดิษฐ์มีการพัฒนาที่ค่อยเป็นค่อยไปซึ่งเพิ่งเกิดขึ้นไม่นานมานี้ซึ่งเป็นเครื่องมือในการเปิดใช้งานการรวม ชุดข้อมูลที่หลากหลาย สำหรับการพัฒนาการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมแบบดั้งเดิม เช่น การจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลมิติที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งแนวทางการเรียนรู้ด้วยเครื่องได้ถูกประยุกต์ใช้ในระบบคลาวด์คอมพิวติง เพื่อใช้ปรับประสิทธิภาพของกระบวนการให้เหมาะสมกับ

ความสัมพันธ์ของข้อมูลจากตัวข้อมูลเอง ซึ่งปัจจุบันกระบวนการเหล่านี้มีให้ใช้งานในซอฟต์แวร์รหัสเปิด เช่น กูเกิลเอิร์ธเอนจิน ทำให้เกิดช่องทางใหม่สำหรับการรวมและหลอมรวมข้อมูลหลายแหล่ง การประมวลผลชุดข้อมูลขนาดใหญ่รวดเร็วขึ้น ซึ่งแสดงถึงความสำคัญของช่องทางการเข้าถึงข้อมูลที่มีอยู่เพิ่มมากขึ้น การที่ช่องทางการเข้าถึงของข้อมูลดาวเทียมแบบเปิดในปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดเทคโนโลยีและบริการคลาวด์คอมพิวติงเพื่อใช้สำหรับการดาวน์โหลด วิเคราะห์ข้อมูล และจัดการด้านอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีการจัดเก็บหลายทศวรรษในพื้นที่ขนาดใหญ่ซึ่งการทำงานบนคอมพิวเตอร์แบบเดสก์ท็อปไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการเกิดขึ้นของบริการคลาวด์คอมพิวติงแบบต่างๆ เช่น Google Earth Engine ที่มีการเชื่อมต่อผ่านระบบอินเทอร์เน็ตที่มีประสิทธิภาพกลายเป็นสิ่งจำเป็นในการเข้าถึง จัดการ และวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่น การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat และ MODIS ซึ่งมีขนาดใหญ่ระดับเพตะไบต์สามารถทำได้เสร็จภายใน 1 วัน จากการใช้คลาวด์คอมพิวติงแบบเปิด แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากคลาวด์คอมพิวติงในเชิงพื้นที่ยังอยู่ในระยะเริ่มต้น (VoPham *et al.*, 2018)

3.3.1 ซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีการเปิดเผยวิธีการทำงานให้ผู้อื่น (นอกเหนือจากผู้พัฒนาซอฟต์แวร์) ได้รับทราบ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้วิธีการทำงานของซอฟต์แวร์ และปรับปรุงแก้ไขได้ด้วยตัวเอง รวมถึงการเผยแพร่ซอร์สโค้ดได้อย่างสะดวก ภายใต้ข้อตกลงกฎหมายหรือสัญญา ซอฟต์แวร์รหัสเปิดมีการพัฒนาตั้งแต่โปรแกรมอำนวยความสะดวกขนาดเล็กไปจนถึงระบบปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพสูง หลายโปรแกรมได้รับการพัฒนาจนมีคุณภาพสูงทั้งในด้านของประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือจนได้รับความนิยมอย่างสูง และมีการนำไปประยุกต์ใช้งาน อย่างข้อดีที่สำคัญของซอฟต์แวร์รหัสเปิดคือ ความสามารถที่จะนำซอฟต์แวร์ไปใช้งาน การศึกษา แก้ไข และเผยแพร่ได้อย่างเสรี ทำให้คำว่า ซอฟต์แวร์รหัสเปิด ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ (การเขียนแบบทับศัพท์เป็นคำไทย) และซอฟต์แวร์เสรี นั้นมีความหมายในทางเดียวกันหรือสามารถใช้แทนกันได้ ซึ่งจำกัดความของซอฟต์แวร์รหัสเปิดมีอยู่ 4 ด้าน ได้แก่ 1.มีความเสรีในการใช้งาน (Freedom of use) 2. มีความเสรีในการแจกจ่าย (Freedom of redistribute) 3. มีความเสรีในการคัดลอก (Freedom of copy) และ 4. มีความเสรีในการดัดแปลง (Freedom of modify) (Randhawa, 2008; ชิงชัย, 2559, ลือศักดิ์, 2564) การเกิดขึ้นของซอฟต์แวร์เสรีและโอเพนซอร์ส (FOSS) เป็นพรมแดนที่สำคัญของระบบสารสนเทศ ผลกระทบของ FOSS ต่อสังคม ธุรกิจ การศึกษา และการวิจัยมีมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจที่ชัดเจนเกี่ยวกับความหมายและลักษณะของซอฟต์แวร์เสรีและโอเพนซอร์ส ในบทความนี้ เราได้ตรวจสอบวิวัฒนาการของ FOSS โดยสังเขปและอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับซอฟต์แวร์เสรีและซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส เราได้กล่าวถึงประโยชน์ของซอฟต์แวร์ฟรีและโอเพนซอร์ส เช่น การสนับสนุนชุมชน ค่าใช้จ่าย ความปลอดภัย การศึกษาและการวิจัย เราได้กล่าวถึงใบอนุญาต FOSS ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เราได้กล่าวถึงลักษณะเฉพาะของ FOSS ซึ่งรวมถึงการพัฒนาแบบกระจายตามชุมชน ความเป็นโมดูลาร์ การนำกลับมาใช้ใหม่ การแจกจ่าย และกลไกการให้รางวัล นอกจากนี้ เราได้หารือเกี่ยวกับแนวโน้มและทิศทางในอนาคตของซอฟต์แวร์ฟรีและโอเพนซอร์ส (Khan and UrRehman, 2012) ซึ่งข้อดีของซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Morgan *et al.*, 2007; Priya *et al.*, 2018) คือ

1) มีการใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งเกิดจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดโดยทั่วไปไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ ไม่มีค่าบำรุงรักษา มีเพียงค่าใช้จ่ายในการจัดทำสื่อ เอกสาร เพียงอย่างเดียว

2) การจัดการสิทธิ์การใช้งานที่ง่ายขึ้น โดยทำการรับรองซอฟต์แวร์ครั้งเดียวและติดตั้งได้หลายครั้งและในหลายตำแหน่งเท่าที่ต้องการ ไม่จำเป็นต้องนับ ติดตาม หรือตรวจสอบการปฏิบัติตามใบอนุญาต

3) มีต้นทุนฮาร์ดแวร์ที่ต่ำกว่า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วซอฟต์แวร์รหัสเปิดจะมีขนาดกะทัดรัดและพกพาสะดวก ด้วยเหตุนี้จึงงานฮาร์ดแวร์น้อยลงในการทำงานให้สำเร็จ เช่นเดียวกับบนเซิร์ฟเวอร์ทั่วไป (Windows, Solaris) หรือเวิร์กสเตชัน ผลลัพธ์คือคุณจะได้รับด้วยฮาร์ดแวร์ที่มีราคาถูกลงหรือต่ำกว่า

3.3.2 คลาวด์คอมพิวติง ถือกำเนิดขึ้นใน ค.ศ. 2006 จากการเปิดตัวบริการคลาวด์ของบริษัท Amazons (Sheth *et al.*, 2021) คลาวด์คอมพิวติงเป็นบริการที่ให้ผู้ให้บริการใช้หรือเช่าใช้ระบบคอมพิวเตอร์หรือทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์จากผู้ให้บริการ โดยครอบคลุมทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล และระบบออนไลน์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งผู้ให้บริการสามารถเลือกกำลังการประมวลผล เลือกจำนวนทรัพยากร ในการใช้งานได้ตามความต้องการ นอกจากนี้ผู้ให้บริการยังสามารถเข้าถึงข้อมูลบน คลาวด์ได้จากที่ไหนก็ได้ ทำให้สะดวกสบายและประหยัดเวลา คลาวด์คอมพิวติงเป็นการบริการที่ครอบคลุมถึงการให้ใช้กำลังประมวลผล หน่วยจัดเก็บข้อมูลและระบบออนไลน์ต่างๆ จากผู้ให้บริการเพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้ง ดูแลระบบ ช่วยประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์ และเครือข่ายของหน่วยงาน ซึ่งก็มีทั้งแบบบริการแบบไม่คิดค่าใช้จ่าย และแบบเก็บเงิน ดังนั้นคลาวด์คอมพิวติงจึงเป็นระบบที่ผู้รับบริการสามารถใช้ซอฟต์แวร์ ระบบ และทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์จากผู้ให้บริการ ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยสามารถเลือกกำลังการประมวลผล ตลอดจนจำนวนทรัพยากรได้ตามความต้องการในการใช้งาน และให้ผู้ให้บริการได้ทุกที่ทุกเวลาที่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต สามารถทำงานได้ตลอดเวลาแบบ 24 ชั่วโมง 7 วัน ทำให้คลาวด์คอมพิวติงให้แตกต่างกับศูนย์ข้อมูลทั้งในด้านสถานะและความคล่องตัว (Sheth *et al.*, 2021) คือบริการที่ครอบคลุมถึงการให้ใช้กำลังประมวลผล หน่วยจัดเก็บข้อมูล และระบบออนไลน์ต่างๆจากผู้ให้บริการ เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้ง ดูแลระบบ ช่วยประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่ายเอง ซึ่งก็มีทั้งแบบบริการฟรีและแบบเก็บเงินการประมวลผลแบบคลาวด์ใช้ในโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีที่ให้บริการแก่ลูกค้าผ่านทางอินเทอร์เน็ต การประมวลผลแบบคลาวด์ที่จัดส่งโดยผู้ให้บริการบุคคลที่สาม ให้สภาพแวดล้อมต้นทุนต่ำสำหรับผู้ใช้จ่ายทาง เป็นอุปกรณ์เก็บข้อมูลเพื่อจัดเก็บและบำรุงรักษาข้อมูลและแอปพลิเคชัน เราสามารถรับข้อมูลใด ๆ ผ่านทางอินเทอร์เน็ตและทำการสำรองข้อมูล คลาวด์คอมพิวติงมีรูปแบบการให้บริการและการปรับใช้ที่ให้บริการแก่ลูกค้าด้วยต้นทุนที่ต่ำ ใช้งานง่ายและเข้าถึงข้อมูลและแอปพลิเคชันได้ง่าย รูปแบบบริการของคลาวด์คอมพิวติงคือ Software as a services (SAAS), platform as a Service (PAAS) และโครงสร้างพื้นฐาน as a Service (IAAS) บริการที่หลากหลายเหล่านี้ให้ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในการเข้าถึงและบำรุงรักษาข้อมูลและแอปพลิเคชัน เหมาะสมในการจัดเก็บข้อมูลหรือสารสนเทศทางอินเทอร์เน็ต (Rajeswari, 2019)

ประเภทของบริการบนคลาวด์คอมพิวติง (Cloud Service Models) โดยทั่วไปมี 3 รูปแบบหลัก ได้แก่

1) บริการแบบ Software as a Service (SaaS) เป็นการที่ใช้หรือเช่าใช้บริการซอฟต์แวร์หรือแอปพลิเคชัน ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยประมวลผลบนระบบของผู้ให้บริการ ทำให้ไม่ต้องลงทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์เอง ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบเพราะซอฟต์แวร์จะถูกเรียกใช้งานผ่าน Cloud จากที่ไหนก็ได้ซึ่งบริการ Software as a Service ที่ใกล้ตัวเรามากที่สุดก็คือ Gmail นั่นเอง นอกจากนั้นก็เช่น Google Docs หรือ Google Apps ที่เป็นรูปแบบของการใช้งานซอฟต์แวร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ สามารถใช้งานเอกสาร คำนวณ และสร้าง Presentation โดยไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์บนเครื่องเลย โดยใช้งานบนเครื่องไหนก็ได้ ที่ไหนก็ได้ แพร่กระจายร่วมกันกับผู้อื่นก็สะดวก ซึ่งการประมวลผลจะทำบน Server ของ Google ทำให้เราไม่ต้องการเครื่องที่มีกำลังประมวลผลสูงหรือพื้นที่เก็บข้อมูลมากมายมหาวิทยาลัยทั้งในไทยและต่างประเทศหลายแห่งในปัจจุบัน ก็ยกเลิกการตั้ง Mail Server สำหรับใช้งาน e-mail ของบุคลากร และ

นักศึกษาในมหาวิทยาลัยกันเองแล้ว แต่หันมาใช้บริการอย่าง Google Apps แทนเป็นการลดต้นทุน ภาระในการดูแล และความยุ่งยากไปได้มาก

2) บริการแบบ Platform as a Service (PaaS) สำหรับการพัฒนาแอปพลิเคชันนั้น หากเราต้องการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งรันบนเซิร์ฟเวอร์ หรือ Mobile application ที่มีการประมวลผลทำงานอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ เราก็ต้องตั้งเซิร์ฟเวอร์ เชื่อมต่อระบบเครือข่าย และสร้างสภาพแวดล้อมเพื่อทดสอบและรันซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชัน เช่น ติดตั้งระบบฐานข้อมูล, Webserver, Runtime, Software Library, Frameworks ต่างๆ เป็นต้น จากนั้นก็อาจยังต้องเขียนโค้ดอีกจำนวนมาก แต่ถ้าเราใช้บริการ PaaS ผู้ให้บริการจะเตรียมพื้นฐานต่างๆ เหล่านี้ไว้ให้เราต่อยอดได้พื้นฐานทั้ง Hardware, Software, และชุดคำสั่ง ที่ผู้ให้บริการเตรียมไว้ให้เราต่อยอดนี้เรียกว่า Platform ซึ่งก็จะทำให้ลดต้นทุนและเวลาที่ใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์อย่างมาก ตัวอย่าง เช่น Google App Engine, Microsoft Azure ที่หลายๆ บริษัทนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนและเป็นตัวช่วยในการทำงาน Application หลายตัว เช่น Snapchat ก็เลือกเช่าใช้บริการ PaaS อย่าง Google App Engine ทำให้สามารถพัฒนาแอปที่ให้บริการคนจำนวนมหาศาลได้ โดยใช้เวลาพัฒนาไม่นานด้วยทีมงานแค่ไม่กี่คน

3) บริการแบบ Infrastructure as a Service (IaaS) เป็นบริการให้ใช้โครงสร้างพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์อย่างหน่วยประมวลผล ระบบจัดเก็บข้อมูล ระบบเครือข่าย ในรูปแบบระบบเสมือน (Virtualization) ข้อดีคือองค์กรไม่ต้องลงทุนสิ่งเหล่านี้เอง ยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างระบบไอทีขององค์กร ในทุกรูปแบบ สามารถขยายได้ง่าย ขยายได้ทีละนิดตามความเติบโตขององค์กรก็ได้ และที่สำคัญ ลดความยุ่งยากในการดูแล เพราะหน้าที่ในการดูแล จะอยู่ที่ผู้ให้บริการตัวอย่างเช่น บริการ Cloud storage อย่าง DropBox ซึ่งให้บริการพื้นที่เก็บข้อมูลนั่นเอง แต่นอกจากนี้ก็ยังให้บริการให้เช่ากำลังประมวลผล บริการให้เช่าเซิร์ฟเวอร์เสมือน เพื่อใช้ลงและรันแอปพลิเคชันใดๆ ตามที่เราต้องการไม่ว่าจะเป็น Web Application หรือ Software เฉพาะด้านขององค์กร เป็นต้น

4. สรุปสาระสำคัญ ขั้นตอนการดำเนินการ และเป้าหมายของงาน

4.1 สรุปสาระสำคัญ

จากความก้าวหน้าอย่างมากในปัจจุบัน ของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์ เอกสารวิชาการฉบับนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์สำหรับงานพัฒนาที่ดิน ซึ่งเนื้อหาประกอบด้วยหลักการพื้นฐานด้านเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจหลักการการทำงานและข้อมูลการสำรวจระยะไกล ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะงานด้านการพัฒนาที่ดินที่ข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายด้าน เช่น การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและติดตามการใช้ที่ดิน การศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช และการศึกษาทรัพยากรดิน เป็นต้น หลักการด้านซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้ในหลากหลายสาขา ซึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้ในงานด้านเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลได้มีการพัฒนาให้ใช้ในหลายช่องทางทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ทำได้ง่ายและเร็วขึ้น การวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่มีการเผยแพร่ที่เป็นปัจจุบันสามารถทำได้ทันทีแบบใกล้เคียงกับเวลาปัจจุบันที่ข้อมูลมีการเผยแพร่ล่าสุด ซึ่งจะมีประโยชน์ในการบริหารจัดการของเกษตรกร ภาครัฐ และภาคเอกชน เช่น การวางแผนผลิต การจัดการแปลง

การกำหนดราคา และการบริหารความเสี่ยงจากโรค แมลง และภัยธรรมชาติ เป็นต้น Google Earth Engine (GEE) เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด และเป็นแพลตฟอร์มสำหรับประมวลผลแบบคลาวด์คอมพิวติง ที่ให้บริการแบบไม่คิดค่าใช้จ่าย เป็นแพลตฟอร์มที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย สามารถเตรียมข้อมูล และประมวลผลได้ในเวลาเดียวกันเพียงแค่เขียนคำสั่งในภาษา JavaScript ซึ่งเอกสารวิชาการฉบับนี้ได้ยกตัวอย่างการทำงานผ่าน กูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยเขียนคำสั่งเบื้องต้น เช่น การกำหนดขอบเขตที่ต้องการ การเรียกใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูล การเตรียมข้อมูล และการประมวลผลเบื้องต้น เพื่อให้ผู้อ่านสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป

4.1.1 หลักการและเหตุผล

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์และวางแผนด้านต่างๆ ในปัจจุบัน เนื่องจากข้อมูลที่ได้มาสามารถให้ข้อมูลที่นอกเหนือจากที่สายตามองเห็นโดยอาศัยหลักการ สะท้อนแสงในช่วงคลื่นต่างๆ ของวัตถุที่มีค่าต่างกัน ซึ่งในงานของกรมพัฒนาที่ดินสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ หลายกิจกรรม เช่น การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน และติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ในปัจจุบัน เทคโนโลยีนี้ช่วยในการบันทึกข้อมูลสภาพสิ่งปกคลุมดินและประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมถึงสภาพ ทรัพยากรในพื้นที่ต่าง ๆ ในช่วงเวลาต่าง ๆ การติดตามการเจริญเติบโตของพืช สุขภาพของพืชและความผิดปกติของพืชอันเกิดจากปัญหาด้านดิน น้ำ โรคและแมลง อีกทั้งสามารถนำมาศึกษาความสัมพันธ์กับสมบัติ ดินทำให้ทราบถึงสมรรถนะของดินในช่วงเวลานั้น การใช้ติดตามความเสื่อมโทรมของดิน และปัญหาการจัดการ ของเกษตรกร เช่น การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ เป็นต้น

เนื่องจากปัจจุบันข้อมูลเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมีให้บริการเป็นจำนวนมาก และมีการให้บริการบ่อยขึ้นและใกล้เคียงกับปัจจุบัน กอปรกับมีข้อมูลจำนวนมาก เช่น ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลเศรษฐกิจสังคม เป็นต้น ทำให้สามารถนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ร่วมกัน เพื่อให้การบริหารจัดการด้านต่างๆ มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากการมีข้อมูลจำนวนมากทำให้การวิเคราะห์มีความซับซ้อน ปัจจุบันได้มีการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เช่นการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งสามารถจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยการจำแนกข้อมูลที่มีความซับซ้อน สามารถใช้กับข้อมูลที่มีการกระจายหลากหลายแบบ และมีความแม่นยำและรวดเร็ว แต่การใช้งานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ ซอฟต์แวร์ และผู้ใช้งานที่สมรรถนะสูง กูเกิลเอิร์ธเอนจินเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดและแพลตฟอร์มคลาวด์คอมพิวติงที่ให้บริการโดยบริษัทกูเกิล (Google Inc.) มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศจากภาพถ่ายดาวเทียมที่เก็บข้อมูลมากมาย และทำให้ผู้ใช้สามารถเขียนโค้ดคำสั่งในภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากหลายแหล่ง ซึ่งช่วยในการวิเคราะห์และสร้างแผนที่ได้ตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา กูเกิลเอิร์ธเอนจิน เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิดที่ถูกลำเอียงได้ไม่นานแต่มีจำนวนผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการนำเทคโนโลยีนี้มาประยุกต์ใช้ในงานพัฒนาที่ดินจะทำให้การวิเคราะห์ทำได้รวดเร็วและถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ซึ่งเอกสารเผยแพร่การใช้งาน กูเกิลเอิร์ธเอนจินยังมีอยู่น้อย ดังนั้นการจัดทำเอกสารวิชาการเกี่ยวกับกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐาน การประยุกต์ใช้ และเทคนิคการใช้งานเบื้องต้น จะทำให้ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาและประยุกต์ใช้งานต่อไป

4.1.2 วัตถุประสงค์

จัดทำเอกสารวิชาการการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน

4.2 ขั้นตอนและวิธีการ

4.2.1 กำหนดขอบเขตของเนื้อหาของเอกสารวิชาการ

การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่อให้สามารถนำไปต่อยอดในงานพัฒนาที่ดิน

4.2.2 รวบรวมข้อมูล ได้แก่

1) รวบรวมเอกสารข้อมูล และผลงานวิจัย การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน

2) รวบรวมแผนที่และฐานข้อมูลทางสารสนเทศภูมิศาสตร์เชิงเลข ได้แก่ ฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ฐานข้อมูลชุดดินปีล่าสุด ฐานข้อมูลขอบเขตการปกครอง เป็นต้น

3) ข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง เช่น ลักษณะภูมิประเทศ สภาพอากาศ และการจัดการ เป็นต้น

4.2.3 วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อจัดเตรียมเค้าโครงการจัดทำคู่มือ และรายละเอียดของเนื้อหา

4.2.4 จัดทำเอกสารวิชาการการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน

4.3 เป้าหมายของงาน

4.3.1 ได้เอกสารวิชาการการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน นักวิจัยและผู้สนใจสามารถนำไปใช้ศึกษาและค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติม

4.3.2 สามารถใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดินจากคลังฐานข้อมูลแบบเปิดที่มาจากหลายแหล่งทั่วโลก ข้อมูลเป็นปัจจุบัน และไม่มีค่าใช้จ่าย ซึ่งสามารถทำให้การบริหารจัดการที่ดินมีข้อมูลที่ช่วยตัดสินใจมากขึ้น ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

4.3.3 สามารถใช้เป็นแนวทางในการเตรียมฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่อให้ได้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่หลากหลาย สามารถประยุกต์ใช้เพื่องานพัฒนาที่ดินได้หลายด้าน ลดขั้นตอนการทำงาน และทำให้การประมวลผลทำงานได้เร็วขึ้น สะดวกขึ้น

5. ผลสำเร็จของงาน (เชิงปริมาณ/คุณภาพ)

ผลสำเร็จของงานเชิงปริมาณ ได้แก่

- เอกสารวิชาการการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน ในลักษณะสิ่งพิมพ์และสื่ออิเล็กทรอนิกส์จำนวน 1 ชุด

- แนวทางในการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดิน จำนวน 1 แนวทาง

- แนวทางในการเตรียมฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงจำนวน 1 แนวทาง

ผลสำเร็จของงานเชิงคุณภาพ ได้แก่

- สามารถใช้ข้อมูลผ่าน ภูเก็ตเอิร์ธเอนจิน ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open-source software) และคลาวด์คอมพิวติง (Cloud computing platform) ที่ให้บริการข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่โดยเฉพาะข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ทำให้สามารถนำข้อมูลรีโมทเซนซิงมาใช้ในการพัฒนาที่ดินได้หลากหลายขึ้น

- ลดระยะเวลาการทำงานขั้นตอนการเตรียมภาพถ่ายเนื่องจากการรวบรวมภาพถ่ายดาวเทียมมาไว้ในแหล่งเดียว และสามารถเขียนคำสั่งให้สามารถเรียกใช้ภาพถ่ายได้ครั้งละหลายๆ ภาพในเวลาเดียวกัน โดยไม่จำเป็นต้องดาวน์โหลดข้อมูล และลดค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

- ลดระยะเวลาการทำงานขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ ที่มีขนาดใหญ่ ถือเป็นเครื่องมือประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างมาก เนื่องจากการวิเคราะห์ผ่านระบบคลาวด์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการประมวลผลสูง

- สามารถใช้บริการระบบคลาวด์ ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ถือเป็น การลดปัญหาการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และลดข้อจำกัดในการเข้าถึงซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่อาจมีราคาสูง

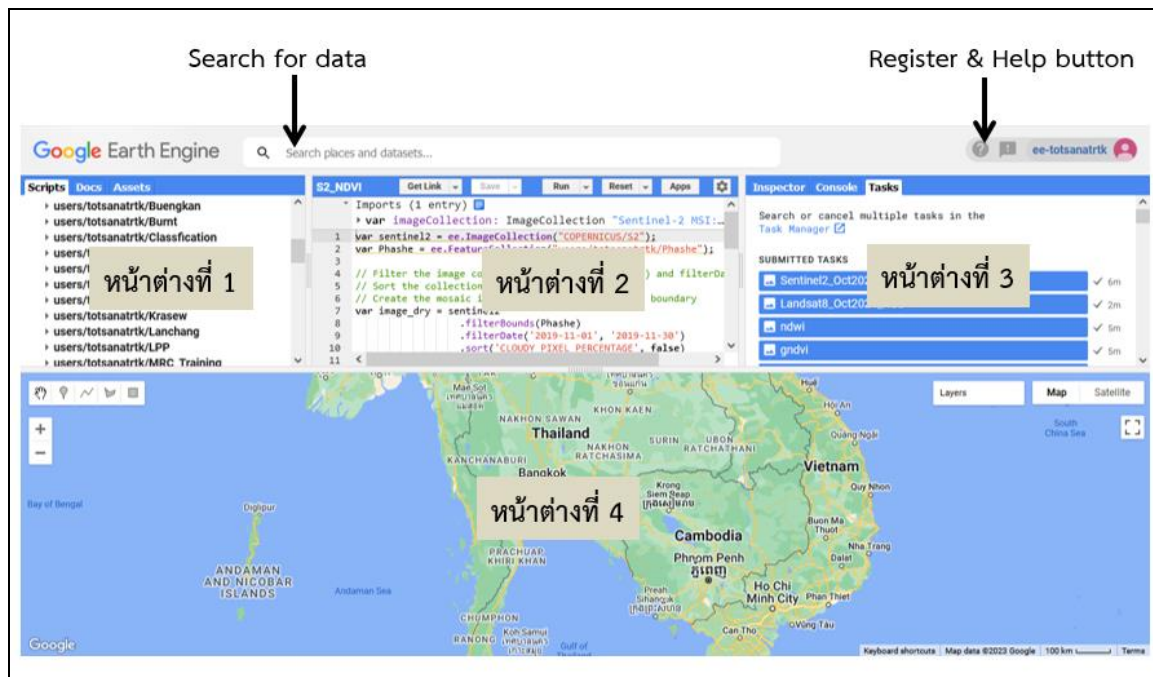
โดยเอกสารวิชาการ “การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์เพื่องานพัฒนาที่ดิน” มีเนื้อหาดังนี้

5.1 การใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินเบื้องต้น

กูเกิลเอิร์ธเอนจิน เป็นแพลตฟอร์มสำหรับใช้งานภูมิสารสนเทศบนระบบคลาวด์ที่มีข้อมูลมากมายสามารถใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และการสร้างภาพ (Visualization) จากชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial information) ของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite image) โดยกูเกิลได้รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและเก็บข้อมูลบันทึกย้อนหลังมากกว่า 40 ปี ไว้ในแบบคลังข้อมูลสาธารณะ (Data mining) (Google Earth Engine, n.d.) จากหลายแหล่ง เช่น องค์การบริหารมหาสมุทรและชั้นบรรยากาศแห่งชาติ (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (National Aeronautics and Space Administration: NASA) และ องค์การสำรวจทางธรณีวิทยาสหรัฐอเมริกา (United States Geological Survey: USGS) เป็นต้น (Kyriakos and Vavalis, 2023) โดยการใช้งานโปรแกรม กูเกิลเอิร์ธเอนจิน จะเป็นการเขียนโค้ดคำสั่ง (Code editor) ในภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นำมาวิเคราะห์และประมวลผลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น แสดงข้อมูล อุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Precipitation) หรือข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) เป็นต้น (Google Earth Engine, n.d., Velastegui-Montoya *et al.*, 2023) กูเกิลเอิร์ธเอนจินมีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลที่ได้รับจากระยะไกลอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงฟังก์ชันในการลบเมฆ การแก้ไขรังสี การผสานข้อมูล และการคำนวณค่าต่าง ๆ (Tian *et al.*, 2019) การใช้งาน กูเกิลเอิร์ธเอนจินสามารถดำเนินการผ่านเว็บไซต์ <https://earthengine.google.com/> และใช้งานผ่าน Code Editor บนเว็บไซต์ <https://code.earthengine.google.com/> โดยใช้ Javascript ในการเขียนคำสั่ง กูเกิลเอิร์ธเอนจิน ยังมีบริการ API เพื่อความสะดวกในการใช้งานร่วมกับโปรแกรมอื่น เช่น Python ทำให้สามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่นๆ ได้ทำให้สามารถไม่จำเป็นต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีสมรรถนะสูงมาก นอกจากนี้กูเกิลเอิร์ธเอนจินยังมีผู้ใช้งานทั่วโลกเป็นจำนวนมาก ผู้ใช้งานสามารถสร้างคำสั่ง โดยจัดทำเป็นชุดคำสั่ง (library) เช่น geemap และ eemont แล้วจัดเก็บไว้บนระบบและสามารถแบ่งปันคำสั่งต่างๆ ให้กับผู้อื่นเข้าใช้งานได้ตลอดเวลา (Kyriakos and Vavalis, 2023)

5.1.1 องค์ประกอบบนเว็บไซต์ Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

กูเกิลเอิร์ธเอนจินมีเมนูที่สำคัญ และหน้าต่าง สำหรับใช้งานบนเว็บไซต์ Code Editor โดยใช้ Javascript ในการเขียนคำสั่ง โดยแต่ละเมนูและหน้าต่างมีรายละเอียด ดังนี้ (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 องค์ประกอบบนเว็บไซต์ Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

1) เมนูลงทะเบียนใช้งานและความช่วยเหลือ (Register & Help button) อยู่บริเวณมุมขวาบนของเว็บไซต์ โดยก่อนใช้งานทุกครั้งผู้ใช้บริการจะต้องลงทะเบียนเข้า (log in) ใช้งานผ่านบัญชีจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (email) ของกูเกิล และลงทะเบียนออก (sign out) เมื่อเลิกใช้งาน และใช้ปุ่มให้ความช่วยเหลือ (help) เมื่อเกิดปัญหาการใช้งาน

2) เมนูค้นหาข้อมูล (Search for data) อยู่ด้านบนเหนือหน้าต่างที่ 2 เป็นช่องที่ให้ใส่คำเฉพาะ ได้แก่ ชื่อดาวเทียม หรือชื่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการค้นหา โดยกูเกิลเอิร์ธเอนจินได้รวบรวมข้อมูลไว้ใน data catalog เกือบ 600 ชุดข้อมูลจากผู้ให้ข้อมูลมากกว่า 50 องค์กรทั่วโลก ซึ่งรวมถึงหน่วยงานภาครัฐ หน่วยงานที่ไม่ใช่ภาครัฐ องค์กรที่ไม่แสวงหาผลตอบแทน และหน่วยงานภาคธุรกิจ โดยชุดข้อมูลได้จากดาวเทียมหรืออุปกรณ์มากกว่า 30 ชนิด ได้แก่ การกิจ Landsat program การกิจ PROBA-V การกิจ Cryosat-2 การกิจTOMS การกิจ OMI การกิจGRACE การกิจ Sentinel การกิจ Hyperion การกิจ ALOS PALSAR การกิจAVHRR และการกิจ TRMM/GPM/GSMAP เป็นต้น

3) หน้าต่างที่1 เป็นหน้าต่างที่แสดงแถบเครื่องมือและรายละเอียดเกี่ยวกับสคริปต์ (เมนูที่ 1. Script manager) (เมนูที่ 2 API documentation) และฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ (เมนูที่ 3 Asset Manager)

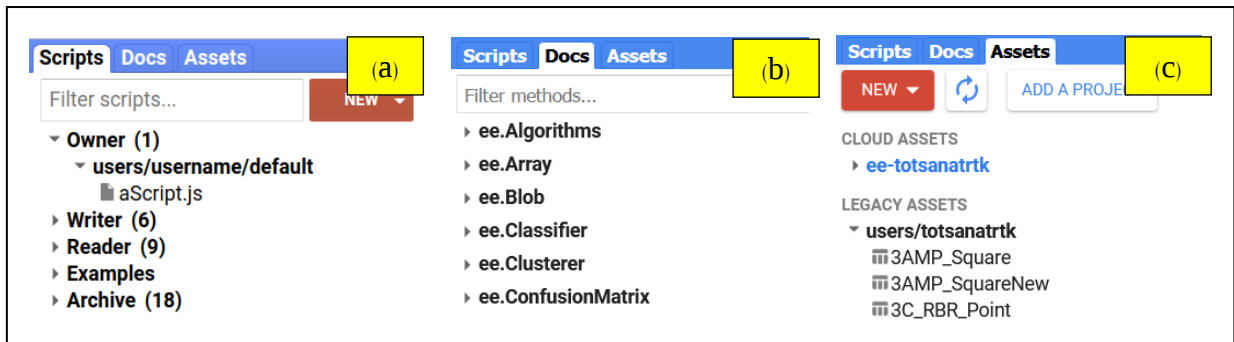
3.1) Script manager เป็นที่เก็บสคริปต์ที่เป็นส่วนตัว สคริปต์ที่ใช้แบ่งปัน และ ตัวอย่างสคริปต์ของผู้จัดทำ โดยเรียงลำดับตามระดับการเข้าถึง (ภาพที่ 28 (a)) โดยสคริปต์ส่วนตัวจะถูกเก็บไว้ในโฟลเดอร์ Owner: users/username/default โดยเจ้าของสามารถเข้าถึงที่เก็บในโฟลเดอร์ Owner นี้ เท่านั้น นอกจากนี้โฟลเดอร์ที่สร้างขึ้นสามารถแบ่งปันให้กับผู้อื่นได้ โดยที่เก็บไว้ในโฟลเดอร์ Writer คือที่เก็บที่ เจ้าของได้ให้สิทธิ์ผู้อื่นในการเขียนแก้ไขสคริปต์ สามารถเพิ่มสคริปต์ใหม่ เปลี่ยนแปลงสคริปต์ที่มีอยู่ หรือ เปลี่ยนสิทธิ์การเข้าถึง ที่โฟลเดอร์ Reader คือที่เก็บที่เจ้าของได้ให้สิทธิ์ในการอ่านสคริปต์ โฟลเดอร์ Examples เป็นที่เก็บ

พิเศษที่กูเกิลจัดการซึ่งมีรหัสตัวอย่าง โฟลเดอร์ Archive เป็นที่เก็บคำสั่งเก่าที่เจ้าของมี สิทธิ์เข้าถึง แต่ยังไม่ได้ถูกโยกย้ายโดยเจ้าของจากเวอร์ชันเก่าของ Script Manager

3.2) API documentation (ภาพที่ 28 (b))

API หมายถึงเอกสารที่ประกอบด้วยคำอธิบายแบบละเอียดเกี่ยวกับ API ของ JavaScript ทั้งหมด ซึ่งสามารถค้นหาและเรียกดูได้จากแท็บ "Docs"

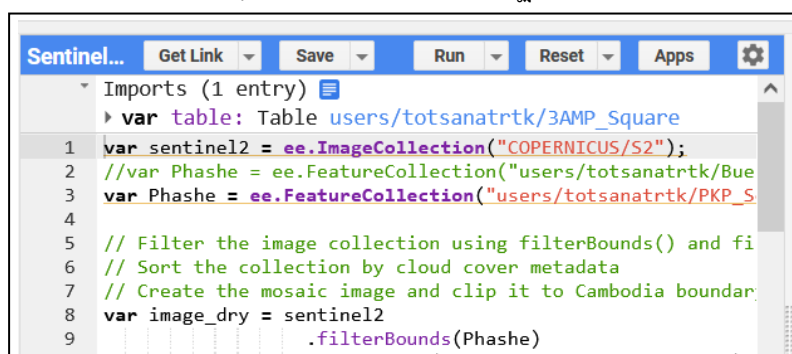
3.3) Asset Manager (ภาพที่ 28 (c))



ภาพที่ 28 หน้าต่างที่ 1 ของ Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

4) หน้าต่างที่ 2 เป็นหน้าต่างที่แสดงแถบเครื่องมือและรายละเอียดเกี่ยวกับ (ภาพที่ 29) การปฏิบัติงานต่างๆ ได้แก่

- 4.1) Imports ใช้ในการนำเข้าข้อมูลต่างๆ ทั้งที่อยู่ในรูปเวกเตอร์และราสเตอร์
- 4.2) Get a link (URL) to the script ใช้ในการหาคำสั่งที่เก็บไว้
- 4.3) Save the script ใช้ในการบันทึกคำสั่งที่สร้างไว้
- 4.4) Run the script ใช้ในการสั่งให้ระบบปฏิบัติงานตามคำสั่ง



ภาพที่ 29 หน้าต่างที่ 2 ของ Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

5) หน้าต่างที่ 3 เป็นหน้าต่างที่แสดงแถบเครื่องมือและรายละเอียดเกี่ยวกับการ ปฏิบัติงานต่างๆ ได้แก่

5.1) Inspect locations, pixel values, objects added to the map ใช้ในการดู รายละเอียดต่างๆ เช่น ค่าของจุดภาพ รายละเอียดที่แสดงบนแผนที่ เป็นต้น

- 5.2) Console output เป็นหน้าต่างแสดงผล
- 5.3) Task manager เป็นตัวควบคุมการทำงาน
- 5.4) Register&Help button เป็นเครื่องมือขอข้อมูลช่วยเหลือ
- 6) หน้าต่างที่ 4 เป็นหน้าต่างที่แสดงแถบเครื่องมือและรายละเอียดเกี่ยวกับการปฏิบัติงานต่างๆ ได้แก่
 - 6.1) Layer manager ใช้ในการจัดการชั้นข้อมูล เช่น ปิด-เปิดการแสดงผล
 - 6.2) Geometry ใช้ในการสร้างชั้นข้อมูลประเภทจุด รูปสี่เหลี่ยม และรูปหลายเหลี่ยม
 - 6.3) Zoom ใช้ในการย่อและขยายภาพในหน้าต่างแสดงผล

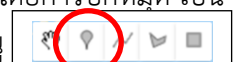
5.1.2 การใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินผ่านเมนูบน Code Editor

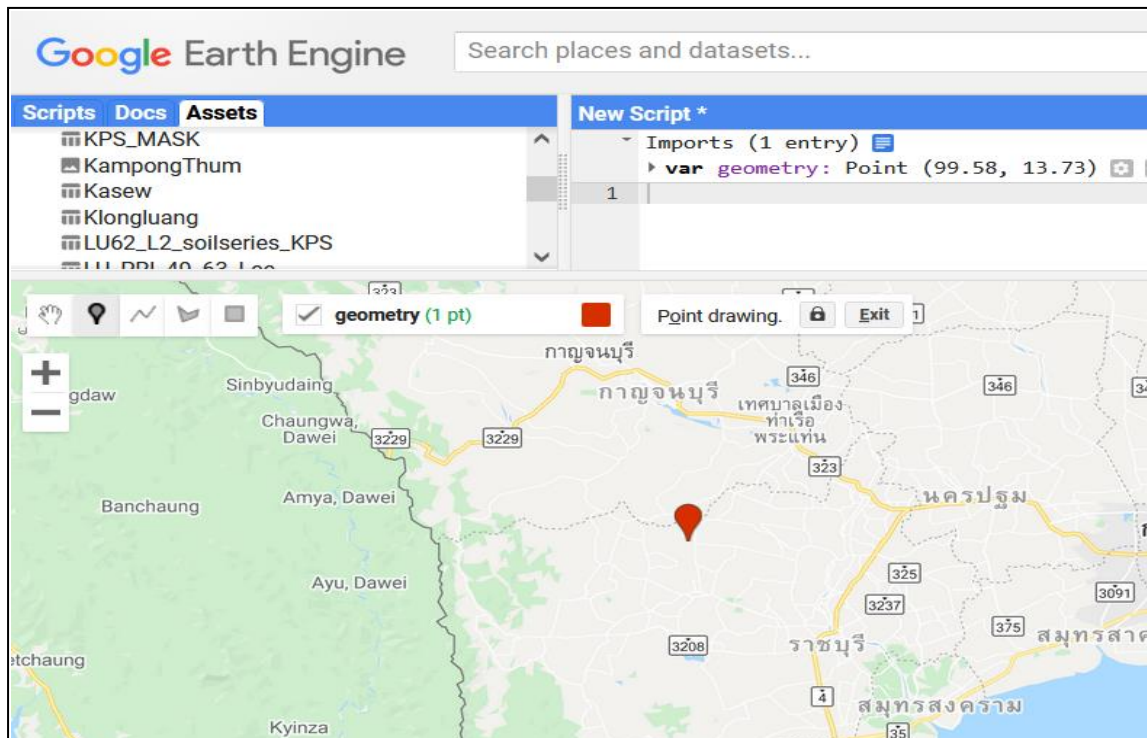
ผู้ใช้งานจะต้องสมัครโดยใช้บัญชีผู้ใช้ gmail และลงทะเบียนสมัครเป็นสมาชิกโดยไปที่ signup.earthengine.google.com จึงจะเริ่มใช้งานได้ โดยการใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินซึ่งเป็นแพลตฟอร์มที่ให้บริการการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมในลักษณะของแผนที่แบบออนไลน์ และมีส่วนของโค้ดการโปรแกรมมิ่ง (Code Editor) ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างหลากหลาย ด้านที่ Google Earth Engine สามารถให้บริการดังนี้

- 1) การดึงข้อมูลดาวเทียม สามารถดึงข้อมูลดาวเทียมจากเซ็นเซอร์ต่าง ๆ เช่น ดาวเทียม Landsat ดาวเทียม Sentinel ดาวเทียม MODIS และดาวเทียมอื่น ๆ
- 2) การวิเคราะห์ข้อมูล ใช้โค้ดเพื่อทำการประมวลผลข้อมูลดาวเทียม เช่น การคำนวณดัชนีพื้นที่ผิวดิน (NDVI) การแปลงภาพ การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงที่ดิน และอื่น ๆ
- 3) การแสดงแผนที่ สามารถแสดงแผนที่ที่ถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลดาวเทียมต่าง ๆ บนแพลตฟอร์มกูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยใช้โค้ด JavaScript หรือ Python ที่เขียนบน Code Editor
- 4) การจัดเก็บข้อมูล สามารถจัดเก็บผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ไว้ในโครงสร้างข้อมูลของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน
- 5) การทำงานร่วมกับอื่น ๆ สามารถใช้ Google Earth Engine ร่วมกับสมาร์ตโฟนและแพลตฟอร์มอื่น ๆ ของ Google เช่น Google Drive, Google Cloud Storage, BigQuery เพื่อการจัดเก็บข้อมูลและการประมวลผล การใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินสามารถทำได้ผ่าน Code Editor ของกูเกิลเอิร์ธเอนจินที่รองรับ JavaScript และ Python API การใช้งานนี้ต้องการความเข้าใจในการเขียนโค้ดและการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมที่เฉพาะเจาะจงตามความต้องการของผู้ใช้ โดยตัวอย่างคำสั่งในการจัดเตรียมภาพถ่ายผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจินเบื้องต้นดังนี้

5.1) การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

5.1.1) การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน กูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยการป๊กหมด เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการขอบเขตพื้นที่ศึกษา สามารถทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนหมุดบนแถบเมนู แล้วไปคลิกในหน้าต่างแผนที่ในบริเวณที่ต้องการ จะปรากฏหมุดขึ้น ซึ่งขอบเขตที่ได้จะเป็นจุด (Point) และหน้าต่างเขียนคำสั่ง (Script) จะปรากฏข้อความ `var geometry` และแสดงค่าพิกัด (ภาพที่ 30)

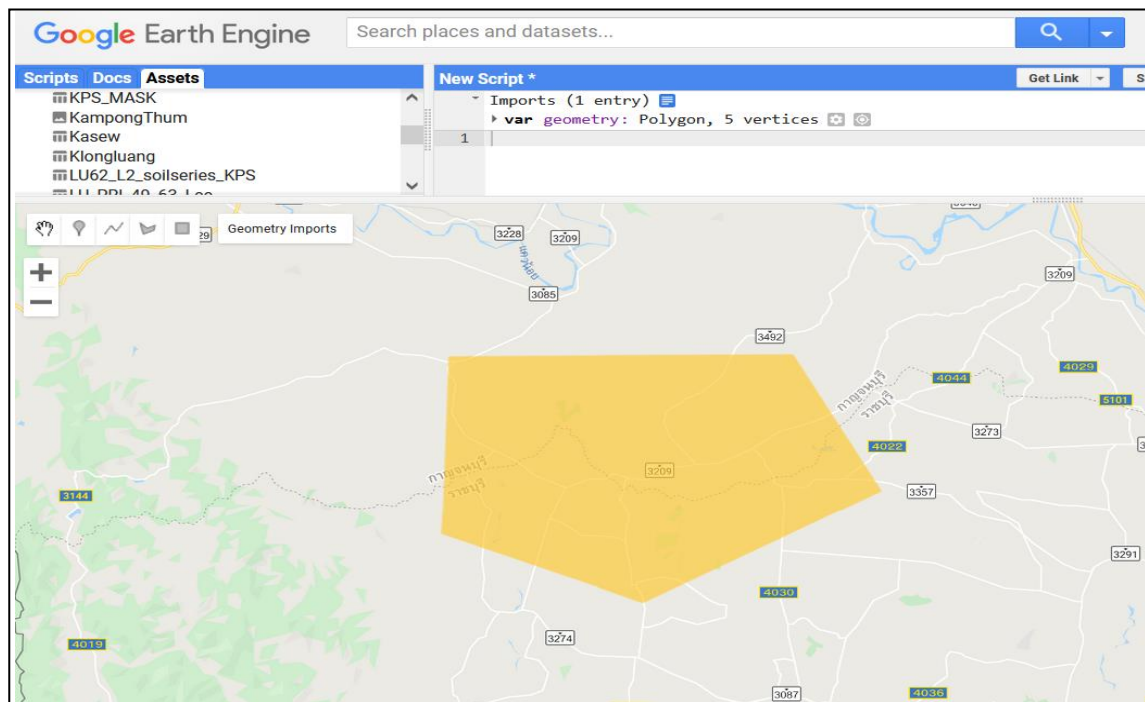




ภาพที่ 30 การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน ภูเขาเอร์ธเอนจิน โดยวิธีปักหมุด

5.1.2) การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน ภูเขาเอร์ธเอนจิน โดยการวาดรูปร่าง

ภาพหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือ วาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Polygon) สามารถทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนหมุดบนแถบเมนูการวาดรูปร่างภาพหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือ วาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วไปคลิกในหน้าต่างแผนที่ในบริเวณที่ต้องการ แล้ววาดขอบเขตให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการจะปรากฏขอบเขตแบบรูปหลายเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าขึ้นอยู่กับการคลิกเลือกไอคอน ซึ่งขอบเขตที่ได้จะปรากฏและหน้าต่างเขียนคำสั่ง (Script) จะปรากฏข้อความ `var geometry` และแสดงประเภทของขอบเขต (ภาพที่ 31)

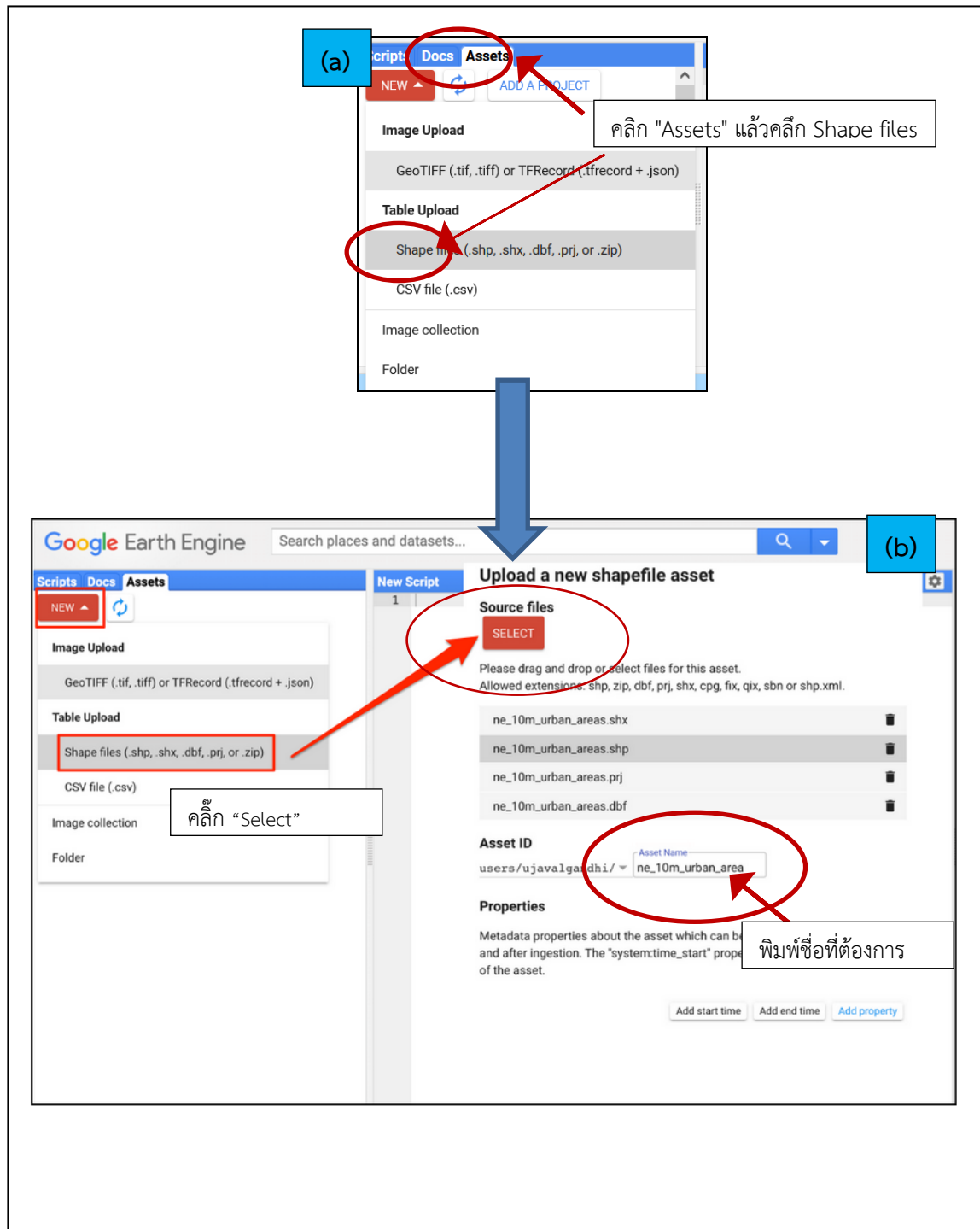


ภาพที่ 31 การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน ภูเก็ตเิร์ธเอนจิน โดยวิธีการวาดรูปร่างภาพหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือวาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular)

5.1.3) การกำหนดขอบเขตโดยใช้ขอบเขตที่เตรียมไว้แล้ว (Feature Collections)

จากระบบ GIS เช่น ArcMap ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่ 1.การนำเข้าขอบเขตที่เตรียมไว้สู่ระบบ ภูเก็ตเิร์ธเอนจิน 2.การเรียกใช้ขอบเขตที่นำเข้าสู่ระบบ ภูเก็ตเิร์ธเอนจิน แล้ว

(1) การนำเข้าขอบเขตประเภทเวกเตอร์ (Vector data) สู่ระบบ ภูเก็ตเิร์ธเอนจิน ข้อมูลเวกเตอร์ที่เตรียมไว้สามารถนำเข้าสู่ระบบ ภูเก็ตเิร์ธเอนจิน โดยคลิกที่ Assets จะปรากฏภาพ (ภาพที่ 32 (a)) แล้วคลิกเลือก ตามลำดับดังนี้ Assets > New > Table Upload > Shape Files เลือกไฟล์ที่เตรียมไว้โดยเลือกไฟล์ที่มีนามสกุลดังนี้ .shp, .shx, .dbf และ .prj (ภาพที่ 32 (b)) ตั้งชื่อที่ต้องการแล้วคลิก upload ไฟล์ที่นำเข้าจะถูกนำไปเก็บไว้บนระบบคลาวด์ซึ่งสามารถแชร์ให้ผู้อื่นใช้งานได้

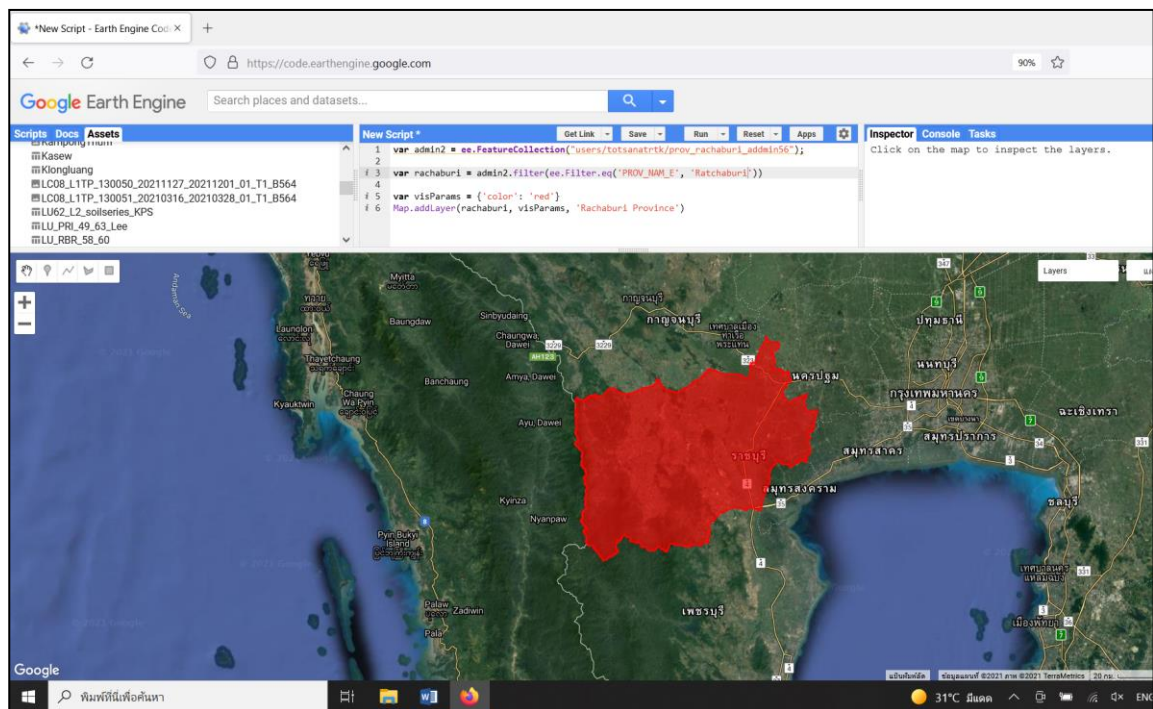


ภาพที่ 32 การนำเข้าขอบเขตที่เตรียมไว้สู่ระบบกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

(2) การเรียกใช้ขอบเขตที่นำเข้าสู่ระบบ ภูมิเอนจิน แล้ว สามารถทำได้โดยการเขียนคำสั่งในหน้าต่าง Script ซึ่งตัวอย่างการเขียนคำสั่งอยู่ใน Code editor 1 ซึ่งเมื่อเขียนคำสั่งแล้วจะปรากฏขอบเขตในหน้าต่างแผนที่ (ภาพที่ 33)

Code editor 1

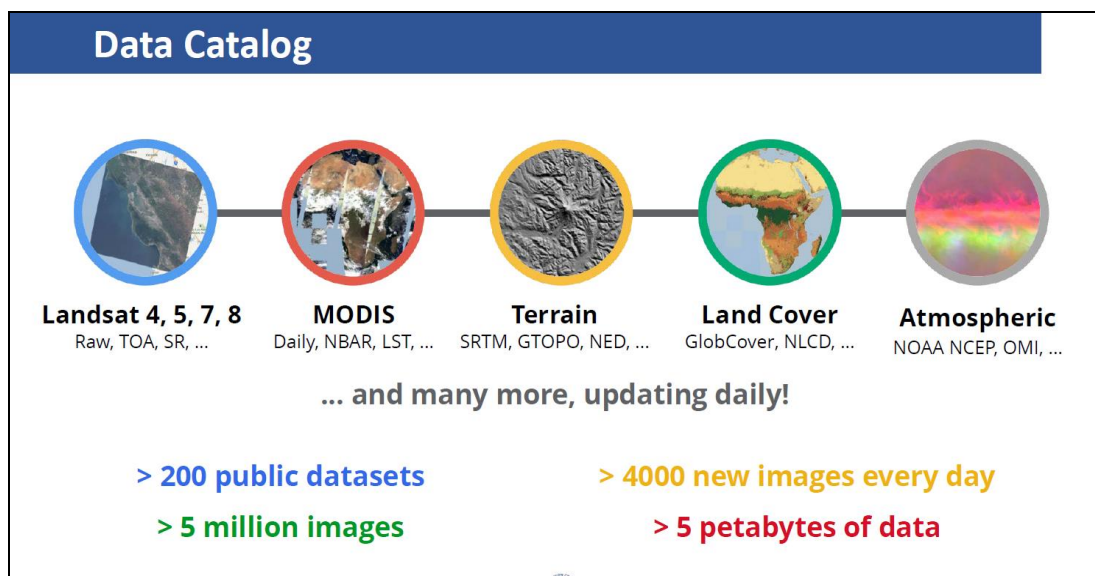
```
var admin2 = ee.FeatureCollection("users/totsanatrkt/prov_rachaburi_admin56");
var rachaburi = admin2.filter(ee.Filter.eq('PROV_NAM_E', 'Ratchaburi'))
var visParams = {'color': 'red'}
Map.addLayer(rachaburi, visParams, 'Rachaburi Province')
```



ภาพที่ 33 การเรียกใช้ขอบเขตจังหวัดราชบุรีเข้าสู่ระบบภูมิเอนจิน

5.1.4) การเรียกใช้ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

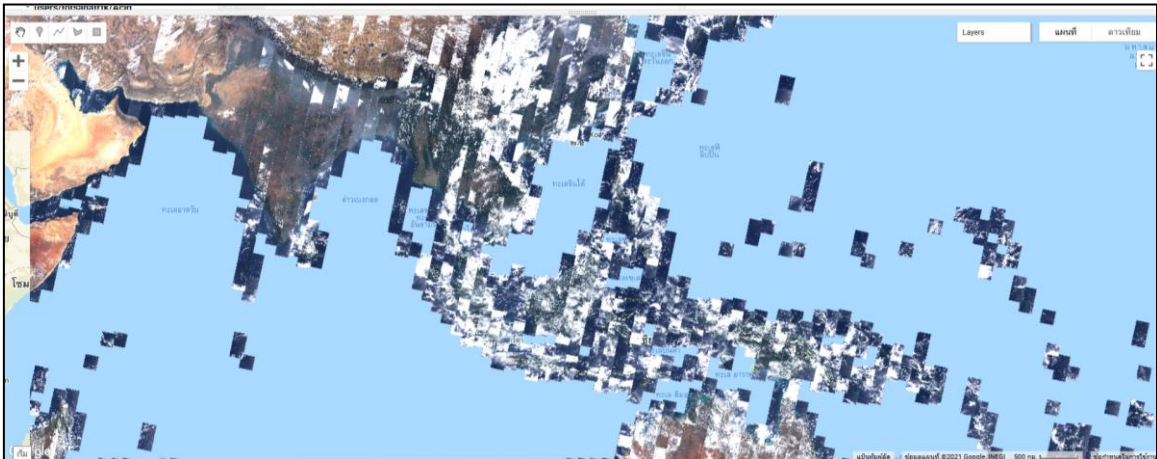
เนื่องจากกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ได้รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเป็นจำนวนมาก ได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และชุดข้อมูลภูมิสารสนเทศอื่นๆ ตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ซึ่งผู้ใช้บริการสามารถสืบค้นจากคลังภาพผ่าน Data catalog (ภาพที่ 34) ซึ่งผู้ใช้สามารถค้นหาและเข้าถึงชุดข้อมูลเหล่านี้ได้โดยตรงภายใน Earth Engine Code Editor หรือ API โดย Google Earth Engine Python API (EE Python API) คือชุดเครื่องมือและไลบรารีที่กูเกิลเอิร์ธเอนจินพัฒนาขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งาน กูเกิลเอิร์ธเอนจิน ผ่านทางภาษาโปรแกรม Python ได้ ซึ่ง API นี้มีความสามารถในการโต้ตอบกับกูเกิลเอิร์ธเอนจิน และสามารถนำข้อมูลดาวเทียมมาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ได้



ภาพที่ 34 หน้าต่าง Data catalog ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม

(1) การเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ผ่าน กูเกิลเอิร์ธเอนจินโดยชุดข้อมูลภาพในที่นี้หมายถึง ชุดข้อมูลภาพแบบเปิดในระบบของกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ซึ่งเรียกใช้ข้อมูลภาพผ่านคำสั่ง Code Editor (JavaScript) “ee.ImageCollection” เช่น การเรียกใช้ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 เรียกใช้ข้อมูลภาพโดยใช้ Code Editor ที่ 2 เป็นต้น (ภาพที่ 35)

```
Code editor 2
var l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA');
var l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA');
var landsat2016 = l8.filterDate('2016-01-01', '2016-12-31');
var visParams = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], max: 0.3};
Map.addLayer(landsat2016, visParams, 'l8 collection');
```



ภาพที่ 35 การเรียกใช้ภาพการนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในคลังข้อมูลบนคลาวด์

(2) การเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ผ่าน ภูเกิลเอิร์ธเอนจินโดยระบุตำแหน่ง (Filtering image collections by location) ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานเฉพาะจุดที่สนใจโดยการปักหมุดและเขียนคำสั่งตาม Code editor 3 และคัดเลือกภาพตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมโดยใช้ Code editor 4 และแสดงภาพบนหน้าจอก่อนทำการดาวน์โหลดโดยใช้ Code editor 5 ดังที่แสดงในภาพที่ 36 นอกจากนี้ยังสามารถแสดงภาพสีผสม (composit) โดยใช้ Code editor 6 (ภาพที่ 37) การคัดเลือกภาพจากช่วงเวลาที่ต้องการโดยใช้ Code editor 7 และตัดภาพบางส่วนที่ต้องการโดยใช้ Code editor 8 และภาพที่ได้สามารถส่งออก (export) เพื่อใช้งานในโปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศอื่นๆ โดยใช้ Code editor 9 (ภาพที่ 38 และ ภาพที่ 39)

Code editor 3

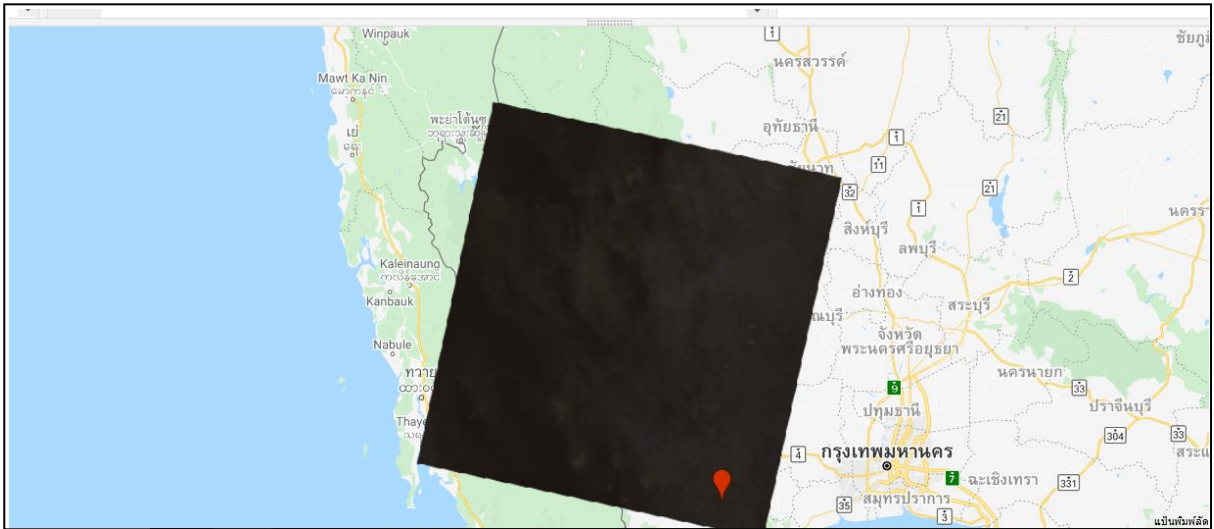
```
var spatialFiltered = l8.filterBounds(point);
print('spatialFiltered', spatialFiltered);
var temporalFiltered = spatialFiltered.filterDate('2015-01-01', '2015-12-31');
print('temporalFiltered', temporalFiltered);
```

Code editor 4

```
// This will sort from least to most cloudy.
var sorted = temporalFiltered.sort('CLOUD_COVER');
// Get the first (least cloudy) image.
var scene = sorted.first();
```

Code editor 5

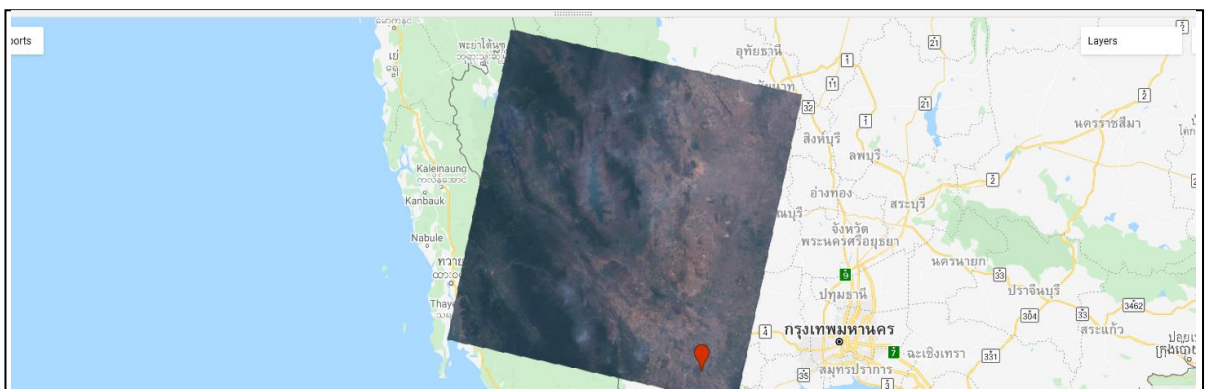
```
Map.centerObject(scene, 9);
Map.addLayer(scene, {}, 'default RGB');
```



ภาพที่ 36 ภาพดาวเทียม Landsat 8 บริเวณจังหวัดราชบุรี ที่เรียกจากคลังภาพโดยใช้ Code editor 3-5

Code editor 6

```
var visParams = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], max: 0.3};
Map.addLayer(scene, visParams, 'true-color composite');
```



ภาพที่ 37 ภาพ Landsat 8 TOA reflectance ผสมสีภาพแบบสีจริง บริเวณจังหวัดราชบุรี

Code editor 7

```
var l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA');
var landsat2016 = l8.filterDate('2016-01-01', '2016-12-31');
Map.addLayer(landsat2016, visParams, 'l8 collection');
```

Code editor 8

```
var s2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2")
var roi = ee.FeatureCollection("users/totsanatrtk/prov_rachaburi_addmin56")
var filtered = roi.filter(ee.Filter.eq('PROV_NAM_E', 'Ratchaburi'))
var geometry = filtered.geometry()
var rgbVis = {
  min: 0.0,
  max: 3000,
  bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
};
var filtered = s2.filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 30))
  .filter(ee.Filter.date('2021-01-01', '2021-12-01'))
  .filter(ee.Filter.bounds(geometry))
var image = filtered.median();
var clipped = image.clip(geometry)
Map.addLayer(clipped, rgbVis, 'Clipped')
var exportImage = clipped.select('B.*')
Export.image.toDrive({
  image: exportImage,
  description: 'Ratchaburi_Composite_Raw',
  fileNamePrefix: 'Ratchaburi_composite_raw_2021',
  region: geometry,
  scale: 20,
  maxPixels: 1e9
})
// Rather than exporting raw bands, we can apply a rendered image
// visualize() function allows you to apply the same parameters
// that are used in earth engine which exports a 3-band RGB image
print(clipped)
var visualized = clipped.visualize(rgbVis)
print(visualized)
```

Code editor 8 (ต่อ)

```
// Now the 'visualized' image is RGB image, no need to give visParams
Map.addLayer(visualized, {}, 'Visualized Image')
Export.image.toDrive({
  image: visualized,
  description: 'Ratchaburi_Composite_Visualized',
  folder: 'earthengine',
  fileNamePrefix: 'Ratchaburi_Composite_Visualized_2021',
  region: geometry,
  scale: 20,
  maxPixels: 1e9
})
```



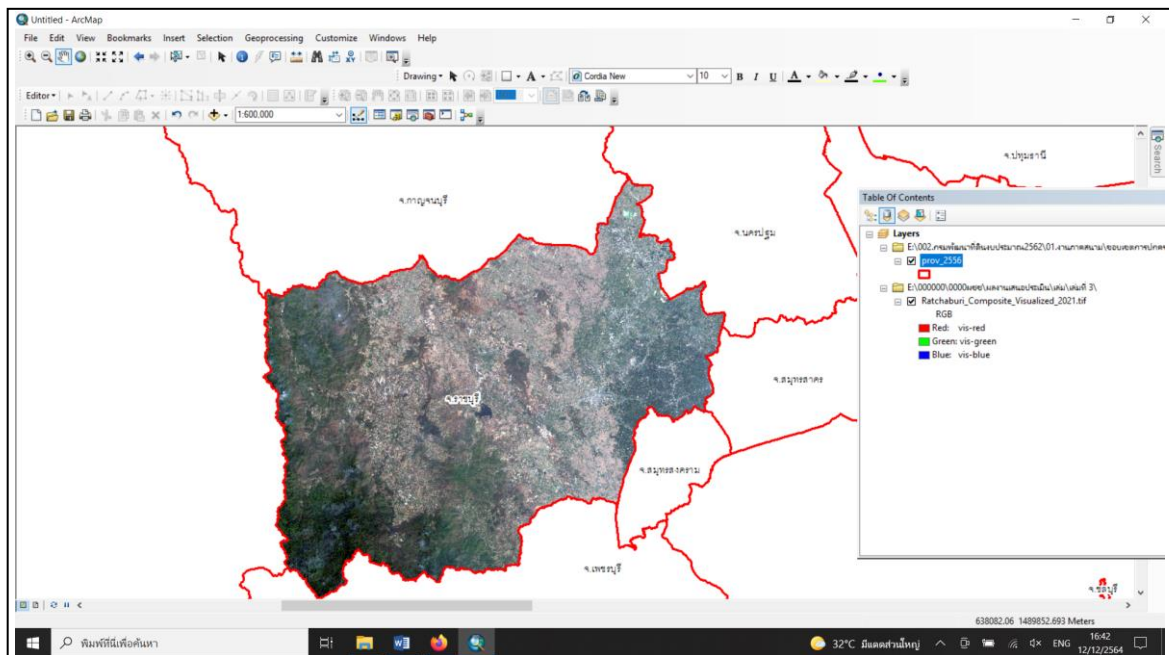
ภาพที่ 38 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 บริเวณจังหวัดราชบุรี ที่ใช้คำสั่งผสมสีภาพแบบสีจริงและตัดภาพ

Code editor 9

```
Export.image.toDrive({
  image: exportImage,
  description: 'Ratchaburi_Composite_Raw',
  fileNamePrefix: 'Ratchaburi_composite_raw_2021',
  region: geometry,
  scale: 20,
  maxPixels: 1e9
})
```

Code editor 9 (ต่อ)

```
// Rather than exporting raw bands, we can apply a rendered image
// visualize() function allows you to apply the same parameters
// that are used in earth engine which exports a 3-band RGB image
print(clipped)
var visualized = clipped.visualize(rgbVis)
print(visualized)
// Now the 'visualized' image is RGB image, no need to give visParams
Map.addLayer(visualized, {}, 'Visualized Image')
Export.image.toDrive({
  image: visualized,
  description: 'Ratchaburi_Composite_Visualized',
  folder: 'earthengine',
  fileNamePrefix: 'Ratchaburi_Composite_Visualized_2021',
  region: geometry,
  scale: 20,
  maxPixels: 1e9
})
```



ภาพที่ 39 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 บริเวณจังหวัดราชบุรี ที่ดาวนโหลดผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน นำเข้าใช้งานในโปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศอื่นๆ

5.2 แนวทางการใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อการพัฒนาที่ดิน

กูเกิลเอิร์ธเอนจินเป็นแพลตฟอร์มบนคลาวด์ซึ่งอำนวยความสะดวกในสืบค้นฐานข้อมูลเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและประมวลผลทางภูมิศาสตร์ ซึ่งกูเกิลเอิร์ธเอนจินได้รวบรวมข้อมูลปริมาณมากไว้ในแพลตฟอร์มและมีแนวโน้มที่จะมีปริมาณข้อมูลเชิงพื้นที่ให้บริการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้เหมาะสำหรับประยุกต์ใช้ในงานพัฒนาที่ดิน ซึ่งกูเกิลเอิร์ธเอนจินได้กลายเป็นเครื่องมือมีศักยภาพสูงในงานด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศในปัจจุบันเนื่องจากการใช้งานที่หลากหลายในด้านต่างๆ เช่น การติดตามสถานการณ์ด้านการผลิตทางเกษตร การติดตามความสมบูรณ์ของพืชพรรณ การจัดทำแผนที่การใช้ที่ดิน การจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ การศึกษาอนุภูมิภาคพื้นผิว การศึกษาไฟป่าและการเผาไหม้ในพื้นที่เกษตร การเปลี่ยนแปลงด้านอุทกวิทยา เป็นต้น โดยการประยุกต์ใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินสามารถประยุกต์ใช้สำหรับงานพัฒนาที่ดิน ได้ดังนี้

5.2.1 การใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน

กูเกิลเอิร์ธเอนจินเป็นแพลตฟอร์มระบบคลาวด์ที่มีประสิทธิภาพซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถวิเคราะห์และแสดงภาพข้อมูลภูมิสารสนเทศได้ ซึ่งการประยุกต์ใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินที่สำคัญ คือ การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินเพื่อจำแนก และการตรวจสอบการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน โดยการประยุกต์ใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน ดังนี้

1) การกำหนดพื้นที่ศึกษา (Regions of Interest: ROIs) การกำหนดขอบเขตภูมิศาสตร์ของพื้นที่ศึกษาของคุณ คุณสามารถใช้วัตถุ Geometry เพื่อสร้างพื้นที่สนใจ(ROI) เพื่อกรองภาพถ่ายดาวเทียมตามวันที่และตำแหน่งที่ระบุ โดยการกำหนด ROI นั้นสามารถ กำหนดได้ 3 แบบ ได้แก่ การปักจุด การสร้างรูปหลายเหลี่ยม และการใช้ shapefile ขอบเขตที่นำเข้าสู่ กูเกิลเอิร์ธเอนจิน แล้ว ซึ่งขั้นตอนการกำหนด ROI ทั้ง 3 แบบได้อธิบายแล้วข้างต้น

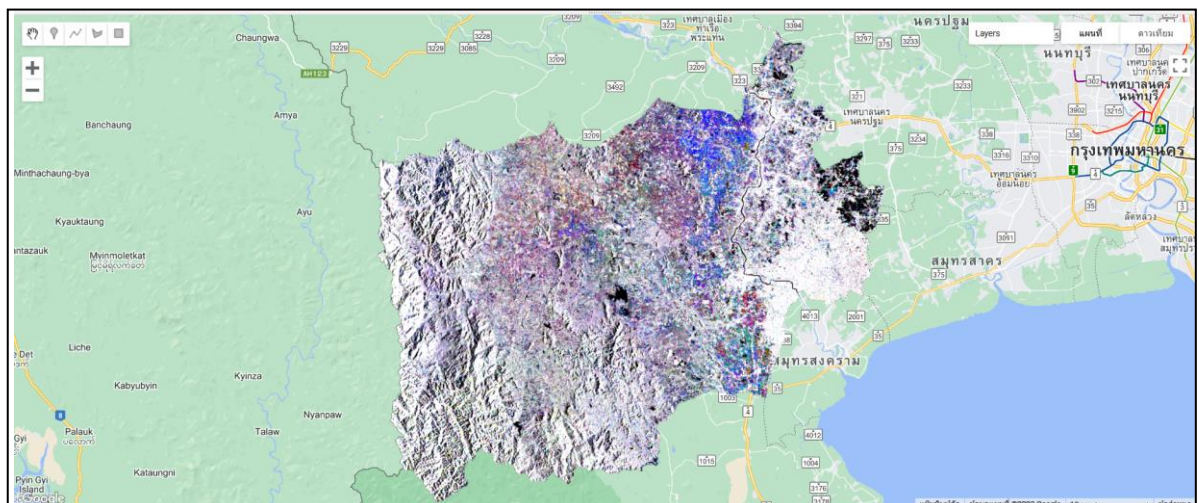
2) การรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (Stellate Image Collection) กูเกิลเอิร์ธเอนจินรวบรวมชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมไว้มากมายจากแหล่งต่างๆ เช่น Landsat, Sentinel และ MODIS เป็นต้น โดยการเข้าถึงข้อมูลสามารถใช้ Code Editor หรือ API เพื่อเข้าถึงและโหลดชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเลือกภาพถ่ายดาวเทียมหรือชุดภาพที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษาและช่วงเวลาของคุณ คุณสามารถใช้ชุดข้อมูลโดยใช้คำสั่ง `ee.ImageCollection` class

3) การเตรียมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม (image processing) กูเกิลเอิร์ธเอนจินสามารถใช้เตรียมข้อมูลภาพเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ Image Mosaic or Compositing ซึ่งประกอบด้วยคำสั่งที่ใช้ในการผสมภาพ การต่อภาพ การผสมสีภาพ และการกรองเมฆและลบออกจากภาพ โดยใช้คำสั่ง ได้แก่ `var landsatComposite = landsatCollection.median();` และ `var multiSpectral = landsatComposite.addBands(sentinelComposite)` เป็นต้น

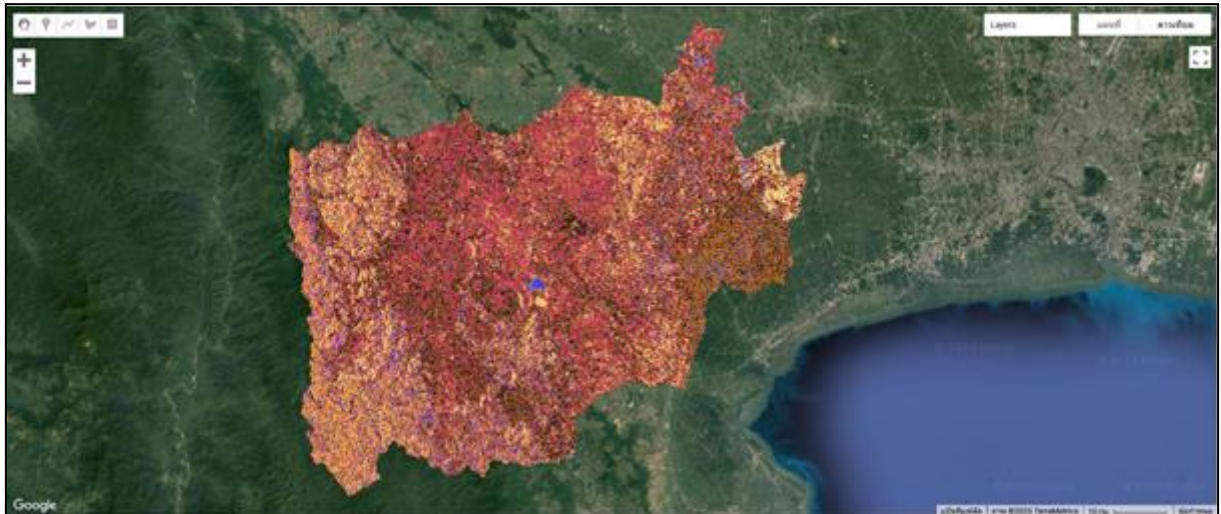
4) การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินแบบไม่มีการควบคุมดูแลและแบบมีการควบคุม ซึ่งผู้ใช้งานสามารถใช้คำสั่ง Classifier ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน ซึ่งแสดงตามตัวอย่างวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจินได้ทั้งแบบไม่มีการควบคุมดูแลโดยใช้ Code editor 10 (ภาพที่ 40 และภาพที่ 41) ดังนี้

Code editor 10

```
// Load a pre-computed Landsat composite for input.
var input = ee.Image('users/totsanatrtk/Ratchaburi_Composite_Visualized_2021');
// Define a region in which to generate a sample of the input.
var region = ee.FeatureCollection("users/totsanatrtk/prov_rachaburi_admin56");
// Make the training dataset.
var training = input.sample({
  region: region,
  scale: 30,
  numPixels: 5000
});
// Instantiate the clusterer and train it.
var clusterer = ee.Clusterer.wekaKMeans(20).train(training);
// Cluster the input using the trained clusterer.
var result = input.cluster(clusterer);
// Display the clusters with random colors.
Map.addLayer(result.randomVisualizer(), {}, 'clusters');
// Display the sample region.
Map.addLayer(ee.Image().paint(region, 0, 2), {}, 'region');
```



ภาพที่ 40 ภาพสีผสมของดาวเทียม Sentinel 1 บริเวณจังหวัดราชบุรี ในช่วงฤดูเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2565 โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน



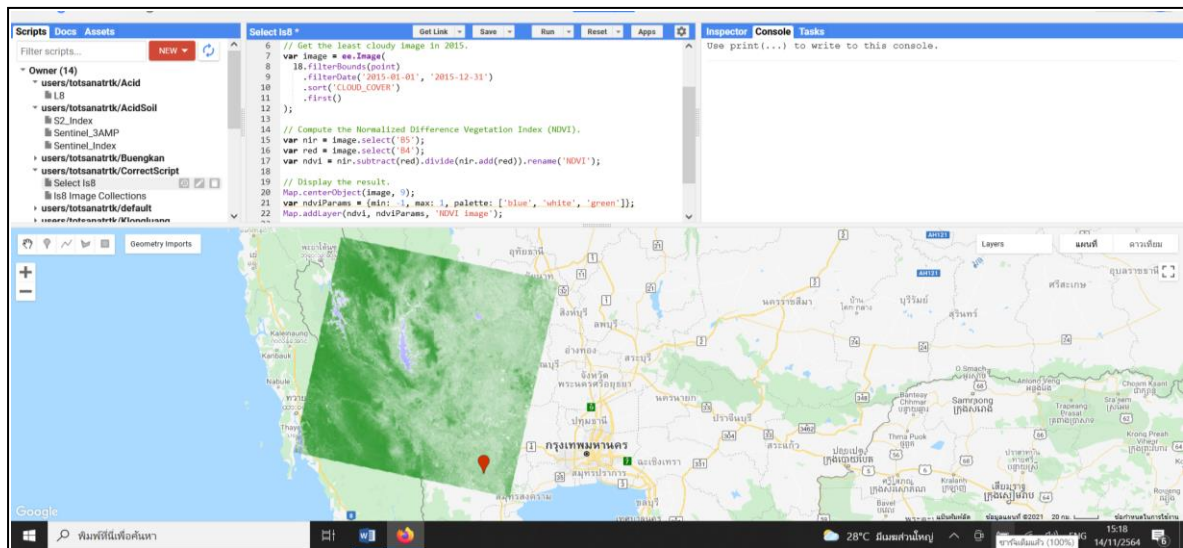
ภาพที่ 41 ภาพการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน unsupervised classification แบบ k-mean แบบ 10 ประเภทของดาวเทียม Sentinel 1 บริเวณจังหวัดราชบุรี ในช่วงฤดูเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2565 โดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน

5.2.2 การศึกษาความสมบูรณ์ของพืชพรรณ

ผู้ใช้งานสามารถคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณที่สนใจผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เช่น ค่า NDVI และแสดงภาพ โดยใช้ Code editor 11 (ภาพที่ 42) และสามารถสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงค่า NDVI ตามช่วงเวลา โดยใช้ Code editor 12 (ภาพที่ 43)

Code editor 11

```
// Compute the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).
var nir = image.select('B5');
var red = image.select('B4');
var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('NDVI');
// Display the result.
Map.centerObject(image, 9);
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']};
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'NDVI image');
```

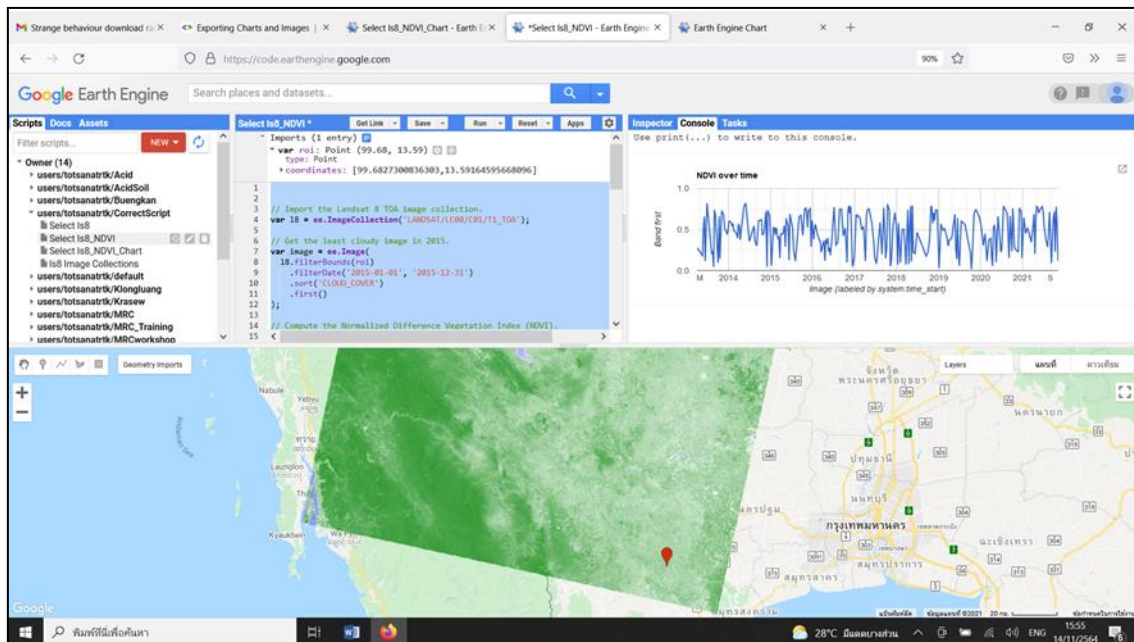


ภาพที่ 42 ภาพดัชนี NDVI บริเวณจังหวัดราชบุรีที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8

Code Editor 12

// Create a chart.

```
var chart = ui.Chart.image.series({
  imageCollection: withNDVI.select('NDVI'),
  region: roi,
  reducer: ee.Reducer.first(),
  scale: 30
```



ภาพที่ 43 กราฟค่า NDVI เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา บริเวณจังหวัดราชบุรี โดยใช้ ภูเกิลเอิร์ธเอนจิน

5.2.3 การศึกษาด้านปฐพีวิทยา

ภูเกิลเอิร์ธเอนจินให้บริการฐานข้อมูลดินจากหลายแหล่งที่มีข้อมูลคุณภาพสูง เช่น SoilGrids, Harmonized World Soil Database (HWSD), และ ISRIC - World Soil Information ซึ่งการใช้ประโยชน์จากฐานข้อมูลยกตัวอย่างเช่น การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลในการศึกษาความชื้นดินจากฐานข้อมูล Soil Moisture Active Passive (SMAP) ซึ่งเป็นข้อมูลความชื้นในดินระดับโลกจาก NASA-USDA Global Soil Moisture และ NASA-USDA SMAP Global Soil Moisture ให้ข้อมูลเกี่ยวกับความชื้นในดินทั่วโลกซึ่งสามารถเรียกใช้ข้อมูลและเตรียมข้อมูลโดยใช้ Code editor 13 และผลที่ได้ดังแสดงในภาพที่ 44 นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้สามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามอนุกรมเวลาและสามารถนำออกข้อมูลในรูปแบบตารางเพื่อใช้ร่วมกับโปรแกรมอื่น เช่น โปรแกรม Microsoft Excel ดังแสดงในภาพที่ 45

Code editor 13

```
// SMAP soil moisture data, Extract & Visualize Monthly Time Series Analysis of SMAP
// soil moisture and export to your Google Drive as a CSV file
```

```
// 1. Define countries boundary
```

```
var roi = ee.FeatureCollection("users/totsanatrtrk/prov_rachaburi_addmin56")
```

```
Map.addLayer(roi, {}, "roi");
```

```
Map.centerObject(roi);
```

```
// 2. List of years
```

```
var years = ee.List.sequence(2016, 2021);
```

```
var months = ee.List.sequence(1, 12);
```

Code editor 13 (ต่อ)

// 3. Load SMAP Data

```
var coll = ee.ImageCollection('NASA_USDA/HSL/SMAP10KM_soil_moisture').select('ssm');
print(coll.first());
```

// 4. Set visualization parameter

```
var soilVis = {
  min: 0.0,
  max: 28.0,
  palette: ['0300ff', '418504', 'efff07', 'efff07', 'ff0303'],
};
```

// 5. Center and add SMAP layer

```
Map.centerObject(roi); // Zoom level ranges from 1 to 16
```

```
Map.addLayer(coll.mean().clip(roi), soilVis, 'Soil Moisture');
```

// 6. Summaries our SMAP (Soil Moisture Active Passive) soil moisture data by month and year

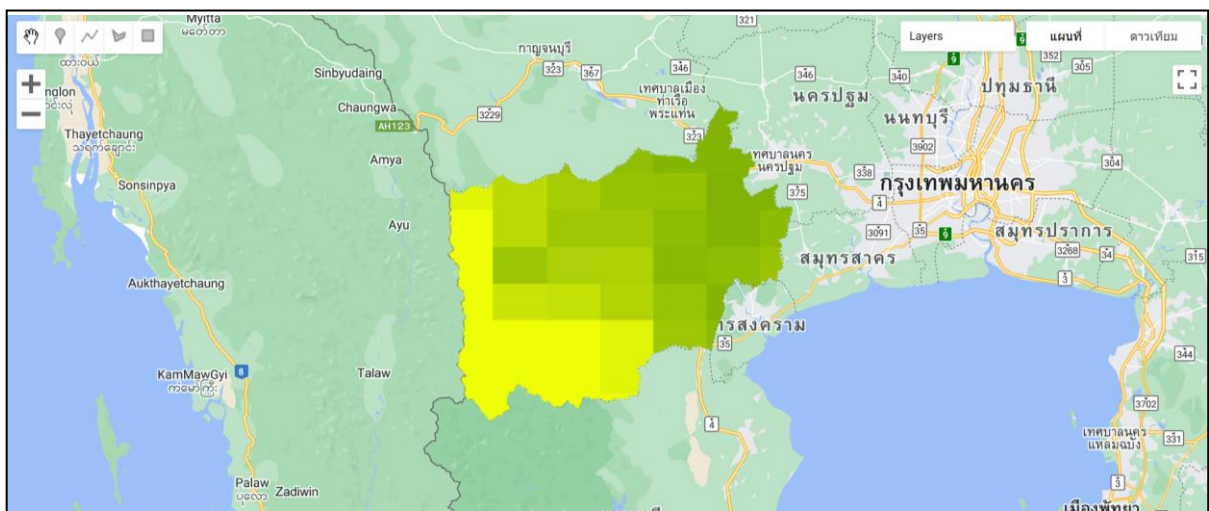
```
var smap = coll.select('ssm')
.map(function(img){
  var d = ee.Date(ee.Number(img.get('system:time_start')));
  var m = ee.Number(d.get('month'));
  var y = ee.Number(d.get('year'));
  return img.set({'month':m, 'year':y});
});
print(smap.first());
```

// 7. Function generate monthly soil moisture data for each year

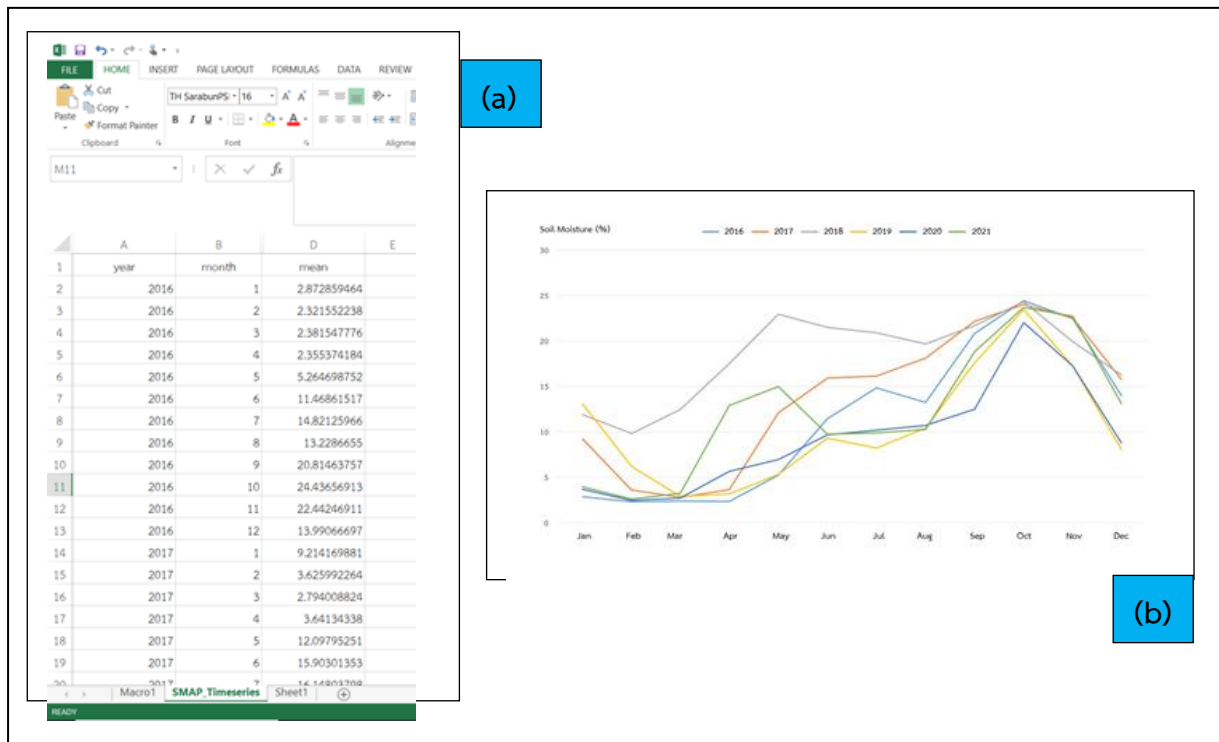
```
var byYearMonth = ee.ImageCollection.fromImages(
  years.map(function(y){
    return months.map(function(m) {
      return smap.filterMetadata('year', 'equals', y)
        .filterMetadata('month', 'equals', m)
        .select('ssm').mean()
        .set('year', y)
        .set('month', m)
        .set('date', ee.Date.fromYMD(y,m,1));
    });
  }).flatten()
);
print("monthlyCol", byYearMonth.first());
```

Code editor 13 (ต่อ)

```
// 8. Zonal statistics to summaries SMAP soil moisture to specific study area (eg Afghanistan)
var smapAfghanistan = byYearMonth.map(function(img) {
  var features = roi.map(function(f) {return f.set('date', img.get('date'), 'month',
    img.get('month'), 'year', img.get('year'))});
  var proj = ee.Image(byYearMonth.first()).projection();
  return img.reduceRegions(features, ee.Reducer.mean(), 1000, proj);
}).flatten();
print("SMAP Summary Mean", smapAfghanistan.limit(10));
// 9. Export the resulting mean soil moisture as a table to Google Drive
var selectors = "year, month, country_na, mean";
Export.table.toDrive({
  collection: smapAfghanistan,
  description: 'SMAP_Timeseries',
  folder: 'earth_engine_data',
  fileNamePrefix: 'SMAP_Timeseries',
  fileFormat: 'CSV',
  selectors: selectors
});
```



ภาพที่ 44 ภาพการดาวน์โหลดข้อมูลความชื้นดินรายเดือนจากฐานข้อมูล SMAP บริเวณจังหวัดราชบุรี



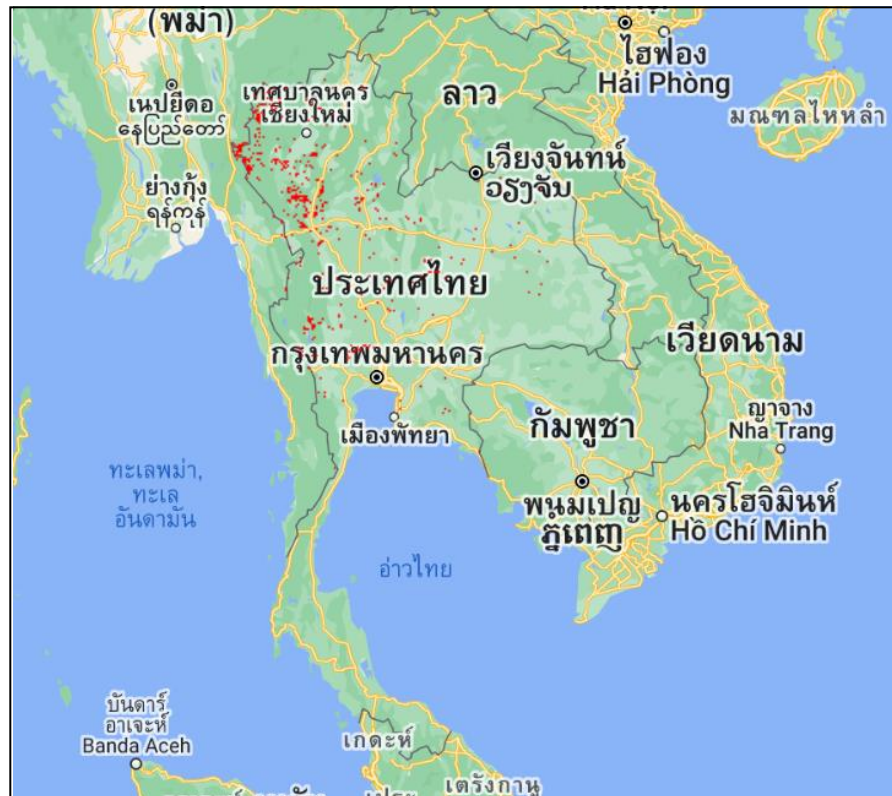
ภาพที่ 45 การใช้ข้อมูลข้อมูลความชื้นดินรายเดือนจากฐานข้อมูล SMAP บริเวณจังหวัดราชบุรี
ในโปรแกรม Microsoft excel

(a) ไฟล์ข้อมูลชนิด CSV เปิดใช้ในโปรแกรม Microsoft excel

(b) กราฟค่าความชื้นดินรายเดือน ของจังหวัดราชบุรี จากฐานข้อมูล SMAP ที่ดาวน์โหลดผ่าน
กูเกิลเอิร์ธเอนจิน

5.2.4 การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมติดตามพื้นที่เผาไหม้

การใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการติดตามพื้นที่เผาไหม้ทำได้ง่ายขึ้นผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เนื่องจาก มีชุดข้อมูลดาวเทียมที่สามารถใช้งานได้โดยง่าย เช่น ดาวเทียม Landsat ดาวเทียม Sentinel และ ดาวเทียม MODIS เป็นต้น ซึ่งดาวเทียมเหล่านี้มีวงโคจรความถี่ในการถ่ายภาพที่สูง ทำให้สามารถติดตามพื้นที่เผาไหม้ได้ โดยการวิเคราะห์พื้นที่เผาไหม้ได้ผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน สามารถคำนวณโดยใช้ดัชนีพืชพรรณหรือใช้ข้อมูลภาพสำเร็จรูปที่เจ้าของดาวเทียมต่างๆ จัดทำและให้บริการโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย เช่น ชุดข้อมูลภาพ MCD64A1.006 MODIS Burned Area Monthly Global 500m ซึ่งเป็นชุดข้อมูลพื้นที่เผาไหม้ที่มีรายละเอียดจุดภาพ 500 เมตร (ภาพที่ 46) เป็นต้น



ภาพที่ 46 การใช้ภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ติดตามพื้นที่เผาไหม้ในประเทศไทยโดยใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจิน

5.2.5 ข้อมูลความลาดชัน

ปัจจุบันมีฐานข้อมูลความลาดชันเชิงเลขในสถานที่ต่างๆ ทั่วโลกและมีให้บริการโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ซึ่งข้อมูลที่ให้บริการมีรายละเอียดหลายระดับ ซึ่งฐานข้อมูลความลาดชันเชิงเลขที่ให้บริการผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ได้แก่

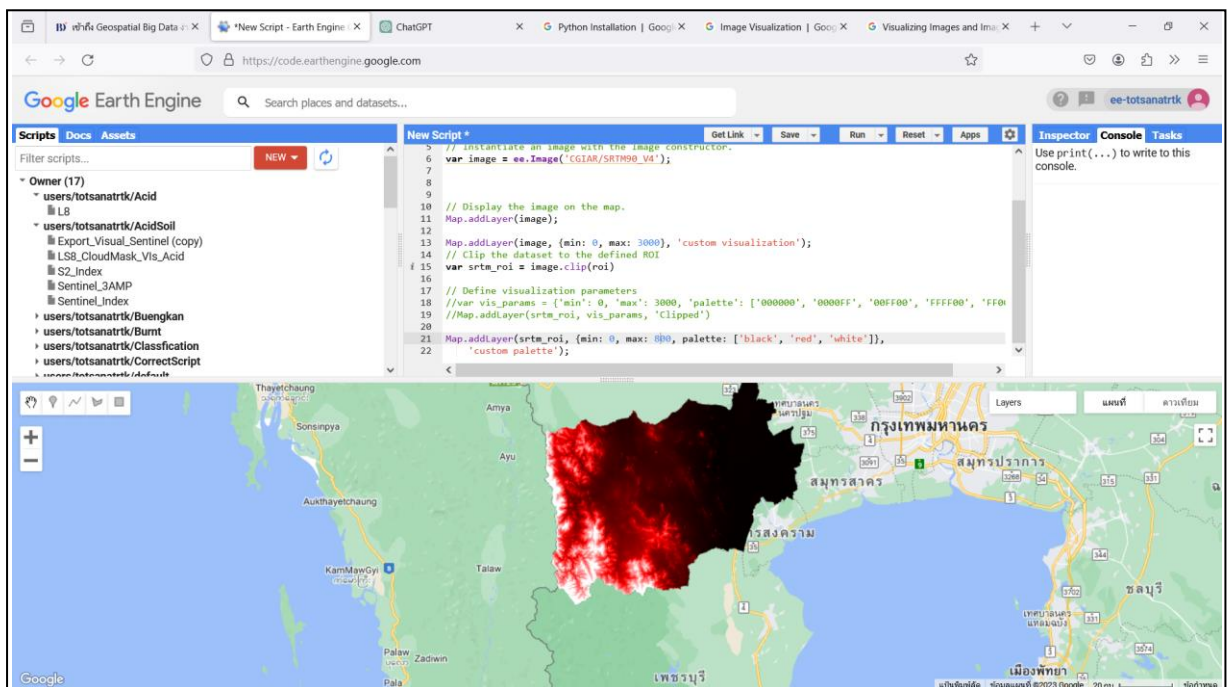
3.1) ชุดข้อมูล Copernicus DEM (DEM90) มาจากโครงการ Copernicus Sentinel 1 และ Sentinel 2 ของสหภาพยุโรป (European Space Agency - ESA) ที่เป็นส่วนหนึ่งของโครงการ Copernicus ซึ่งเป็นโปรแกรมดาวเทียมด้านสิ่งแวดล้อมของสหภาพยุโรป โดย Copernicus เป็นโปรแกรมที่รวบรวมข้อมูลจากรายการของดาวเทียม เครื่องบินสำรวจ และดาราศาสตร์เพื่อให้บริการข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และการเข้าถึงข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานสำหรับประเทศยุโรปและส่งผลกระทบต่อโลกทั้งทางเศรษฐกิจและทางสิ่งแวดล้อม

3.2) ชุดข้อมูล Copernicus DEM (DEM90) คือชุดข้อมูลรูปแบบ Digital Elevation Model (DEM) ที่สร้างขึ้นจากข้อมูลดาวเทียม Sentinel 1 และ Sentinel 2 โดยมีความละเอียดสูงประมาณ 90 เมตรต่อจุดภาพ เป็นความละเอียดที่เพียงพอสำหรับการใช้งานทางภูมิศาสตร์และการวิเคราะห์ทางพื้นที่ ข้อมูล Copernicus DEM มีประโยชน์ในการศึกษาทางภูมิศาสตร์ การวางแผน การวิเคราะห์เส้นทางน้ำ การจัดการทางทรัพยากรธรณี และการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เช่น การชะล้างพังทลายของดิน ชุดข้อมูลนี้มีการปรับปรุงให้ทันสมัยอย่างสม่ำเสมอเพื่อสะท้อน ทำให้สามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ได้อย่างต่อเนื่อง

ซึ่งตัวอย่างการเตรียมข้อมูลความลาดชันเชิงเลขผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน โดยใช้
ฐานข้อมูล SRTM90_V4' โดยใช้ Code editor 14 (ภาพที่ 47)

Code editor 14

```
//Define a region in which to generate a sample of the input.
var roi = ee.FeatureCollection("users/totsanatrkt/prov_rachaburi_admin56")
// Instantiate an image with the Image constructor.
var image = ee.Image('CGIAR/SRTM90_V4');
// Display the image on the map.
Map.addLayer(image);
Map.addLayer(image, {min: 0, max: 3000}, 'custom visualization');
// Clip the dataset to the defined ROI
var srtm_roi = image.clip(roi)
// Define visualization parameters
//var vis_params = {'min': 0, 'max': 3000, 'palette': ['000000', '0000FF', '00FF00', 'FFFF00',
'FF0000']}
//Map.addLayer(srtm_roi, vis_params, 'Clipped')
Map.addLayer(srtm_roi, {min: 0, max: 800, palette: ['black', 'red', 'white']},
'custom palette');
```



ภาพที่ 47 การเตรียมข้อมูลแบบจำลองระดับความสูงเชิงเลข จากฐานข้อมูล SRTM90_V4' บริเวณจังหวัดราชบุรี

6. การนำไปใช้ประโยชน์/ผลกระทบ

6.1 ใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดินประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดิน ได้แก่ การนำไปใช้ประโยชน์ การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ Remote Sensing ช่วยในการตรวจสอบและจัดการทรัพยากรธรรมชาติ เช่น การตรวจสอบการใช้ที่ดิน การติดตามการเปลี่ยนแปลงที่พื้นผิวดิน การสำรวจป่า และการดูแลรักษาทรัพยากรน้ำ การเฝ้าระวังและการตรวจสอบสภาพแวดล้อม Remote Sensing ใช้ในการเฝ้าระวังสภาพแวดล้อม เช่น การตรวจสอบคุณภาพอากาศ การตรวจสอบปริมาณสารเคมีในน้ำ และการตรวจสอบมลพิษทางอากาศ

6.2 เป็นแนวทางในการเตรียมฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์ Cloud Computing ช่วยให้สามารถเก็บรักษาข้อมูลที่ใหญ่โตและประมวลผลข้อมูลที่ซับซ้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การจัดการทรัพยากรธรรมชาติ Open Source Software มีการให้ใช้โปรแกรมที่เปิดเผยแก่สาธารณะทำให้นักวิจัยสามารถพัฒนาและปรับปรุงโค้ดได้ต่อเนื่อง ทำให้การวิจัยในด้าน Remote Sensing และ GIS เป็นไปได้มากขึ้น

6.3 พัฒนาระบบการจัดทำฐานข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินและถ่ายทอดกระบวนการให้แก่หน่วยงานอื่นทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายของภาครัฐ ทั้งด้านการจัดซื้อภาพถ่ายดาวเทียม การจัดหาคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง เช่น การหาแหล่งข้อมูลที่ไม่มีค่าใช้จ่าย software ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยและสามารถต่อยอดได้ในอนาคตโดยศึกษากระบวนการของ software ที่นำมาใช้ การพัฒนาบุคลากร

6.4 ลดกระบวนการและระยะเวลาทำงาน เนื่องจากมีการเขียนรหัส (code) ครั้งเดียวแล้วนำไปใช้ได้ในพื้นที่อื่นเพียงเปลี่ยนข้อมูลใน code เพียงเล็กน้อยเพิ่มความถูกต้องแม่นยำเนื่องจากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้หลากหลายและปริมาณมากขึ้น สามารถใช้ฐานข้อมูลในการประมวลผลได้จำนวนมากขึ้นเนื่องจากวิเคราะห์ผ่านระบบคลาวด์

6.5 ใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการดำเนินงานของกรมพัฒนาที่ดินและหน่วยงานต่างๆ

7. ความยุ่งยากและความซับซ้อนในการดำเนินการ

7.1 การใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล มีความยุ่งยากและอุปสรรคบางประการในการใช้งาน ได้แก่

7.1.1 ความซับซ้อนของข้อมูล: ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลมีปริมาณมากและมีความซับซ้อน การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดอาจต้องใช้เทคนิคและทรัพยากรที่มีความทันสมัยเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ

7.1.2 การทับซ้อนของข้อมูล บางครั้งมีการทับซ้อนของข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกล เช่น การทับซ้อนของเมฆหรืออย่างอื่นที่สามารถทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการสกัดข้อมูล

7.1.3 ข้อจำกัดในการรับรู้ รูปแบบของวัตถุหรือภูมิทัศน์สามารถรับรู้ได้ด้วยเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลได้ดี บางทีอาจมีข้อจำกัดในการรับรู้วัตถุที่มีความเล็กหรือซ่อนเร้น

7.1.4 การตรวจจับและแก้ไขข้อผิดพลาด ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลอาจมีข้อผิดพลาดที่ต้องถูกตรวจจับและแก้ไข เช่น การถูกบดบังหรือมีข้อผิดพลาดที่เกิดจากการสัญญาณรบกวน

7.1.5 ความทันสมัยของข้อมูล ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจระยะไกลมีการเปลี่ยนแปลงได้เร็ว การให้ข้อมูลที่ทันสมัยเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการใช้งาน

7.1.6 การประมวลผลข้อมูล การใช้เทคนิคการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ เช่น การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน การคำนวณดัชนีพืชพรรณ การสร้างแผนที่ และการแปลผลต้องอาศัยประสบการณ์และทักษะพิเศษ

7.2 การใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิด มีความยุ่งยากและเผชิญอุปสรรคต่าง ๆ ได้แก่

7.2.1 ขาดความเข้าใจในระบบ บางครั้งผู้ใช้งานอาจไม่เข้าใจโครงสร้างและทำงานของซอฟต์แวร์รหัสเปิดได้เพียงพอ ซึ่งอาจทำให้การใช้งานและปรับแต่งกับความต้องการของผู้ใช้กลายเป็นเรื่องยาก

7.2.2 ขาดการสนับสนุน ในบางกรณีซอฟต์แวร์รหัสเปิดอาจไม่มีการสนับสนุนทางเทคนิคจากทีมพัฒนาหรือบริษัทที่มีชื่อเสียง ซึ่งทำให้ผู้ใช้ต้องพึ่งพากับชุมชนผู้ใช้งานและการช่วยเหลือกันเอง

7.2.3 ปัญหาความปลอดภัย การรั่วรั่วความปลอดภัยสำหรับซอฟต์แวร์รหัสเปิดนั้นทำได้ในแบบกำหนดเอง และถึงแม้จะมีชุมชนที่รักษาและแก้ไขปัญหาทางด้านความปลอดภัย แต่ยังมีความเสี่ยงที่จะไม่ได้รับการแก้ไขทันทีหรือไม่ได้รับการสนับสนุนทางความปลอดภัยที่เทียบเท่ากับซอฟต์แวร์ปิด

7.2.4 ไม่ครอบคลุมทุกความต้องการ บางครั้งซอฟต์แวร์รหัสเปิดอาจไม่มีความสามารถที่ครอบคลุมทุกความต้องการของผู้ใช้ ทำให้ต้องมีการเพิ่มเติมหรือปรับปรุงเพื่อตรงตามความต้องการของผู้ใช้

7.2.5 ความซับซ้อน: บางครั้งซอฟต์แวร์รหัสเปิดมีความซับซ้อนในการใช้งาน ซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้ไม่สะดวกหรือไม่เหมาะสมกับผู้ที่มีความรู้ด้านเทคนิคน้อย เช่น การเขียนคำสั่ง (code) ครั้งแรกจำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความเข้าใจในการเขียนภาษา Javascript

7.2.6 การเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว ซอฟต์แวร์รหัสเปิดมักมีการพัฒนาและการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว ทำให้ผู้ใช้ต้องทำการอัปเดตหรือปรับปรุงบ่อย ๆ ซึ่งอาจสร้างความไม่สะดวกในการบริหารจัดการ

7.3 การใช้คลาวด์คอมพิวติง (Cloud Computing) มีความยุ่งยากและอุปสรรคที่บางประการ ต่อไปนี้

7.3.1 ความปลอดภัย การจัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์มักเกิดความกังวลเกี่ยวกับความปลอดภัยของข้อมูลที่ถูกเก็บบนระบบคลาวด์ ผู้ใช้ต้องไว้วางใจในการรักษาความปลอดภัยของผู้ให้บริการคลาวด์และอัปเดตระบบทุกครั้งที่มีการปรับปรุงความปลอดภัยในระบบ

7.3.2 ความเข้าถึง ความเข้าถึงที่ดีของคลาวด์มีทั้งดีและไม่ดี บางครั้งผู้ใช้อาจพบปัญหาในการเข้าถึงข้อมูลหรือบริการที่ต้องการ เช่น ปัญหาการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่ไม่เสถียรหรือปัญหาด้านเทคนิคที่ทำให้ไม่สามารถเข้าถึงได้

7.3.3 ค่าใช้จ่าย บางครั้งการใช้บริการคลาวด์อาจมีค่าใช้จ่ายที่สูง โดยเฉพาะถ้าการใช้งานเพิ่มขึ้น ผู้ใช้ควรทำการวางแผนการใช้จ่ายให้เหมาะสมกับงบประมาณที่มี

7.3.4 ปัญหาความเสถียร ความเสถียรของบริการคลาวด์มีความสำคัญ เมื่อบริการไม่สามารถให้บริการได้ ผู้ใช้อาจเสียหายทั้งทางธุรกิจและภาพลักษณ์

7.3.5 การบริหารจัดการทรัพยากร การบริหารจัดการทรัพยากรบนคลาวด์อาจเป็นที่ยุ่งยาก เนื่องจากต้องตัดสินใจเรื่องขนาดของทรัพยากรที่จะใช้ และต้องการการติดตามและปรับปรุงตลอดเวลา

7.3.6 ความเชื่อมต่อ การที่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่ไม่เสถียรอาจทำให้การใช้บริการคลาวด์มีปัญหาซึ่งมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพและการใช้งาน

7.3.7 ความซับซ้อนของบริการ บริการคลาวด์บางประการมีความซับซ้อน ทำให้ผู้ใช้ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้บริการและการกำหนดค่า

7.3.8 ความเชื่อมั่นในผู้ให้บริการ คือ ผู้ใช้ที่ใช้บริการคลาวด์จะขึ้นอยู่กับความเชื่อมั่นในผู้ให้บริการ ถ้าผู้ให้บริการเผชิญกับปัญหาหรือล่มสลาย ผู้ใช้ต้องหาทางแก้ไขทันที

8. ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินการ

8.1 ปัญหาในการเข้าถึงข้อมูล การเข้าถึงข้อมูลที่ถูกเก็บไว้ในคลาวด์คอมพิวเตอร์หรือฐานข้อมูลอาจเป็นอุปสรรค เซิร์ฟเวอร์ที่ใช้จำเป็นต้องเชื่อมต่อโดยระบบอินเทอร์เน็ต ความไม่เสถียรของระบบสามารถทำให้มีปัญหาในการเข้าถึงข้อมูล นอกจากนี้บางครั้งเกิดปัญหาจากระบบอินเทอร์เน็ตที่จำกัดการใช้งาน เช่น ความเร็วและปริมาณการเก็บข้อมูล

8.2 เนื่องจากกูเกิลเอิร์ธเอนจิน ที่ใช้เป็น free version ทำให้อาจมีข้อจำกัดในกระบวนการวิเคราะห์และพื้นที่เก็บ หากต้องการทำการวิเคราะห์พื้นที่ขนาดใหญ่มาก ดังนั้นในการวิเคราะห์ข้อมูลอาจจำเป็นต้องแบ่งขนาดพื้นที่ในการวิเคราะห์ให้เล็กลง ซึ่งหากกรมพัฒนาที่ดินต้องการวิเคราะห์พื้นที่ขนาดใหญ่สามารถซื้อบริการจากกูเกิลเอิร์ธเอนจิน

8.3 ข้อมูลที่ได้ไม่สามารถใช้เพื่อการค้า ค่าใช้จ่าย: การบำรุงรักษาและปรับปรุงระบบฐานข้อมูลและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการสำรวจระยะไกลอาจมีค่าใช้จ่ายที่สูง นอกจากนี้ ค่าบริการคลาวด์คอมพิวเตอร์ก็อาจเพิ่มขึ้นตามการใช้งาน

8.4 ปัญหาทางเทคนิค อุปสรรคทางเทคนิคเช่นปัญหาในการสื่อสารระหว่างระบบที่ไม่เข้ากันได้ ปัญหาการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สำรวจ หรือปัญหาด้านซอฟต์แวร์อาจเกิดขึ้นและต้องการการแก้ไข

8.5 การดำเนินการและการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์สามารถเผชิญกับหลายปัญหาและอุปสรรคต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนี้ ข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์หรือไม่แม่นยำ การสำรวจระยะไกลต้องพบว่าข้อมูลที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลมีความแม่นยำและสมบูรณ์เพียงพอ เพื่อให้การวิเคราะห์และการตัดสินใจเกี่ยวกับพัฒนาที่ดินเป็นไปได้ถูกต้อง

8.6 ความปลอดภัยข้อมูล การประยุกต์ใช้คลาวด์คอมพิวเตอร์เพื่อการสำรวจระยะไกลอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับความปลอดภัยข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่สำคัญอาจถูกแฮ็กหรือทำลาย

8.7 ความเข้ากันได้ของข้อมูล ถ้ามีการใช้ซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์จากผู้ให้บริการที่แตกต่างกัน อาจมีปัญหาในการให้ข้อมูลทั้งหมดเข้ากันได้

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 กรมพัฒนาที่ดินควรประยุกต์ใช้ กูเกิลเอิร์ธเอนจิน ในการจัดทำฐานข้อมูลด้านภูมิสารสนเทศ เช่น การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อจัดทำฐานข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดิน วิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ โดยการความสัมพันธ์กับข้อมูลด้านต่างๆ เช่น การเจริญเติบโตของพืช สมบัติดิน และสภาพอากาศ เป็นต้น และสามารถนำมาวิเคราะห์กับข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเข้มแสง เส้นชั้นความสูง ดัชนีภูมิประเทศ การคมนาคม นโยบายต่างๆ และราคา เป็นต้น เพื่อให้สามารถวางแผนการใช้ที่ดินได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะแผนการใช้ที่ดินระยะสั้นที่ปัจจุบันพบกับความผันผวนทั้งสภาพอากาศ เศรษฐกิจ และนโยบาย ซึ่งจะทำให้ภาครัฐ เอกชนและเกษตรกรสามารถบริหารจัดการพื้นที่ปลูกและผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ การสร้างฐานข้อมูลดิน และการวิเคราะห์สภาพปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิผิวดิน ความเสื่อมโทรมของที่ดิน เป็นต้น

9.2 หน่วยงานภาครัฐควรพัฒนาระบบคลาวด์ โดยการจัดตั้ง server ขนาดใหญ่เพื่อให้หน่วยงานต่างๆ ภายในประเทศสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมและข้อมูล GIS ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และควรพัฒนาด้านปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากการวางแผนการใช้ที่ดิน การบริหารจัดการ พื้นที่ปลูกและผลผลิต มีฐานข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณมาก การพัฒนาระบบการและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับข้อมูล ที่เหมาะสม สิ่งสำคัญที่องค์กรต้องพิจารณาคือการสร้างความมั่นใจว่า ข้อมูลนั้นพร้อมใช้งานในเวลาที่ต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้จริง

มีคุณภาพ และนำมาใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบปัญญาประดิษฐ์ เป็นระบบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอัตโนมัติอย่างแพร่หลาย

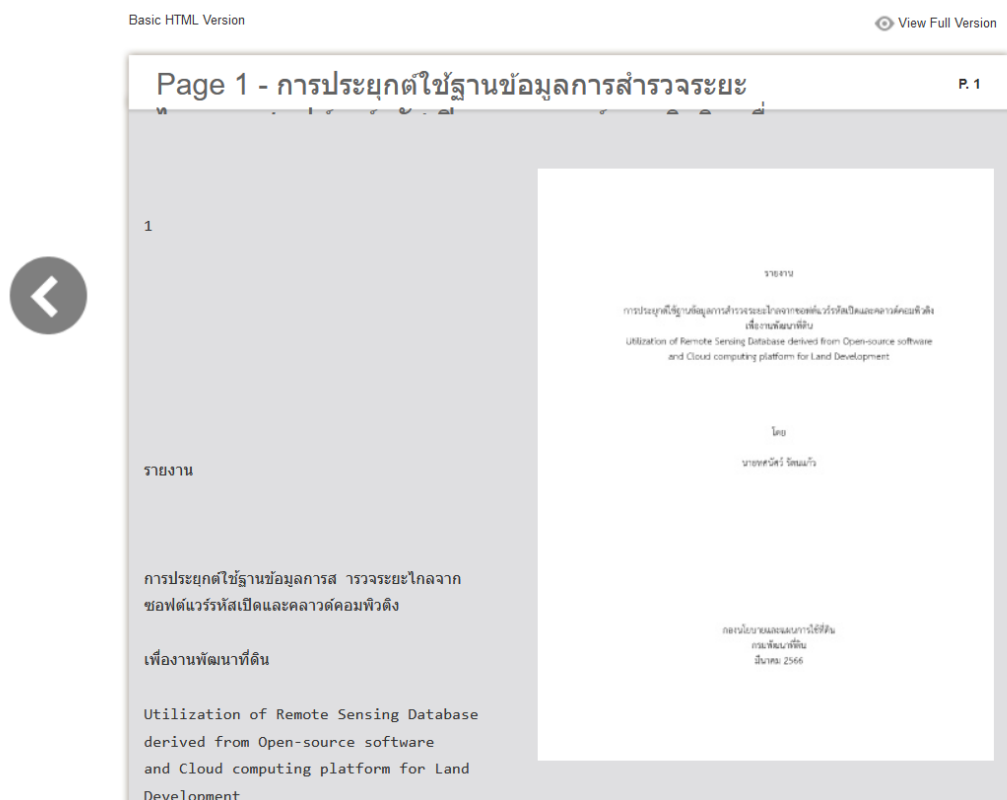
9.3 ควรสร้าง platform กลางที่มีลักษณะคล้ายกับ กูเกิลเอิร์ธเอนจิน เพื่อให้หน่วยงานต่างๆ ภายในประเทศสามารถใช้ข้อมูลดาวเทียมและข้อมูล GIS ได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถบูรณาการระหว่างหน่วยงาน โดยเฉพาะการบริการด้านข้อมูล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การส่งข้อมูลภาคสนามจากหน่วยงานในภูมิภาค เช่น ปฏิทินการเพาะปลูก การจัดการแปลง เป็นต้น

9.4 ควรพัฒนาบุคลากรด้านการสำรวจระยะไกลและด้าน Data Science ควรพัฒนาบุคลากรให้สามารถใช้งานฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติงเพื่องานพัฒนาที่ดิน

10. การเผยแพร่ผลงาน

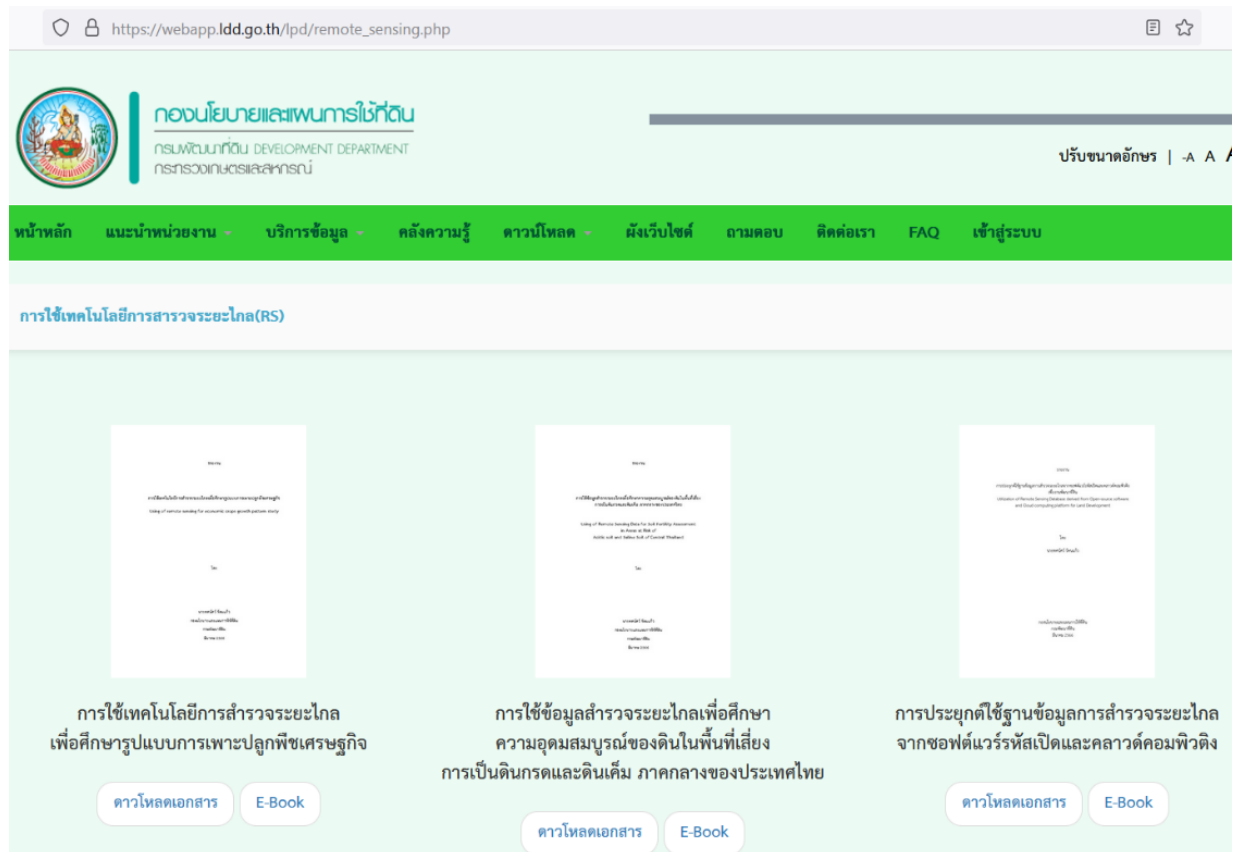
10.1 จัดทำ รูปเล่มรายงานแบบสื่อสิ่งพิมพ์ เผยแพร่ผ่านเว็บไซต์ ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน https://webapp.idd.go.th/lpd/node_modules/img/Download/remote_sensing/%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%9F%E0%B8%95%E0%B9%8C%E0%B9%81%E0%B8%A7%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%A3%E0%B8%AB%E0%B8%B1%E0%B8%AA%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B8%B4%E0%B8%94%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%84%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A7%E0%B8%94%E0%B9%8C%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%B4%E0%B8%A7%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%87/files/basic-html/page1.html

https://webapp.idd.go.th/lpd/node_modules/img/Download/remote_sensing/ซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติง/files/basic-html/page1.html



ภาพที่ 48 การเผยแพร่ผลงานผ่านเว็บไซต์ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดิน

10.2 จัดทำรูปเล่มรายงานแบบหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ผ่าน เว็บไซต์กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่อยู่เว็บไซต์ https://webapp.idd.go.th/lpd/remote_sensing.php โดยผู้สนใจสามารถดาวน์โหลดไฟล์ และอ่านแบบ E-Book



ภาพที่ 49 การเผยแพร่ผลงานผ่านเว็บไซต์ห้องสมุดกรมพัฒนาที่ดินผ่านเว็บไซต์กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

10.3 จัดทำโครงการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่บุคลากรในหน่วยงาน



บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน ฝ่ายบริหารทั่วไป โทร. ๒๑๘๘
 ที่ กษ.๐๘๓๗.๐๑/๕๓ วันที่ ๕ พฤศจิกายน ๒๕๖๖
 เรื่อง ขอส่งแผนการถ่ายทอดความรู้ (coaching) ปีงบประมาณ ๒๕๖๗

เรียน ผู้อำนวยการกองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

ตามที่ กรมฯ ได้กำหนดตัวชี้วัดรายบุคคลด้านการพัฒนาบุคลากร “ระดับความสำเร็จของการพัฒนาบุคลากรในหน่วยงาน” ของปีงบประมาณ ๒๕๖๗ และให้ดำเนินการตามเกณฑ์ตัวชี้วัด ซึ่ง กนผ. ได้ให้ข้าราชการในสังกัด ระดับเชี่ยวชาญ มีการถ่ายทอดความรู้ (coaching) ให้บุคลากรภายในหน่วยงาน จำนวน ๔ เรื่อง นั้น

ในการนี้ ข้าพเจ้า ได้จัดทำแผนการถ่ายทอดความรู้ให้บุคลากรภายในหน่วยงาน จำนวน ๔ เรื่อง ดังนี้

๑. เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเบื้องต้น
กำหนดการ วันที่ ๑๓ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๗
๒. การใช้ Google Earth Engine เบื้องต้น (workshop)
กำหนดการ วันที่ ๑๔ พฤษภาคม ๒๕๖๗
๓. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดิน
กำหนดการ วันที่ ๑๖ กรกฎาคม ๒๕๖๗
๔. การใช้ Google Earth Engine เพื่องานพัฒนาที่ดิน (workshop)
กำหนดการ วันที่ ๒๐ สิงหาคม ๒๕๖๗

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาอนุมัติให้มีการถ่ายทอดความรู้ดังกล่าว

นพพร หงษ์

(นายทศน์ศุว รัตนแก้ว)

นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

ภาพที่ 50 เอกสารกำหนดการถ่ายทอดความรู้ (coaching) ให้บุคลากรในหน่วยงาน



ที่ กษ ๐๘๓๗.๐๑/๔๓

ลงวันที่ ๕ มกราคม ๒๕๖๗

เรื่อง ขอสั่งแผนการถ่ายทอดความรู้ (Coaching) ปีงบประมาณ ๒๕๖๗

ความเร่งด่วน

ปกติ

ชั้นความลับ

ปกติ

การดำเนินการ

ส่งจาก: กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

ผู้ส่ง: นางสาวปรีชารัตน์ ชัยลังกา

วันเวลาส่ง: ๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗ ๑๔:๒๘

-เห็นชอบในส่วนของหัวข้อ (วันที่ coaching
อาจมีการเปลี่ยนแปลง)

-มอบฝ่ายเลขานุการะทำงานวิชาการฯ (คุณคณาธิป วณ)

ดำเนินการต่อไป

(นายเชษฐา จันทรวง)

ผู้อำนวยการกองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗ เวลา ๑๔:๒๐

นายพนันท์ รัตนแก้ว

เลขรับ (รอรับ)

วันที่

เวลา

ส่งจาก: กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

ผู้ส่ง: นางสาวปรีชารัตน์ ชัยลังกา

วันเวลาส่ง: ๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗ ๑๔:๒๘

-เห็นชอบในส่วนของหัวข้อ (วันที่ coaching
อาจมีการเปลี่ยนแปลง)

-มอบฝ่ายเลขานุการะทำงานวิชาการฯ (คุณคณาธิป วณ)

ดำเนินการต่อไป

(นายเชษฐา จันทรวง)

ผู้อำนวยการกองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗ เวลา ๑๔:๒๐

กลุ่มนโยบายและวางแผนการใช้ที่ดิน

เลขรับ ๒๓

วันที่ ๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗

เวลา ๑๔:๒๐

ส่งจาก: กลุ่มนโยบายและวางแผนการใช้ที่ดิน

(นางสาวกรรณิสา สฤกษ์ศิริ)

ผู้ส่ง: นายณัฐพงศ์ เสกบัณฑิตย์

วันเวลาส่ง: ๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗ ๑๔:๓๔

เขียน ผอ. วณ เพื่อโปรดทราบ

-เห็นชอบในส่วนของหัวข้อ (วันที่ coaching
อาจมีการเปลี่ยนแปลง) -

มอบฝ่ายเลขานุการะทำงานวิชาการฯ (คุณคณาธิป วณ)

ดำเนินการต่อไป

นางสาวกรรณิสา สฤกษ์ศิริ

เลขรับ

วันที่ ๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗

เวลา ๑๔:๒๖

ส่งจาก: นางสาวกรรณิสา สฤกษ์ศิริ

วันเวลาส่ง: ๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗ ๑๔:๒๗

มอบหมายคุณคณาธิปพิจารณาดำเนินงาน

(นางสาวกรรณิสา สฤกษ์ศิริ)

ผู้อำนวยการกลุ่มนโยบายและวางแผนการใช้ที่ดิน

๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗ เวลา ๑๔:๒๖

นายคณาธิป พุ่มทอง

เลขรับ (ปิดเรื่อง)

วันที่ ๐๕ มี.ค. ๒๕๖๗

เวลา ๑๖:๒๐

ภาพที่ 51 เอกสารแสดงความเห็นชอบให้จัดการถ่ายทอดความรู้ (coaching) ให้บุคลากร
ในหน่วยงาน

11. ผู้มีส่วนร่วมในผลงาน

นายทศนัศว์ รัตนแก้ว นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

สัดส่วนการทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์

หน้าที่ รวบรวมเอกสารข้อมูล และผลงานวิจัย การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์เพื่องานพัฒนาที่ดิน รวบรวมแผนที่และฐานข้อมูลทางสารสนเทศ ภูมิศาสตร์เชิงเลข ได้แก่ ฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน ฐานข้อมูลขอบเขตการปกครอง เป็นต้น วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลทั้งหมดเพื่อจัดเตรียมเค้าโครงการจัดทำคู่มือ และรายละเอียดของเนื้อหา จัดทำเอกสารวิชาการการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์เพื่องานพัฒนาที่ดิน

ขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ

(ลงชื่อ) ทศนัศว์ รัตนแก้ว

(นายทศนัศว์ รัตนแก้ว)

ตำแหน่ง นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ

ผู้ขอประเมิน

ขอรับรองว่าสัดส่วนการดำเนินการข้างต้นเป็นความจริงทุกประการ (ถ้ามี)

รายชื่อผู้มีส่วนร่วมในผลงาน	ลายมือชื่อ

ได้ตรวจสอบแล้วขอรับรองว่าผลงานดังกล่าวข้างต้นถูกต้องตรงกับความเป็นจริงทุกประการ

(ลงชื่อ)

(นายชาคริต อินณะระ)

ตำแหน่ง ผู้อำนวยการกองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล

(ลงชื่อ)

(นายปราโมทย์ ยาใจ)

ตำแหน่ง

อธิบดีกรมพัฒนาที่ดิน

ผู้บังคับบัญชาที่เหนือขึ้นไป

หมายเหตุ คำรับรองจากผู้บังคับบัญชาอย่างน้อยสองระดับ คือ ผู้บังคับบัญชาที่กำกับดูแล และผู้บังคับบัญชาที่เหนือขึ้นไป อีกหนึ่งระดับเว้นแต่ในกรณีที่ผู้บังคับบัญชาดังกล่าวเป็นบุคคลเดียวกัน ก็ให้มีคำรับรองหนึ่งระดับได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2560. **ภาพถ่ายออร์โธรีซีเชิงเลข**. กลุ่มจัดการและบริการแผนที่และข้อมูลทางแผนที่ สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ กรมพัฒนาที่ดิน. แหล่งที่มา <http://www.lds-service.org/services/ortho.php>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2545. **ฐานข้อมูลภาพถ่ายออร์โธรีซีเชิงเลข** มาตรฐาน 1 : 4,000.
- โครงการสำราญกรมไทยสำหรับเยาวชน. ม.ป.ป.. **ประโยชน์จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรในสาขาต่างๆ**. โครงการสำราญกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. แหล่งที่มา: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=16&chap=9&page=t16-9-infodetail08.html>, 11 ธันวาคม 2559.
- ชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2540. **การสำรวจข้อมูลระยะไกล**. หจก.ขอนแก่นการพิมพ์.
- ชิงชัย หุมทอง. 2559. **ซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software)**. แหล่งที่มา: <http://nu-gis.blogspot.com/2016/10/open-source-software-freedom.html>, 23 กุมภาพันธ์ 2565.
- ทศน์ศรี รัตนแก้ว. 2558. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน. **วารสารสมาคมนักเรียนทุนรัฐบาลไทย** 2558. หน้า 138-145.
- ทศน์ศรี รัตนแก้ว. 2560. **รายงานสภาพการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จังหวัดปราจีนบุรี พ.ศ. 2559**. กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- พงศ์พันธุ์ จันทะคัต, จิรภาส บุญทับ, โปรตปราน บุญยพุกคณะ, เยาวเรศ จันทะคัต และ ร้อยโท ปิยะชาย ชาญสุข. 2564. **แนวทางการประยุกต์ใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อการเฝ้าติดตามและประเมินผลความเสียหายจากภัยธรรมชาติ**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์.
- ยิ่งลักษณ์ กาญจนฤกษ์ อรณิชา เมียงบัว และ ทศน์ศรี รัตนแก้ว. 2566. **การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของรูปแบบการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร**. รายงานการวิจัย เสนอสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ. 304 หน้า.
- ลือศักดิ์ จักรพันธุ์. 2564. **Open Source Software อิสรภาพแห่งการสร้างคุณค่าและพัฒนาองค์การ**. แหล่งที่มา https://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn219A_p65-67.pdf, 14 กุมภาพันธ์ 2566
- สมพงษ์ เลียงโรคาพาธ. 2560. **Landsat 8: โครงการสานความต่อเนื่องข้อมูลภาพของพื้นโลก จากอดีตสู่อนาคต**. กองโครงสร้างพื้นฐานเทคโนโลยีดิจิทัล สำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. แหล่งที่มา: <http://www.space.mict.go.th/knowledge.php?id=Landsat8>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.

- อมร เพชรสว่าง. 2558. **องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ**. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). แหล่งที่มา <http://www.gistda.or.th/main/th/node/817>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.
- Abbas, F., H. Afzaal, A. A. Farooque, and S. Tang. 2020. Crop Yield Prediction through Proximal Sensing and Machine Learning Algorithm. **Agronomy** Vol. 10 (1046) Available Source: doi:10.3390/agronomy10071046, January 3, 2024.
- Acharya, T. D. and I. Yang. 2015. Exploring Landsat 8. International Journal of IT. **Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR)**. Vol. 4 (4) p. 4-10.
- Aggarwa, S. n.d. **Principles of Remote Sensing. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology**. Pp.23-38. Available Source: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=12b14094348ec7aa112081a58fa8751dd4442872>, February 10, 2017.
- Al-doski, J., S.B. Mansor, and H.Z.M. Shafri. 2013. Change Detection Process and Techniques. **Civil and Environmental Research**. Vol.3(10) p.37-45.
- Alzate, B. E. 2011. **Imágenes espaciales de la superficie terrestre. Procesamiento digital, análisis y extracción de información temática**. Notas de clase. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Available Source: DOI: <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n2-2017006>, February 10, 2017.
- Amondi, G. 2019. **Earth Observation System**. Available Source: <https://medium.com/@ochieng.grace/earth-observation-system-a41c545f0f87>, February 10, 2017.
- Aritra, G. 2016. **Electromagnetic Waves**. Available Source: <https://socratic.org/questions/what-is-the-source-of-electromagnetic-waves#316240>, September 09, 2022.
- Avand, M. Avand, M. Mohammadi, F. Mirchooli, A. Kavian, and J. P. Tiefenbacher. 2020. A New Approach for Smart Soil Erosion Modelling: Integration of Empirical and Machine Learning Models. Available Source: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-809330/v1>, September 09, 2022.
- Cepheiden. 2009. **Atmospheric window**. Available Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_window_EN.svg, September 09, 2022.
- Chang, J. and D. Clay. 2016. **Matching Remote Sensing to Problems**. Chapter 22: Matching Remote Sensing to Problems. In Clay, D. E., C. G. Carlson, S. A. Clay, and E. Byamukama (eds). iGrow Corn: Best Management Practices. South Dakota State University. Available Source: https://www.researchgate.net/publication/310751847_Matching_Remote_Sensing_to_Problems, September 09, 2022.
- Clarke, T. n.d. **Ground-based Remote Sensing**. USDA ARS Pacific West Area Remote Sensing Workshop. Available Source: <https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20000000/>

- Clarke,%20Tom_Ground-based%20Remote%20Sensing.pdf, February 09, 2023.
- Department of Geography. n.d. **Characteristics of Remotely Sensed Imagery**. Department of Geography, Faculty of Arts, University of British Columbia. Available Source <https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geog373/lectures/Handouts/lecture07.pdf>, February 10, 2017.
- Dozie, J. and T. H. Painter 2004. Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing of Alpine Snow Properties. **Annu. Rev. Earth Planet. Sci.** Vol. 3 . Available Source: <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120404>, February 09, 2023.
- Duan, M and X. Zhang. 2021. Using remote sensing to identify soil types based on multiscale image texture features. **Computers and Electronics in Agriculture**. Vol.187 Available Source: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106272>, February 09, 2023.
- Edmund Optics Inc. 2 0 2 3 . **Hyperspectral and Multispectral Imaging**. Available Source: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/applicationnotes/imaging/hyperspectral-and-multispectral-imaging/>, February 9, 2023.
- Elhag, M. and J. A. Bahrawi. 2016. Soil Salinity Mapping and Hydrological Drought Indices Assessment in Arid Environments Based on Remote Sensing Techniques. **Geosci. Instrum. Method. Data Syst. Discuss.** 31p.
- Esfandiari M., G. Abdi, S. Jabari, H. McGrath, and D. Coleman. 2020. Flood Hazard Risk Mapping Using a Pseudo Supervised Random Forest. **Remote Sensing**. Vol.12 (3206). Available Source: [doi:10.3390/rs12193206](https://doi.org/10.3390/rs12193206), February 9, 2023.
- European Space Agency. n.d. **Sentinel-1 C-band Synthetic Aperture Radar (SAR)**. Available Source: <https://www.earthdata.nasa.gov/sensors/sentinel-1-c-sar>, February 9, 2023.
- Farhadi, H. and M. Najafzadeh. 2 0 2 1 . Flood Risk Mapping by Remote Sensing Data and Random Forest Technique. **Water**. Vol.13 (3115). Available Source: <https://doi.org/10.3390/w13213115>, February 9, 2023.
- Fornacca, D., G. Ren, and W. Xiao. 2 0 1 7 . Performance of Three MODIS Fire Products (MCD4 5 A1 , MCD6 4 A1 , MCD1 4 ML), and ESA Fire_CCI in a Mountainous Area of Northwest Yunnan, China, Characterized by Frequent Small Fires. **Remote Sensing** Vol.9 20 p.
- Ganjirad, M. and M.R. Delavar, 2023. Flood Risk Mapping Using Random Forest and Support Vector Mmachine. **ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Volume X-4/W1-2022. p. 201-208.
- Gao, B. 1996. NDWI -A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water from Space. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 58 (3) pp. 257-266.

- Gashu, M. W. 2022. **Integration of Remote sensing and Google Earth Engine for land use/land cover change analysis in small agricultural watershed (A case of Brante watershed, Ethiopia)**. Available Source: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2014415/v1>, February 23, 2023,
- GIF. 2008. **Landsat Spectral Band Information**. RS/GIS Quick Start Guides. Collaborative training materials available from the Biodiversity Informatics & Geospatial Innovation Facilities. Available Source: <http://gif.berkeley.edu/documents/Landsat%20Band%20Information.pdf>, February 23, 2017.
- Giglio, L., J. T. Randerson, and G. R. Werf. 2013. Analysis of daily, monthly, and annual burned area using the fourth-generation global fire emissions database (GFED). **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences** Vol. 118 p. 317–32.
- GISGeography. 2022. **100 Earth Shattering Remote Sensing Applications & Uses**. Available Source: <https://gisgeography.com/remote-sensing-applications/>, December 23, 2022.
- GISRSStudy. 2023. **Components of Remote Sensing**. Available Source: <https://gisrsstudy.com/remote-sensing/>, February 09, 2023.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman and M.N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment** Vol.58 (3) p. 289-298.
- Glowienka, E., K. Michalowska, A. Pekala, B. Hejmanowska. 2016. **Application of GIS and Remote Sensing Techniques in Multitemporal Analyses of Soil Properties in the Foreland of the Carpathians**. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 44(2016) 052044. Available Source: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/44/5/052044/pdf>, March 18, 2021.
- Gogumalla, Pranuthi, S. Rupavatharam, A. Datta, R. Khopade, P. Choudhari, R. Dhulipala, and S. Dixit. 2022. Detecting Soil pH from Open-Source Remote Sensing Data: A Case Study of Angul and Balangir Districts, Odisha State. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**. Available Source: <https://doi.org/10.1007/s12524-022-01524-9>, December 19, 2023.
- Google Earth Engine. n.d. **A planetary-scale platform for Earth science data & analysis**. Available Source: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets>, December 19, 2023
- Graham C., J. Girkin, C. Bourgenot. 2022. **Spectral index selection method for remote moisture sensing under challenging illumination conditions**. Available Source: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-18801-9>, December 19, 2023.

- Gulácsi, A. and F. Kovács. 2020. Sentinel 1-Imagery-Based High-Resolution Water Cover Detection on Wetlands, Aided by Google Earth Engine. *Remote Sensing*. Vol. 12(10) 20 p. Available Source: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1614>, February 12, 2023.
- Gxokwe, S., T. Dube, and D. Mazvimavi. 2020. Multispectral Remote Sensing of Wetlands in Semi-Arid and Arid Areas: A Review on Applications, Challenges and Possible Future Research Directions. *Remote Sensing*. Vol.12 19 p. doi:10.3390/rs12244190 Available Source: www.mdpi.com/journal/remotesensing, February 09, 2023
- Hamidisepehr, A., M. P. Sama, J. S. Dvorak, O. O. Wendroth, and M. D. Montross. 2020. Classifying Reflectance Targets under Ambient Light Conditions Using Passive Spectral Measurements. *Sensors*. Vol. 20 doi:10.3390/s20185375, Available Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5375>, February 12, 2023.
- Hatari Lab. 2018. **Land cover spectral signatures determination with QGIS 3 and Semi-Automatic Classification Plugin (SCP 6) – Tutorial**. Available Source: <https://hatarilabs.com/iHEN/land-cover-spectral-signatures-determination-with-qgis-3-and-semi-automatic-classification-plugin-scp-6-tutorial>, February 10, 2017.
- Hird, J.N., E. R. DeLancey, G. J. McDermid, and J. Kariyeva. 2017. Google Earth Engine, Open-Access Satellite Data, and Machine Learning in Support of Large-Area Probabilistic Wetland Mapping. *Remote Sensing*. Vol. 9 (12) 27 p. Available Source: <https://doi.org/10.3390/rs9121315>, February 09, 2023.
- Horning, N., P. T. McPhearson, and O. C. Wallace. n.d. **An Introduction to Remote Sensing**. Available Source: https://www.academia.edu/12190786/An_Introduction_to_Remote_Sensing, February 09, 2023.
- Htitiou, A. , A. Boudhar, Y. Lebrini, R. Hadria, H. Lionboui, L. Elmansouri, B. Tychon, T. Benabdelouahab. 2019. The Performance of Random Forest Classification Based on Phenological Metrics Derived from Sentinel 2 and Landsat 8 to Map Crop Cover in an Irrigated Semi-arid Region. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*. Available source: <https://doi.org/10.1007/s41976-019-00023-9>, April 10, 2022.
- Hunt, E. R. Jr. and Rock, B. N. 1989. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. *Remote Sens. Environ.* Vol.30 p. 43–54, Available source: doi:10.1016/0034-4257(89)90046-1, April 10, 2022.
- Huth, Juliane, C. Kuenzer, T. Wehrmann, S. Gebhardt, V. Q. Tuan, and S. Dech. 2012. Land Cover and Land Use Classification with TWOPAC: towards Automated Processing for Pixel- and Object-Based Image Classification. *Remote Sensing*. 4 (9) p. 2530-255. Available Source: <https://doi.org/10.3390/rs4092530>, February 15, 2023.

- Indian Agricultural Statistics Research Institute. 2014. **Lesson 12 Image Classification**. Available Source: <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=2065>, December 10, 2022.
- Jensen, J.R. 2000. **Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective Second edition**. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 592p.
- Khan, M. A. and F. UrRehman. 2012. Free and Open Source Software: Evolution, Benefits and Characteristics. **International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science (IJETTCS)**. Vol. 1(3) 7 p. Available Source: <https://www.researchgate.net/publication/2560883>, February 15, 2023.
- Kulo, N. 2018. **Benefits of the Remote Sensing Data Integration**. Department of Geodesy and Geoinformatics, Faculty of Civil Engineering University of Sarajevo, Sarajevo, Bosnia and Herzegovina. Available Source: <https://www.researchgate.net/publication/329443299>, February 15, 2023.
- Kyriakos, C. and M. Vavalis. 2023. Business Intelligence through Machine Learning from Satellite Remote Sensing Data. **Future Internet**. Vol. 15 (11) 29 p. Available Source: <https://doi.org/10.3390/fi15110355>, February 15, 2023.
- Liaghat, S. and S.K. Balasundram, 2010. A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture. **Am. J. Agric. Biol. Sci.** Vol.5 p. 50-55.
- Luo, C., X. Zhang, Y. Wang, Z. Men, and H. Liu. 2022. Regional soil organic matter mapping models based on the optimal time window, feature selection algorithm and Google Earth Engine. **Soil and Tillage Research**. Vol. 219 Available Source: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167198722000113>, April 10, 2022.
- Martinez-Fernandez, J., A. González-Zamora, N. Sánchez, A. Gumuzzio, and C.M. Herrero-Jiménez. 2016. Satellite soil moisture for agricultural drought monitoring: Assessment of the SMOS derived Soil Water Deficit Index. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 177 p.277-286.
- Mather, P M. and B. Tso. 2009. **Classification Methods for Remotely Sensed Data**. CRC Press, Boca Raton. 347p.
- Mazur, P., D. Gozdowski, and A. Wnuk. 2022. Relationships between Soil Electrical Conductivity and Sentinel 2-Derived NDVI with pH and Content of Selected Nutrients. **Agronomy**. Vol. 12 (2) 17 p.

- Medina, J. A. V. and B. E. A. Atehortúa. 2018. Comparison of maximum likelihood, support vector machines, and random forest techniques in satellite images classification. **Tecnura**. Vol. 23 (59) p. 13-26. Available Source: <https://doi.org/10.14483/22487638.14826>, December 11, 2022.
- Mishra, S. and S. Jabin. 2020. **Land Use Land Cover Change Detection using LANDSAT images: A Case Study**. 2020 IEEE 5th International Conference on Computing Communication and Automation (ICCCA) Galgotias University, Greater Noida, UP, India. Oct 30-31, 2020. 6p.
- Mojaddadi, H., B. Pradhan, H. Nampaka, N. Ahmada, and A.H. Ghazalia. 2017. **Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS**. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. Available Source: <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1294113>, February 1, 2022.
- Montzka, C., M. Cosh, J. Nickeson, and F. Camacho. 2020. **Soil Moisture Product Validation Good Practices Protocol Version 1.0**. Committee on Earth Observation Satellites Working Group on Calibration and Validation Land Product Validation Subgroup. NASA's Langley Research Center Hampton, VA. 123p.
- Morgan, L. and P. Finnega. 2007. **Benefits and Drawbacks of Open Source Software: An Exploratory Study of Secondary Software Firms**. Conference: Open Source Development, Adoption and Innovation, IFIP Working Group 2.13 on Open Source Software, June 11-14, 2007, Limerick, Ireland.
- Nair, S. S. 2012. **Geoinformatics Applications in Disaster Management**. National Institute of Disaster Management Ministry of Home Affairs, Government of India New Delhi, India. 214 p.
- Navalgund, R. R. 2001. Sensors and Platforms. **Remote sensing Part 1. Basics and applications, Resonance**. Vol.6 (12) pp.51-60.
- Navalgund, R. R., V. Jayaraman, and P. S. Roy. 2007. Remote sensing applications: An overview. *Current Science*. Vol. 93 (12) pp. 1747-1766.
- Omiá, Emmanuel, H. Bae, E. Park, M. S. Kim, I. Baek, I. Kabenge, and B. Cho. 2023. Remote Sensing in Field Crop Monitoring: A Comprehensive Review of Sensor Systems, Data Analyses and Recent Advances. **Remote Sens**. 2023, 15, 354. Available Source: <https://doi.org/10.3390/rs15020354>, February 15, 2023.
- Onojeghuo, A. O., G. A. Blackburn, Q. Wang, P. M. Atkinson, D. Kindred, Y. Miao. 2018. Mapping paddy rice fields by applying machine learning algorithms to multi-temporal Sentinel 1A and Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**. Vol. 39 (4) 26p.
- Onojeghuo, A. O., A. R. Onojeghuo, M. Cotton, J. Potter, and B. Jones. 2021. Wetland mapping with multi-temporal sentinel-1 & -2 imagery (2017 – 2020) and LiDAR data in the grassland

- natural region of alberta. **Giscience & Remote Sensing**. Vol. 58 (7). Available Source: <https://doi.org/10.1080/15481603.2021.1952541>, February 10, 2022.
- Opella, J.M.A. and A.A. Hernandez. 2019. **Developing a Flood Risk Assessment Using Support Vector Machine and Convolutional Neural Network: A Conceptual Framework**. 019 IEEE 15th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA). p.260-265.
- Pakdel-Khasmakhi, H., M. Vazifedoust, D. R. Paudyal, S. Chadalavada, and M J. Alam. 2022. Google Earth Engine as Multi-Sensor Open-Source Tool for Monitoring Stream Flow in the Transboundary River Basin: Doosti River Dam. **ISPRS Int. J. Geo-Inf.** Vol 11 (535) 28 p. Available Source: <https://doi.org/10.3390/ijgi11110535>, February 10, 2017.
- Philpot, W. 2010. **Spectral Reflectance of Wetted Soils**. Presented at the Symposium: Art, Science and Applications of Reflectance Spectroscopy (ASARS), Sponsored by Analytical Spectral Devices, Inc., February 23-25, 2010, Boulder CO. 12p.
- Piekutowska, M., G. Niedbała, M. Adamski, M. Czechowski, T. Wojciechowski, A. Czechowska-Kosacka, K. W. Oliveira. 2018. Modeling Methods of Predicting Potato Yield-Examples and Possibilities of Application. **Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering**. Vol3 (4). Available Source: https://www.researchgate.net/publication/329991094_MODELING_METHODS_OF_PREDICTING_POTATO_YIELD-EXAMPLES_AND_POSSIBILITIES_OF_APPLICATION, February 15, 2023.
- Poortinga, A, K. Tenneson, A. Shapiro, Q. Nquyen, K. S. Aung, F. Chishtie, and D. Saah. 2019. Mapping Plantations in Myanmar by Fusing Landsat-8, Sentinel 2 and Sentinel 1 Data along with Systematic Error Quantification. **Remote Sensing** Vol.11(7) Available Source: <https://doi.org/10.3390/rs11070831>, February 10, 2017.
- Priya, S. Y., R. Prabu, and G. Poongodi. 2018. **Open Source Software in Libraries: Pros and Cons.Conference: Open Source Integrated Library SystemsAt: Chennai, India**, Available Source: <https://www.researchgate.net/publication/32328959>, February 10, 2017.
- Punia, M. n.d. **Unsupervised Classification**. Available Source: <https://www.shivajicollege.ac.in/sPanel/uploads/econtent/c9f0f033a921e9cf4b7967c66eec2bd7.pdf>, March 10, 2022.
- Rahman, M. L. and S. H. Rahman. 2021. Detection of Land Use Land Cover Changes Using Remote Sensing and GIS Techniques in a Secondary City in Banglades. **Grassroots Journal of Natural Resources**. Vol.4 (3) 15p.
- Rajeswari, N. 2019. Overview of Cloud Computing and Its Types. **SRN Electronic Journal**. Available Source: https://www.researchgate.net/publication/354683300_OVERVIEW_OF_CLOUD_COMPUTING_AND_ITS_TYPES, March 10, 2022.

- Ramachandra, T.V., T. Mondal. B. Setturu. 2023. Relative performance evaluation of machine learning algorithms for land use classification using multispectral moderate resolution data. **SN Applied Sciences**. Available Source: <https://doi.org/10.1007/s42452-023-05496-4>, March 10, 2024.
- Randhawa, S. 2008. **Open Source Software and Libraries**. Centre for Research in Rural and Industrial Development (CRRID), Chandigarh, India. Available Source: <https://www.researchgate.net/publication/23706235>, March 10, 2022.
- Ray, S.S.n.d.**Basics of Remote Sensing**.Mahalanobis National Crop Forecast Centre, Department of Agriculture & Cooperation, Krishi Vistar Sadan, Pusa Campus, New Delhi, India. Available Source: <https://www.ncfc.gov.in/publications/p1.pdf>, February 10, 2023.
- Reis, R. S., N. Datia, M. P. M. Pato. 2020. A primer on understanding Google Earth Engine APIs. **ISEL Academic Journal of Electronics, Telecommunications and Computers** Vol. 6 (1) Available Source: https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/12353/1/A%20primer_NDatia.pdf, February 10, 2023.
- Rong, C. and W. Fu. 2023. A Comprehensive Review of Land Use and Land Cover Change Based on Knowledge Graph and Bibliometric Analyses. **Land** Vol.12 (8), 1573. Available Source: <https://doi.org/10.3390/land12081573>, February 21, 2024.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering.1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS, *In* Freden, S.C., E.P. Mercanti, and M. Becker (eds). **Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium.Volume I: Technical Presentations**, NASA SP-3 5 1 , NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.
- Samardžic-Petrovic, M. Kovacevic, B. Bajat, and S. Dragicevic. 2017. Machine Learning Techniques for Modelling Short Term Land-Use Change. **Int. J. Geo-Inf**. Available Source: <https://doi.org/10.3390/ijgi6120387>, February 10, 2023.
- Satellite Imaging Corporation. 2022a. **Characterization of Satellite Remote Sensing Systems**. Available Source: <https://www.satimagingcorp.com/services/resources/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems/>, February 10, 2023.
- Satellite Imaging Corporation. 2022b. **Sentinel 2A Satellite Sensor (10m)**. Available Source: https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/Sentinel_2a/, February 09, 2022.
- School of Earth and Environmental Sciences. n.d. **What is remote sensing?**. School of Earth and Environmental Sciences, University of Queensland. Available Source: <https://sees-rsrc.science.uq.edu.au/rstoolkit/en/html/terrestrial/resources/what-is-remote-sensing.html/>, February 09, 2022.

- Sheth, A., Sachin B., and H. Kadam. 2021. Research Paper on Cloud Computing. **Contemporary Research in India (ISSN 2231-2137): Special Issue (April 2021)**. Available Source: https://www.researchgate.net/publication/352477780_Research_Paper_on_Cloud_Computing, February 10, 2023.
- Short, N. M. and J. Robinson. n.d. **Minimum Distance Classification**. Available Source: http://priede.bf.lu.lv/GIS/Descriptions/RST/Sect1/nicktutor_1-16.shtml, February 10, 2023.
- Sishodia, R. P., R. L. Ray, and S. K. Singh. 2020. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. **Remote Sensing**. Vol. 12 (3136) 31 p. Available Source: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/19/3136>, February 10, 2023.
- Sudhakar, S. and R. S. Kameshwara, 2020. **Land use and Land Cover Analysis. Remote Sensing Applications, National Remote Sensing Center NRSC**. Available Source: https://www.nrsc.gov.in/Knowledge_EBooks, February 10, 2023.
- Taghadosi, M. M.; Hasanlou, M.; Eftekhari, K. 2018. **Soil salinity mapping using dual-polarized SAR Sentinel 1 imagery**. *Int. J. Remote Sens.* Vol 40. P. 237–252.
- Talukdar, S., P. Singha, S. Mahato, and S. Pal. 2022. Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review. **Remote Sensing**. Vol 12 24 p. Available Source: doi:10.3390/rs12071135, February 10, 2023.
- Thompson, C., N. W. Guo, B. Sharma, and G. L. Ritchi. 2015. **Using Normalized Difference Red Edge Index to Assess Maturity in Cotton**. *Crop Science*. Vol. 59. 11p.
- Tian, H.F., N. Huang, Z. Niu, Y.C. Qin, J. Pei, and J. Wang. 2019. Mapping Winter Crops in China with Multi-Source Satellite Imagery and Phenology-Based Algorithm. **Remote Sensing**. Vol. 11 (820) 23 p. Available Source: <https://doi.org/10.3390/rs11070820>, February 10, 2023.
- Triscowati, D. W., B. Sartono, A. Kurnia, D. Dirgahayu, A. W. Wijayanto. 2020. Classification of Rice-Plant Growth Phase Using Supervised Random Forest Method Based on Landsat-8 Multitemporal Data. **International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences** Vol. 16 (2) p. 187-196.
- United States Geological Survey (USGS). n.d. **Landsat Satellite Missions**. Available Source: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>, February 10, 2023.
- University of Hawaii. n.d. **Remote Sensing of Invasive Species in Makaha Valley**. Available source: https://www.ctahr.hawaii.edu/miuralab/projects/makaha/intro_rs.html, February 10, 2022.
- Urbina-Salazar, D., E. Vaudour, N. Baghdadi, E. Ceschia, A. C. Richer-de-Forges, S. Lehmann and Dominique. Arrouays. 2021. Using Sentinel 2 Images for Soil Organic Carbon Content Mapping in Croplands of Southwestern France. The Usefulness of Sentinel

- 1/2 Derived Moisture Maps and Mismatches between Sentinel Images and Sampling Dates. **Remote Sensing**. Vol.13 (5115) 22 p. Available source: <https://doi.org/10.3390/rs13245115>, February 10, 2023.
- USGS. 2016. **Landsat Missions**. U.S. Geological Survey (USGS). U.S. Department of the Interior. Available Source <https://landsat.usgs.gov/>, February 10, 2017.
- Vamanan, R and K. Ramar. 2011. Classification of Agricultural Land Soils a Data Mining Approach. **International Journal on Computer Science and Engineering**. Vol. 3 No. 1, 379-384.
- Van Leeuwen, B., Z. Tobak, F. Kovács. 2020. **Machine Learning Techniques for Land Use/Land Cover Classification of Medium Resolution Optical Satellite Imagery Focusing on Temporary Inundated Areas**. **Journal of Environmental Geography**. Vol.13 (1–2) p. 43–52.
- Vaudour, E., C. Gomez, Y. Fouad, P. Lagacherie. 2019. Sentinel 2 image capacities to predict common topsoil properties of temperate and Mediterranean agroecosystems. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 223 p. 21–33.
- Velastegui-Montoya, A, N. Montalván-Burbano, P. Carrión-Mero, H. Rivera-Torres, L. Sadeck, and M. Adami. 2023. Google Earth Engine: A Global Analysis and Future Trends. **Remote Sensing**. Vol.15 30 p. Available Source: <https://doi.org/10.3390/rs15143675>, February 15, 2023.
- VoPham, T., J. E. Hart, F. Laden, and Y. Chiang. 2018. Emerging trends in geospatial artificial intelligence (geoAI): potential applications for environmental epidemiology. **Environmental Health**. Available Source: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12940-018-0386-x>, December 21, 2022.
- Wagle, N., T.D. Acharya, D. Lee. 2020. A comprehensive review on application of machine learning algorithms for water quality parameter estimation using remote sensing data. **Sensors and Materials** Vol. 32 (11) p. 3879–3892.
- Wang, L. and J.J. Qu. 2007. NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. **Geophysical Research Letters**. Vol. 34 5 p. Available Source: [doi:10.1029/2007GL031021](https://doi.org/10.1029/2007GL031021), December 21, 2022.
- Wang, L., J. Liua, S. Xub, J. Dongc, and Y. Yang. 2017. Forest Above Ground Biomass Estimation from Remotely Sensed Imagery in the Mount Tai Area Using the RBF ANN Algorithm. **Intelligent Automation & Soft Computing**. Available Source: <http://dx.doi.org/10.1080/10798587.2017.1296660>, December 21, 2022.
- Wu B., M. Zhang, H. Zeng, F. Tian, A.B. Potgieter, X. Qin, N. Yan, S. Chang, Y. Zhao, Q. Dong, V. Boken, D. Plotnikov, H. Guo, F. Wu, H. Zhao, B. Deronde, L. Tits, and E. Loupian. 2023.

Challenges and opportunities in remote sensing-based crop monitoring: a review.

National Science Review. Available Source: <https://doi.org/10.1093/nsr/nwac290>, February 1, 2024.

Zhu, Z., S. Qiu, B. He, and C. Deng. 2018. **Cloud and Cloud Shadow Detection for Landsat Images: The Fundamental Basis for Analyzing Landsat Time Series.** Available source: <https://www.researchgate.net/topic/Landsat/publications>, December 21, 2022.