

รายงาน

การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติง  
เพื่องานพัฒนาที่ดิน

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

โดย

นายทศนัศว์ รัตนแก้ว

กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน

กรมพัฒนาที่ดิน

มีนาคม 2566



## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(4)
<b>บทที่1 บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
<b>บทที่2 การการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล</b>	<b>3</b>
2.1 หลักการเบื้องต้นเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล	3
2.2 องค์ประกอบของเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล	8
2.2 การประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดิน	26
<b>บทที่3 การพัฒนากระบวนการแปลตีความการใช้ที่ดินแบบอัตโนมัติ</b>	<b>29</b>
3.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแปลตีความการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล	29
3.2 การแปลตีความข้อมูลภาพด้วยสายตา	32
3.3 การจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์	36
3.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักรในการการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์	40
<b>บทที่ 4 การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติง</b>	<b>45</b>
4.1 ซอฟต์แวร์รหัสเปิด	47
4.2 คลาวด์คอมพิวติง	48
4.3 การใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินเบื้องต้น	50
4.4 การใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อการพัฒนาที่ดิน	61

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุป	66
5.1 สรุป	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	67
5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ	67
เอกสารอ้างอิง	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแบ่งช่วงสเปกตรัมตามความยาวช่วงคลื่น	10
2	ความละเอียดเชิงเวลาของดาวเทียมที่นิยมใช้ในการศึกษาทรัพยากรธรรมชาติ	18
3	ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system	19
4	ตัวอย่างการผสมแบนด์ของภาพถ่าย Landsat และคุณสมบัติในการจำแนกวัตถุบนพื้นโลก	22
5	รายละเอียดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-2	24

## สารบัญญภาพ

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

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแล	39
23	หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแลแบบ Maximum likelihood	40
24	กระบวนการการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแลโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ด้วยเครื่อง	42
25	ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจในการจำแนกข้อมูลสำรวจระยะไกล	44
26	หน้าต่างของ Code Editor	50
27	การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน GEE โดยวิธีปักหมุด	51
28	การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน GEE โดยวิธีการวาดรูปร่างภาพหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือวาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular)	52
29	การนำเข้าขอบเขตที่เตรียมไว้สู่ระบบ GEE	53
30	การเรียกใช้ขอบเขตที่นำเข้าสู่ระบบ GEE แล้ว	54
31	หน้าต่าง Data catalog	55
32	การเรียกใช้ภาพการนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในคลังข้อมูลบนคลาวด์	56
33	ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่เรียกจากคลังภาพโดยใช้ Code editor 3- 5	57
34	ภาพ Landsat 8 TOA reflectance ผสมสีภาพแบบสีจริง	58
35	ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ที่ใช้คำสั่งผสมสีภาพแบบสีจริงและตัดภาพ	59
36	ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ที่ดาวน์โหลดผ่าน GEE นำเข้าใช้งานในโปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศอื่นๆ	61
37	การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจินแบบไม่มีการควบคุมดูแล	63
38	ภาพดัชนี NDVI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat	64
39	กราฟค่า NDVI เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาโดยใช้ GEE	65





## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) ได้เข้ามามีบทบาทต่อการวิเคราะห์วางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน และติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่เป็นอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถบันทึกข้อมูลสภาพสิ่งปกคลุมดินหรือประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน รวมทั้งสภาพทรัพยากรในพื้นที่นั้น ๆ ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ การจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้จากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล นับเป็นพื้นฐานและขั้นตอนที่สำคัญที่สุดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ เช่น การจำแนกประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน การติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ การประมาณจำนวนเนื้อที่ และการประเมินผลทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น การพัฒนาของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในอดีตถึงปัจจุบัน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการประมวลผลภาพได้ก้าวหน้าผ่านการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (Object-based classification) โดยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ เป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้ทุกจุดภาพ (Pixel) ในการจำแนกเพียงอย่างเดียว แต่มีการใช้พารามิเตอร์อื่นร่วมในการจำแนกด้วย เช่น พื้นผิว มาตรการส่วน สี จากการจัดกลุ่มของจุดภาพหรือการแบ่งส่วนของภาพในการจัดประเภทข้อมูล จึงมีความแตกต่างกับวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel-based classification) ที่ใช้จุดภาพทุกจุดในการจัดประเภทข้อมูล ซึ่งมักเกิดข้อผิดพลาดในการจำแนกหากภาพที่ใช้ในการจำแนกมีสิ่งรบกวน เช่น เงาของเมฆ มุมตกกระทบของแสงที่ทำให้วัตถุมีค่าการสะท้อนผิดเพี้ยนไปจากปกติ ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนเชิงช่วงคลื่นของพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งค่าดังกล่าวอาจมีประโยชน์อย่างมากในการแยกแยะชนิดของพืชที่เซนเซอร์ของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ ประกอบกับระบบการเพาะปลูกพืชในภาคเกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสังเกตพัฒนาการของพืชในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น การประมาณผลผลิตพืช เป็นต้น ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์การจำแนกที่มีความถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นต้องมีหลายปัจจัยเข้ามามีส่วนร่วม ได้แก่ การเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลสนับสนุน การเลือกใช้ขั้นตอนในการจำแนกที่เหมาะสม รวมถึงทักษะการวิเคราะห์และประสบการณ์ของผู้ศึกษา ระบบการเรียนรู้เครื่อง (Machine learning) ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากอัลกอริทึมของระบบดังกล่าวเป็นอัลกอริทึมแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non-parametric algorithms) ไม่ตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูล ไม่ใช่ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ทางสถิติ (Statistical parameters) ในการจำแนกข้อมูลสามารถใช้จำแนกข้อมูลที่มีการกระจายหลากหลายแบบมีความรวดเร็วและแม่นยำในการจำแนกข้อมูลที่มีความซับซ้อนและปริมาณมาก มีการพัฒนาของอัลกอริทึมหลากหลายชนิดเพื่อนำมาเป็นทางเลือกใน

การจำแนกอย่างแพร่หลายมากยิ่งขึ้น เช่น อัลกอริทึมต้นไม้แห่งการตัดสินใจ (Decision tree) อัลกอริทึมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) อัลกอริทึมซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support vector machine) และอัลกอริทึมป่าสุ่ม (Random forest) ทำให้การใช้แมชชีนเลิร์นนิงกลายเป็นเรื่องยากน้อยลงเนื่องจากความก้าวหน้าของซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ (Hamidisephehr et. al., 2020)

แพลตฟอร์ม Google Earth Engine (GEE) เป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open-source software) และเป็นแพลตฟอร์มสำหรับประมวลผลแบบคลาวด์คอมพิวเตอร์ (Cloud computing platform) ให้บริการโดยบริษัทกูเกิล (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 ที่ได้จากตัดแปลงโดยการคำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตั้งต้น เช่น ชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ชุดข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวและชุดข้อมูลการเผาไหม้ เป็นต้น เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และการสร้างภาพ (Visualization) จากชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial information) นำมาวิเคราะห์และประมวลผลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น แสดงข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Precipitation) หรือข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) เป็นต้น (พงค์พันธ์ และคณะ, 2564) ซึ่งการทำงานของระบบจะทำงานผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต บนเว็บไซต์ <https://earthengine.google.com> โดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องความสามารถของอุปกรณ์และเวลาที่ใช้ในการประมวลผลจากปริมาณของข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นการทำงานผ่านระบบ คลาวด์ซึ่งถือเป็นเครื่องมือประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพเป็นอย่างมากสำหรับการประยุกต์ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล โดยไม่จำเป็นต้องดาวน์โหลดข้อมูล ซึ่งการให้บริการ GEE หากใช้เพื่อการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้อง สามารถใช้บริการได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ถือเป็นทางเลือกการละเมิดลิขสิทธิ์ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และลดข้อจำกัดในการเข้าถึงซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศที่อาจมีราคาสูง (พงค์พันธ์ และคณะ, 2564)

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 จัดทำเอกสารวิชาการการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์เพื่องานพัฒนาที่ดิน

1.2.2 ใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดิน

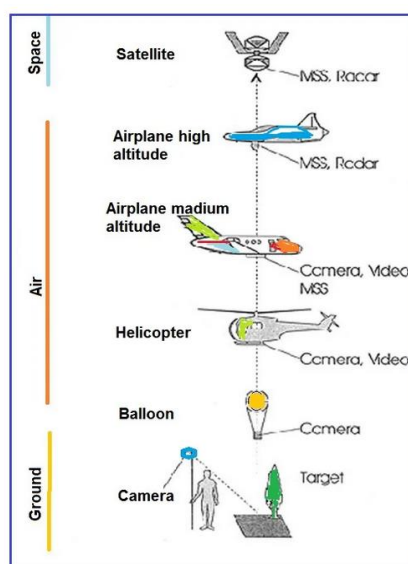
1.2.3 ใช้เป็นแนวทางในการเตรียมฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวเตอร์

## บทที่ 2

### การการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

#### 2.1 หลักการเบื้องต้นเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

เทคโนโลยีสำรวจระยะไกล (Remote Sensing: RS) เป็นการได้มาของข้อมูล (Data acquisition) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information extraction) ต่างๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานไปยังวัตถุ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลโดยการใช้อุปกรณ์จัดเก็บพลังงานสะท้อนกลับ แล้วทำการสกัดสารสนเทศต่างๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ ซึ่งการได้มาของข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่างๆ บนผิวโลก ระบบการตรวจวัดข้อมูล 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 โดยในการเลือกใช้อุปกรณ์สำรวจระยะไกลในแต่ละระดับมีเกณฑ์มากมายในการเลือกแต่เกณฑ์ที่สำคัญที่สุดคือความละเอียดที่ต้องการ ความครอบคลุมของพื้นที่ และค่าใช้จ่าย (Kulo, 2018; ทศนัศร, 2558)



ภาพที่ 1 การจัดเก็บข้อมูลโดยเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลระดับพื้นดิน ระดับอากาศ และระดับอวกาศ  
ที่มา : GISRSStudy (2023)

### 2.1.1 เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลแยกตามระดับการจัดเก็บข้อมูล 3 ประเภท

1) การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดิน (Ground based) เป็นการการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เซ็นเซอร์จัดเก็บค่าพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับพื้นดิน เช่น เครื่องวัดติดเซ็นเซอร์แบบแบบมือถือ (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) ประกอบกับมีการกำหนดค่าพิกัดบนพื้นโลก เซ็นเซอร์ชนิดนี้จะถูกติดกับพาหนะเช่นรถไถในบริเวณด้านหน้าหรือด้านหลังแล้วขับในแปลงปลูกพืช เซ็นเซอร์จะส่งคลื่นไฟฟ้าแม่เหล็ก (electromagnetic) ไปยังต้นพืช และรับคลื่นดังกล่าวที่พืชสะท้อนกลับรวบรวมจากจุดต่างๆ ที่ทั่วทั้งแปลง และสามารถจัดทำเป็นแผนที่ระดับแปลง แต่อย่างไรก็ตามการจัดเก็บข้อมูลในระดับพื้นดินมีค่าใช้จ่ายสูง และใช้เวลานานเพื่อให้ได้ข้อมูลเป็นบริเวณกว้าง (Sui et al., 2005; ทศน์ศวี, 2558; Chang and clay, 2016; Hamidisepehr et al., 2020) การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยทั่วไปนิยมใช้สำหรับวัดค่าคลื่นไฟฟ้าแม่เหล็กสำหรับสอบเทียบกับเซ็นเซอร์ในระดับอากาศและระดับอวกาศ ใช้เป็นปัจจัยสำหรับการจัดทำแบบจำลองการเติบโตทางกายภาพระดับทรงพุ่มของพืช และใช้เป็นปัจจัยป้อนเข้าโดยตรงสำหรับการตัดสินใจด้านการจัดการ (Kulo, 2018; Clarke, n.d.)



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



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

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 ซึ่งสามารถจัดทำได้เป็นภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข เช่น โครงการภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000 ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี 2545 (ภาพที่ 4) เป็นข้อมูลภาพที่ได้จากเซ็นดินเซอร์ที่ติดกับเครื่องบิน ข้อมูลภาพที่ได้มีกระบวนการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเนื่องจากเรขาคณิตของการถ่ายภาพและความสูงต่างของภูมิประเทศ (relief displacement) โดยมีระบบพิกัดอ้างอิง ผลลัพธ์ที่ได้คือภาพถ่ายที่ปรากฏรายละเอียดลักษณะสิ่งปกคลุมภูมิประเทศ ณ เวลาที่ทำการถ่ายภาพไว้ทั้งหมด มีมาตรฐานและความถูกต้อง สามารถวัดพิกัด ทิศทาง ระยะทาง ขนาด และรูปร่างของวัตถุได้เช่นเดียวกับแผนที่ลายเส้น หรือแผนที่ภูมิประเทศ มีระวางขนาด 50 x 50 ซม. 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) ที่ได้จากเซ็นดินเซอร์ที่ติดกับ UAV (ภาพที่ 5 และภาพที่ 6) ข้อดีของภาพถ่ายทางอากาศ คือ ข้อมูลที่ได้มีความเป็นปัจจุบันสูง ความละเอียดจุดภาพสูง สามารถบินถ่ายภาพในช่วงเวลาต่างๆได้ตามที่ต้องการ ได้ข้อมูลและสาระที่ถูกต้องครบถ้วน ประหยัดต้นทุนและเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับในการเดินสำรวจในพื้นที่จริง (Chang and Clay, 2016) แต่ยังมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าถ่ายภาพครอบคลุมได้น้อยกว่าและใช้เวลาการถ่ายภาพเก็บข้อมูลนานกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเก็บข้อมูลระดับอากาศ

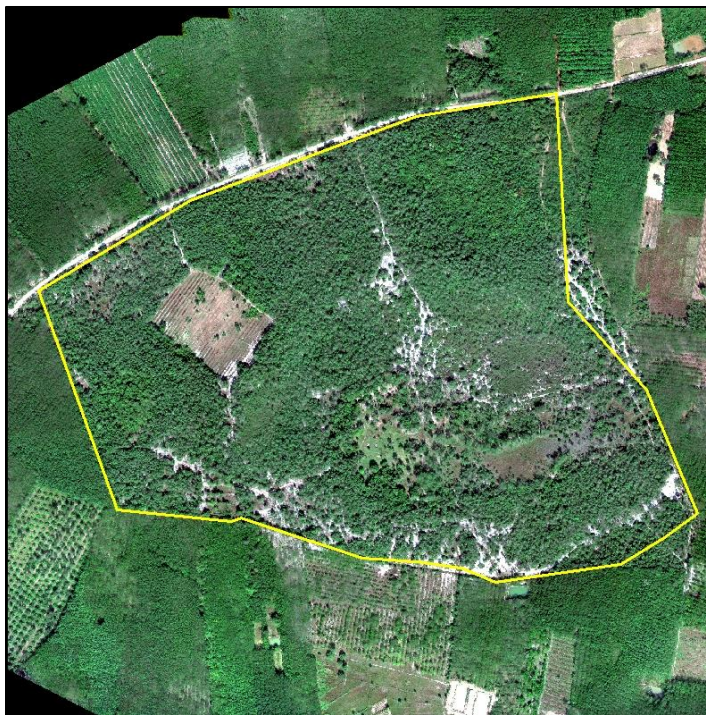


ภาพที่ 4 ตัวอย่างภาพถ่ายออร์โธรีซีเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000

ที่มา : ฐานข้อมูลภาพถ่ายออร์โธรีซีเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2545)



ภาพที่ 5 การจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดินโดยใช้เซ็นเซอร์ติดกับโดรน



ภาพที่ 6 ภาพถ่ายที่ได้จาก UAV ที่ติดกล้องชนิด multispectral ขนาดรายละเอียดของจุดภาพ 0.05 เมตร  
ที่มา : ทศนัศร์ (2565)

### 3) การจัดเก็บข้อมูลระดับอวกาศ

การสำรวจระดับอวกาศเป็นการจัดเก็บข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้เซ็นเซอร์ที่ติดบนพาหนะที่อยู่ในระดับอวกาศ (Kulo, 2018) เช่น กระสวยอวกาศ (space shuttles) ดาวเทียมโคจรผ่านขั้วโลก (polar-orbiting satellites) และดาวเทียมวงโคจรประจำที่ geostationary satellites (Navalgund, 2001) ซึ่งปัจจุบันมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมให้บริการในปริมาณมากมีทั้งดาวเทียมรายละเอียดสูง เช่น Quickbird 2 และ IKONOS (ทศนัศร์, 2558) และ ดาวเทียมรายละเอียดปานกลาง 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 เหมาะสำหรับการใช้ศึกษาแนวโน้มต่างๆ ทั้งสิ่งแวดล้อม สังคมและเศรษฐกิจ เป็นต้นในอนาคต นอกจากนี้ปัจจุบันภาพถ่ายดาวเทียมมีให้บริการหลายแห่งทั้งแบบไม่คิดค่าบริการและคิดค่าบริการ (Hird et al., 2017) ดาวเทียมที่สร้างขึ้นใหม่บางภารกิจ เช่น ภารกิจดาวเทียม Sentinel ได้พัฒนาโดยติดเซ็นเซอร์ หลายแบบทำให้สามารถใช้งานได้หลากหลายชั้น และมีความละเอียดเชิงพื้นที่สูงขึ้นสำหรับดาวเทียมที่ให้บริการแบบไม่เสียค่าใช้จ่าย (European Space Agency, n.d.)



ภาพที่ 7 การจัดเก็บข้อมูลระดับบรรยากาศโดยใช้เซ็นเซอร์ติดกับดาวเทียม

ที่มา : Amondi, 2019

## 2.2 องค์ประกอบของเทคโนโลยีสำรวจระยะไกล

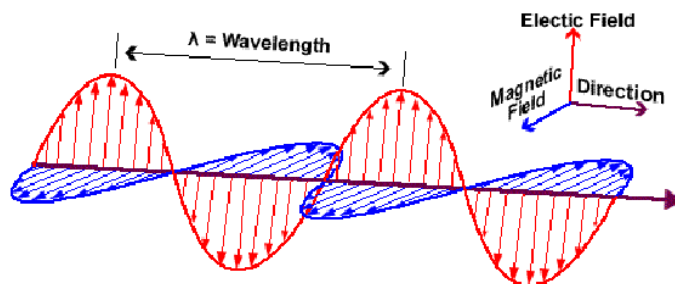
เนื่องจากเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลต้องอาศัยพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ปล่อยออกมาแล้วสะท้อนจากวัตถุไปยังเซ็นเซอร์เพื่อจัดเก็บ ซึ่งพลังงานดังกล่าวจะถูกปลดปล่อยออกมาสะท้อนกลับไปยังเซ็นเซอร์เพื่อจัดเก็บระดับปริมาณของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะช่วยในการระบุและจำแนกประเภทของวัตถุต่างๆ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

### 2.2.1 แหล่งพลังงานหรือแสงสว่าง

แหล่งพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยไปยังวัตถุสำหรับเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ แหล่งพลังงานตามธรรมชาติ ซึ่งโดยทั่วไปคือพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ และแหล่งพลังงานที่สร้างขึ้น (Horning et al., n.d.) ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้จะส่งพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปสัมผัสวัตถุต่างๆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นชนิดหนึ่งที่ไม่ต้องใช้ตัวกลางในการเคลื่อนที่ ปัจจุบันมีการใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในหลายๆด้านเช่น การติดต่อสื่อสาร (มือถือ โทรทัศน์ วิทยุ เรดาร์ ใยแก้วนำแสง) ทางการแพทย์ (รังสีเอกซ์) การทำอาหาร (คลื่นไมโครเวฟ) การควบคุมรีโมท (รังสีอินฟราเรด) คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือเป็นคลื่นที่เกิดจากคลื่นไฟฟ้าและคลื่นแม่เหล็กตั้งฉากกันและเคลื่อนที่ไปยังทิศทางเดียวกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นตามขวาง ประกอบด้วยสนามไฟฟ้า



และสนามแม่เหล็กที่มีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคลื่นที่เคลื่อนที่โดยไม่อาศัยตัวกลาง จึงสามารถเคลื่อนที่ในสุญญากาศได้ (ภาพที่ 8)



ภาพที่ 8 คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

ที่มา: <https://socratic.org/questions/what-is-the-source-of-electromagnetic-waves#316240>

คุณลักษณะสองประการของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทำความเข้าใจการรับรู้จากระยะไกล คือ ความยาวคลื่นและความถี่ (Jensen, 2000)

ความยาวคลื่น หมายถึง ความยาวของรอบคลื่นหนึ่งรอบหรือระยะทางจากตำแหน่งใดๆ ในรอบหนึ่งไปยังตำแหน่งเดิมในรอบถัดไป โดยปกติจะใช้แทนด้วยอักษรกรีกแลมบ์ดา ( $\lambda$ ) ความยาวของคลื่นมักจะถูกวัดเป็นไมโครเมตร (มม.,  $10^{-6}$  เมตร) และนาโนเมตร (นาโนเมตร,  $10^{-9}$  เมตร)

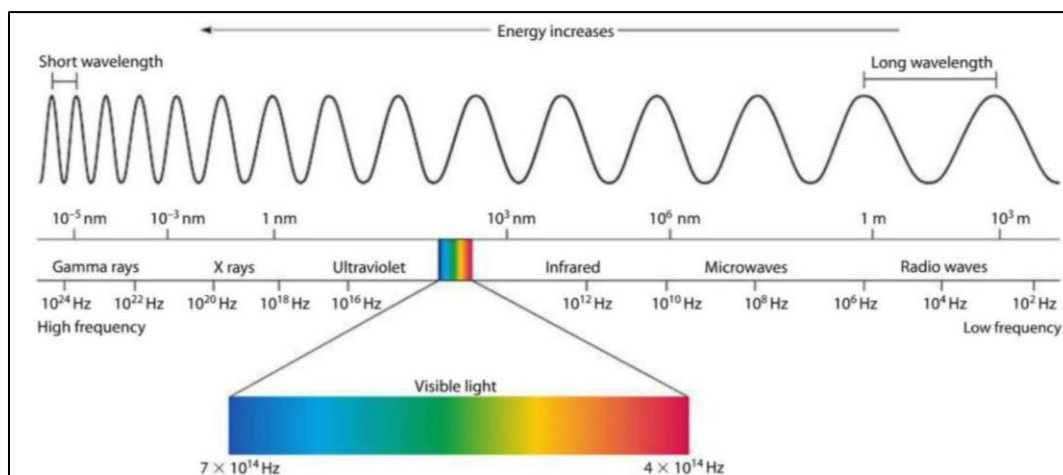
ความถี่ หมายถึง จำนวนยอดคลื่นที่ผ่านจุดที่กำหนดในหน่วยเวลาเฉพาะ โดยปกติจะวัดเป็นเฮิรตซ์ (Hz) ความยาวและความถี่ของคลื่นมีความสัมพันธ์กับสมการต่อไปนี้

$$v = c / \lambda$$

$v$  = ความถี่  $c$  = ความเร็วของแสง  $\lambda$  = ความยาวคลื่น

สเปกตรัม (Spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่และความยาวคลื่นแตกต่างกัน (ภาพที่ 9) ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ คลื่นแสงที่ตามองเห็น อัลตราไวโอเลต อินฟราเรด คลื่นวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟ รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา เป็นต้น ดังนั้นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีประโยชน์มากในการสื่อสารและโทรคมนาคม ทางทหารแพทย์ และเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกี่ยวกับช่วงของความยาวคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจะมีประโยชน์ในการทำความเข้าใจประเภทของพลังงานที่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องตรวจจับการรับรู้ระยะไกลที่หลากหลาย ซึ่งหน่วยพื้นฐานของปรากฏการณ์แม่เหล็กไฟฟ้า คือ โฟตอน โฟตอนที่ไม่มีมวลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสง 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที (186,000 ไมล์ต่อวินาที) อยู่ในรูปของคลื่นที่เรียกว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานของโฟตอนกำหนดความยาวคลื่น และความถี่เป็นรอบต่อวินาที โดยเมื่อโฟตอนมีพลังงานมากขึ้นความยาวคลื่นของแสงก็จะสั้นลงและขณะเดียวกันมีความถี่สูงขึ้น และในทางกลับกันเมื่อโฟตอนมีพลังงานน้อยลงความยาวคลื่นของแสงก็จะยาวขึ้นแต่และความถี่จะลดลง ช่วงสเปกตรัมได้รับการแบ่งออกเป็นช่วงและมีการใช้ชื่อที่สื่อความหมายตามขนาดของพลังงาน (ตารางที่ 1) โดยช่วงที่มีพลังมากที่สุด จะมีความถี่สูง ความยาวคลื่นสั้น คือ

รังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ 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)

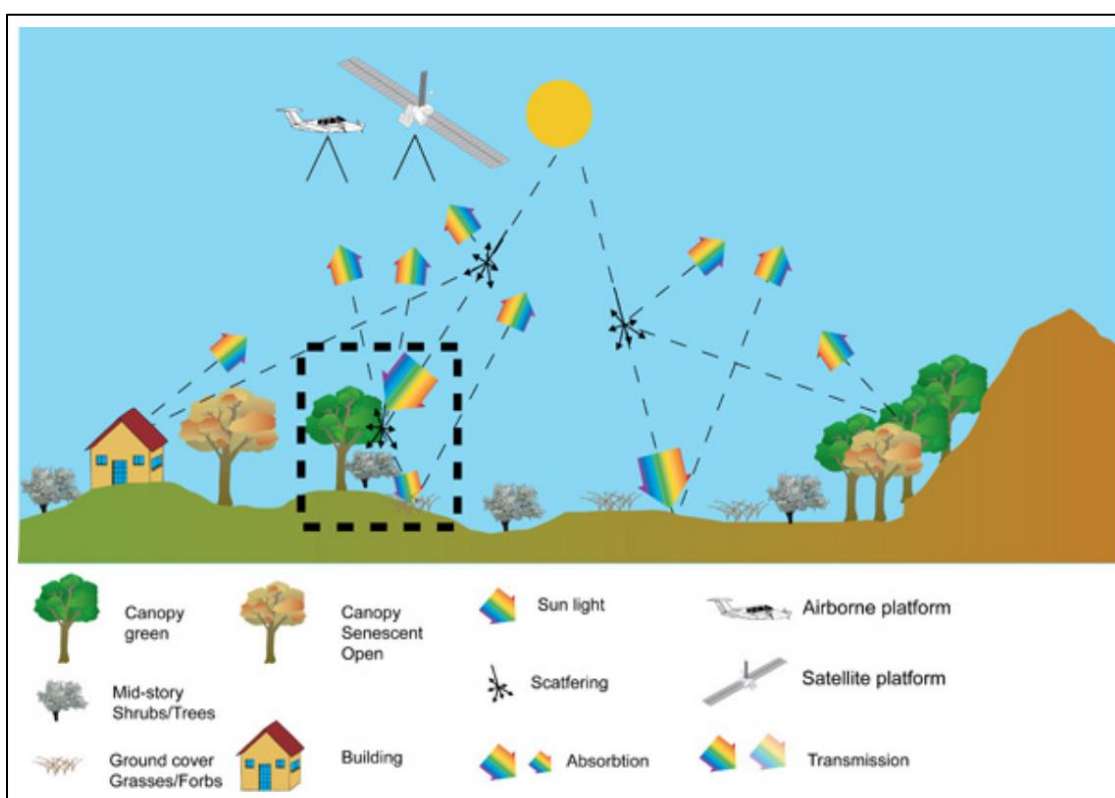
ตารางที่ 1 การแบ่งช่วงสเปกตรัมตามความยาวช่วงคลื่น

ชื่อช่วงคลื่น	ช่วงความยาวคลื่น
Ultraviolet (UV)	0.30 - 0.48 $\mu\text{m}$
Visible light	0.40 - 0.70 $\mu\text{m}$ Blue: 0.40 - 0.500 $\mu\text{m}$ Green: 0.500 - 0.60 $\mu\text{m}$ Red: 0.60 - 0.70 $\mu\text{m}$
Near Infrared (NIR)	0.70 - 1.5 $\mu\text{m}$
Middle Infrared (MIR)	1.5-5 $\mu\text{m}$ SWIR (1.5-3 $\mu\text{m}$ ) MIR (3.0-5.0 $\mu\text{m}$ )
Microwave	1 mm - 1m

ที่มา: Jensen (2000)

## 2.2.2 การเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัตถุ

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

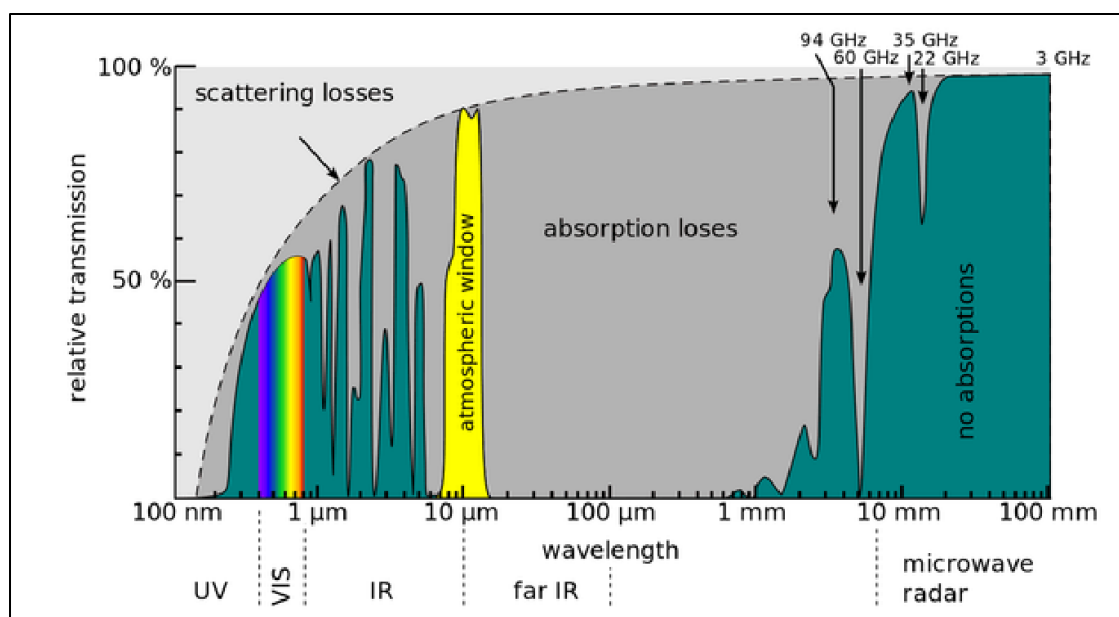


ภาพที่ 10 แบบจำลองแนวคิดของกระบวนการทางกายภาพที่เกี่ยวข้องในกระบวนการรับรู้ระยะไกล  
ที่มา: School of Earth and Environmental Sciences (n.d.)

### 1.1) การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในชั้นบรรยากาศ

การดูดซับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบอาจเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศและบนพื้นโลก พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่มีส่วนประกอบของแก๊สชนิดต่างๆ จะถูกดูดกลืนไปตามสัดส่วนในช่วงความยาวคลื่นที่จำเพาะตามชนิดของแก๊สนั้นๆ เมื่อรวมรูปแบบการดูดกลืนของแก๊สหลักๆ ทั้งหมดในชั้นบรรยากาศเข้าไว้ด้วยกันจะได้รูปแบบการดูดกลืนของชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามจากรูปแบบการดูดซับดังกล่าวจะเห็นว่าชั้นบรรยากาศยังเปิดให้หรือยินยอมให้ส่งผ่าน

พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าได้ในบางช่วง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่าเรียกว่า หน้าต่างบรรยากาศ (Atmospheric Windows) (ภาพที่ 11) ชั้นบรรยากาศเปิดให้มีการส่งผ่านพลังงานแม่เหล็ก ไฟฟ้าได้ในสามช่วงหลักๆ ช่วงแรกความยาวคลื่นตรงกับช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นถึงอินฟราเรดใกล้และกลาง ซึ่งสามารถใช้ตามนุษย์หรือกล้องถ่ายรูปเป็นอุปกรณ์รับรู้ได้ หรือใช้เครื่องกราดภาพแบบหลายช่วงคลื่น (Multispectral scanner) ก็จะสามารถตอบสนองต่อพลังงานในช่วงแคบๆ ได้หลายช่วง ช่วงที่สองจะเป็นช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 3 ถึง 5 $\mu\text{m}$  และ 8 ถึง 14 $\mu\text{m}$  ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับการปลดปล่อยความร้อนของผิวโลก ทั้งนี้ต้องใช้เครื่องกราดภาพเชิงความร้อน (Thermal scanner) และสุดท้ายช่วงเปิดกว้างอีกช่วงคือประมาณ 1mm ถึง 1m ซึ่งตรงกับช่วงไมโครเวฟ และความถี่วิทยุ ซึ่งมีการนำมาใช้งานทางด้านการถ่ายภาพด้วยเรดาร์ จากความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าและหน้าต่างชั้นบรรยากาศที่เปิดออกเพื่อให้พลังงานสามารถส่งผ่านไปยังและสะท้อนมาจากพื้นผิวโลก และการตอบสนองเชิงคลื่นของอุปกรณ์รับรู้ที่ใช้ในงานการรับรู้จากระยะไกล เราจึงต้องคำนึงถึง การตอบสนองของอุปกรณ์รับรู้ที่มีให้เลือกใช้ได้ ช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการใช้ที่เหมาะสมกับหน้าต่างชั้นบรรยากาศ แหล่งกำเนิด ขนาด และองค์ประกอบเชิงคลื่นของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นดังกล่าว



ภาพที่ 11 หน้าต่างบรรยากาศ

ที่มา: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric\\_window\\_EN.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmospheric_window_EN.svg)

การกระจัดกระจายในชั้นบรรยากาศเกิดจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีการเคลื่อนที่แล้วมากระทบกับอนุภาคต่างในชั้นบรรยากาศ เช่น แก๊ส ละอองน้ำ หรือฝุ่น เป็นต้น ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชั้นนั้นมาชนกับอนุภาคในชั้นบรรยากาศที่มีขนาดเล็กกว่าก็สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ แต่หากอนุภาคในชั้น

บรรยากาศมีขนาดใหญ่กว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดนั้นก็จะเกิดการกระจัดกระจายขึ้น ซึ่งการกระจัดกระจายจะมีอยู่ 3 ลักษณะได้แก่

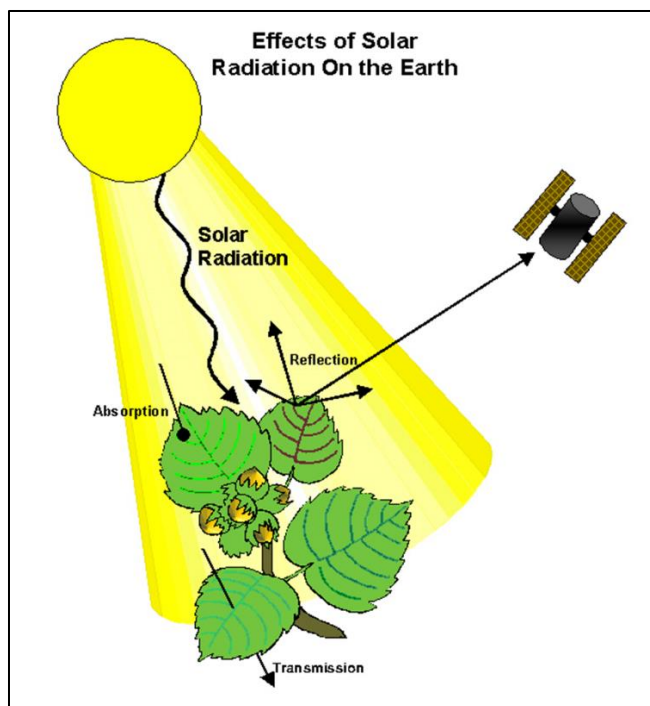
- Rayleigh scattering เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก แต่มีขนาดใหญ่กว่าช่วงแสงอุลตราไวโอเล็ตที่ 0.3  $\mu\text{m}$  การกระเจิงของเรย์ลีส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศ 4.5 กม. ปริมาณการกระเจิงจะแปรผกผันกับกำลังสี่ของความยาวคลื่นของรังสี มีหน้าที่รับผิดชอบในการปรากฏเป็นสีฟ้าของท้องฟ้า ความยาวคลื่นสีม่วงและสีน้ำเงินที่สั้นกว่าจะกระจายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าความยาวคลื่นสีเขียวและสีแดงที่ยาวกว่า นั่นคือเหตุผลที่ระบบการสำรวจระยะไกลส่วนใหญ่หลีกเลี่ยงการตรวจจับและบันทึกความยาวคลื่นในส่วนรังสีอัลตราไวโอเล็ตและสีน้ำเงินของสเปกตรัม

- Mie Scattering เกิดขึ้นที่ชั้นบรรยากาศต่ำกว่า 4.5 กม. ซึ่งอาจมีอนุภาคทรงกลมจำนวนมากที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณเท่ากับขนาดของความยาวคลื่นของพลังงานที่ตกกระทบ ขนาดที่แท้จริงของอนุภาคอาจอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.1 ถึง 10 เท่าของความยาวคลื่นของพลังงานที่ตกกระทบ สำหรับแสงที่ตามองเห็น สารกระจายตัวหลักคือฝุ่นและอนุภาคอื่นๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ประมาณสิบไมโครเมตรไปจนถึงหลายไมโครเมตร

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

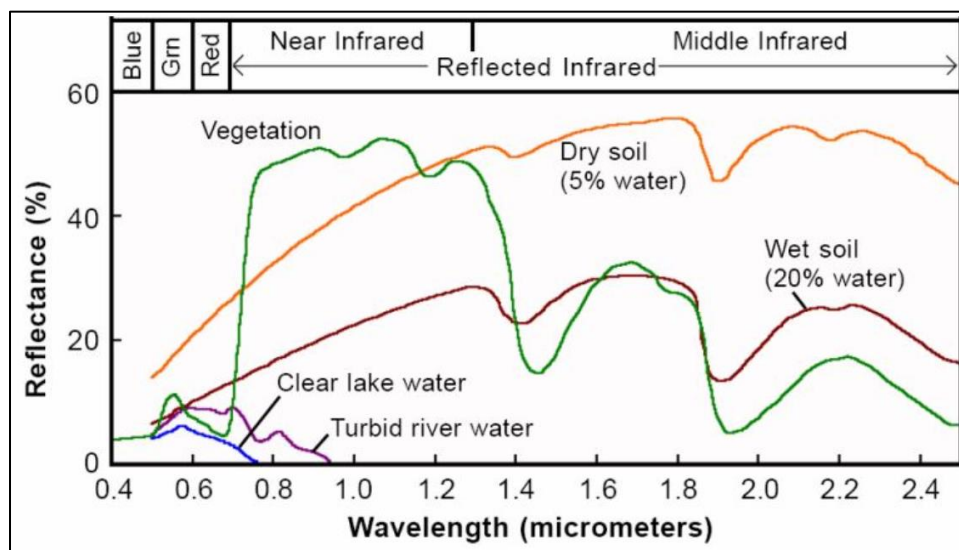
## 1.2) การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก

ส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งผ่านชั้นบรรยากาศโดยไม่ถูกดูดกลืนหรือกระจายกลับสู่อวกาศ เมื่อมาถึงพื้นผิวโลกแล้ว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถถูกดูดซับโดยพื้นผิวโลกและวัตถุต่างๆ บนผิวโลก หรือสามารถสะท้อนกลับไปยังอวกาศได้ ซึ่งความน่าจะเป็นของการสะท้อนกลับมากกว่าการดูดกลืนเกิดขึ้นเรียกว่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว และขึ้นอยู่กับวัสดุบนพื้นผิวเช่นเดียวกับความยาวคลื่นของรังสีที่เข้ามา วัสดุพื้นผิวแต่ละชนิดมี 'ลายเซ็น' เฉพาะที่กำหนดสัดส่วนของรังสีที่สะท้อนสำหรับแต่ละความยาวคลื่น ตัวอย่างเช่น น้ำจะสะท้อนความยาวคลื่นสีน้ำเงินและสีเขียวในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งโดยทั่วไปประมาณร้อยละ 5 ถึงร้อยละ 10 ขึ้นอยู่กับความขุ่น และมีการสะท้อนน้อยมากความยาวคลื่นสีแดง และแทบไม่มีค่าการสะท้อนเลยในช่วงความยาวคลื่นอินฟราเรด ในทางกลับกันพืชพรรณสะท้อนรังสีอินฟราเรดประมาณครึ่งหนึ่งที่เข้ามาทั้งหมด ยกเว้นความยาวคลื่นเฉพาะที่น้ำของเหลวในใบไม้ดูดซับไว้ได้ ซึ่งลายเซ็นเชิงคลื่นเหล่านี้มักแสดงเป็นกราฟ โดยมีความยาวคลื่นตามแนวแกน x และการสะท้อนแสงตามแนวแกน y ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 12 การเกิดปฏิสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระดับผิวโลก

ที่มา: [https://www.ctahr.hawaii.edu/miuralab/projects/makaha/intro\\_rs.html](https://www.ctahr.hawaii.edu/miuralab/projects/makaha/intro_rs.html)



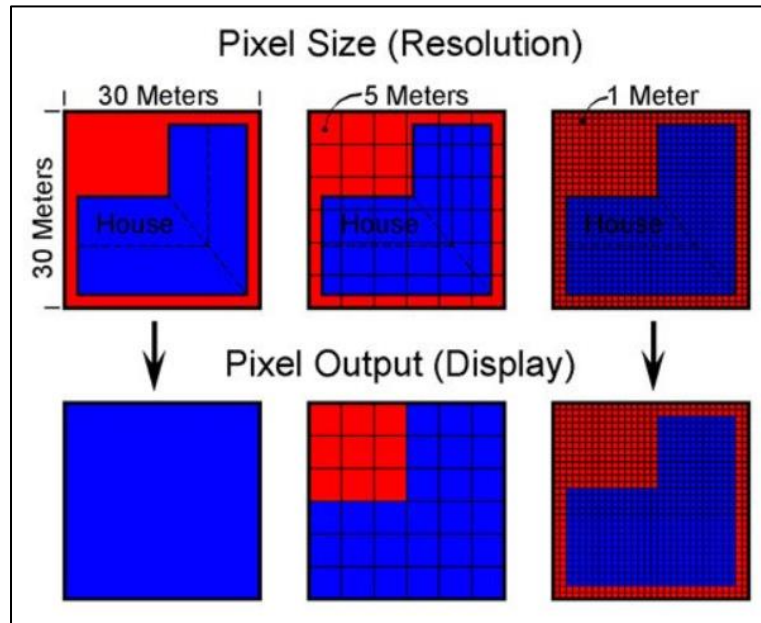
ภาพที่ 13 กราฟลายเซ็นต์เชิงคลื่น (spectral signature) ของวัตถุต่างๆ

ที่มา: Hatari lab (n.d.)

### 2.2.3 การจัดเก็บข้อมูลคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีระยะไกล

ข้อมูลภาพที่ได้จากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลสามารถให้ข้อมูลได้ทั้งให้การประมาณเชิงพื้นที่ เชิงคลื่น และเชิงเวลา และเชิงรังสี ซึ่งแต่ละข้อมูลจะมีความละเอียด (resolution) ของข้อมูลโดยมีรายละเอียดดังนี้

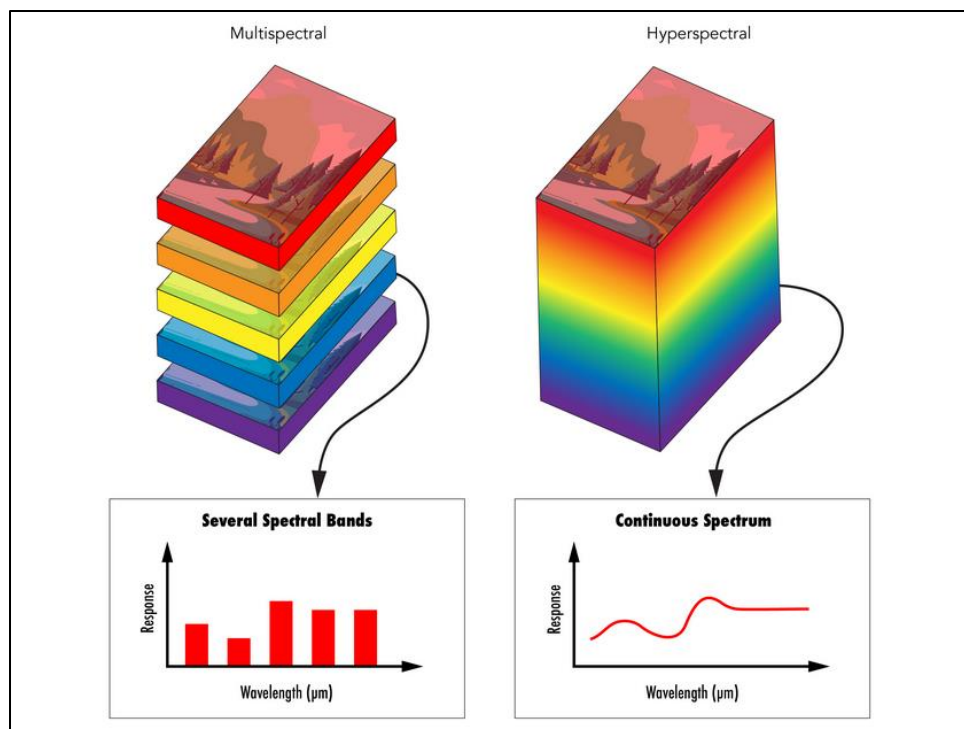
1) ข้อมูลเชิงพื้นที่ จะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (Spatial Resolution) เป็นความละเอียดของจุดภาพในการบันทึกของภาพถ่ายดาวเทียมที่ขนาดพื้นที่ของวัตถุที่เล็กที่สุดที่ เครื่องตรวจจับสามารถแยกแยะได้หรือหมายถึง พื้นที่ในสนามที่แสดงโดย 1 จุดภาพ เช่น ความละเอียดเชิงพื้นที่ 10 เมตร หมายถึง ข้อมูลนั้นสามารถแสดงวัตถุขนาด 10 ตารางเมตร ด้วย 1 จุดภาพ (Pixel) (ภาพที่ 14) ชุดข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่ต่ำถึงปานกลางมีลักษณะตามขนาดพิกเซลตั้งแต่ 30 ถึง มากกว่า 200 เมตร จากความก้าวหน้าในการพัฒนาเทคโนโลยีดาวเทียมนำไปสู่การใช้เซ็นเซอร์ทั้งในระดับอากาศและระดับอวกาศที่มีความละเอียดสูง ซึ่งขนาดจุดภาพมีขนาดน้อยกว่า 10 เมตร ทำให้มีความละเอียดเชิงพื้นที่ที่ดีสามารถตรวจจับคุณลักษณะของพื้นที่ได้อย่างละเอียด เช่น เซอร์เหล่านี้สามารถใช้ในการสำรวจพืชพรรณได้ถึงระดับทรงพุ่ม ซึ่งตัวอย่างของชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีความละเอียดสูงได้แก่ ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียม Worldview-2, QuickBird และ RapidEye เป็นต้น แต่ข้อมูลส่วนใหญ่มีราคาแพงมาก (Gxokwe et al., 2020)



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

1.2) ข้อมูลเชิงเชิงคลื่น (ภาพที่ 15) จะมีความละเอียดเชิงคลื่น (Spectral Resolution) เป็นความสามารถของเครื่องตรวจจับในการใช้ช่วงคลื่นสำหรับบันทึกภาพแต่ละแถบช่วงคลื่น ถ้าช่วงคลื่นที่เครื่องสามารถตรวจจับได้มีช่วงห่าง แสดงว่าภาพนั้นมีรายละเอียดเชิงช่วงคลื่นหยากกว่าภาพที่ใช้เซ็นต์เซอร์ที่สามารถตรวจจับช่วงคลื่นได้แคบกว่า และมีจำนวนแถบช่วงคลื่นมากกว่า จะมีความละเอียดมากกว่า เช่น เซ็นต์เซอร์บางชนิดที่เรียกว่า Multi-Spectral (MSI) จะจัดเก็บแถบช่วงคลื่นได้น้อยกว่า 100 แถบช่วงคลื่น ขณะที่เซ็นต์เซอร์บางชนิดที่สามารถจัดเก็บช่วงคลื่นได้ถึง จำนวน 100-200 แถบช่วงคลื่นไปเรียกว่า Hyper-Spectral (HSI) (Dozie, 2004) บางคนมองว่า MSI เป็นรูปแบบที่แยกว่าของ HSI ซึ่งมีความละเอียดสเปกตรัมต่ำกว่า ความจริงแล้ว เทคโนโลยีทั้งสองต่างก็นำเสนอข้อดีของตัวเองซึ่งทำให้เป็นเครื่องมือที่ต้องการสำหรับงานที่แตกต่างกัน HSI เหมาะที่สุดสำหรับการใช้งานที่ไวต่อความแตกต่างเล็กน้อยของสัญญาณตามสเปกตรัมต่อเนื่อง สัญญาณขนาดเล็กเหล่านี้อาจพลาดได้โดยระบบที่สุ่มตัวอย่างแถบคลื่นขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม บางระบบจำเป็นต้องปิดกั้นส่วนสำคัญของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเลือกจับแสง การรับรู้จากระยะไกล การถ่ายภาพพื้นผิวโลกทางอากาศโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (UAV) และดาวเทียม อาศัยทั้ง HSI และ MSI มานานหลายทศวรรษ การถ่ายภาพสเปกตรัมสามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศของโลกและเมฆปกคลุมต่างๆ เพื่อให้ได้มุมมองที่ไม่บดบังของพื้นดินด้านล่าง เทคโนโลยีนี้สามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงของประชากร สังเกตการเปลี่ยนแปลงทางธรณีวิทยา และศึกษาแหล่งโบราณคดี นอกจากนี้ เทคโนโลยี HSI และ MSI มีความสำคัญมากขึ้นในการศึกษาสภาพแวดล้อม สามารถรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการตัดไม้ทำลายป่า ความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศ การรีไซเคิลคาร์บอน และรูปแบบสภาพอากาศที่แปรปรวนมากขึ้นเรื่อยๆ นักวิจัยใช้ข้อมูลที่รวบรวมมาเพื่อสร้างแบบจำลองการคาดการณ์ของระบบนิเวศทั่วโลก ซึ่งขับเคลื่อนความคิดริเริ่มด้านสิ่งแวดล้อมมากมายเพื่อต่อสู้กับผลกระทบด้านลบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและอิทธิพลของมนุษย์ที่มีต่อธรรมชาติ (Edmund Optics Inc., 2023)

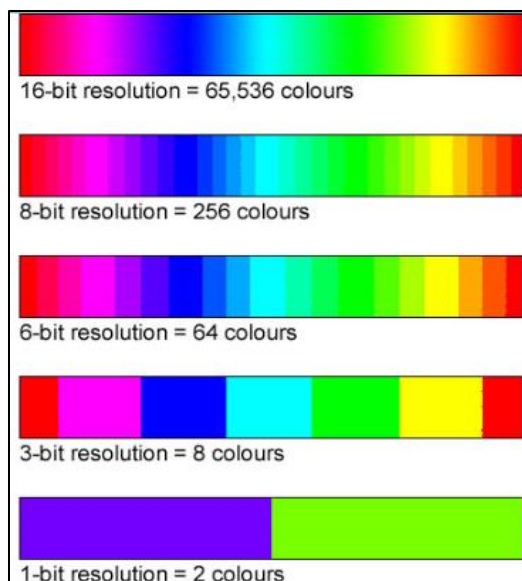




ภาพที่ 15 ความละเอียดเชิงสเปกตรัม (Spectral Resolution)

ที่มา: Edmund Optics Inc. (2023)

1.3) ข้อมูลเชิงเชิงคลื่น (ภาพที่ 16) จะมีความละเอียดคลื่น (Radiometric Resolution) เป็นความละเอียดของระดับค่าความสว่างในการแสดงผลของภาพใน 1 จุดภาพจำนวนของค่าไฟล์ข้อมูลที่เป็นไปได้ในแต่ละช่วงคลื่น ที่แบ่งระดับการแยกแยะความเข้มในแต่ละแถบช่วงคลื่น ตัวอย่างเช่น รูปภาพจากกล้องปกติ คือ ข้อมูล 8 บิต แสดงค่าที่แตกต่างกันได้  $2^8 = 256$  ระดับ สำหรับข้อมูลดาวเทียม เช่น Landsat 8 อาจมีข้อมูลแบบ 16 บิต แสดงค่าได้  $2^{16} = 65,536$  ระดับ ในกรณีนี้จำนวนบิตที่มาก จะแยกแยะความเข้มได้ละเอียดมากกว่านั่นเอง (Department of Geography, n.d.)



ภาพที่ 16 ความละเอียดเชิงรังสี (Radiometric Resolution)

ที่มา: Department of Geography (n.d.)

1.4) ข้อมูลเชิงเวลา ความละเอียดเชิงเวลา (Temporal Resolution) เป็นการบันทึกภาพบริเวณเดียวกันแต่ละเวลาเพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมจะถูกถ่าย ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ค่าความละเอียดเชิงเวลาจะเป็นการวัดช่วงเวลาที่จะได้ข้อมูลพื้นที่บริเวณเดิมอีกครั้ง บางครั้ง เรียกว่า “Return time” หรือ “Revisit time” เป็นเวลาที่ดาวเทียมนั้น สามารถโคจรกลับมาถ่ายภาพ ณ บริเวณเดิมได้อีกครั้ง (Jensen, 2000) เช่น ดาวเทียม Landsat-9 ความละเอียดเชิงเวลา 16 วัน ความละเอียดเชิงเวลาต่ำกว่าดาวเทียม WorldView-3 ซึ่งมีความละเอียดเชิงเวลา 1 วัน แต่อย่างไรก็ตามมีดาวเทียมบางดวงจัดทำเป็นชุดดาวเทียมทำให้ช่วยลดข้อจำกัดด้านความละเอียดเชิงเวลาเพื่อให้ได้รายละเอียดเชิงพื้นที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโดยทั่วไปหากดาวเทียมที่มีความละเอียดเชิงเวลาสูงจะมีรายละเอียดเชิงพื้นที่ เช่น ภารกิจดาวเทียม Sentinel ที่ใช้กลุ่มดาวเทียมคือใช้ดาวเทียม 2 ดวง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 Temporal resolution of some popular satellites

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) เซ็นต์เซอร์ (sensor)

เซ็นต์เซอร์ในเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลสามารถบันทึกข้อมูลได้ทั้งในรูปแบบอนาล็อก เช่น ภาพถ่ายทางอากาศ กราฟที่ถ่ายจากเครื่องบินที่ติดตั้งกล้องฟิล์ม หรือรูปแบบดิจิทัล เช่น เมทริกซ์สองมิติ (หรือภาพ) ประกอบด้วยพิกเซลที่เก็บค่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่บันทึกโดยกล้องดิจิทัลหรือเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งบนอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ดาวเทียมหรือเครื่องบินซึ่งพบได้ทั่วไปในปัจจุบัน เซ็นเซอร์เหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักตามแหล่งพลังงานที่ใช้ ได้แก่ เซ็นต์เซอร์แบบ passive และ เซ็นต์เซอร์แบบ active (Jensen, 2000; Remote Sensors, 2018; Kulo, 2018; Omia et al., 2023)

2.1) ระบบ passive sensor system เป็นระบบที่อาศัยการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก ซึ่งโดยทั่วไปคือแสงจากดวงอาทิตย์ ในกรณีที่ใช้แสงจากดวงอาทิตย์ เครื่องมือวัดจะทำงานได้เฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น นอกจากการศึกษารูปแบบของเมฆในทางอุตุนิยมวิทยา การตรวจวัดยังต้องการท้องฟ้าที่ปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือฝนในช่วงที่ทำการตรวจวัด ซึ่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system แสดงในตารางที่ 3

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	5m	1	12	Readily available	Local to regional	high

ที่มา : Gxokwe et al. (2020)

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system ที่นิยมใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ได้แก่

### 2.1.1) ชุดดาวเทียม Landsat

ชุดดาวเทียม Landsat เป็นชุดดาวเทียมที่พัฒนาและให้บริการอย่างยาวนาน ทำให้สามารถใช้ศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่องจากอดีตถึงปัจจุบัน ข้อมูลภาพที่ได้จากดาวเทียม Landsat มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร และขอบเขตเชิงพื้นที่ 185 ตารางกิโลเมตร ต่อภาพ (Cohen and Goward 2004; Masek et al. 2006) และได้พิสูจน์แล้วว่ามีความมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์สิ่งปกคลุมดิน (Wulder et al. 2008; Linke et al. 2009) และระบบนิเวศวิทยา (Healey et al. 2005; Mas) อย่างไรก็ตามความละเอียดเชิงเวลาค่อนข้างต่ำคือใช้เวลา 16 วันจึงกลับมาถ่ายภาพที่เดิมอีกครั้ง ทำให้ยากที่จะบันทึกภาพเหตุการณ์ในบางเวลาที่ต้องการ (Gao et al. 2006 ; Leckie 1990; Pape และ Franklin 2008) สำหรับการจำแนกการใช้ที่ดินในประเทศไทยซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยมนุษย์เป็นผู้กำหนดลักษณะการใช้ที่ดินว่าจะไปในลักษณะใด เช่น การทำเกษตรกรรม การก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน หรือการสร้างสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ ถูกนำมาใช้โดยกรมพัฒนาที่ดินในการศึกษา และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนการจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภทมาอย่างยาวนาน การนำข้อมูลจากดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพที่ดินสามารถทำได้สองวิธี คือ การแปลด้วยสายตา และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ชุดดาวเทียม LANDSAT ได้เริ่มต้นขึ้นและให้บริการข้อมูลภาพอย่างต่อเนื่องตั้งแต่พ.ศ. 2515 ดาวเทียมดวงแรกในชุดคือ ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น LANDSAT 1 และมีการส่งดาวเทียมขึ้นทดแทนในช่วงเวลาต่อมาได้แก่ LANDSAT 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 โดยประเทศไทยได้เข้าร่วมโครงการ ERTS นี้ ตั้งแต่แรกเริ่มใน พ.ศ. 2514 และมีการจัดตั้งสถานีรับสัญญาณภาคพื้นดินจากดาวเทียมที่เขตลาดกระบังใน พ.ศ. 2524 ซึ่งนับเป็นสถานีรับสัญญาณฯ แห่งแรกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ นับตั้งแต่ LANDSAT 5 ถูกยิงขึ้นสู่อวกาศตั้งแต่ พ.ศ. 2527 ประเทศไทยได้รับประโยชน์จากข้อมูลภาพเป็นอย่างมาก โดย LANDSAT 5 ได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานในวงโคจรได้อย่างน้อย 3 ปี ได้ให้บริการภาพถ่ายที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษยชาติอย่างต่อเนื่องยาวนานจนได้รับการบันทึกจาก Guinness ว่าเป็นดาวเทียมที่โคจรปฏิบัติการที่ยาวนานที่สุดถึง 29 ปี โคจรรอบโลกมากกว่า 150,000 รอบ และส่งข้อมูลภาพพื้นทั่วโลกกลับมาให้เราได้ใช้ประโยชน์กันมากกว่า 2.5 ล้านภาพ ในช่วงที่ผ่านมาดาวเทียม LANDSAT 5 เกิดข้อขัดข้องในการทำงาน โดยเฉพาะช่วงท้ายของภารกิจ นักวิทยาศาสตร์ก็ยังสามารถแก้ไขให้ดาวเทียมกลับมาใช้งานดังเดิมได้เสมอ จนกระทั่งอุปกรณ์ถ่ายภาพหลักของดาวเทียมมีปัญหาและถูกหยุดการใช้งานลงในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2554 ในที่สุดดาวเทียมต้องหยุดการทำงานอย่างสิ้นเชิงในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 (สมพงษ์, 2560)

ดาวเทียม LANDSAT 5 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)

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

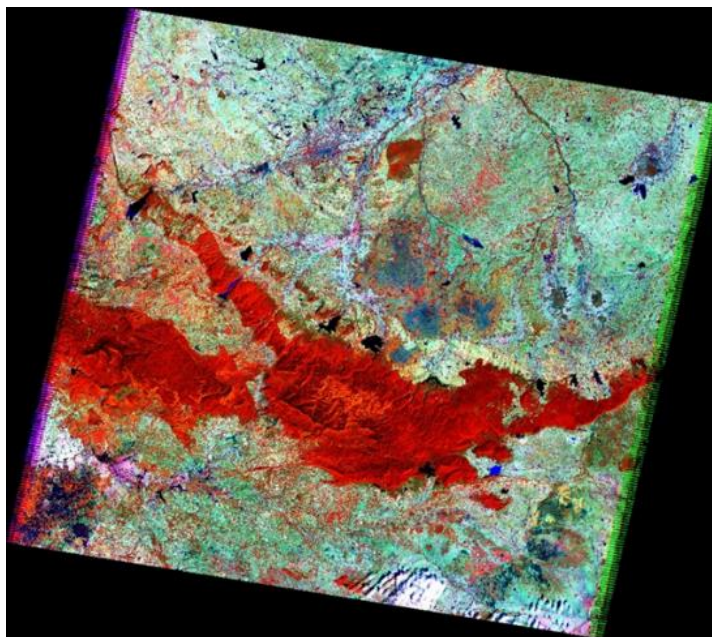
ในการแสดงข้อมูลจากดาวเทียมออกมาเป็นภาพสีนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะการแสดงภาพจากดาวเทียมที่อยู่ในรูปของช่วงความแตกต่างของสี (Range of different colors) จะช่วยในการแปลตีความด้วยสายตาได้ดีกว่าภาพระดับสีเทา (Tone of gray) เนื่องจากตามปกติสายตาของมนุษย์สามารถที่จะแยกแยะลำดับขั้นของสี (Shade of color) ได้ดีกว่าการแยกแยะระดับความเข้มของสีเทาโดยปกติข้อมูลภาพจากดาวเทียมในแต่ละช่วงคลื่น (แบนด์) จะเป็นสีขาวดำ (tone of gray) และสามารถนำมาซ้อนทับกันได้ครั้งละ 3 แบนด์ให้เกิดเป็นเฉดสีต่างๆ การผสมข้อมูลภาพจากดาวเทียม 3 แบนด์ ให้เป็นภาพสีผสมนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการขยายรายละเอียดเฉพาะเรื่องให้ชัดเจนสามารถจำแนกหรือมีสีแตกต่างจากสิ่งแวดล้อม (Jensen, 2000) โดยทั่วไปแล้วภาพดาวเทียมสีผสมเท็จมาตรฐาน (Standard False Color Composite) ที่รู้จักกันทั่วไปคือ การผสมสีให้พืชพรรณปรากฏเป็นสีแดง โดยมีหลักการดังนี้คือ

การแทนข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีเขียว (green) ในช่องแสงสีน้ำเงิน (blue) การแทนข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นสีแดง (red) ในช่องแสงสีเขียว (green) และการแทนข้อมูลดาวเทียมที่บันทึกในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared) ในช่องแสงสีแดง (red) ตัวอย่างของการผสมข้อมูลภาพจากดาวเทียม 3 แบนด์ ให้เป็นภาพดาวเทียมสีผสมที่มาตรฐานของดาวเทียม Landsat แสดงตามตารางที่ 4 ภาพที่ 17 และ ภาพที่ 18

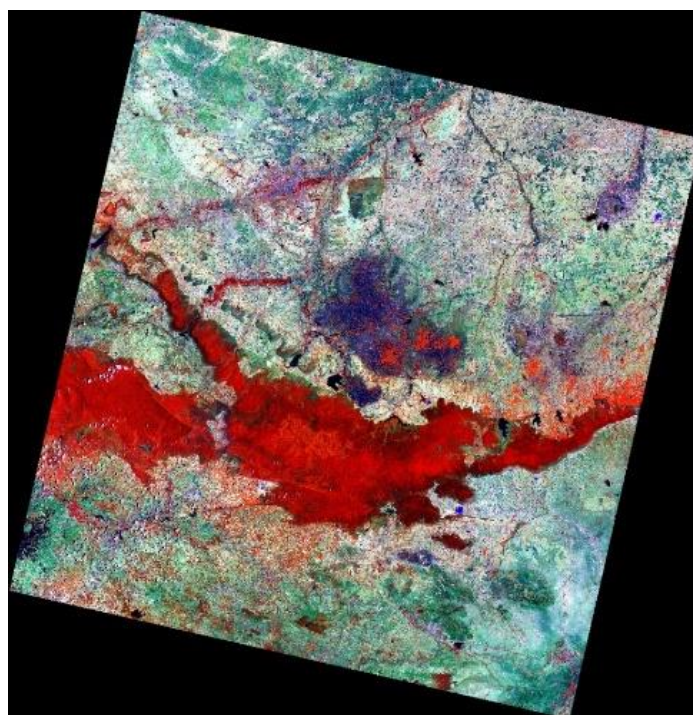
**ตารางที่ 4** ตัวอย่างการผสมแบนด์ของภาพถ่าย LANDSAT และคุณสมบัติในการจำแนกวัตถุบนพื้นโลก

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 5TM Path 128 Row 50 บันทึกเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2549  
โดยการผสมสีเท็จ แบบแบนด์ 4R-5G-3B



ภาพที่ 18 ตัวอย่างภาพถ่าย LANDSAT 8 Path 128 Row 50 บันทึกเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2559  
โดยการผสมสีเท็จ แบบแบนด์ 5R-6G-4B

### 2.1.1) ข้อมูลดาวเทียม Sentinel-2

ดาวเทียม Sentinel-2 ประกอบด้วยดาวเทียม 2 ดวง ได้แก่ Sentinel-2A และดาวเทียม Sentinel-2B ขึ้นสู่วงโคจรเมื่อวันที่ 23 มิถุนายน พ.ศ. 2558 และ 7 มีนาคม พ.ศ. 2560 เกิดจากความร่วมมือของคณะกรรมการอวกาศยุโรป (European Commission: EC) และองค์การอวกาศยุโรป (European Space Agency : ESA) โดยมีจุดประสงค์เพื่อส่งเสริมการสังเกตการณ์สิ่งปกคลุมดินบนพื้นผิวโลก อาทิ พืชพรรณและสิ่งแวดล้อม ดาวเทียม Sentinel-2 จัดเป็นดาวเทียมในช่วงคลื่นแสง (Optical remote sensing) ที่ให้ข้อมูลความละเอียดเชิงพื้นที่ตั้งแต่ 10 - 60 เมตร ประกอบด้วย 13 แบนด์ (ตารางที่ 5) ระหว่างช่วงคลื่นแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) อินฟราเรดใกล้ (Near-Infrared; NIR) ไปจนถึงอินฟราเรดคลื่นสั้น (Short wave infrared:SWIR) โดยโคจรรอบมาถ่ายภาพที่บริเวณเดิมทุก 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, ม.ป.ป)

**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 (2022)



2.2) ระบบ active sensor system เป็นระบบที่ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า s หรือแหล่งพลังงานของตนเองในการบันทึกข้อมูล เช่น เซอร์ดังกล่าวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัตถุที่ต้องการ จากนั้นตรวจจับและวัดความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับมา เช่น เซอร์ที่ใช้งานอยู่ส่วนใหญ่ทำงานในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งช่วยให้สามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ในเกือบทุกสภาพอากาศ ข้อดีของเซ็นเซอร์ประเภทนี้คือไม่มีเงาเนื่องจากไม่เปลี่ยนแปลงตามมุมของดวงอาทิตย์ ใช้งานง่าย เช่น ใช้ติดบนรถแทรกเตอร์หรือเครื่องบิน ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถส่งสัญญาณทะลุผ่านกลุ่มเมฆ หมอก ฝนได้ บันทึกสัญญาณได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน และในทุกฤดูกาล (Remote Sensors, 2018; Clark, n.d.; Horning et al., n.d.) ข้อเสียคือ ไม่สามารถใช้ร่วมกับเซ็นเซอร์แบบ passive ไม่สามารถใช้สำหรับการศึกษาในแถบช่วงคลื่น เช่น การคำนวณดัชนีพืชพรรณ (Clark, n.d.) ระบบ active sensor system เป็นระบบที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานจากการสร้างขึ้นของอุปกรณ์สำรวจในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ที่นำมาใช้ในระบบเรดาร์ (Radio Detector and Ranging) โดยส่งผ่านพลังงานนั้นไปยังพื้นที่เป้าหมายและบันทึกสัญญาณการกระจัดกระจายกลับ (Backscatter) จากพื้นที่เป้าหมาย Active remote sensing ซึ่งหลักการทำงานของระบบเรดาร์ (RADAR) ในการสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ที่ต้องการมีรายละเอียดสูง (High Resolution) ใช้ระบบการบันทึกข้อมูลแบบ Synthetic Aperture Radar (SAR) ที่พัฒนาจากรับสัญญาณเรดาร์แบบสังเคราะห์ (Synthetic Antenna) ให้มีขนาดใหญ่กว่าจานเรดาร์ธรรมดา จึงให้รายละเอียดที่สูงโดยการบันทึกภาพของระบบเรดาร์นั้นบันทึกจากทางด้านข้างของดาวเทียมมุมตกกระทบในการบันทึกจะแตกต่างกันไปในแต่ละดาวเทียม 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 ที่นิยมใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ได้แก่ ดาวเทียม Sentinel-1

ดาวเทียม Sentinel-1 เป็นดาวเทียมที่พัฒนาโดยองค์การอวกาศสหภาพยุโรป (European Space Agency: ESA) ประกอบด้วยดาวเทียม Sentinel-1A ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2557 และ Sentinel-1B ถูกส่งขึ้นสู่อวกาศวันที่ 25 เมษายน พ.ศ. 2559 รูปร่างดาวเทียม Sentinel-1 ดังภาพที่ 14 โดยมีภารกิจในการคาดการณ์มหาสมุทร และที่ดิน ในทุกสภาพอากาศ ทั้งในเวลา กลางวันและกลางคืน เช่น การสังเกตการณ์พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่เกษตรกรรม การหาแผนที่ภัยพิบัติ การคาดการณ์การเดินเรือในมหาสมุทร การคาดการณ์การเคลื่อนตัวของน้ำแข็ง หาดแผนที่จะการรั่วไหลของน้ำมัน 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 องศาใน วงโคจร ทำให้ใช้เวลาในการกลับมาบันทึกข้อมูลในพื้นที่เดิมในทุก 6 วัน โดยดาวเทียม Sentinel-1 ระบบบันทึกข้อมูล C-SAR (C-band Synthetic Aperture Radar) จะบันทึกข้อมูลและส่งสัญญาณ ข้อมูลมายังสถานีภาคพื้นดิน (European Space Agency, 2012a) 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, 2012a) ประกอบด้วย

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

- 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

## 2.3 การประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดิน

ข้อมูลสำรวจระยะไกลถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในหลาย ๆ ด้าน (Navalgund et al., 2007; GISGeography, 2022) สำหรับงานพัฒนาที่ดินได้มีการนำมาใช้รายละเอียดดังนี้

### 2.3.1 การติดตามการใช้ที่ดินและวางแผนการใช้ที่ดิน

ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลมีประโยชน์ในจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินการใช้ที่ดินและติดตามการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินที่ทันสมัยในพื้นที่ขนาดใหญ่ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง และยังติดตามการทำให้สามารถนำมาวางแผนการใช้ที่ดิน และปรับเปลี่ยนแผนการใช้ที่ดินให้ทันต่อสถานการณ์ที่เปลี่ยนไป เช่น การปรับปรุงแผนที่ถนน การกำหนดพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นต้น ข้อมูลนี้ถูกใช้โดยนักวางแผนและผู้บริหารระดับภูมิภาคเพื่อวางกรอบเรื่องนโยบายสำหรับการพัฒนารอบด้านของภูมิภาค การติดตามการเปลี่ยนแปลงจากการเติบโตของชนบทสู่เมืองการเติบโตของเมือง ซึ่งเมื่อผู้คนจำนวนมากขึ้นที่ย้ายถิ่นฐาน

จากชนบทสู่เมือง ความเป็นเมืองเชื่อมโยงกับความเป็นอุตสาหกรรม ทำให้จำเป็นต้องใช้แผนที่การใช้ที่ดิน ในการกำหนดเขตเมือง และนอกจากนี้ในบริเวณที่เข้าถึงได้ยากหรือเข้าถึงไม่ได้ เช่น พื้นที่ป่าไม้ หรือพื้นที่ที่ไม่มีเส้นทางคมนาคมข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมดาวเทียม สามารถใช้ในการศึกษาการตัดไม้ทำลายป่า ความเสื่อมโทรมที่ดินจากการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน รวมถึงการประเมินปริมาณพื้นที่การเกษตร โดยเฉพาะพืชเศรษฐกิจ ซึ่งสามารถนำไปบริหารจัดการพื้นที่ ผลผลิตและราคาได้ต่อไป

### 2.3.2 การศึกษาทรัพยากรดิน

สำหรับการเกษตรแบบแม่นยำ การวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ดินเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งดินที่สำคัญ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพืชผล ได้แก่ อินทรีย์วัตถุในดิน เนื้อดิน ระดับความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณความชื้น เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความอุดมสมบูรณ์ดิน ในห้องปฏิบัติการมีหลายขั้นตอนตั้งแต่การเก็บตัวอย่างดินในภาคสนาม การเตรียมตัวอย่างดินและวิเคราะห์ตัวอย่างดิน ซึ่งต้องใช้แรงงาน งบประมาณ และเวลามาก ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมาศึกษาความอุดมสมบูรณ์ดิน ซึ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต มวลชีวภาพ และความหนาแน่นของพืช โดยการสร้างแบบจำลองสำหรับประมาณสมบัติทางเคมีดินเชิงพื้นที่เพื่อสร้างแผนที่สมบัติทางเคมีดินได้ทั้งในระดับแปลง ระดับภูมิภาค และระดับโลก เช่น การหาปริมาณความชื้นดินโดยใช้เซ็นเซอร์แบบ active และ passive จากอวกาศ ความชื้นดินมีส่วนช่วยอย่างมากในการทำความเข้าใจวิทยาศาสตร์โลก เช่น อธิบายวัฏจักรน้ำของโลก การพยากรณ์อากาศ

### 2.3.3 การศึกษาทรัพยากรน้ำ

เนื่องจากการเติบโตของจำนวนประชากรและความต้องการอาหาร การติดตามและประเมินทรัพยากรน้ำเพื่อการเกษตรจึงมีความสำคัญต่อการบรรลุความมั่นคงด้านอาหารและการพัฒนาที่ยั่งยืน การรับรู้จากระยะไกลในการทำฟาร์มแบบแม่นยำได้ให้ข้อมูลที่ถูกต้องและทันท่วงที เช่น แหล่งน้ำ พื้นที่เพาะปลูกชลประทาน สถานะน้ำในการเพาะปลูกและดิน และมาตราส่วนต่างๆ การทำนายสภาพอากาศและปริมาณน้ำบนผิวโลกโดยใช้เทคโนโลยีระยะไกลมีเพิ่มมากขึ้น

### 2.3.4 การศึกษาด้านสิ่งแวดล้อมและผลกระทบ

การศึกษาปัจจัยด้านภูมิอากาศจากอดีตถึงปัจจุบันมีความสำคัญอย่างมากโดย องค์การ NASA กำลังทำแผนที่ปัจจัยด้านสภาพอากาศ (Global Time-Series Climate Maps) ที่แตกต่างกันในแต่ละเดือนเพื่อดูว่าตัวแปรเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปมากน้อยเพียงใด ทำให้สามารถจัดทำข้อมูลแผนที่ตัวแปรสภาพอากาศ เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ คลอโรฟิลล์ และขนาดละอองลอย ในแต่ละช่วงเวลาได้โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม เช่น MODIS, CERES, AMSR-E, TRMM และ MOPITT นอกจากนี้โปรแกรม Copernicus ของ European Space Agency (ESA) องค์การอวกาศยุโรป ก็มี การศึกษาสภาพแวดล้อม โดยการใช้ดาวเทียม Sentinel หกดวงของ Copernicus เก็บภาพที่ครอบคลุมเนื้อหา ได้แก่ ผืนดิน มหาสมุทร การรับมือเหตุฉุกเฉิน บรรยากาศ ความปลอดภัย และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพ (biodiversity) ของสัตว์และพืชในพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ ด้วยความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงสเปกตรัมของเซ็นเซอร์ที่ได้รับการพัฒนาอย่าง

ต่อเนื่อง การประยุกต์ใช้การสำรวจระยะไกลในความหลากหลายทางชีวภาพจึงเริ่มมีบทบาทมากขึ้น เช่น การใช้ภาพถ่ายชนิดไฮเปอร์สเปกตรัม และ 3 มิติโดยใช้ LiDAR ศึกษาโครงสร้างพืชพรรณ เป็นต้น การประเมินการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมและความหลากหลายทางชีวภาพโดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถใช้สำหรับการทำแผนที่ความหลากหลายทางชีวภาพ ชนิดพันธุ์ที่รุกราน เป็นต้น นอกจากนี้การใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมสามารถใช้เพื่อติดตามขอบเขตและความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ป่าและเขตอนุรักษ์พันธุ์ไม้

### 2.3.5 งานจัดระบบอนุรักษ์ดินและน้ำ

ข้อมูลภาพจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลสามสรณนำมาใช้ประมาณความสูงพื้นผิว เช่น ข้อมูลดาวเทียมระบบ (RADAR) และกระสวยอวกาศ เช่น ภารกิจของ Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ของ NASA ที่สามารถสร้างแผนที่ขนาดจุดภาพ 30 เมตร ภายในเวลาเพียง 11 วัน ซึ่ง 3 การหาระดับความสูงและรูปร่างโดยใช้โฟโตแกรมเมตรี (Photogrammetry) มีอายุย้อนไปถึงกลางศตวรรษที่ 19 ใช้เพื่อค้นหาคุณสมบัติทางเรขาคณิตของวัตถุโดยการวัดระยะห่างระหว่างวัตถุ ซึ่งภาพที่ได้จากการประมาณความสูงพื้นผิวสามารถนำมาใช้ประโยชน์ ได้แก่ การทำแผนที่รูปร่าง แบบจำลองพื้นผิว การสำรวจปริมาตร และการทำแผนที่สามมิติ นอกจากนี้ยังใช้ในด้านอื่นๆ เช่น การทำแผนที่สถานที่เกิดเหตุ การขุดค้นทางโบราณคดี การออกแบบสถาปัตยกรรม การออกแบบระบบชลประทานเพื่อจ่ายน้ำเพื่อการเกษตรอุตสาหกรรมอื่นๆ และการจำแนกกลุ่มน้ำ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกกลุ่มน้ำโดยใช้ DEM สำหรับนักอุทกวิทยา สามารถใช้กำหนดตำแหน่งและวิธีการไหลของน้ำในกลุ่มน้ำ ซึ่ง DEM ถูกนำมาใช้เพื่อแสดงเส้นทางการไหลของน้ำและพื้นที่ที่มีส่วนร่วมได้อย่างแม่นยำ

### 2.3.6 การศึกษาภัยธรรมชาติ

การสำรวจระยะไกลสามารถใช้เพื่อศึกษาความเสียหายที่เกิดจากแผ่นดินไหว ภูเขาไฟ ดินถล่ม น้ำท่วม และการละลายของน้ำแข็งในบริเวณขั้วโลก การสำรวจระยะไกลหลายครั้งจะเป็นประโยชน์ในการทำนายการเกิดภัยธรรมชาติ การวัดระดับน้ำทะเลที่สูงขึ้นการจัดทำแผนที่ดินถล่มโดยใช้เทคนิค อินเตอร์เฟอโรเมทรี ซึ่งจากการประยุกต์ใช้ข้อมูลเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล สามารถใช้ป้องกันและเยียวยาจากการเกิดภัยธรรมชาติด้านต่างๆ เช่น การใช้ข้อมูลภาพถ่ายแบบ Radar ในการสร้างแบบจำลองทางอุทกวิทยา และจัดทำแผนที่พื้นที่ที่มีแนวโน้มที่จะเกิดน้ำท่วม และประเมินความรุนแรงและความถี่ในการเกิดน้ำท่วม เป็นต้น และในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา (USGS) วัดการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้ช่วงคลื่นอินฟราเรดและช่วงคลื่นสีแดงของ Landsat ร่วมกับ NDVI ในการประเมินเพื่อใช้ประกันภัยพืชผล ซึ่งช่วยให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นเมื่อผลผลิตตกต่ำจากภัยธรรมชาติ

## บทที่ 3

### การพัฒนากระบวนการแปลตีความการใช้ที่ดินแบบอัตโนมัติ

ด้วยเหตุที่การใช้ที่ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ โดยมนุษย์เป็นผู้กำหนดลักษณะการใช้ที่ดินว่าจะไปในลักษณะใด เช่น การทำเกษตรกรรม การก่อสร้างอาคาร บ้านเรือน หรือการสร้างสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ เป็นต้น ข้อมูลการสำรวจระยะไกล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศและข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการแปลตีความการใช้ที่ดิน เพื่อจัดทำเป็นแผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมที่ดิน (Land use/ Land cover) เพื่อใช้สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน สำหรับระบบสนับสนุนการตัดสินใจต่างๆ และวางแผนไว้สำหรับการใช้ที่ดินในอนาคตซึ่งมีความสำคัญต่อการอนุรักษ์ที่ดิน การพัฒนาที่ดินอย่างยั่งยืน (Huth et al. 2012) การแปลตีความการใช้ที่ดินโดยใช้ข้อมูลข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถทำได้โดยการแปลตีความข้อมูลถ่ายด้วยสายตาและการแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแลโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรซึ่งเป็นการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอัตโนมัติ ได้มีการศึกษาและนิยมใช้มากขึ้นเนื่องจากตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1990 จำนวนดาวเทียมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และคาดว่าแนวโน้มของจำนวนดาวเทียมดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต ทำให้จำนวนภาพพื้นผิวโลกที่เพิ่มขึ้นเป็นผลโดยตรงจากการสำรวจระยะไกล ซึ่งกลายเป็นวิธีการรวบรวมข้อมูลที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เช่น เซอร์ไอซ์และคลังข้อมูลที่เข้าถึงได้ง่ายได้เพิ่มปริมาณข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่มีอยู่ การพัฒนาจำเป็นต้องมีวิธีการที่แข็งแกร่ง ถ่ายโอนได้ และเป็นอัตโนมัติ และบริการประมวลผลเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่ต้องการซึ่งสามารถผลิตได้ภายในระยะเวลาอันสั้น (Huth et al., 2012; Kulo, 2018; Gashu, 2022)

#### 3.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแปลตีความการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกล

ข้อมูลการสำรวจระยะไกลได้การรับรู้จากระยะไกลเป็นกระบวนการตรวจจับและตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของพื้นที่โดยการวัดการสะท้อนและรังสีที่ปล่อยออกมาในระยะห่างจากพื้นที่เป้าหมาย และปัจจุบันเป็นแหล่งข้อมูลที่ขาดไม่ได้เกี่ยวกับพื้นผิวโลก การปฏิวัติทางเทคโนโลยีได้ปรับปรุงความละเอียดเชิงพื้นที่ เวลา และการวัดรังสีของภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ชุดข้อมูลเวลา การรวม (บูรณาการ) ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ การรวมภาพของมาตราส่วนต่างๆ การรวมข้อมูลกลายเป็นปัจจัยที่สำคัญมากขึ้นในหลายแง่มุมของการสำรวจระยะไกล และผลของเทคนิคนี้ถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตประจำวัน บทความนี้นำเสนอกระบวนการรวมข้อมูลหลายช่วงเวลาที่ใช้ในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระหว่างสองช่วงเวลา ซึ่งในยุคปัจจุบันนี้มีความสำคัญมากสำหรับการปรับปรุงแผนที่ทำแผนที่ที่มีอยู่หรือฐานข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีอยู่อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอกระบวนการรวมข้อมูลหลายความละเอียดซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงความละเอียดเชิงพื้นที่ของภาพหลายสเปกตรัม กระบวนการนี้ช่วยให้รักษาคุณสมบัติทางสเปกตรัมของภาพหลายสเปกตรัมดั้งเดิมได้มาก

ที่สุด 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 การสำรวจระยะไกลเป็นวิธีการที่ค่อนข้างถูกและสร้างสรรค์ในการสร้างแผนที่ฐานขึ้นใหม่โดยที่ไม่มีวิธีการสำรวจที่ดินโดยละเอียด ดังนั้นข้อมูลจากดาวเทียมจึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกและจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยใช้ภาพถ่ายทางอากาศ และภาพถ่ายดาวเทียม โดยกรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายเหล่านี้ในการศึกษา และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนการจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภท เช่น ด้านการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่ใช้ศึกษาพื้นที่เพาะปลูก การเปลี่ยนแปลงบริเวณเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ การประเมินความเสียหายจากศัตรูพืช เป็นต้น

ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน เช่น ดาวเทียม LANDSAT ดาวเทียม SPOT และ ดาวเทียม Theos ที่ให้ข้อมูลรายละเอียดสูง จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมยิ่งขึ้น และเนื่องจากมีการถ่ายภาพซ้ำที่เดิมทุกๆ 18 วัน ของดาวเทียม LANDSAT และทุกๆ 16 วันของดาวเทียม SPOT ทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพบริเวณเดียว ซึ่งถ่ายภาพต่างวัน และต่างฤดูกันได้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, ม.ป.ป.) เช่น กรมพัฒนาที่ดินได้นำข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT มาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่นาข้าว การสำรวจพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทย การศึกษาความเป็นไปได้ของการประมาณพื้นที่เพาะปลูก ปาล์มน้ำมัน และการกำหนดพื้นที่ที่มีศักยภาพของการเกษตร ข้อมูลจากดาวเทียม มีการเก็บภาพในระบบเชิงตัวเลขเพื่อใช้แทนวัตถุบนพื้นโลก เก็บเป็นแบบแถวจุดภาพ (Arrays of pixel) ซึ่งแต่ละจุดภาพ (Pixel) มีระดับสีเทา และตำแหน่งโดยอ้างอิงจากแถวและคอลัมน์ ค่าของจุดภาพ (Pixel value) หรือจำนวนตัวเลข (Digital number) เป็นค่าที่บันทึกได้จากพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นโลกไปยังเครื่อง

ตรวจวัดกระบวนการต่างๆ ในการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข มีไว้เพื่อช่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลภาพไปใช้ ขั้นตอนการประมวลผลภาพ ได้แก่ การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Pre-processing) ข้อมูลดิบที่ได้จากการถ่ายภาพของดาวเทียมจะต้องมาผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การปรับแก้เชิงคลื่น(Radiometric correction) เพื่อปรับแก้ค่าของจุดภาพที่คลาดเคลื่อนจากการบันทึก ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนจากชั้นบรรยากาศ เช่น หมอก ไอน้ำ ส่วนการตรวจแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ใช้เพื่อปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตที่เกิดจากการบันทึกและจากการหมุนของโลก และปรับให้ถูกต้องตามตำแหน่งที่อ้างอิงบนพื้นผิวโลกซึ่งต้องใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCP) สำหรับการปรับ และแก้ไขภาพ การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ให้มีข้อมูลค่าของจุดภาพใหม่ที่มีความคมชัดมากขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการแปลตีความจากภาพ โดยการปรับในแผนภูมิภาพ (Image histogram) การประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นกระบวนการหรือกรรมวิธีจัดจำแนกค่าของจุดภาพลงในขั้นการจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อจัดกลุ่มของจุดภาพให้เป็น กลุ่มหรือชั้นของการจำแนก ตามเงื่อนไขที่กำหนดทำให้ได้ผลที่ดี และเป็นที่ยอมรับได้ ข้อมูลที่ได้ทันต่อเหตุการณ์ และมีความต่อเนื่อง ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน เช่น ดาวเทียม LANDSAT ดาวเทียม SPOT และ ดาวเทียม Theos ที่ให้ข้อมูลรายละเอียดสูง จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ข้อมูลจากดาวเทียมยิ่งขึ้น และเนื่องจากมีการถ่ายภาพซ้ำที่เดิมทุกๆ 18 วัน ของดาวเทียม LANDSAT และทุกๆ 16 วันของดาวเทียม SPOT ทำให้สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างของภาพบริเวณเดียว ซึ่งถ่ายภาพต่างวัน และต่างฤดูกันได้ (สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน, ม.ป.ป.) เช่น กรมพัฒนาที่ดินได้นำข้อมูลจากดาวเทียม LANDSAT มาใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่นาข้าว การสำรวจพื้นที่ปลูกยางพาราของประเทศไทย การศึกษาความเป็นไปได้ของการประมาณพื้นที่เพาะปลูก ปาล์มน้ำมัน และการกำหนดพื้นที่ที่มีศักยภาพของการเกษตร ข้อมูลจากดาวเทียม มีการเก็บภาพในระบบเชิงตัวเลขเพื่อใช้แทนวัตถุบนพื้นโลก เก็บเป็นแบบแถวจุดภาพ (Arrays of pixel) ซึ่งแต่ละจุดภาพ (Pixel) มีระดับสีเทา และตำแหน่งโดยอ้างอิงจากแถวและคอลัมน์ ค่าของจุดภาพ (Pixel value) หรือจำนวนตัวเลข (Digital number) เป็นค่าที่บันทึกได้จากพลังงานที่สะท้อนจากวัตถุบนพื้นโลกไปยังเครื่องตรวจวัดกระบวนการต่างๆ ในการประมวลผลและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงเลข มีไว้เพื่อช่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุด ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการนำข้อมูลภาพไปใช้ ขั้นตอนการประมวลผลภาพ ได้แก่ การเตรียมข้อมูลก่อนการประมวลผล (Pre-processing) ข้อมูลดิบที่ได้จากการถ่ายภาพของดาวเทียมจะต้องมาผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การปรับแก้เชิงคลื่น(Radiometric correction) เพื่อปรับแก้ค่าของจุดภาพที่คลาดเคลื่อนจากการบันทึก ซึ่งอาจเกิดจากสัญญาณรบกวนจากชั้นบรรยากาศ เช่น หมอก ไอน้ำ ส่วนการตรวจแก้เชิงเรขาคณิต (Geometric correction) ใช้เพื่อปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตที่เกิดจากการบันทึกและจากการหมุนของโลก และปรับให้ถูกต้องตามตำแหน่งที่อ้างอิงบนพื้นผิวโลกซึ่งต้องใช้จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Points: GCP) สำหรับการปรับ และแก้ไขภาพ การเน้นข้อมูลภาพ (Image enhancement) เพื่อปรับเปลี่ยนค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ให้มีข้อมูลค่าของจุดภาพใหม่ที่มี

ความคมชัดมากขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการแปลตีความจากภาพ โดยการปรับในแผนภูมิภาพ (Image histogram) การประมวลผลภาพ (Image processing) เป็นกระบวนการหรือกรรมวิธีจัดจำแนกค่าของจุดภาพลงในชั้นการจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อจัดกลุ่มของจุดภาพให้เป็นกลุ่มหรือชั้นของการจำแนก ตามเงื่อนไขที่กำหนด การจำแนกภาพแบ่งเป็น การจำแนกแบบควบคุม (Supervised classification) โดยการใช้การแบ่งประเภทของการสะท้อนช่วงคลื่นออกเป็นกลุ่มตัวอย่างหลายๆ กลุ่มแล้วกำหนดให้เป็นพื้นที่ของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง (Training area) เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะต่างๆ ใช้สำหรับคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวใช้เป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทของข้อมูลการจำแนกภาพแบบนี้ต้องใช้ข้อมูลภาคพื้นดินมาช่วยส่วนการจำแนกภาพอีกแบบเรียกว่า การจำแนกแบบไม่ควบคุม (Unsupervised classification) เป็นการจำแนกโดยการใช้การจำแนกประเภทข้อมูลจากค่าสถิติของการสะท้อนของช่วงคลื่นของวัตถุต่างๆ เรียกว่าการจับกลุ่มของข้อมูล (Clustering) ด้วยเหตุที่การใช้ที่ดินในประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอข้อมูลจากดาวเทียมจึงถูกนำมาใช้ในการจำแนกและจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินโดยกรมพัฒนาที่ดินได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายเหล่านี้ในการศึกษา และการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสภาพการใช้ที่ดิน ตลอดจนการจัดทำแผนที่แสดงขอบเขตการใช้ที่ดินแต่ละประเภท เช่น ด้านการเกษตรซึ่งส่วนใหญ่ใช้ศึกษาพื้นที่เพาะปลูก การเปลี่ยนแปลงบริเวณเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจ การประเมินความเสียหายจากศัตรูพืช เป็นต้น การนำข้อมูลจากดาวเทียมสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินสามารถทำได้สองแบบ คือ การแปลด้วยสายตา และการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ทำให้ได้ผลที่ดี และเป็นที่ยอมรับได้ ข้อมูลที่ได้ทันต่อเหตุการณ์ และมีความต่อเนื่อง การนำข้อมูลการสำรวจระยะไกลซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้ภาพถ่ายดาวเทียมมาใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินสามารถทำได้สองแบบ คือ การแปลด้วยสายตา และการแปลโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วย ซึ่งรายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังนี้

### 3.2 การแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายด้วยสายตา (ทศนัศวี, 2560)

การแปลตีความข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยสายตา (Visual interpretation) เป็นวิธีการแปลความหมายจากข้อมูลโดยไม่ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อให้ได้ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ การจำแนกข้อมูลวิธีนี้มักจะประมวลและตีความข้อมูลที่ได้จากภาพถ่ายจากดาวเทียมหรือภาพถ่ายทางอากาศเข้ากับข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม หรือแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ผู้ที่สามารถแปลตีความภาพที่ดีและเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการดำเนินงาน เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินโดยเฉพาะเมื่อนักวิเคราะห์คุ้นเคยกับพื้นที่ที่ถูกจำแนก วิธีนี้ใช้ทักษะที่พัฒนาขึ้นในตอนแรกเพื่อแปลภาพถ่ายทางอากาศ ต้องอาศัยล่ามในการใช้สัญลักษณ์ทางสายตา เช่น น้ำเสียง พื้นผิว รูปร่างรูปแบบและความสัมพันธ์กับวัตถุอื่นเพื่อระบุประเภทสิ่งปกคลุมดินที่แตกต่างกัน (Sudhakar and Kameshwara, 2010) การแปลตีความภาพด้วยสายตาจากดาวเทียมด้วยสายตาต้องอาศัยประสบการณ์ ความรู้ ความเข้าใจในลักษณะของพื้นที่ศึกษา และกิจกรรมที่เกิดขึ้น ณ ที่นั้นๆ ในเวลาต่างๆ โดยการแปลภาพจากดาวเทียม ซึ่งการแปลตีความ (Interpretation) ด้วยสายตาต้องอาศัยพื้นฐานความรู้และความเข้าใจของผู้แปล และการตรวจสอบในภาคสนาม เพื่อทำแผนที่และจัดการสารสนเทศ องค์ประกอบของการแปลตีความ



ภาพด้วยสายตา อาจจำเป็นต้องพิจารณาจากหลายองค์ประกอบร่วมกัน ได้แก่ สี (color) ความเข้มของสี (Tone) ขนาด (Size) รูปร่าง (Shape) เนื้อภาพ (Texture) ความสูง (Height) และ เงา (shadow) เป็นต้น (อมร, 2558) ซึ่งในการจำแนกการใช้ที่ดินในแต่ละพื้นที่ สามารถจำแนกจากความเข้มของสีและสีบนภาพ โดยพิจารณาองค์ประกอบหลักที่สำคัญ (Elements of interpretation) ได้แก่

1. ความเข้มของสีและสี (Tone/Color) ระดับความแตกต่างของความเข้มของสีหนึ่งๆ มีความสัมพันธ์กับค่าการสะท้อนของช่วงคลื่นและการผสมสีของช่วงคลื่นต่างๆ เช่น น้ำในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ถูกดูดกลืนทำให้ปรากฏเป็นสีดำ ในภาพสีผสมพีชพรรณปรากฏเป็นสีแดงเมื่อกำหนดให้ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้เป็นสีแดง ช่วงคลื่นสีแดงกำหนดให้เป็นสีเขียว และช่วงคลื่นสีเขียวกำหนดให้เป็นสีน้ำเงิน

2. ขนาด (Size) ขนาดของภาพวัตถุที่ปรากฏในข้อมูลจากดาวเทียมขึ้นอยู่กับขนาดของวัตถุและมาตราส่วนของข้อมูลจากดาวเทียม เช่น ความยาว ความกว้าง หรือพื้นที่ แสดงให้เห็นความแตกต่างของขนาดระหว่างแม่น้ำและลำคลอง

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

4. เนื้อภาพ (Texture) หรือความหยาบละเอียดของผิววัตถุ เป็นผลมาจากความแปรปรวนหรือความสม่ำเสมอของวัตถุ เช่น น้ำมีลักษณะเรียบ และป่าไม่มีลักษณะขรุขระ เป็นต้น

5. รูปแบบ (Pattern) ลักษณะการจัดเรียงตัวของวัตถุปรากฏเด่นชัดระหว่างความแตกต่างตามธรรมชาติและสิ่งที่มีมนุษย์สร้างขึ้น เช่น แม่น้ำ คลอง กับคลองชลประทาน บ่อ และสระน้ำกับเขื่อน เป็นต้น

6. ความสูงและเงา (Height and Shadow) เงาของวัตถุมีความสำคัญในการคำนวณหาความสูงและมุมสูงของดวงอาทิตย์ เช่น เงาบริเวณเขาหรือหน้าผา เงาของเมฆ เป็นต้น

7. ที่ตั้ง (Site) หรือตำแหน่งของวัตถุที่พบตามธรรมชาติ เช่น พื้นที่ป่าชายเลนพบบริเวณชายฝั่งทะเลน้ำท่วมถึง สนามบินอยู่ใกล้แหล่งชุมชน เป็นต้น

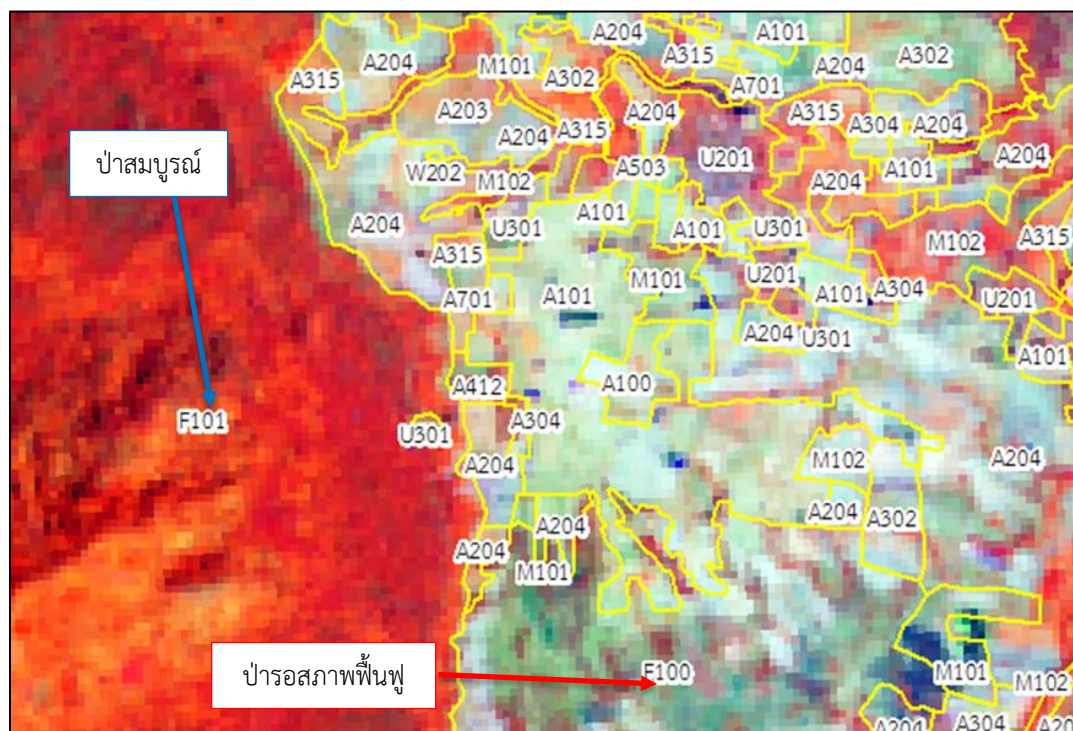
8. ความเกี่ยวพัน (Association) หมายถึงความเกี่ยวพันขององค์ประกอบทั้ง 7 ที่กล่าวมา เช่นบริเวณที่มีต้นไม้เป็นกลุ่มๆ มักเป็นที่ตั้งของหมู่บ้าน ไร่เลื่อนลอยอยู่ในพื้นที่ป่าไม้บนเขา นาทุ่งอยู่บริเวณชายฝั่งรวมกับป่าชายเลน เป็นต้น

การใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากสีบนภาพถ่ายนิยามการผสมสีเท็จแบบต่างๆ ซึ่งทำให้สามารถจำแนกวัตถุบนพื้นโลกได้ง่ายขึ้น เช่น การผสมแบบเท็จของภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8 แบบแบนด์ 5R-6G-4B ทำสีของบริเวณอ่างเก็บน้ำ (W201) มีสีน้ำเงินเข้มซึ่งเกิดจากการสะท้อนแสงของน้ำ ยางพารา (A302) มีสีส้มสด และพื้นที่สิ่งปลูกสร้าง (U201, U301 และ U501) ปรากฏเป็นสีขาว เป็นต้น (ภาพที่ 19) การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากขนาด และ รูปร่าง เช่น นาข้าว (A101) สามารถจำแนกโดยลักษณะแปลงที่มีคันทนา เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ปลูกมันสำปะหลังหรืออ้อยจะเป็นแปลงปลูกที่เป็นพื้นที่ราบ ถนน (U405) มีลักษณะซึ่งส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแนวเส้นตรง ยาว และแคบ ขณะที่แม่น้ำมีลักษณะเป็นแนวยาวและแคบ แต่มีความคดเคี้ยวมากกว่าถนน เป็นต้น (ภาพที่ 20) การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากเนื้อภาพ





ภาพที่ 20 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากขนาด และ รูปร่างของพื้นที่จากภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข



ภาพที่ 21 การจำแนกการใช้ที่ดินโดยพิจารณาจากเนื้อหาของพื้นที่จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 8

### 3.3 การจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

การสำรวจระยะไกล เป็นวิทยาศาสตร์และศิลป์ที่ทำให้ได้ข้อมูลเชิงพื้นที่ หรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นๆ โดยอาศัยคุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลที่อยู่บนพื้นผิวโลก เกี่ยวข้องกับช่วงคลื่น (Spectral) การจัดประเภทภาพ โดยใช้ข้อมูลที่บันทึกโดยเซ็นเซอร์ที่ติดกับพาหนะต่างๆ เช่น ดาวเทียม เป็นการจัดประเภทของจุดภาพ (pixel) ทั้งหมดในภาพดิจิทัลให้เป็นหนึ่งในหลายๆ ประเภท (class) การจัดประเภทของจุดภาพเป็นกระบวนการจัดกลุ่มประเภทตามค่าพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยกลุ่มของจุดภาพที่เหมือนกัน จะถูกจัดให้อยู่ในประเภทเดียวกัน เช่น พื้นที่น้ำ พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่สิ่งปลูกสร้าง และพื้นที่เกษตรกรรม จะมีการสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ต่างกัน ซึ่งการจำแนกประเภทของจุดภาพด้วยคอมพิวเตอร์มี 2 ประเภท ได้แก่ การจำแนกประเภทแบบไม่มีการกำกับดูแล และการจำแนกภายใต้การกำกับดูแล

#### 3.3.1 การจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification)

เป็นการจำแนกข้อมูลจากการหาความสว่างของจุดภาพที่ใกล้เคียงกันซึ่งไม่ต้องใช้ความรู้ในการจำรูปแบบเลยทำให้การแบ่งแยกรายละเอียดเป็นกลุ่มๆ (Cluster) จึงขึ้นอยู่กับค่าความสว่างของภาพ การจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแล (โดยทั่วไปเรียกว่าการจัดกลุ่ม) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพการแบ่งพาร์ติชันข้อมูลภาพเช่นเซอร์ระยะไกลในพื้นที่คุณลักษณะหลายสเปกตรัมและการแยกพื้นที่ปกคลุมข้อมูล (Punia, n.d.) การจำแนกข้อมูลแบบไม่กำกับดูแล (Unsupervised Classification) เป็นการจำแนกข้อมูลจากการหาความสว่างของจุดภาพที่ใกล้เคียงกันซึ่งไม่ต้องใช้ความรู้ในการจำรูปแบบเลยทำให้การแบ่งแยกรายละเอียดเป็นกลุ่มๆ (Cluster) จึงขึ้นอยู่กับค่าความสว่างของภาพเมื่อเทียบกับการจัดประเภทแบบมีผู้ดูแล โดยปกติแล้ว การจัดประเภทแบบไม่ดูแลต้องการเพียง ข้อมูลเริ่มต้นจำนวนน้อยที่สุดจากนักวิเคราะห์ (Punia, n.d.) เนื่องจากโดยปกติแล้วการทำคลัสเตอร์ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลการฝึกอบรม กระบวนการดำเนินการทางตัวเลขเพื่อค้นหาการจัดกลุ่มตามธรรมชาติของคุณสมบัติสเปกตรัมของพิกเซลตามที่ตรวจสอบในสเปกตรัมหลายสเปกตรัม กระบวนการจัดกลุ่มผลลัพธ์ในแผนผังการจัดประเภทที่ประกอบด้วยคลาสสเปกตรัม เตะจากนั้นนักวิเคราะห์พยายามที่จะกำหนดหรือเปลี่ยนคลาสสเปกตรัมให้เป็นธิมกลุ่มข้อมูลที่สนใจ (เช่น ป่าไม้ เกษตรกรรม) ในการจำแนกประเภทที่ไม่มีการควบคุม ซอฟต์แวร์จะทำการประมวลผลส่วนใหญ่ด้วยตัวเองโดยทั่วไปทำให้มีหมวดหมู่มากกว่าที่ผู้ใช้สนใจ นี่คือนิวที่ผู้ใช้ต้องทำตัดสินใจว่าจะจัดกลุ่มประเภทใดเข้าด้วยกันเป็นประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทเดียว (Punia, n.d.) ในทั้งสองกรณีอาจใช้การประมวลผลภาพเพิ่มเติมเพื่อพิจารณาว่าวิธีใดดีกว่าสำหรับสถานการณ์ที่กำหนด ต้องระลึกไว้เสมอว่าแผนที่เป็นเพียงความพยายามง่ายๆ เพื่อแสดงถึงสิ่งที่เป็นจริงมีอยู่ในโลกและไม่เคยถูกต้องสมบูรณ์ (Punia, n.d.) การจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแล มีสองวิธีหลักใน ได้แก่ K-means clustering และ Isodata clustering (Punia, n.d.)

##### 1) การจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแลแบบ K-mean

K-mean คือเป็น algorithm ในการทำ clustering model ในประเภท hard cluster โดยมีขั้นตอนกำหนดจำนวนกลุ่มของชุดข้อมูลที่ต้องการจัดกลุ่ม (ค่า k) algorithm จะสุ่ม

ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางของการจัดกลุ่มในพื้นที่ของข้อมูล จากจุดศูนย์กลางจะมีการคำนวณระยะทางจากจุดข้อมูลต่าง ๆ มายังจุดศูนย์กลางโดยจะกำหนดให้ข้อมูลถูกจัดกลุ่มอยู่กับจุดศูนย์กลางที่มีระยะทางใกล้ที่สุดเท่านั้นโดยคำนวณระยะทางนั้นทั้งหมดของข้อมูลแต่ละจุดมายังจุดศูนย์กลางแล้วเก็บค่าไว้เปลี่ยนจุดศูนย์กลางและทำซ้ำจนกระทั่งได้ระยะทางรวมน้อยที่สุด algorithm จะสรุปว่าเมื่อพบว่าไม่สามารถพัฒนาการจัดกลุ่มให้ได้ดีมากไปกว่านี้แล้ว algorithm จะหยุดวนลูปทันที ดังนั้นแต่ละครั้งที่สร้าง clustering model แม้ว่าให้จำนวนชุดเท่าเดิมแต่ผลที่ได้อาจจะไม่เหมือนเดิม K-mean เป็นหนึ่งในอัลกอริทึมการเรียนรู้แบบไม่มีผู้ดูแลที่ง่ายที่สุดที่ใช้แก้ปัญหาที่รู้จักกันดี ปัญหาการรวมกลุ่ม ขั้นตอนนี้เป็นไปตามวิธีที่ง่ายและสะดวกในการจำแนกชุดข้อมูลที่กำหนดผ่านคลัสเตอร์จำนวนหนึ่ง (สมมติ k คลัสเตอร์) แก่ลำดับความสำคัญ แนวคิดหลักคือการกำหนด k centroids หนึ่งตัวสำหรับแต่ละคลัสเตอร์ เซนทรอยด์เหล่านี้ควรวางอย่างมีไหวพริบเพราะสถานที่ต่างกันทำให้เกิดผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ดังนั้นทางเลือกที่ดีกว่าคือวางไว้เท่าๆ อาจอยู่ห่างไกลกัน ขั้นตอนต่อไปคือการใช้แต่ละจุดที่เป็นของข้อมูลที่กำหนดตั้งค่าและเชื่อมโยงกับเซนทรอยด์ที่ใกล้ที่สุด เมื่อไม่มีประเด็นใดค้างอยู่ แสดงว่าขั้นตอนแรกเสร็จสิ้นและจัดกลุ่มก่อนกำหนด ณ จุดนี้ เราจำเป็นต้องคำนวณ k centroid ใหม่อีกครั้งเป็น barycenters ของคลัสเตอร์ที่เกิดจากขั้นตอนที่แล้ว หลังจากที่เรามีเซนทรอยด์ใหม่ k เหล่านี้แล้วต้องทำการเชื่อมโยงใหม่ระหว่างจุดชุดข้อมูลเดียวกันและเซนทรอยด์ใหม่ที่ใกล้ที่สุด สร้างลูปแล้ว จากผลของลูปนี้ เราอาจสังเกตเห็นว่า k centroids เปลี่ยนไปสถานที่ที่ละขั้นตอนจนกว่าจะไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงอีก กล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเซนทรอยด์ไม่เคลื่อนไหวใดๆ

## 2) การจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแลแบบ ISODATA

เทคนิคการจำแนกประเภทที่ไม่มีผู้ดูแลแบบ ISODATA เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลการจัดระเบียบตนเองแบบวนซ้ำ สดงถึงความครอบคลุมชุดขั้นตอนวิธีวิวิธวิธีที่รวมอยู่ในอัลกอริทึมการจัดหมวดหมู่แบบวนซ้ำหลายขั้นตอนที่รวมอยู่ในอัลกอริทึมเป็นผลมาจากประสบการณ์ที่สั่งสมมา การทดลองอัลกอริทึม ISODATA เป็นการดัดแปลงอัลกอริทึมการจัดกลุ่มค่า k-mean ซึ่งรวมถึง การรวมคลัสเตอร์หาระยะห่างของคลัสเตอร์ในพื้นที่คุณลักษณะหลายสเปกตรัมต่ำกว่าผู้ใช้เกณฑ์ที่กำหนดและ กฎสำหรับการแบ่งคลัสเตอร์เดี่ยวออกเป็นสองคลัสเตอร์ ISODATA เป็นแบบวนซ้ำ เนื่องจากทำให้การส่งผ่านข้อมูลระยะไกลเป็นจำนวนมาก ชุดข้อมูลจนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่ระบุ แทนที่จะผ่านเพียงสองครั้ง ISODATA ไม่จัดสรรเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยเริ่มต้นตามการวิเคราะห์พิกเซลในครั้งแรก บรรทัดข้อมูลในแบบที่อัลกอริทึมของ two-pass chain ทำ ค่อนข้างเป็นการมอบหมายโดยพลการเริ่มต้นของกลุ่ม Cmax ทั้งหมดเกิดขึ้นตามเวกเตอร์ n มิติที่วิ่งระหว่างเฉพาเจาะจงมากจุดในพื้นที่คุณลักษณะ พื้นที่ในพื้นที่คุณลักษณะถูกกำหนดโดยใช้ค่าเฉลี่ยและมาตรฐานความเบี่ยงเบนของแต่ละวงในการวิเคราะห์ วิธีการเฉพา Cmax ตั้งเดิมนี้โดยอัตโนมัติเวกเตอร์ทำให้แน่ใจว่าข้อมูลสองสามบรรทัดแรกไม่มีอคติต่อการสร้างคลัสเตอร์ ISODATA มีการจัดระเบียบตัวเองเนื่องจากต้องใช้ข้อมูลของมนุษย์ค่อนข้างน้อย ISODATA ทั่วไปโดยปกติอัลกอริทึมต้องการให้นักวิเคราะห์ระบุเกณฑ์ต่อไปนี้:

- Cmax: จำนวนคลัสเตอร์สูงสุดที่อัลกอริทึมระบุได้ (เช่น 20 คลัสเตอร์) อย่างไรก็ตาม ไม่ใช่เรื่องแปลกที่จะพบน้อยลงในแผนที่การจัดประเภทขั้นสุดท้ายหลังจากการแยกและเกิดการผสมผสานขึ้น

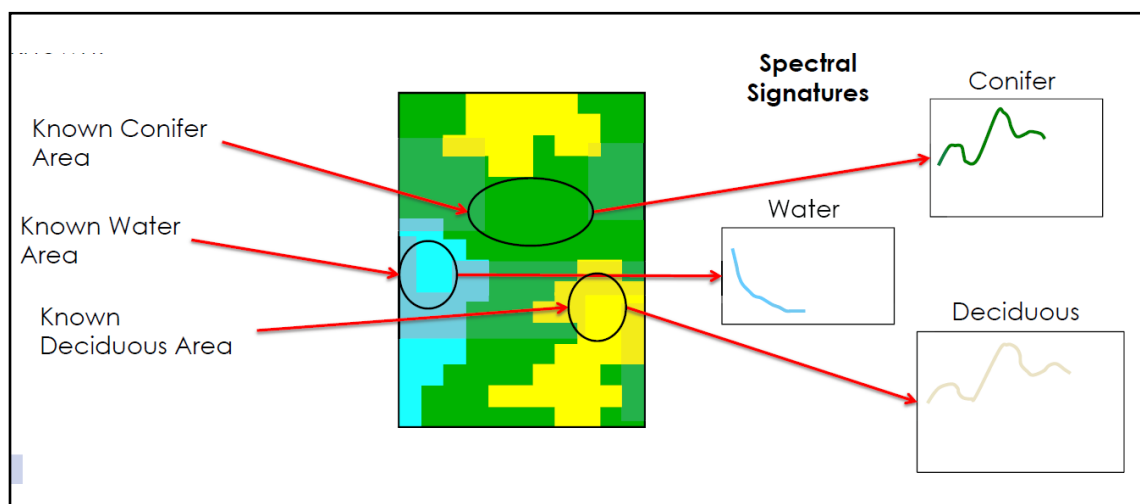
- T: เปอร์เซนต์สูงสุดของพิกเซลที่อนุญาตให้เปลี่ยนค่าคลาสระหว่างกันได้การทำซ้ำ เมื่อถึงจำนวนนี้ อัลกอริทึม ISODATA จะสิ้นสุดลง บางชุดข้อมูลอาจไม่เคยถึงเปอร์เซนต์ที่ต้องการ ไม่เปลี่ยนแปลง หากสิ่งนี้เกิดขึ้นจำเป็นต้องขัดจังหวะประมวลผลและแก้ไขพารามิเตอร์

- M: จำนวนครั้งสูงสุดที่ ISODATA ใช้ในการจำแนกพิกเซลและคำนวณค่าเฉลี่ยของคลัสเตอร์ใหม่เวกเตอร์ อัลกอริทึม ISODATA จะสิ้นสุดลงเมื่อถึงจำนวนนี้ สมาชิกขั้นต่ำในคลัสเตอร์ (%) : หากคลัสเตอร์มีสมาชิกลดลงกว่าเปอร์เซนต์ขั้นต่ำ คลัสเตอร์นั้นจะถูกลบและสมาชิกถูกกำหนดให้อยู่ในคลัสเตอร์ทางเลือก สิ่งนี้ยังส่งผลต่อการเรียนในชั้นเรียนอีกด้วยที่จะแยก (ดูค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด) เปอร์เซนต์ขั้นต่ำเริ่มต้นของสมาชิกคือ มักจะตั้งค่าเป็น 0.01 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุด ( $\sigma_{max}$ ) : เมื่อค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสำหรับคลัสเตอร์เกิน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงสุดที่กำหนดและจำนวนสมาชิกในชั้นเรียนมากกว่าสองเท่าของสมาชิกขั้นต่ำที่ระบุในคลาส คลัสเตอร์จะแบ่งออกเป็นสองคลัสเตอร์ ความหมายเวกเตอร์สำหรับกลุ่มใหม่สองกลุ่มคือศูนย์คลาสเก่า  $\pm 1$  ของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ( $\sigma$ ) ซิดค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานระหว่าง 4.5 ถึง 7 เป็นเรื่องปกติค่าการแยกส่วน: ถ้าค่านี้เปลี่ยนจาก 0.0 จะเป็นค่ามาตรฐานความเบี่ยงเบนในการระบุตำแหน่งของเวกเตอร์ค่าเฉลี่ยใหม่บวกและลบการแยกค่าการแยก ระยะห่างต่ำสุดระหว่างกลุ่มหมายถึง (C): กลุ่มที่มีระยะทางถ่วงน้ำหนักน้อยกว่านี้รวมค่าแล้ว มักใช้ค่าเริ่มต้นเป็น 3.0

### 3.3.2 การจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแล

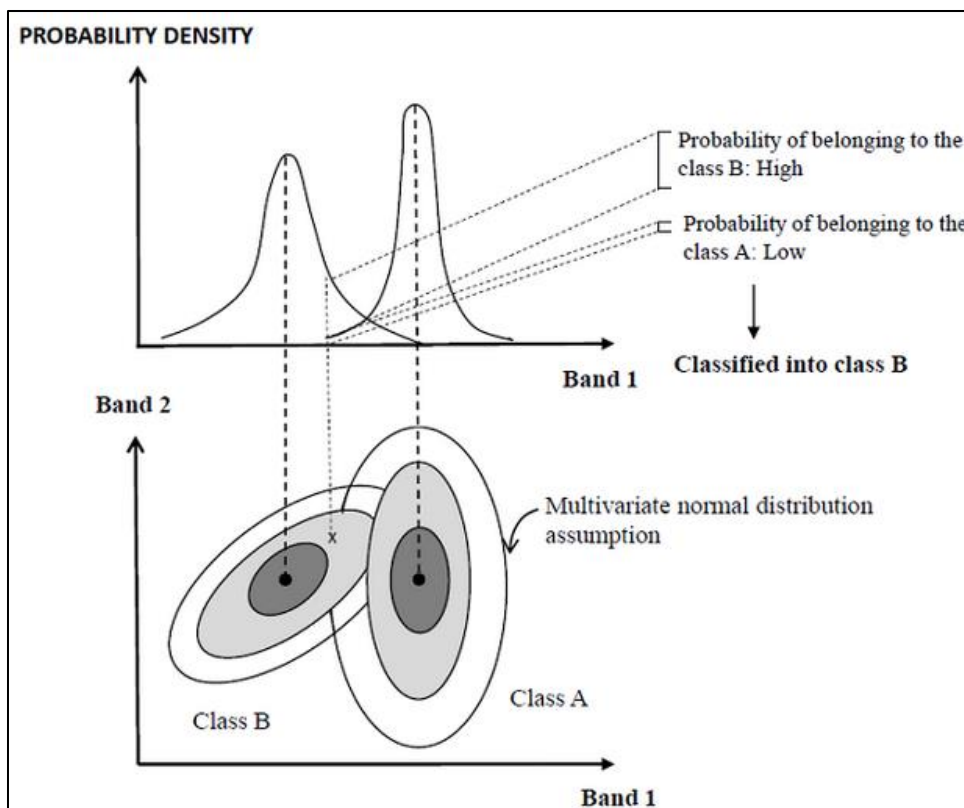
การจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแล (Supervised classification) โดยการใช้การแบ่งประเภทของการสะท้อนช่วงคลื่นออกเป็นกลุ่มตัวอย่างหลายๆ กลุ่มแล้วกำหนดให้เป็นพื้นที่ของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง (Training area) เพื่อเป็นตัวแทนของลักษณะต่างๆ ใช้สำหรับคำนวณค่าทางสถิติ เช่น ค่าเฉลี่ยของแต่ละประเภทข้อมูล ค่าสถิติดังกล่าวใช้เป็นตัวแทนสำหรับการจำแนกประเภทของข้อมูลการจำแนกภาพแบบนี้ต้องใช้ข้อมูลภาคพื้นดินมาช่วย โดยจุดภาพที่เป็นตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างนั้นเรียกว่า กลุ่มตัวอย่าง (Training Fields, Training Areas หรือ Spectral Signatures) ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการจำแนกข้อมูลแบบกำกับดูแลจะเป็นการกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของรายละเอียดก่อนการจำแนก การจำแนกประเภทข้อมูลแบบควบคุม เป็นการจำแนกประเภทข้อมูลที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดลักษณะของประเภทข้อมูลเอง โดยเป็นผู้เลือกตัวอย่างประเภทข้อมูลให้แก่เครื่อง จึงเรียกการจำแนกข้อมูลประเภทนี้ว่าเป็นวิธีแบบควบคุมโดยผู้วิเคราะห์ต้องควบคุมอย่างใกล้ชิด ข้อมูลตัวแทนหรือข้อมูลตัวอย่างที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนดนั้นได้จากการตีความหมายภาพดาวเทียมที่ถูกต้องด้วยสายตาโดยอาศัยประสบการณ์ ความเข้าใจและความรู้ที่มีอยู่ ตลอดจนกระบวนการต่างๆ ในการตีความหมาย เช่น การสำรวจภาคสนาม การใช้แผนที่ภาพถ่ายต่างๆ และสถิติอื่นๆ เป็นต้นทั้งนี้เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความหมายถูกต้องตามระบบการจำแนก ตัวอย่างที่เลือกเป็นข้อมูลทางสถิติที่กำหนดคุณลักษณะของ

ข้อมูล ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์จะนำคุณลักษณะทางสถิติของพื้นที่ตัวอย่างนั้นไปทำการประมวลผลแล้ว จำแนกแต่ละจุดภาพของข้อมูลดาวเทียมให้เป็นประเภทข้อมูลตามที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้ตามพื้นที่ตัวอย่าง ซึ่งความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการจำแนกวิธีนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของพื้นที่ตัวอย่างว่ามีความหลากหลายครอบคลุมทุกประเภทข้อมูลหรือไม่และเป็นตัวแทนของประชากรข้อมูลทุกประเภทหรือไม่ วิธีการนี้ผู้ใช้งานจะต้องมีความรู้ในพื้นที่ศึกษาเป็นอย่างดี โดยศึกษาจากข้อมูลเสริมประกอบตลอดจนการสังเกตลักษณะเชิงกายภาพ (Physical characteristics) ของประเภทข้อมูลดังกล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 22 หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแล

การจำแนกประเภทที่มีผู้ดูแลแบบ Maximum likelihood พิจารณาโอกาสสูงสุดจะพิจารณาว่าค่าการสะท้อนแสงในแต่ละคลาสเหมาะสมกับการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งช่วยให้สามารถอธิบายแต่ละคลาสด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นจากเมทริกซ์เวกเตอร์เฉลี่ยและความแปรปรวนหรือความแปรปรวนร่วม ฟังก์ชันนี้คล้ายกับการกระจายค่าการสะท้อนแสงของแต่ละหมวดหมู่ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณความน่าจะเป็นที่ค่าการสะท้อนแสงเป็นสมาชิกของคลาสที่กำหนดได้ มีการคำนวณสำหรับแต่ละคลาสที่เกี่ยวข้อง โดยกำหนดพิกเซลให้กับสิ่งที่เพิ่มฟังก์ชันความน่าจะเป็นให้สูงสุด (ภาพที่ 23) (Alzate, 2011)



ภาพที่ 23 หลักการการจำแนกประเภทที่มีกำกับดูแลแบบ Maximum likelihood  
ที่มา: Alzate (2011)

### 3.4 การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักรในการการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์

ปัจจุบันมีข้อมูลภาพถ่ายจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลให้บริการจำนวนมาก และเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัลและอัลกอริธึมในการจำแนกพิกเซลก็สามารถเข้าถึงได้ง่ายเช่นกัน ทำให้มีความพยายามในการหาแนวทางที่จะประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักรในการการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ ทั้งการแปลแบบมีการกำกับดูแลและไม่มีการการดูแล โดยเทคนิคที่นิยมใช้ได้แก่ เทคนิคแบบป่าแบบสุ่ม (Tso & Mather, 2009) และ เทคนิค support vector machine (SVM) การพัฒนาของเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลในอดีตถึงปัจจุบัน ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และการประมวลผลภาพได้ก้าวหน้าผ่านการจำแนกข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (Object-based classification) โดยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ เป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้ทุกจุดภาพ (Pixel) ในการจำแนกเพียงอย่างเดียว มีการใช้พารามิเตอร์อื่นร่วมในการจำแนกด้วย เช่น พื้นผิว มาตรฐานส่วน สี จากการจัดกลุ่มของจุดภาพหรือการแบ่งส่วนของภาพในการจัดประเภทข้อมูล จึงมีความแตกต่างกับวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel-based classification) ที่ใช้จุดภาพทุกจุดในการจัดประเภทข้อมูล ซึ่งมักเกิดข้อผิดพลาดในการ



จำแนก หากภาพที่ใช้ในการจำแนกมีสิ่งรบกวน เช่น เงาของก้อนเมฆ มุมตกกระทบของแสงที่ทำให้วัตถุมีค่าการสะท้อนผิดเพี้ยนไปจากปกติ (Prama & Projo, 2016) และยังมีการนำอัลกอริทึมของระบบการเรียนรู้เครื่อง (Machine learning) มาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากอัลกอริทึมของระบบดังกล่าวเป็นอัลกอริทึมแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non-parametric algorithms) ไม่ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูล ไม่ใช่ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ทางสถิติ (Statistical parameters) ในการจำแนกข้อมูล สามารถใช้จำแนกข้อมูลที่มีการกระจายหลากหลายแบบ มีความรวดเร็วและแม่นยำในการจำแนกข้อมูลที่มีความซับซ้อนและปริมาณมาก

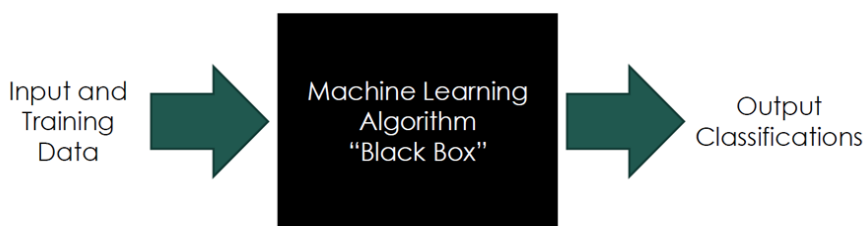
การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรเป็นการพัฒนากระบวนการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอัตโนมัติ ซึ่งเดิมการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่นิยมใช้กัน ได้แก่ การแปลตีความด้วยสายตา (Visual Interpretation) การแปลตีความด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของการแปลตีความที่หลากหลาย ทั้งนี้กระบวนการดำเนินงานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพต้องใช้เวลาและบุคลากรที่มี ความรู้ความชำนาญ ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ทันต่อสถานการณ์ของผู้ใช้งาน ปัจจุบันความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้เกิด การพัฒนาประสิทธิภาพการทำงาน โดยมีการเปลี่ยนแปลงการทำงานให้อยู่ในรูปแบบอัตโนมัติมากขึ้น เช่นเดียวกับ ผลงานการพัฒนากระบวนการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้พัฒนาขึ้น โดยกระบวนการประกอบด้วย การ พัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการประมวลผลใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ 1.กระบวนการดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-8 แบบอัตโนมัติ (API Downloader) 2.กระบวนการเตรียมข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-8 แบบอัตโนมัติ (Pre-processing) และ 3. การพัฒนาชุดคำสั่งสำหรับการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธี Machine Learning (Classification Landuse L1) ผลการพัฒนากระบวนการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอัตโนมัติจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-8 พบว่าช่วยลดระยะเวลาในการทำงาน เพิ่มความถี่ในการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้มากขึ้น และสามารถประมวลผลได้แบบอัตโนมัติโดยปราศจากบุคลากรในการป้อนนำเข้าข้อมูล (Input) ซึ่งก่อให้เกิดการทำงานที่เป็นระบบ ไม่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาทำงาน อีกทั้งยังสามารถต่อยอดและพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการจำแนกชั้นข้อมูลอื่นๆ ต่อไปได้

การแปลตีความภาพเพื่อจำแนกวัตถุได้ดีและถูกต้อง ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมๆ กันไป ตามความยากง่ายและมาตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจไม่แน่นอนเสมอไปรูปร่าง สี และขนาด อาจใช้เป็นองค์ประกอบในการแปลตีความภาพพื้นที่หนึ่งหรือลักษณะหนึ่ง ส่วนอีกบริเวณอื่นของพื้นที่เดียวกันอาจต้องใช้องค์ประกอบอีกอย่างก็ได้ นอกจากนี้จำเป็นต้องนำข้อมูลจากดาวเทียมอีก 3 ลักษณะมาประกอบการพิจารณา คือ ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ (Spectral characteristic) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วงคลื่นแสงในแต่ละแบนด์โดยวัตถุต่างๆ สะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นไม่เท่ากัน ทำให้สีของวัตถุในภาพแต่ละแบนด์แตกต่างกันในระดับสีขา-ดำ ซึ่งทำให้สีแตกต่างในภาพสีผสมด้วย ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ (Spatial characteristic) แตกต่างตามมาตราส่วนและรายละเอียดภาพจากดาวเทียม เช่น MSS วัตถุหรือพื้นที่ขนาด 80×80 เมตร จึงจะปรากฏในภาพ และระบบ PLA มีขนาด 10×10 เมตร เมื่อค้นเคยกับ

ลักษณะรูปร่างวัตถุทำให้ทราบลักษณะที่จำลองในภาพจากดาวเทียม ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal characteristic) ซึ่งทำให้สถานะของวัตถุต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงรายปี หรือรายคาบ เป็นต้นลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้มีความแตกต่างของระดับสีในภาพขาวดำ และภาพสีผสม ทำให้เราสามารถใช้อัตราส่วนของดาวเทียมที่ถ่ายซ้ำที่เดิมในช่วงเวลาต่างๆ มาติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สามารถติดตามการบุกรุกทำลายป่าการเติบโตของพืชตั้งแต่ปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

หลักการ Machine Learning Algorithms สำหรับการจำแนกประเภทการใช้ที่ดิน

อัลกอริทึมการเรียนรู้โดยเครื่อง ปัจจุบันนำเข้า ได้แก่ ภาพและข้อมูลสำหรับควบคุม เพื่อจัดกลุ่มและจำแนกจุดภาพ อัลกอริทึมที่ใช้คือ คือ กล่องดำ (black box) ซึ่งหมายความว่าเราสามารถตรวจสอบปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์ที่ได้ได้เท่านั้น ซึ่งอัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่ล้ำสมัย (เช่น เทคนิคป่าสุ่ม) การจัดหมวดหมู่และต้นไม้ถดถอย (CART) การสนับสนุนเวกเตอร์แมชชีน (SVM) และmaximum likelihood (ML) เป็นเทคนิคส่วนใหญ่ที่นักวิจัยให้ความสนใจ (ภาพที่ )



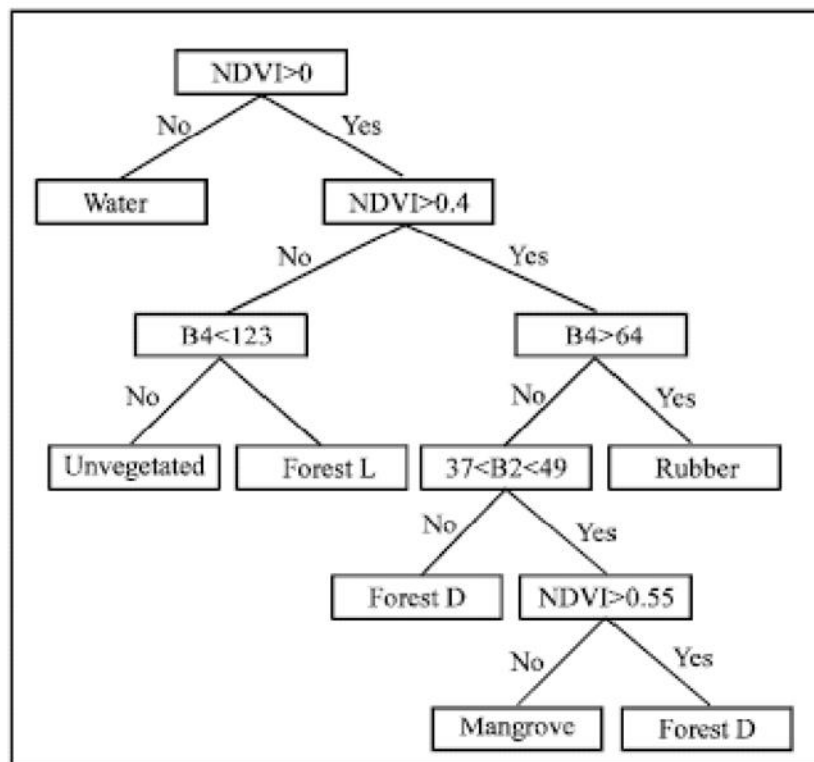
**ภาพที่ 24** กระบวนการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแลโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักร

การทำเหมืองข้อมูลถือเป็นกระบวนการดึงข้อมูลที่เป็นประโยชน์จากข้อมูลจำนวนมาก ใช้เพื่อค้นพบรูปแบบใหม่ที่ถูกต้องและเป็นประโยชน์ในข้อมูล ค้นหาความหมายและข้อมูลที่เกี่ยวข้องสำหรับองค์กรหรือบุคคลที่ต้องการ การทำเหมืองข้อมูลได้รับการออกแบบมาเพื่อแยกกฎออกจากข้อมูลจำนวนมาก ในขณะที่การเรียนรู้ของเครื่องจะสอนคอมพิวเตอร์ถึงวิธีการเรียนรู้และเข้าใจพารามิเตอร์ที่กำหนดหรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง การทำเหมืองข้อมูลเป็นเพียงวิธีการวิจัยเพื่อระบุผลลัพธ์เฉพาะตามข้อมูลที่รวบรวมได้ทั้งหมด ในอีกด้านหนึ่งการเรียนรู้ของเครื่องเป็นการฝึกอบรมให้ทำงานที่ซับซ้อนและใช้ข้อมูลที่เก็บเกี่ยวและประสบการณ์เพื่อให้ฉลาดขึ้น

วิธีการของป่าสุ่มสำหรับการจำแนกประเภท ทำโดยการสร้างแผนผังการตัดสินใจ จากนั้นจึงรวมเข้าด้วยกันแบบสุ่ม วิธีการแบบลำดับขั้นของตัวจำแนกป่าแบบสุ่มเป็นเทคนิคที่ใช้ลำดับของเกณฑ์การตัดสินใจในรูปแบบที่ไม่รู้จักสำหรับการตัดสินใจ โหนด (node) และราก (root) ชุดของโหนดภายใน และโหนดปลาย (โหนดปลาย) ประกอบกันเป็นแผนผังการตัดสินใจ โหนดรากและโหนดกลางแสดงถึงขั้นตอนการตัดสินใจ ในขณะที่โหนดท้ายแสดงถึงการจัดหมวดหมู่ขั้นสุดท้าย ในการใช้กระบวนการจัดหมวดหมู่ชุดของกฎจะกำหนดเส้นทางที่ต้องปฏิบัติตาม เริ่มต้นที่รากโหนดและสิ้นสุดเมื่อรายการที่จะจำแนกไปถึงโหนดปลายสุด โหนดสุดท้ายนี้กำหนดป้ายกำกับที่สอดคล้องกันให้กับวัตถุที่จัดประเภท วิธีที่จะไปยังโหนด

ถัดไปจะถูกกำหนดในแต่ละโหนดกลาง แสดงการใช้ค่าการสะท้อนแสงเป็นอินพุตเพื่อค้นหาคลาสสมมุติที่เกี่ยวข้อง (เช่น ระหว่าง “1” และ “7”) เพื่อสร้างแผนผังการตัดสินใจแบบลำดับชั้น ตัวอย่างเช่น ลักษณะของการตัดสินใจที่ใช้เป็นฐานและลำดับที่แถบสเปกตรัมถูกเลือกจะส่งผลต่อผลลัพธ์ของการจำแนกประเภท ดังนั้นการค้นหาการกำหนดค่าที่เหมาะสมของต้นไม้ที่จะใช้สำหรับการจำแนกจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง<sup>1)</sup> การทำเหมืองข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของเครื่องจักร (ภาพที่ )

การทำเหมืองข้อมูล (data mining) คือกระบวนการที่กระทำกับ ข้อมูลจำนวนมากเพื่อค้นหา รูปแบบและความสัมพันธ์ที่ซ่อน อยู่ในชุดข้อมูลนั้น ในปัจจุบันการทำเหมืองข้อมูลได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานหลายประเภท (Vamanan and Ramar, 2011) ทั้งในด้านธุรกิจที่ช่วยใน การตัดสินใจของผู้บริหาร ในด้านวิทยาศาสตร์และการแพทย์ รวมทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม การทำเหมืองข้อมูลเปรียบเสมือนวิวัฒนาการหนึ่งใน การจัดเก็บและตีความหมายข้อมูล จากเดิมที่มีการจัดเก็บ ข้อมูลอย่างง่าย มาสู่การจัดเก็บในฐานข้อมูลที่สามารถ ดึงข้อมูลสารสนเทศมาใช้จนถึงการทำเหมืองข้อมูลที่สามารถค้นพบความรู้ที่ซ่อนอยู่ในข้อมูล ซึ่งจุดประสงค์ของ การทำเหมืองข้อมูลสามารถใช้ค้นข้อมูลสำคัญที่ปะปนกับ ข้อมูลอื่นๆ ในฐานข้อมูลที่ไม่ใช่แค่การสุ่มหา เรียกว่า KDD (Knowledge Discovery in Database) หรือการค้นหาข้อมูลด้วยความรู้ มีด้วยกัน 5 รูปแบบ คือ 1) การค้นหาความสัมพันธ์ 2) การจำแนกประเภทและการพยากรณ์ 3) การจัดกลุ่มข้อมูล 4) การหาค่าผิดปกติที่เกิดขึ้น 5) การวิเคราะห์แนวโน้ม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการจำแนกประเภทและการพยากรณ์ ซึ่งเป็นเทคนิคหนึ่งที่สำคัญของการสืบค้นความรู้บนฐานข้อมูลขนาดใหญ่จุดประสงค์ คือการสร้างตัวแบบการแยกคุณลักษณะ (Attribute) หนึ่งโดยขึ้นกับคุณลักษณะอื่น ตัวแบบที่ได้จากการจำแนกประเภทข้อมูลจะทำให้สามารถพิจารณาคลาสในข้อมูล ที่ยัง ไม่ได้แบ่งกลุ่มในอนาคตได้ โดยงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ (branch) แสดงถึงค่าที่เป็นไปได้ของคุณลักษณะที่ถูกเลือกทดสอบ และใบ (leaf) ซึ่งเป็นสิ่งที่อยู่ล่างสุดของต้นไม้ตัดสินใจแสดงถึงกลุ่มของข้อมูล (class) ก็คือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำนาย โหนดที่อยู่บนสุดของต้นไม้เรียกว่าโหนดราก(root node) โครงสร้างของต้นไม้ตัดสินใจแสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ตัวอย่างการทำงานของอัลกอริทึมต้นไม้ตัดสินใจในการจำแนกข้อมูลสำรวจระยะไกล  
ที่มา: Shafri and Ramle (2009)

## บทที่ 4

### การประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติง

ปัจจุบันซึ่งได้เข้าสู่ยุคที่การเข้าถึงข้อมูลแบบเปิด (Open Data) สามารถทำได้ง่ายโดยเฉพาะข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม 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) ขั้นสูงและระบบการประมวลผลแบบคลาวด์ (Cloud) เช่น งานด้านภูมิสารสนเทศที่มีการใช้ Google Earth Engine ในการบริหารจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ ในการปรับปรุงการติดตามและการประเมินการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ซึ่งการใช้งานที่เพิ่มขึ้นของวิธีการเหล่านี้เป็นมิติใหม่ที่จะทำให้การใช้งานฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกล ทำได้เร็วและสะดวกขึ้น (Gxokwe, 2020)

แนวโน้มความพร้อมใช้งานของข้อมูลดาวเทียมผ่านคลาวด์คอมพิวติง และการเรียนรู้ด้วยเครื่องสำหรับการใช้ชุดข้อมูลเชิงพื้นที่สำหรับการทำแผนที่ การตรวจสอบ และการศึกษาระบบและสภาพแวดล้อมของโลก เริ่มเปลี่ยนไปเพื่อตอบสนองต่อแนวโน้มที่โดดเด่นสามประการในวิทยาศาสตร์ภูมิสารสนเทศ ได้แก่ การเพิ่มจำนวนของแหล่งให้บริการข้อมูลดาวเทียมแบบเปิดที่เข้าถึงได้ การกำเนิดของคลาวด์คอมพิวติง และการใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่องที่เพิ่มขึ้น ไม่เพียงแต่มีข้อมูลดาวเทียม Earth Observation (EO) ในปริมาณที่มากขึ้นเท่านั้น แต่การประมวลผลและการบูรณาการชุดข้อมูลปริมาณมากที่หลากหลายนั้นเป็นไปได้ง่ายดายน่ามากขึ้น และด้วยจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้นกว่าที่เคยเป็นมา การผสมผสานของปัจจัยเหล่านี้ได้เปิดประตูสู่ชุดของการใช้งานที่กว้างขึ้นในระดับเชิงพื้นที่และทางโลกแบบใหม่ ซึ่งจนกระทั่งเมื่อไม่นานมานี้ ไม่สามารถทำได้หรือเป็นไปได้ในกรณีส่วนใหญ่

ข้อมูลดาวเทียมแบบเปิดจากหลายหน่วยงาน เช่น Landsat ซึ่งให้บริการคลังข้อมูล EO แบบเปิดที่ยาวที่สุด และปัจจุบันยังมีข้อมูล ชุดข้อมูลแบบเปิดที่เสริมการทำงานของ Landsat จากดาวเทียมดวงอื่น ๆ เช่น Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) และ ชุดดาวเทียม Sentinel ของ European Space Agency ที่นำเสนอข้อมูล EO ความละเอียดสูงตามช่วงเวลาบ่อยครั้ง แสดงถึงส่วนขยายที่สำคัญของช่องทางการเข้าถึงข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งการที่ช่องทางการเข้าถึงข้อมูลดาวเทียมแบบเปิดในปริมาณมากเป็นถ้อยก้าเนิดขึ้นพร้อมกันและความพร้อมใช้งานที่เพิ่มขึ้นของเทคโนโลยีและบริการคลาวด์คอมพิวติง การดาวน์โหลด วิเคราะห์ และจัดการอนุกรมเวลาหลายทศวรรษของภาพถ่ายดาวเทียมในพื้นที่ขนาดใหญ่ไม่สามารถทำได้โดยใช้ทรัพยากรคอมพิวเตอร์เดสก์ท็อป อย่างไรก็ตาม ด้วยการถือกำเนิด

ของบริการต่างๆ เช่น Google Earth Engineการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่มีประสิทธิภาพกลายเป็นเพียงจำเป็นต้องเข้าถึง จัดการ และวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมหาศาล ในขณะที่สังเกตว่าการใช้ประโยชน์จากคลาวด์คอมพิวเตอร์ตั้งอย่างเต็มศักยภาพเกี่ยวกับแอปพลิเคชันเชิงพื้นที่ยังอยู่ในช่วงเริ่มต้น โดยการประมวลผลของภาพถ่าย Landsat และ MODIS ขนาดเพตะไบต์เต็มภายในหนึ่งวันโดยใช้คลาวด์สาธารณะเท่านั้นทรัพยากรการคำนวณแสดงให้เห็นถึงศักยภาพอันเหลือเชื่อที่วิธีการคำนวณใหม่นี้นำเสนอสำหรับการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ขนาดใหญ่ แอปพลิเคชันที่ใช้ทรัพยากรการประมวลผลแบบคลาวด์กับชุดข้อมูลดาวเทียม EO ขนาดใหญ่ได้รวมการผลิตผลิตภัณฑ์การเปลี่ยนแปลงที่ปกคลุมผืนป่าทั่วโลกด้วย การทำแผนที่น้ำบนผิวโลกและพลวัตของมัน และการพัฒนาการอย่างต่อเนื่อง , แผนที่โลก 'ที่มีชีวิต' ซึ่งประกอบด้วย 'ภาพยนตร์' ของพื้นผิวโลกแบบไดนามิกเพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของโลกแนวโน้มที่สามที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงในปัจจุบันของวิทยาศาสตร์เชิงพื้นที่การใช้อัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่อง (ML) ที่ขยายตัวจากสาขาปัญญาประดิษฐ์เป็นการพัฒนาที่ค่อยเป็นค่อยไปซึ่งเพิ่งเกิดขึ้นไม่นานมานี้ซึ่งเป็นเครื่องมือในการเปิดใช้งานการรวม ชุดข้อมูลที่หลากหลาย วิธีการวิเคราะห์ภาพ EO แบบดั้งเดิมเพิ่มเติม เช่น การจำแนกประเภทความเป็นไปได้สูงสุด ได้มาจากฟิลด์ของการประมวลผลสัญญาณ และอิงตามแบบจำลองข้อมูลที่ค่อนข้างง่าย ดังนั้น ความสามารถในการจัดการกับชุดข้อมูลมิติสูงที่ซับซ้อนมากขึ้นจึงถูกจำกัด [18] แนวทาง ML ได้รับการอธิบายว่าเป็น 'ตัวประมาณสากล' ซึ่งเป็นการปรับประสิทธิภาพของอัลกอริธึมให้เหมาะสมโดยการเรียนรู้เกี่ยวกับความสัมพันธ์ของข้อมูลจากตัวข้อมูลเองโดยใช้ชุดข้อมูลการฝึกอบรมที่มีความแปรปรวนของข้อมูลทั้งหมดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ [19] โดยทั่วไป ML ใช้เพื่อทำนาย (เช่น แบบจำลองการถดถอย) หรืออธิบาย (เช่น การจัดประเภท การดึงคุณลักษณะ และการรวมสัญญาณ) ชุดข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อความรู้ทางทฤษฎีของปรากฏการณ์ที่เป็นปัญหายังไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ อัลกอริธึมเหล่านี้โดยทั่วไปไม่มีให้ใช้งานในสภาพแวดล้อมการเข้ารหัสแบบโอเพ่นซอร์สฟรี เช่น ภาษาโปรแกรม R และ Python ดังนั้นจึงปรับแต่งและปรับขนาดได้สูง การแนะนำอัลกอริธึมการเรียนรู้ของเครื่องขั้นสูงและการประมวลผลแบบคลาวด์เช่น GEE, ปัญญาประดิษฐ์ (AI) และเทคนิคการประมวลผลภาพ Petascale ทำให้เกิดช่องทางใหม่สำหรับการรวมและหลอมรวมข้อมูลหลายแหล่ง แม้ว่าจะมีงานวิจัยเพียงไม่กี่ชิ้นที่สำรวจการบังคับใช้เทคนิคเหล่านี้ในการตรวจสอบพืชพรรณและสาขาการศึกษาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง แต่ก็มีความจำเป็นสำหรับการศึกษาในอนาคตที่จะเปลี่ยนไปสู่การยอมรับวิธีการเพื่อปรับปรุงการตรวจจับและการตรวจสอบพื้นที่ชุ่มน้ำโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีข้อมูลไม่เพียงพอ ข้อดีอย่างหนึ่งของเทคนิคเหล่านี้คือการประมวลผลชุดข้อมูลขนาดใหญ่อย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ความท้าทายต่างๆ เช่น เครือข่ายและการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่ไม่เพียงพอ ตลอดจนการขาดระบบคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงสำหรับการประมวลผลแบบคลาวด์ และการขาดแคลนบุคลากรที่มีทักษะจำกัดการประยุกต์ใช้เทคนิคดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศกำลังพัฒนา ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคทะเลทรายซาฮาราและส่วนอื่นๆ ของโลก แม้จะมีความท้าทายที่เน้นให้เห็นอยู่บ้าง แต่การทบทวนนี้สนับสนุนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกระบวนทัศน์ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลดาวเทียมในการเฝ้า

ติดตามพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยใช้ข้อมูลหลายข้อมูลและเทคนิคการประมวลผลข้อมูลขั้นสูงเพื่อปรับปรุงความเข้าใจของเราเกี่ยวกับระบบเหล่านี้ (VoPham et al., 2018)

#### 4.1 ซอฟต์แวร์รหัสเปิด

ซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีการเปิดเผยวิธีการทำงานให้ผู้อื่น (นอกเหนือจากผู้พัฒนาซอฟต์แวร์) ได้รับความทราบ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้วิธีการทำงานของซอฟต์แวร์ และปรับปรุงแก้ไขได้ด้วยตนเอง รวมถึงการเผยแพร่ซอร์ซโค้ดได้อย่างสะดวก ภายใต้ข้อตกลงกฎหมายหรือสัญญา ซอฟต์แวร์รหัสเปิดมีการพัฒนาตั้งแต่โปรแกรมอำนวยความสะดวกขนาดเล็กไปจนถึงระบบปฏิบัติการที่มีประสิทธิภาพสูง หลายโปรแกรมได้รับการพัฒนาจนมีคุณภาพสูงทั้งในด้านของประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือจนได้รับความนิยมอย่างสูง และมีการนำไปประยุกต์ใช้งาน อย่างข้อดีที่สำคัญของซอฟต์แวร์รหัสเปิด คือ ความสามารถที่จะนำซอฟต์แวร์ไปใช้งาน การศึกษา แก้ไข และเผยแพร่ได้อย่างเสรี ทำให้คำว่า ซอฟต์แวร์รหัสเปิด ซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ (การเขียนแบบทับศัพท์เป็นคำไทย) และซอฟต์แวร์เสรี นั้นมีความหมายในทางเดียวกันหรือสามารถใช้แทนกันได้ ซึ่งคำจำกัดความของซอฟต์แวร์รหัสเปิดมีอยู่ 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) การเกิดขึ้นของซอฟต์แวร์เสรีและโอเพนซอร์ซ (FOSS) เป็นพรมแดนที่สำคัญของระบบสารสนเทศ ผลกระทบของ FOSS ต่อสังคม ธุรกิจ การศึกษา และการวิจัยมีมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีความเข้าใจที่ชัดเจนเกี่ยวกับความหมายและลักษณะของซอฟต์แวร์เสรีและโอเพนซอร์ซ ในบทความนี้ เราได้ตรวจสอบวิวัฒนาการของ FOSS โดยสังเขปและอธิบายรายละเอียดเกี่ยวกับซอฟต์แวร์เสรีและซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ซ เราได้กล่าวถึงประโยชน์ของซอฟต์แวร์ฟรีและโอเพนซอร์ซ เช่น การสนับสนุนชุมชน ค่าใช้จ่าย ความปลอดภัย การศึกษาและการวิจัย เราได้กล่าวถึงใบอนุญาต FOSS ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เราได้กล่าวถึงลักษณะเฉพาะของ FOSS; ซึ่งรวมถึงการพัฒนาแบบกระจายตามชุมชน ความเป็นโมดูลาร์ การนำกลับมาใช้ใหม่ การแจกจ่าย และกลไกการให้รางวัล นอกจากนี้ เราได้หารือเกี่ยวกับแนวโน้มและทิศทางในอนาคตของซอฟต์แวร์ฟรีและโอเพนซอร์ซ (Khan และ UrRehman, 2012)

##### 4.1.1 ข้อดีของซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Priya et al., 2018; )

- 1) มีการใช้ต้นทุนต่ำ ซึ่งเกิดจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดโดยทั่วไปไม่ต้องเสียค่าลิขสิทธิ์ ไม่มีค่าบำรุงรักษา มีเพียงค่าใช้จ่ายในการจัดทำสื่อ สื่อ เอกสาร เพียงอย่างเดียว
- 2) การจัดการสิทธิ์การใช้งานที่ง่ายขึ้น โดยทำการรับรองซอฟต์แวร์ครั้งเดียวและติดตั้งได้หลายครั้งและในหลายตำแหน่งเท่าที่ต้องการ ไม่จำเป็นต้องนับ ติดตาม หรือตรวจสอบการปฏิบัติตามใบอนุญาต
- 3) มีต้นทุนฮาร์ดแวร์ที่ต่ำกว่า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วซอฟต์แวร์รหัสเปิดจะมีขนาดกะทัดรัดและพกพาสะดวก ด้วยเหตุนี้จึงงานฮาร์ดแวร์น้อยลงในการทำงานให้สำเร็จ เช่นเดียวกับบนเซิร์ฟเวอร์ทั่วไป (Windows, Solaris) หรือเวิร์กสเตชัน ผลลัพธ์คือคุณจะได้รับด้วยฮาร์ดแวร์ที่มีราคาถูกลงหรือเท่ากับ

## 4.2 คลาวด์คอมพิวติง

คลาวด์คอมพิวติง (Cloud Computing) ถือกำเนิดขึ้นในภายหลัง Amazons เปิดตัวบริการคลาวด์ประเภทแรกในปี 2006 แต่อย่างไรก็ตาม Joseph Carl Robnett Licklider in the 1960s developed Cloud Computing with his work on ARPSNET to interact with people and data from in any place at any time. In 1983, CompuServe presented its users as a little amount of disk space that could be used to accumulate any files they choose to upload . (Sheth et al., 2021) คลาวด์คอมพิวติง คือ บริการที่ให้เราใช้หรือเช่าใช้ระบบคอมพิวเตอร์หรือทรัพยากรด้านคอมพิวเตอร์ของผู้ให้บริการ โดยครอบคลุมทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล การจัดเก็บข้อมูล และระบบออนไลน์ต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งเราสามารถเลือกกำลังการประมวลผล เลือกจำนวนทรัพยากร ได้ตามความต้องการในการใช้งาน พุดง่าย ๆ คือ ใช้เท่าไร จ่ายเท่านั้นนั่นเอง นอกจากนี้เรายังสามารถเข้าถึงข้อมูลบน Cloud จากที่ไหนก็ได้เรียกได้ว่าทั้งสะดวกสบายแถมยังประหยัดเวลาแบบสุด ๆ Cloud computing เป็นการบริการที่ครอบคลุมถึงการให้ใช้กำลังประมวลผล หน่วยจัดเก็บข้อมูลและระบบออนไลน์ต่างๆ จากผู้ให้บริการเพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้งดูแลระบบ ช่วยประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์ และเครือข่ายของหน่วยงาน ซึ่งก็มีทั้งแบบบริการฟรี และแบบเก็บเงิน หรือพูดให้ง่าย Cloud Computing คือการที่เราใช้ซอฟต์แวร์, ระบบ, และทรัพยากรของเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ให้บริการ ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยสามารถเลือกกำลังการประมวลผล เลือกจำนวนทรัพยากรได้ตามความต้องการในการใช้งาน และให้เราสามารถเข้าถึงข้อมูลบน Cloud จากที่ไหนก็ได้ "Anywhere! Anytime!" คือทุกที่ทุกเวลา ไม่ว่าคุณจะอยู่ตรงไหนก็ตาม ขอแค่มี Internet กับ Computer คุณก็ทำงานได้แบบ 24/7 (24 ชั่วโมง 7 วัน) คลาวด์คอมพิวติงให้ความแตกต่างกับศูนย์ข้อมูลในสถานที่ความคล่องตัว (Sheth et al., 2021) คือบริการที่ครอบคลุมถึงการให้ใช้กำลังประมวลผล หน่วยจัดเก็บข้อมูล และระบบออนไลน์ต่างๆจากผู้ให้บริการ เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้ง ดูแลระบบ ช่วยประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่ายเอง ซึ่งก็มีทั้งแบบบริการฟรีและแบบเก็บเงินการประมวลผลแบบคลาวด์ใช้ในโครงสร้างพื้นฐานด้านไอทีที่ให้บริการแก่ลูกค้าผ่านทางอินเทอร์เน็ต การประมวลผลแบบคลาวด์ที่จัดส่งโดยผู้ให้บริการบุคคลที่สาม ให้สภาพแวดล้อมต้นทุนต่ำสำหรับผู้ใช้ปลายทาง 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)



ประเภทของบริการบนคลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud Service Models)

บริการ Cloud Computing มีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งโดยทั่วไปมี 3 รูปแบบหลัก ได้แก่

1. บริการแบบ Software as a Service (SaaS) เป็นการที่ใช้หรือเช่าใช้บริการซอฟต์แวร์หรือแอปพลิเคชันผ่านอินเทอร์เน็ต โดยประมวลผลบนระบบของผู้ให้บริการ ทำให้ไม่ต้องลงทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์ ฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์เอง ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลระบบเพราะซอฟต์แวร์จะถูกเรียกใช้งานผ่าน Cloud จากที่ไหนก็ได้ซึ่งบริการ Software as a Service ที่ใกล้ตัวเรามากที่สุดก็คือ Gmail นั่นเอง นอกจากนั้นก็เช่น Google Docs หรือ Google Apps ที่เป็นรูปแบบของการทำงานซอฟต์แวร์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ สามารถใช้งานเอกสาร คำนวณ และสร้าง Presentation โดยไม่ต้องติดตั้งซอฟต์แวร์บนเครื่องเลยโดยใช้งานบนเครื่องไหนก็ได้ ที่ไหนก็ได้ แชนจ์งานร่วมกันกับผู้อื่นก็สะดวก ซึ่งการประมวลผลจะทำบน Server ของ Google ทำให้เราไม่ต้องการเครื่องที่มีกำลังประมวลผลสูงหรือพื้นที่เก็บข้อมูลมากมายมหาวิทยาลัยทั้งในไทยและต่างประเทศหลายแห่งในปัจจุบัน ก็ยกเลิกการตั้ง Mail Server สำหรับใช้งาน e-mail ของบุคลากร และนักศึกษาในมหาวิทยาลัยกันเองแล้ว แต่หันมาใช้บริการอย่าง Google Apps แทนเป็นการลดต้นทุน ภาระในการดูแล และความยุ่งยากไปได้มาก

2. บริการแบบ Platform as a Service (PaaS) เสริมการพัฒนาแอปพลิเคชันนั้น หากเราต้องการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งรันบนเซิร์ฟเวอร์ หรือ Mobile application ที่มีการประมวลผล งานอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ เราก็ต้องตั้งเซิร์ฟเวอร์ เชื่อมต่อระบบเครือข่าย และสร้างสภาพแวดล้อม เพื่อทดสอบและรันซอฟต์แวร์และแอปพลิเคชัน 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 บริษัทนำมาใช้เพื่อลดต้นทุนและเป็นตัวช่วยในการท างาน Application หลายตัว เช่น Snapchat ก็เลือกเช่าใช้บริการ PaaS อย่าง Google App Engine ทำให้สามารถพัฒนาแอปที่ให้บริการคนจนวนมหาศาลได้ โดยใช้เวลาพัฒนาไม่นานด้วยทีมงานแค่ไม่กี่คน

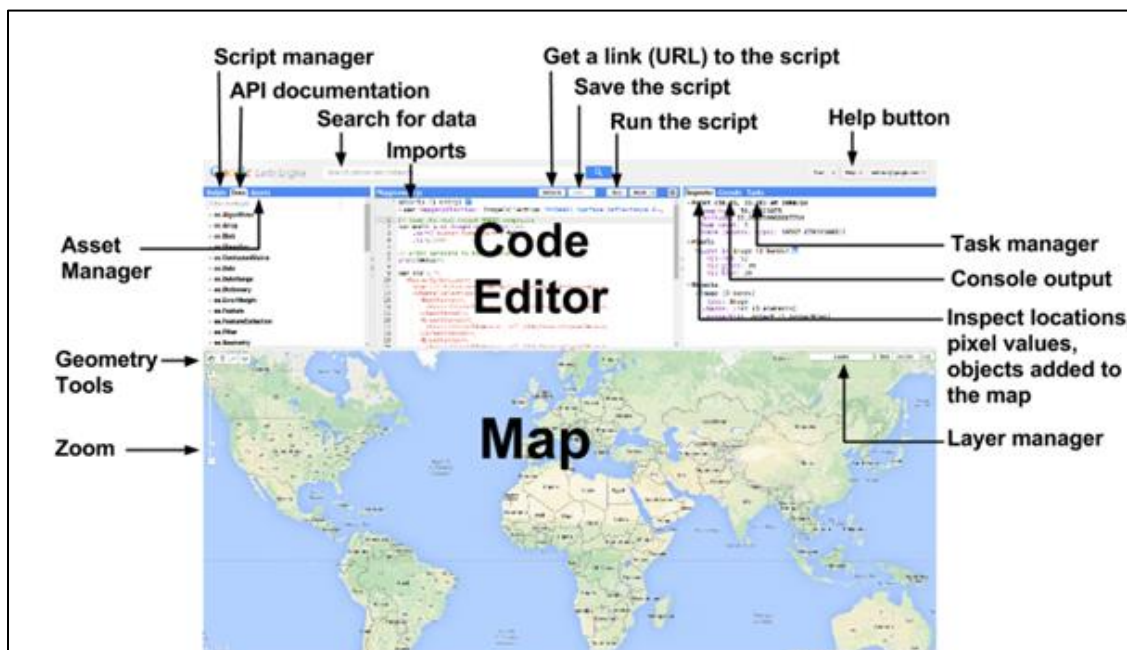
3. บริการแบบ Infrastructure as a Service (IaaS) เป็นบริการให้ใช้โครงสร้างพื้นฐานทางคอมพิวเตอร์อย่างหน่วยประมวลผล ระบบจัดเก็บข้อมูล ระบบเครือข่าย ในรูปแบบระบบเสมือน (Virtualization) ข้อดีคือองค์กรไม่ต้องลงทุนสิ่งเหล่านี้เอง ยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนโครงสร้างระบบไอทีขององค์กร ในทุกรูปแบบ สามารถขยายได้ง่าย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

### 4.3 การใช้งาน กูเกิลเอิร์ธเอนจินเบื้องต้น

เกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) เป็นแพลตฟอร์มสำหรับแอปพลิเคชันภูมิสารสนเทศบนระบบคลาวด์ที่มีข้อมูลมากมายใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และการสร้างภาพ (Visualization) จากชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial information) ของภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite image) โดยกูเกิลได้จัดทำภาพถ่ายดาวเทียมและเก็บข้อมูลบันทึกย้อนหลังมากกว่า 40 ปีไว้ในแบบคลังข้อมูลสาธารณะ (Data mining) โดยการใช้งานโปรแกรม GEE จะเป็นการเขียนโค้ดคำสั่ง (Code editor) ในภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นำมาวิเคราะห์และประมวลผลตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น แสดงข้อมูล อุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Precipitation) หรือข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) เป็นต้น (Google Earth Engine, n.d.) การใช้งาน GEE สามารถดำเนินการผ่านเว็บไซต์ <https://earthengine.google.com/> และใช้งานผ่าน Code Editor ที่ใช้ Javascript ในการเขียนคำสั่ง ซึ่งตัวอย่างคำสั่งในการจัดเตรียมภาพถ่ายและการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินมีดังนี้

#### 4.3.1 การใช้งาน GEE โดยผ่านเมนู Code Editor

การใช้งาน GEE จำทำงานผ่านหน้าต่างหลักที่เรียกว่า Code Editor (JavaScript) ประกอบด้วย 4 หน้าต่างย่อย ดังในภาพที่ 26

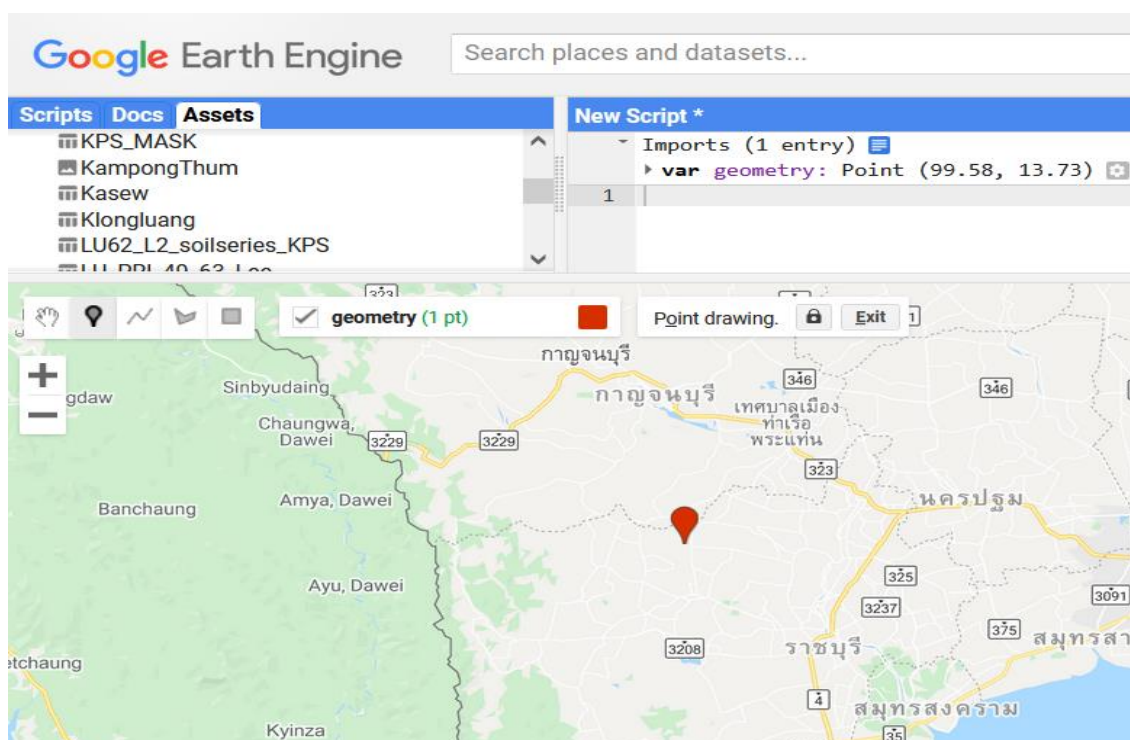


ภาพที่ 26 หน้าต่างของ Code Editor

#### 4.3.2 การใช้คำสั่งเพื่อเตรียมข้อมูลผ่าน GEE เบื้องต้น

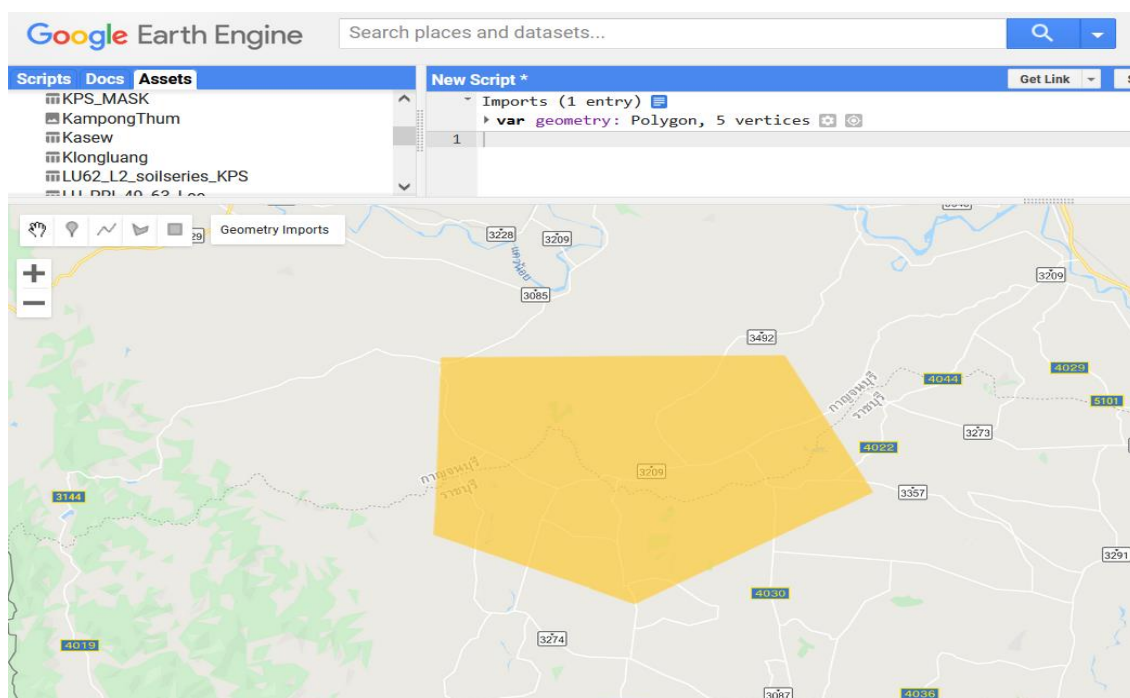
##### 1) การกำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษา สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

1.1) การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน GEE โดยการปักหมุด เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการขอบเขตพื้นที่ศึกษา สามารถทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนหมุดบนแถบเมนู แล้วไปคลิกในหน้าต่างแผนที่ในบริเวณที่ต้องการ จะปรากฏหมุดขึ้น ซึ่งขอบเขตที่ได้จะเป็นจุด (Point) และหน้าต่างเขียนคำสั่ง (Script) จะปรากฏข้อความ `var geometry` และแสดงค่าพิกัด (ภาพที่ 27)



ภาพที่ 27 การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน GEE โดยวิธีปักหมุด

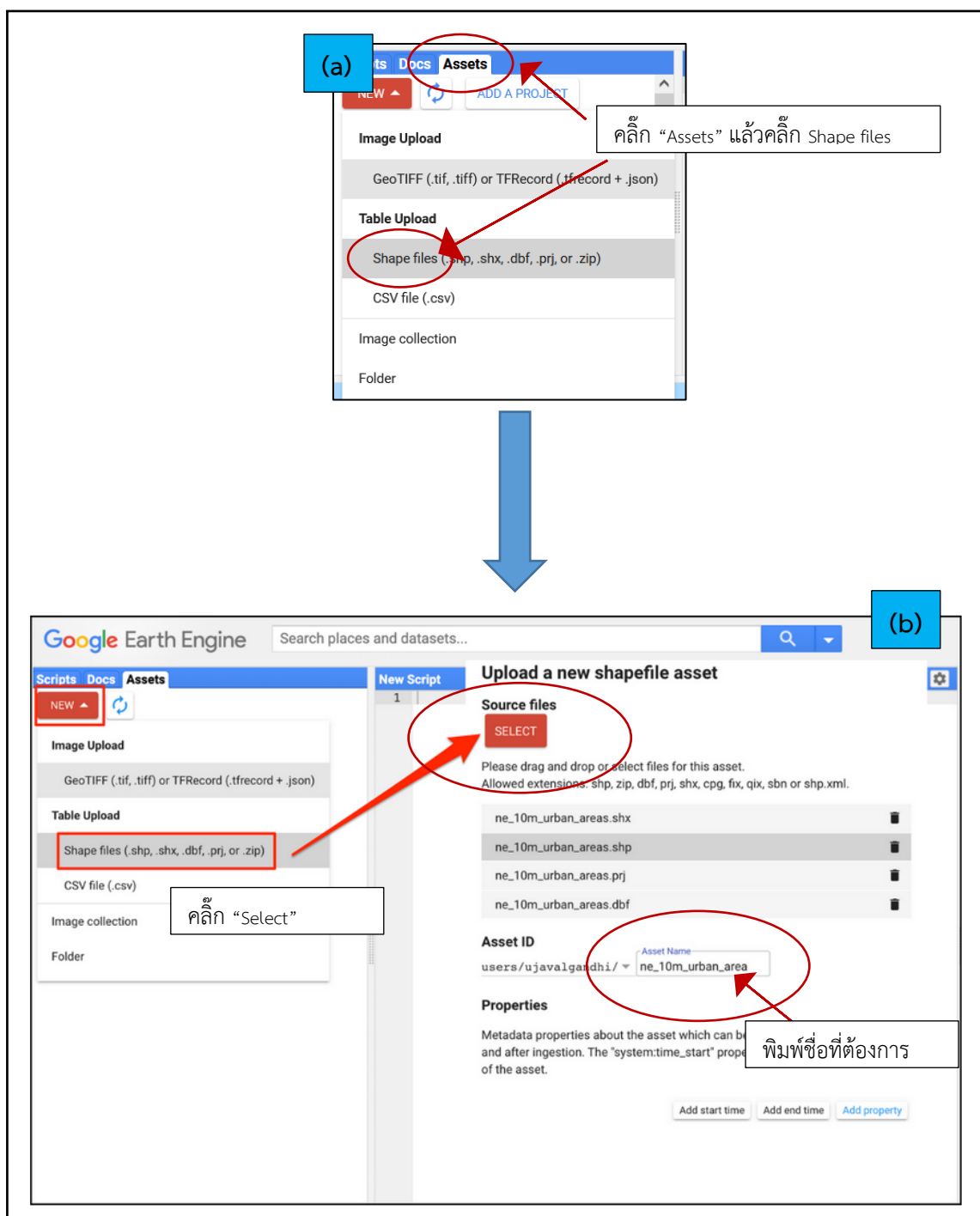
1.2) การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน GEE โดยการวาดรูปร่างภาพหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือ วาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Polygon) สามารถทำได้โดยการคลิกที่ไอคอนหมุดบนแถบเมนู การวาดรูปร่างภาพหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือ วาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วไปคลิกในหน้าต่างแผนที่ในบริเวณที่ต้องการ แล้ววาดขอบเขตให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการ จะปรากฏขอบเขตแบบรูปหลายเหลี่ยมหรือสี่เหลี่ยมผืนผ้าขึ้นอยู่กับการคลิกเลือกไอคอน ซึ่งขอบเขตที่ได้จะปรากฏและหน้าต่างเขียนคำสั่ง (Script) จะปรากฏข้อความ `var geometry` และแสดงประเภทของขอบเขต (ภาพที่ 28)



ภาพที่ 28 การกำหนดขอบเขตใช้เครื่องมือวาดใน GEE โดยวิธีการวาดรูปร่างหลายเหลี่ยม (Polygon) หรือ วาดสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Polygon)

1.3) การกำหนดขอบเขตโดยใช้ขอบเขตที่เตรียมไว้แล้ว (Feature Collections) จากระบบ GIS เช่น ArcMap ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนได้แก่ 1.การนำเข้าขอบเขตที่เตรียมไว้สู่ระบบ GEE 2.การเรียกใช้ขอบเขตที่นำเข้าสู่ระบบ GEE แล้ว

1.3.1) การนำเข้าขอบเขตประเภทเวกเตอร์ (Vector data) สู่ระบบ GEE ข้อมูลเวกเตอร์ที่เตรียมไว้สามารถนำเข้าสู่ระบบ GEE โดยคลิกที่ Assets จะปรากฏภาพ ตาม(ภาพที่ 29 (a)) แล้วคลิกเลือก ตามลำดับดังนี้ Assets > New > Table Upload > Shape Files เลือกไฟล์ที่เตรียมไว้โดยเลือกไฟล์ที่มีนามสกุลดังนี้ .shp, .shx, .dbf และ .prj (ภาพที่ 29 (b)) ตั้งชื่อที่ต้องการแล้วคลิก upload ไฟล์ที่นำเข้าจะถูกนำไปเก็บไว้บนระบบคลาวด์ซึ่งสามารถแชร์ให้ผู้อื่นใช้งานได้

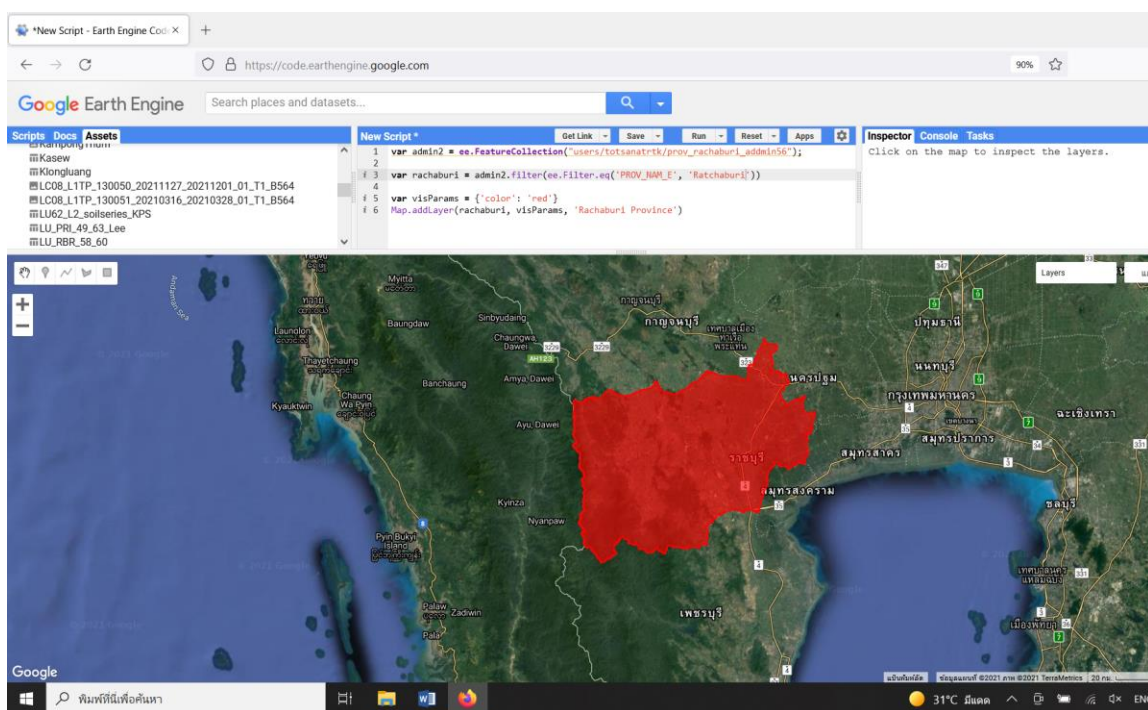


ภาพที่ 29 การนำเข้าขอบเขตที่เตรียมไว้สู่ระบบ GEE

1.3.2) การเรียกใช้ขอบเขตที่นำเข้าสู่ระบบ GEE แล้ว สามารถทำFfpการเขียนคำสั่งในหน้าต่าง Script ซึ่งตัวอย่างการเขียนคำสั่งอยู่ใน Code editor 1 ซึ่งเมื่อเมื่อเขียนคำสั่งแล้ว จะปรากฏขอบเขตในหน้าต่างแผนที่ (ภาพที่ 30)

Code editor 1





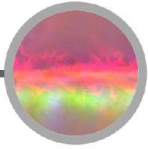
```
var admin2 = ee.FeatureCollection("users/totsanatrck/prov_rachaburi_admin56");
var rachaburi = admin2.filter(ee.Filter.eq('PROV_NAM_E', 'Ratchaburi'))
var visParams = {'color': 'red'}
Map.addLayer(rachaburi, visParams, 'Rachaburi Province')
```



ภาพที่ 30 การเรียกใช้ขอบเขตที่นำเข้าสู่ระบบ GEE แล้ว

2) การเรียกใช้ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมผ่าน GEE  
 GEE ได้รวบรวมข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเป็นจำนวนมากตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ซึ่ง  
 ผู้ใช้บริการสามารถตรวจสอบคลังภาพเรียกใช้ข้อมูลผ่าน Data catalog

**Data Catalog**

**Landsat 4, 5, 7, 8**  
 Raw, TOA, SR, ...

**MODIS**  
 Daily, NBAR, LST, ...

**Terrain**  
 SRTM, GTOPO, NED, ...

**Land Cover**  
 GlobCover, NLCD, ...

**Atmospheric**  
 NOAA NCEP, OMI, ...

**... and many more, updating daily!**

**> 200 public datasets**  
**> 5 million images**

**> 4000 new images every day**  
**> 5 petabytes of data**

ภาพที่ 31 หน้าต่าง Data catalog

3) เรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ผ่าน GEE  
 ชุดข้อมูลภาพในที่นี้หมายถึง ชุดข้อมูลภาพแบบเปิดในระบบของ GEE ซึ่งเรียกใช้  
 ข้อมูลภาพผ่านคำสั่ง Code Editor (JavaScript) “ee.ImageCollection” เช่น ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8  
 เรียกใช้ข้อมูลภาพโดยใช้ Code Editor ที่ 2 var l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1\_TOA'); เป็นต้น

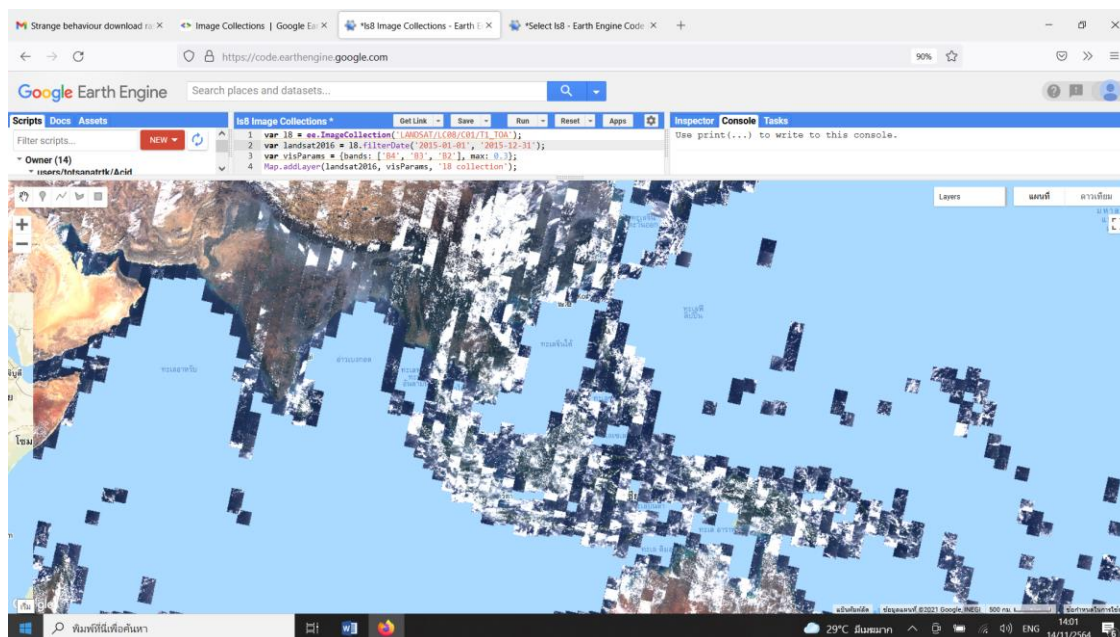
Code editor 2

```
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};
```



ภาพที่ 32 การเรียกใช้ภาพการนำเข้าภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ในคลังข้อมูลบนคลาวด์

4) เรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ผ่าน GEE โดยระบุตำแหน่ง (Filtering image collections by location) ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้งานเฉพาะจุดที่สนใจโดยการป้อนพิกัดและเขียนคำสั่งตาม Code editor 3 และคัดเลือกภาพตามปริมาณเมฆที่ปกคลุมโดยใช้ Code editor 4 และแสดงภาพบนหน้าจอก่อนทำการดาวน์โหลดโดยใช้ Code editor 5 ดังที่แสดงในภาพที่ 33 นอกจากนี้ยังสามารถแสดงภาพสีผสม (composit) โดยใช้ Code editor 6 (ภาพที่ 34) การคัดเลือกภาพจากช่วงเวลาที่ต้องการโดยใช้ Code editor 7 และตัดภาพบางส่วนที่ต้องการโดยใช้ Code editor 8 และภาพที่ได้สามารถส่งออก (export) เพื่อใช้งานในโปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศอื่นๆ โดยใช้ Code editor 9 (ภาพที่ 35 และภาพที่ 36)

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');

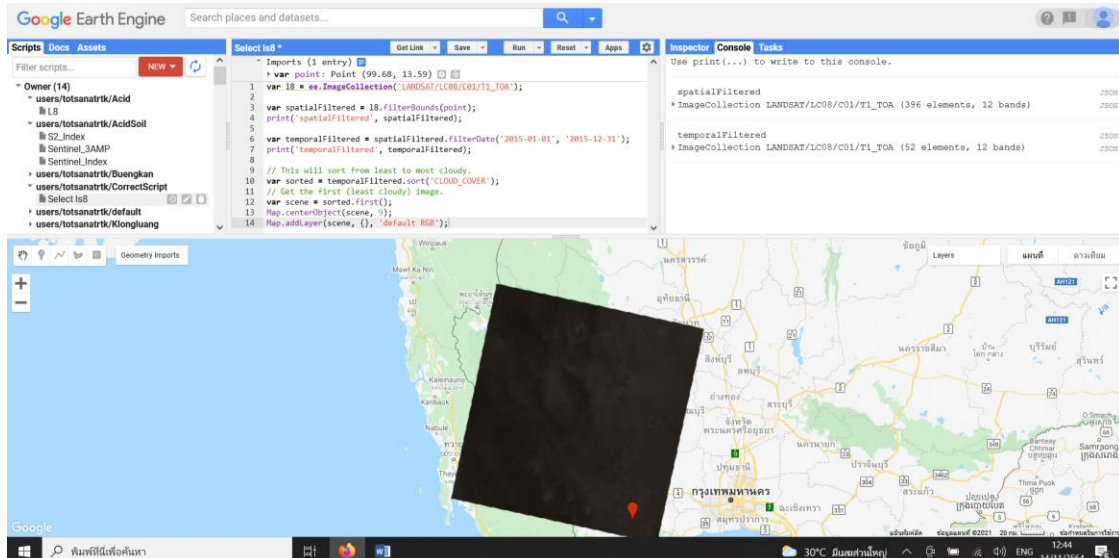
// Get the first (least cloudy) image.

var scene = sorted.first();
```

Code editor 5

```
Map.centerObject(scene, 9);

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



ภาพที่ 33 ภาพดาวเทียม Landsat ที่เรียกจากคลังภาพโดยใช้ Code editor 3- 5

Code editor 6

```
var visParams = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], max: 0.3};
```

```
Map.addLayer(scene, visParams, 'true-color composite');
```

The screenshot displays the Google Earth Engine web interface. The top navigation bar includes 'Scripts', 'Docs', and 'Assets'. The left sidebar shows a tree view of user assets, with 'users/totsanatrik/SelectIs8' selected. The central script editor contains the following code:

```

Imports (1 entry)
1 var point = Point(99.68, 13.59)
2
3 var l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA');
4 var spatialFiltered = l8.filterBounds(point);
5 print('spatialFiltered', spatialFiltered);
6
7 var temporalFiltered = spatialFiltered.filterDate('2015-01-01', '2015-12-31');
8 print('temporalFiltered', temporalFiltered);
9
10 // This will sort from least to most cloudy.
11 var sorted = temporalFiltered.sort('CLOUD_COVER');
12 // Get the first (least cloudy) image.
13 var scene = sorted.first();
14 Map.centerObject(scene, 9);
15 Map.addLayer(scene, {}, 'default RGB');
16
17 var visParams = {bands: ['B4', 'B3', 'B2'], max: 0.3};
18 Map.addLayer(scene, visParams, 'true-color composite');

```

The right sidebar shows the 'Inspector' and 'Console' tabs. The console displays the following output:

```

spatialFiltered
+ ImageCollection LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA (396 elements, 12 bands) 2500
temporalFiltered
+ ImageCollection LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA (52 elements, 12 bands) 2500

```

The bottom portion of the screenshot shows a map view of Thailand with a satellite image overlay. The map includes labels for various cities and regions in Thai, such as กรุงเทพมหานคร (Bangkok) and เชียงใหม่ (Chiang Mai). The satellite image shows a dark, textured area, likely a forest or agricultural land, with a red location pin.

ภาพที่ 34 ภาพ Landsat 8 TOA reflectance ผสมสีภาพแบบสีจริง

Code editor 7

```
var l8 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_TOA');
```

```
var landsat2016 = l8.filterDate('2016-01-01', '2016-12-31');
```

```

Code editor 7
var s2 = ee.ImageCollection("COPERNICUS/S2")
var urban = ee.FeatureCollection("users/totsanatrkt/prov_rachaburi_admin56")

var filtered = urban.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')

```



ภาพที่ 35 ภาพ Sentinel 2 ที่ใช้คำสั่งผสมสีภาพแบบสีจริงและตัดภาพ

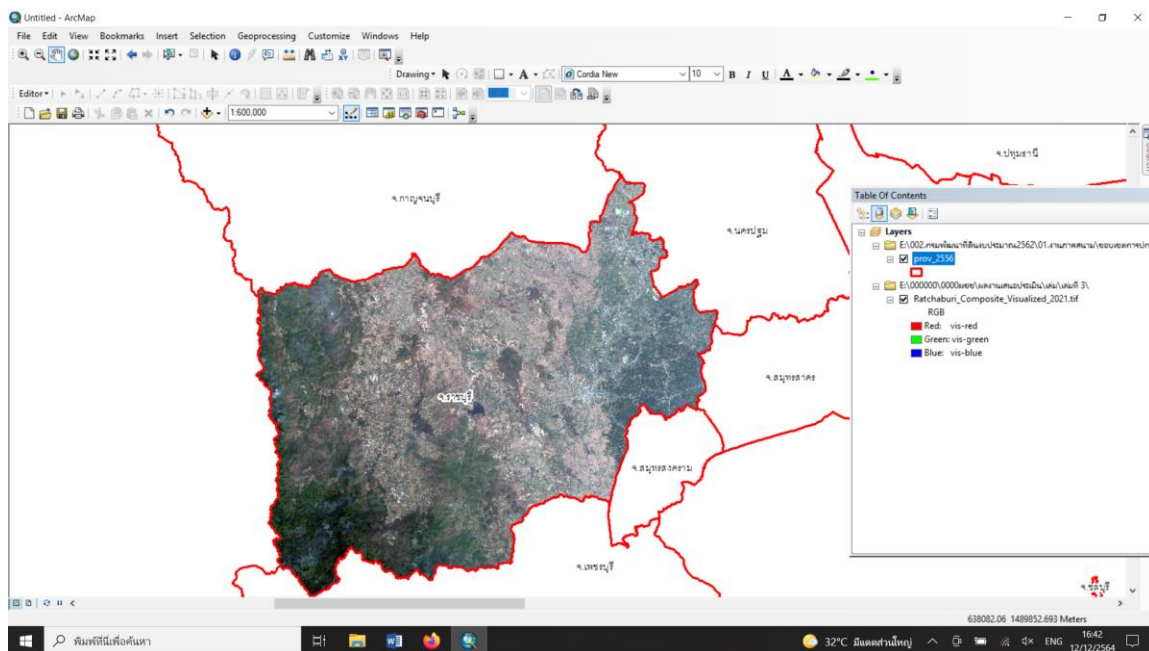
Code editor 9

```
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)
// Now the 'visualized' image is RGB image, no need to give visParams
Map.addLayer(visualized, {}, 'Visualized Image')

Export.image.toDrive({
  image: visualized,
```



ภาพที่ 36 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 ที่ดาวน์โหลดผ่าน GEE นำเข้าใช้งานในโปรแกรมด้านภูมิสารสนเทศอื่นๆ

#### 4.4 การใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อการพัฒนาที่ดิน

##### 4.4.1 การใช้งานกูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน

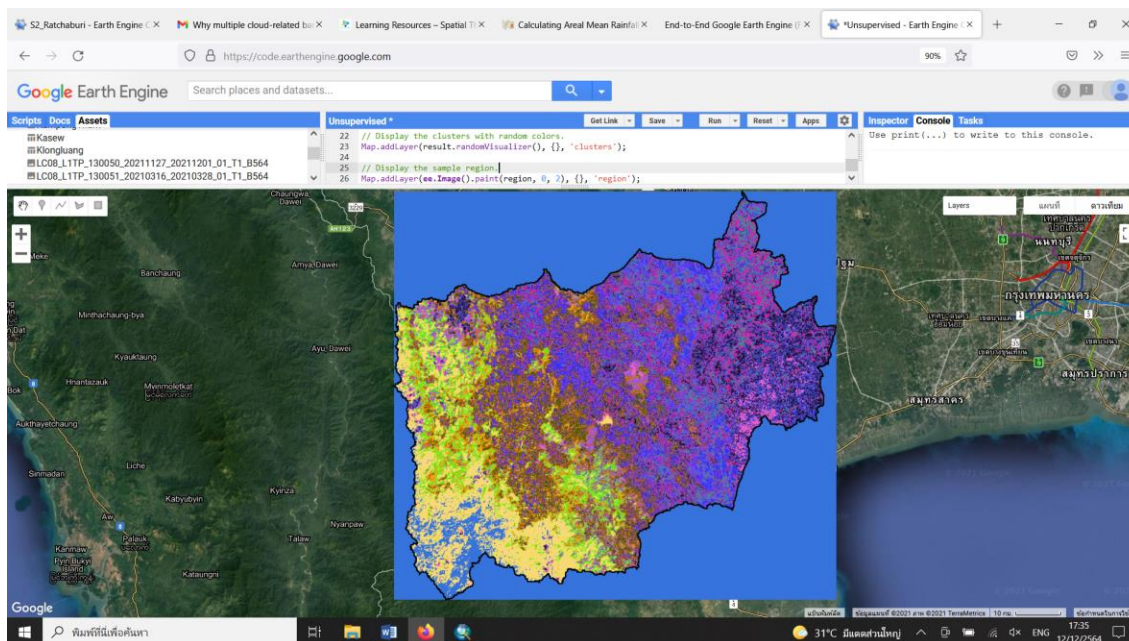
ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจินได้ทั้งแบบไม่มีการควบคุมดูแลโดยใช้ Code editor 9 (ภาพที่ 37) และแบบควบคุมดูแล

##### 4.4.2 การศึกษาความสมบูรณ์ของพืชพรรณ

ผู้ใช้งานสามารถคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณที่สนใจผ่านกูเกิลเอิร์ธเอนจิน เช่น ค่า NDVI โดยใช้ Code editor 10 และแสดงภาพโดยใช้ Code editor 11 (ภาพที่ 38) และสามารถสร้างกราฟการเปลี่ยนแปลงค่า NDVI ตามช่วงเวลา โดยใช้ Code editor 12

Code editor 9

```
// Load a pre-computed Landsat composite for input.
var input = ee.Image('users/totsanatrkt/Ratchaburi_Composite_Visualized_2021');
// Define a region in which to generate a sample of the input.
var region = ee.FeatureCollection("users/totsanatrkt/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 37 การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินผ่านภูิกิลเอร์ธเอนจินแบบไม่มีการควบคุมดูแล

Code editor 10

```
var ndvi = image.normalizedDifference(['B5', 'B4']).rename('NDVI');
```

Code editor 11

```
// Compute the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).
```

```
var nir = image.select('B5');
```

```
var red = image.select('B4');
```

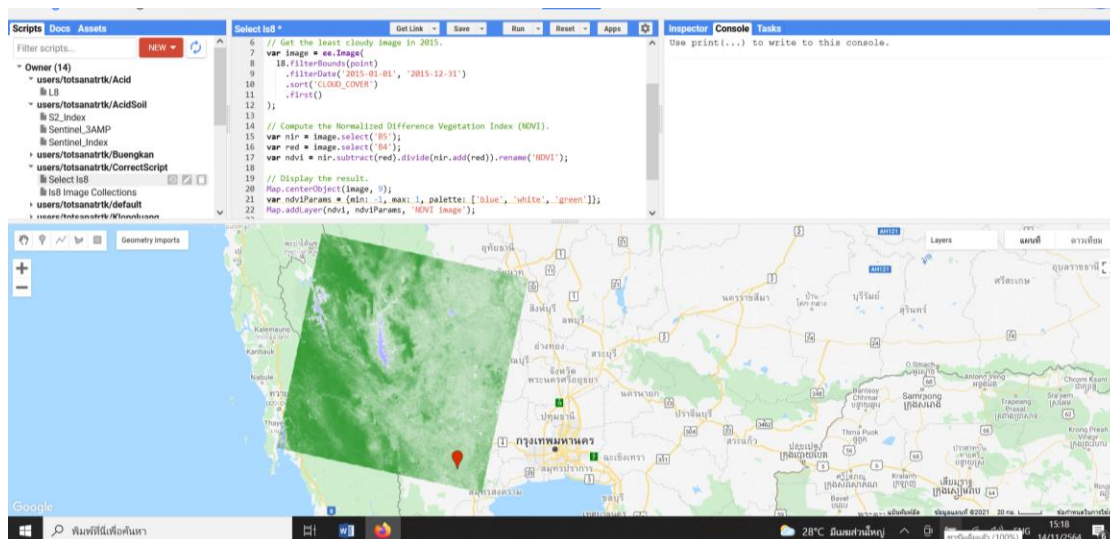
```
var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('NDVI');
```

```
// Display the result.
```

```
Map.centerObject(image, 9);
```

```
var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white', 'green']};
```

```
Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'NDVI image');
```



ภาพที่ 38 ภาพดัชนี NDVI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat

Code Editor 12

// Create a chart.

```

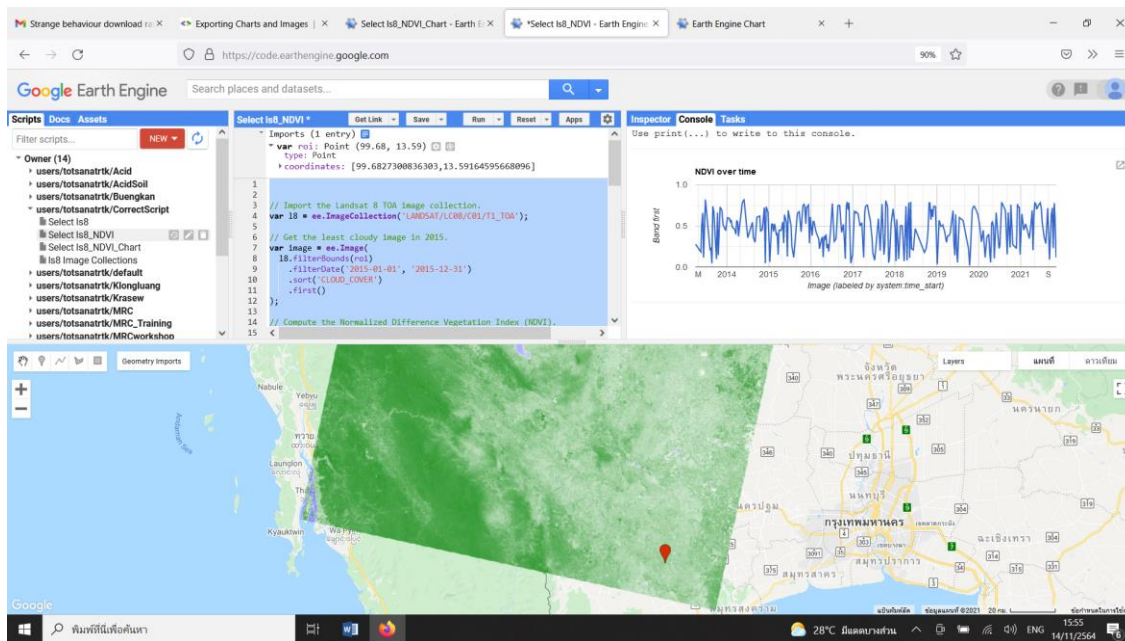
var chart = ui.Chart.image.series({
  imageCollection: withNDVI.select('NDVI'),
  region: roi,
  reducer: ee.Reducer.first(),
  scale: 30
}).setOptions({title: 'NDVI over time'});

```

// Display the chart in the console.

```
print(chart);
```





ภาพที่ 39 กราฟค่า NDVI เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาโดยใช้ GEE



## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

ปัจจุบันข้อมูลการสำรวจระยะไกล ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บข้อมูลของวัตถุต่าง ๆ บนพื้นโลกผ่านเครื่องมือที่ไม่ได้สัมผัสกับวัตถุเหล่านั้นทางกายภาพ เป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญสำหรับการติดตามด้านสิ่งแวดล้อมและพืชผล เนื่องจากเป็นข้อมูลคุณภาพสูง สามารถวิเคราะห์ได้ตามช่วงเวลา จำเพาะสำหรับพื้นที่ ปัจจุบันเทคโนโลยี RS โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาพถ่ายดาวเทียมและอากาศยานไร้คนขับ (UAV) หรือโดรนมีความก้าวหน้าเป็นอย่างดี ได้มีการพัฒนารายละเอียดภาพ (spatial resolution) ให้สูงขึ้น จัดเก็บข้อมูลได้หลายช่วงคลื่น (spectral resolution) ส่งผลให้สามารถเลือกใช้ช่วงคลื่นที่เหมาะสมต่อการศึกษาด้านต่างๆได้มากขึ้น ในด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อมเทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลมีศักยภาพสูงต่อการศึกษาการเจริญเติบโตของพืช ณ วันที่ทำการจัดเก็บข้อมูล เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีการกำหนดค่าพิกัดบนพื้นโลก (Global Positioning System, GPS) ทำให้สามารถวิเคราะห์และเชื่อมโยงกับข้อมูลอื่นๆ เชิงพื้นที่ได้ง่าย นอกจากนี้ข้อมูลดังกล่าวมีการจัดเก็บในรูปแบบดิจิทัลส่งผลให้สามารถเก็บไว้ได้นาน ใช้พื้นที่น้อย และสามารถนำออกมาใช้งานได้ง่ายตามต้องการ การจัดทำและปรับปรุงฐานข้อมูลแผนที่สภาพการใช้ที่ดินทั่วประเทศทำโดยการใช้ข้อมูลดาวเทียมรายละเอียดสูง ภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข ร่วมกับการสำรวจภาคสนามแล้วนำมาวิเคราะห์ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จัดทำแผนที่สภาพการใช้ที่ดินและพื้นที่เพาะปลูกพืชเศรษฐกิจของประเทศไทย นอกจากนี้ข้อมูลดาวเทียมยังสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น ใช้ในการจัดการปัจจัยการผลิต และการคาดการณ์ผลผลิต ซึ่งจะช่วยในการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการในแปลงปลูก โดยพิจารณาจากข้อมูลรีโมทเซนซิง ณ เวลานั้น

จากความก้าวหน้าของซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่มีการเปิดเผยวิธีการทำงานให้ผู้อื่น นอกเหนือจากผู้พัฒนาซอฟต์แวร์ได้รับทราบ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้วิธีการทำงานของซอฟต์แวร์ และปรับปรุงแก้ไขได้ด้วยตนเอง รวมถึงการเผยแพร่ซอร์ซโค้ดได้อย่างสะดวก และคลาวด์คอมพิวติง (Cloud Computing) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่เป็น Host บริการผ่านอินเทอร์เน็ต ช่วยให้ผู้ใช้สามารถ จัดเก็บข้อมูล ดำเนินการ และ จัดการข้อมูลต่างๆ ครอบคลุมถึงการให้ใช้กำลังประมวลผล หน่วยจัดเก็บข้อมูล และระบบออนไลน์ต่างๆจากผู้ให้บริการ เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้ง ดูแลระบบ ช่วยประหยัดเวลา และลดต้นทุนในการสร้างระบบคอมพิวเตอร์และเครือข่ายเอง ซึ่งก็มีทั้งแบบบริการฟรีและแบบเก็บเงิน

กูเกิลเอิร์ธเอนจิน (Google Earth Engine: GEE) เป็นแพลตฟอร์มสำหรับแอปพลิเคชันภูมิสารสนเทศบนระบบคลาวด์ที่มีข้อมูลมากมายใช้สำหรับการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์และการสร้างภาพ (Visualization) จากชุดข้อมูลเชิงพื้นที่ (Geospatial information) ของภาพถ่ายดาวเทียม (Satellite image) โดยกูเกิลได้จัดทำภาพถ่ายดาวเทียมและเก็บข้อมูลบันทึกย้อนหลังมากกว่า 40 ปี ไว้ในแบบคลังข้อมูลสาธารณะ (Data mining) โดยการใช้งานโปรแกรม GEE จะเป็นการเขียนโค้ดคำสั่ง (Code editor) ในภาษา JavaScript เพื่อเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม นำมาวิเคราะห์และประมวลผลตาม

วัตถุประสงค์ของการศึกษา เช่น แสดงข้อมูล อุณหภูมิ (Temperature) ข้อมูลปริมาณน้ำฝน (Precipitation) หรือข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land use) เป็นต้น การใช้งาน GEE สามารถดำเนินการผ่านเว็บไซต์ <https://earthengine.google.com/> และใช้งานผ่าน Code Editor ที่ใช้ Javascript ในการเขียนคำสั่ง สามารถเรียกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบเปิดได้ง่ายและสามารถใช้งานได้ฟรี และจากความก้าวหน้าอันทันสมัยของเทคโนโลยีด้านซอฟต์แวร์รหัสเปิด (open software) และบนคลาวด์ ส่งเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมาก และหลากหลาย ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูล เช่น การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน การประเมินความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่ การเกิดภัยแล้ง และความหลากหลายทางชีวภาพ เป็นต้น เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็วลดแรงงานผู้ปฏิบัติงานและค่าใช้จ่าย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ โดยการความสัมพันธ์กับข้อมูลด้านต่างๆ เช่น การเจริญเติบโตของพืช สมบัติดิน และสภาพอากาศ เป็นต้น และสามารถนำมาวิเคราะห์กับข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความชื้นแสง เส้นชั้นความสูง ตั้งหมู่บ้าน การคมนาคม นโยบายต่างๆ และราคา เป็นต้น เพื่อให้สามารถวางแผนการใช้ที่ดินได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะแผนการใช้ที่ดินระยะสั้นที่ปัจจุบันพบกับความผันผวนทั้งสภาพอากาศ เศรษฐกิจ และนโยบาย ซึ่งจะทำให้ภาครัฐ เอกชนและเกษตรกรสามารถบริหารจัดการพื้นที่ปลูกและผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.2 ควรพัฒนาด้าน AI เนื่องจากการวางแผนการใช้ที่ดิน การบริหารจัดการ พื้นที่ปลูกและผลผลิต มีฐานข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ปริมาณมาก การพัฒนากระบวนการและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่เหมาะสม สิ่งสำคัญที่องค์กรต้องพิจารณาคือการสร้างความมั่นใจว่า ข้อมูลนั้นพร้อมใช้งานในเวลาที่ต้องการ สามารถนำไปใช้งานได้จริง มีคุณภาพ และนำมาใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบ AI เป็นระบบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอัตโนมัติอย่างแพร่หลาย

5.2.3 ควรบูรณาการระหว่างหน่วยงาน โดยเฉพาะการบริการด้านข้อมูล เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม การส่งข้อมูลภาคสนามจากหน่วยงานในภูมิภาค เช่น ปฏิทินการเพาะปลูก การจัดการแปลง เป็นต้น

5.2.4 ควรพัฒนาบุคลากรด้านการสำรวจระยะไกลและด้าน Data Science

## 5.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

5.3.1 ประยุกต์ใช้ฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่องานพัฒนาที่ดิน

5.3.2 เป็นแนวทางในการเตรียมฐานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากซอฟต์แวร์รหัสเปิดและคลาวด์คอมพิวติง

5.3.3 พัฒนาระบบการจัดการฐานข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินและถ่ายทอดกระบวนการให้แก่หน่วยงานอื่น

5.3.4 ลดกระบวนการและระยะเวลาทำงาน เนื่องจากมีการเขียนรหัส (code) ครั้งเดียวแล้วนำไปใช้ได้ในพื้นที่อื่น เพียงเปลี่ยนข้อมูลใน code เพียงเล็กน้อย

5.3.5 ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายของภาครัฐ ทั้งด้านการจัดซื้อภาพถ่ายดาวเทียม การจัดหาคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูง

5.3.6 เพิ่มความถูกต้องแม่นยำเนื่องจากการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้หลากหลายและปริมาณมากขึ้น สามารถใช้ฐานข้อมูลในการประมวลผลได้จำนวนมากขึ้นเนื่องจากวิเคราะห์ผ่านระบบคลาวด์



## เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. 2560ก. **ภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข**. กลุ่มจัดการและบริการแผนที่และข้อมูลทางแผนที่ สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ กรมพัฒนาที่ดิน. แหล่งที่มา <http://www.lddservice.org/services/ortho.php>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.
- โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. ม.ป.ป.. **ประโยชน์จากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรในสาขาต่างๆ**. โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว. แหล่งที่มา: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=16&chap=9&page=t16-9-infodetail08.html>, 11 ธันวาคม 2559.
- ชิงชัย หุมห้อย. 2559. **ซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source Software)**. แหล่งที่มา: <http://nu-gis.blogspot.com/2016/10/open-source-software-freedom.html>, 23 กุมภาพันธ์ 2565.
- ทศนัศว์ รัตนแก้ว. 2558. **การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน**. วารสารสมาคมนักเรียนรู้รฐบาลไทย 2558. หน้า 138-145.
- ทศนัศว์ รัตนแก้ว. 2560. **รายงานสภาพการใช้ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน จังหวัดปราจีนบุรี พ.ศ. 2559**. กลุ่มวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- พงศ์พันธุ์ จันทะคัต, จิรภาส บุญทับ, โปรดปราน บุญยพุกกณะ, เยาวเรศ จันทะคัต และ ร้อยโท ปิยะชาย ชาญสุข. 2564. **แนวทางการประยุกต์ใช้กูเกิลเอิร์ธเอนจินเพื่อการเฝ้าติดตามและประเมินผลความเสียหายจากภัยธรรมชาติ**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26 วันที่ 23-25 มิถุนายน 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์.
- ลือศักดิ์ จักรพันธุ์. 2564. **Open Source Software อีสรรภาพแห่งการสร้างคุณค่าและพัฒนาองค์กร**. แหล่งที่มา [https://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/tn219A\\_p65-67.pdf](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.
- 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 <http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-2.pdf>, February 2017, 10.
- 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. DOI: <https://doi.org/10.18273/revsal.v49n2-2017006>
- Amondi, G. 2019. **Earth Observation System**. <https://medium.com/@ochieng.grace/earth-observation-system-a41c545f0f87>
- 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](https://www.researchgate.net/publication/310751847_Matching_Remote_Sensing_to_Problems), September 2022, 09.
- 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](https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/20000000/Clarke,%20Tom_Ground-based%20Remote%20Sensing.pdf), February 2023, 09.
- 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 2017, 10.
- Dozie, J. and T. H. Painter 2004. **Multispectral and Hyperspectral Remote Sensing of Alpine Snow Properties**. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 2004. 32:4 Available Source: <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.32.101802.120404>
- Edmund Optics Inc. 2023. **Hyperspectral and Multispectral Imaging**. Available Source: <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/imaging/hyperspectral-and-multispectral-imaging/>, February 2023, 09.
- Satellite Imaging Corporation. 2022. **Sentinel-2A Satellite Sensor (10m)**. Available Source: <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>, February 2022, 09.



- 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>
- 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 2017, 23.
- GISGeography. 2022. **100 Earth Shattering Remote Sensing Applications & Uses**. Available Source: <https://gisgeography.com/remote-sensing-applications/>, December 2022, 23.
- GISRSStudy. 2023. **Components of Remote Sensing**. Available Source: <https://gisrsstudy.com>, February 2023, 09.
- Gulácsi, A. and F. Kovács. 2020. **Sentinel-1-Imagery-Based High-Resolution Water Cover Detection on Wetlands, Aided by Google Earth Engine**. Remote Sensing. 2020; 12(10):1614. <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/10/1614>, February 2023, 12.
- 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 Sens. 2020, 12, 4190; doi:10.3390/rs12244190 Available Source: [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing), February 2023, 09
- 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 2020, 20, 5375; doi:10.3390/s20185375, Available Source: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/18/5375>, February 2023, 12.
- Hatari Lab. 2018. **Land cover spectral signatures determination with QGIS 3 and Semi-Automatic Classification Plugin (SCP 6) – Tutorial**. Available Source: <https://hatarilabs.com/ih-en/land-cover-spectral-signatures-determination-with-qgis-3-and-semi-automatic-classification-plugin-scp-6-tutorial>, February 2017, 10.

- 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*. 9, no. 12: 1315. Available Source: <https://doi.org/10.3390/rs9121315>, February 2023, 09.
- 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.
- Horning, N., P. T. McPhearson, and O. C. Wallace. n.d. **An Introduction to Remote Sensing**. [https://www.academia.edu/12190786/An\\_Introduction\\_to\\_Remote\\_Sensing](https://www.academia.edu/12190786/An_Introduction_to_Remote_Sensing)
- 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 Sens*. 4 (9) p. 2530-255. <https://doi.org/10.3390/rs4092530>
- Indian Agricultural Statistics Research Institute. 2014. **Lesson 12 Image Classification**. Available Source: <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=2065>, December 2022, 10.
- 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)* Volume 1, Issue 3. Available Source: <https://www.researchgate.net/publication/2560883>, February 2023, 15
- Kulo, Nedim. 2018. **Benefits of the Remote Sensing Data Integration**. Department of Geodesy and Geoinformatics, Faculty of Civil Engineering University of Sarajevo, Sarajevo, BOSNIA AND HERZEGOVINA. <https://www.researchgate.net/publication/329443299>
- Liaghat, S. and S.K. Balasundram, 2010. **A Review: The Role of Remote Sensing in Precision Agriculture**. *Am. J. Agric. Biol. Sci.* 5, 50-55.

- Morgan, L. and P. Finnegea. 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, No.12, pp.51-60.
- Navalgund, R. R., V. Jayaraman, and P. S. Roy. 2007. **Remote sensing applications: An overview**. CURRENT SCIENCE, VOL. 93, NO. 12, pp. 1747-1766.
- Omia, 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. <https://doi.org/10.3390/rs15020354>
- 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. Volume 39, 2018 - Issue 4, 26p.
- 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. 2022, 11, 535. Available Source: <https://doi.org/10.3390/ijgi11110535>, February 2017, 10.
- Piekutowska, M., G. Niedbała, M. Adamski, M. Czechlowski, 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\\_YIELDEXAMPLES\\_AND\\_POSSIBILITIES\\_OF\\_APPLICATION](https://www.researchgate.net/publication/329991094_MODELING_METHODS_OF_PREDICTING_POTATO_YIELDEXAMPLES_AND_POSSIBILITIES_OF_APPLICATION), February 2017, 10.
- 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 Sens. 2019, 11, 831
- Priya, S. Y., R. Prabu, and G. Poongodi. 2018. **Open Source Software in Libraries: Pros and Cons.** Conference: Open Source Integrated Library Systems At: Chennai, India, Available Source: <https://www.researchgate.net/publication/32328959>, February 2017, 10.
- Punia, M. n.d. **Unsupervised Classification.** <https://www.shivajicollege.ac.in/sPanel/uploads/econtent/c9f0f033a921e9cf4b7967c66eec2bd7.pdf>, March 2022, 10.
- 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 2022, 10.
- 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](https://www.researchgate.net/publication/354683300_OVERVIEW_OF_CLOUD_COMPUTING_AND_ITS_TYPES), March 2022, 10.
- 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 2022, 10.
- 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. <https://www.ncfc.gov.in/publications/p1.pdf>
- 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, n.1 [https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/12353/1/A%20primer\\_NDatia.pdf](https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/12353/1/A%20primer_NDatia.pdf), February 2023, 10.
- Rousset, G., M. Despinoy, K. Schindler, and M. Mangeas. 2021. **Assessment of Deep Learning Techniques for Land Use Land Cover Classification in Southern New Caledonia.** Remote Sens. 13, 2257 22p.
- Satellite Imaging Corporation. 2022. **Characterization of Satellite Remote Sensing Systems.** Available Source: <https://www.satimagingcorp.com/services/resources/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems/>, February 2023, 10.

- 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>
- Shafiq, H.Z.M. and F.S.H. Ramle, 2009. **A Comparison of Support Vector Machine and Decision Tree Classifications Using Satellite Data of Langkawi Island**. *Information Technology Journal*, 8: 64-70.
- 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](https://www.researchgate.net/publication/352477780_Research_Paper_on_Cloud_Computing), February 2023, 10.
- 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](http://priede.bf.lu.lv/GIS/Descriptions/RST/Sect1/nicktutor_1-16.shtml), February 2023, 10.
- Sishodia, R. P., R. L. Ray, and S. K. Singh. 2020. **Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review**. *Remote Sensing*. 2020, 12, 3136; Available Source: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/19/3136>, February 2023, 10.
- 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](https://www.nrsc.gov.in/Knowledge_EBooks), February 2023, 10.
- Talukdar, S., P. Singha, S. Mahato, Shahfahad, S. Pal, Y. Liou, and A. Rahman. 2022. **Land-Use Land-Cover Classification by Machine Learning Classifiers for Satellite Observations—A Review**. *Remote Sens.* 2020, 12, 1135-24.
- 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 No.2 187-196.
- United States Geological Survey (USGS). n.d. **Landsat Satellite Missions**. Available Source: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>, February 2023, 10.
- USGS. 2016. **Landsat Missions**. U.S. Geological Survey (USGS). U.S. Department of the Interior. Available Source <https://landsat.usgs.gov/>, February 2017, 10.
- 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* 13 (1–2), 43–52.
- 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>
- Zhang, C. and X. Li. 2022. **Land Use and Land Cover Mapping in the Era of Big Data.** *Land* 2022, 11, 1692. Available Source <https://doi.org/10.3390/land11101692>, February 2023, 10.
- 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.