

ข้อเสนอแนวความคิดการพัฒนาหรือปรับปรุงงาน

การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับปัญญาประดิษฐ์
เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและ
ผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

โดย

นายทศนัศว์ รัตนแก้ว

เอกสารประกอบการขอประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
ผู้เชี่ยวชาญด้านสำรวจการใช้ที่ดินด้วยเทคโนโลยีระยะไกล
(นักวิชาการเกษตรเชี่ยวชาญ)
ตำแหน่งเลขที่ 9
กองนโยบายและแผนการใช้ที่ดิน
กรมพัฒนาที่ดิน

คำนำ

ภาคการเกษตรยังมีบทบาทสำคัญสำหรับประเทศไทย เนื่องจากประเทศไทยมีพื้นที่สำหรับการเกษตร ประมาณ 138 ล้านไร่ หรือ ร้อยละ 43 ของเนื้อที่ประเทศ ซึ่งในปี พ.ศ. 2565 รายได้ของภาคเกษตรคิดเป็นร้อยละ 6 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (Gross Domestic Production: GDP) และภาคเกษตรยังคงมีการจ้างงานประมาณ 1 ใน 3 ของกำลังแรงงาน ปัจจุบันระบบการเกษตรและการผลิตอาหารสมัยใหม่เข้ามามีบทบาทสำคัญ เพื่อให้การจัดการอาหารในปัจจุบันและอนาคตที่เพียงพอต่อประชากรในประเทศและมีเหลือพอให้เป็นสินค้าส่งออก แต่อย่างไรก็ตามภาคการผลิตด้านเกษตรกรรมกำลังเผชิญกับแรงกดดันทั้งภูมิอากาศและราคาที่ดินผืน ความจำเป็นในการประยุกต์ใช้นวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่จะช่วยในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสัมพันธ์ระหว่างสภาพอากาศกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชจะทำให้ทุกภาคส่วน ทั้งเกษตรกร รัฐบาล และเอกชน สามารถวางแผนการผลิตและการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีที่สำคัญ ได้แก่ การสำรวจระยะไกลและปัญญาประดิษฐ์ (AI) ทำให้สามารถศึกษาข้อมูลทางชีวลักษณะของพืชจากข้อมูลภาคสนามได้อย่างแม่นยำ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวมเป็นข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ในเครื่องมือสำหรับการจัดการเชิงคาดการณ์

การเสนอแนวคิดนี้จัดทำขึ้นเพื่อเสนอแนวทางการพัฒนางานด้านระบบสารสนเทศการเกษตร ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีข้อมูลจำนวนมากจากหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ที่มีความซ้ำซ้อน ไม่มีเอกภาพ และไม่มีการเชื่อมโยงข้อมูล การพัฒนาฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ที่สามารถบูรณาการและเชื่อมโยงข้อมูลต่าง ๆ ตลอดโซ่อุปทาน จากการศึกษาารูปแบบข้อมูลในอดีต (Understand Past) สามารถติดตามสถานการณ์ปัจจุบัน (Monitor Present) และคาดการณ์อนาคต (Forecast Future) จะช่วยให้ประเทศไทยสามารถบริหารจัดการที่ดินและสินค้าเกษตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก่อให้เกิดเกษตรกรรมที่ยั่งยืนได้ต่อไป

นายทศนัศว์ รัตนแก้ว

พฤษภาคม 2567

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| คำนำ | (1) |
| สารบัญ | (2) |
| สารบัญภาพ | (3) |
| สารบัญตาราง | (4) |
| แบบการเสนอข้อเสนอแนวคิดการพัฒนาหรือปรับปรุงงาน | 1 |
| 1. ชื่อเรื่อง | 1 |
| 2. หลักการและเหตุผล | 1 |
| 3. บทวิเคราะห์/แนวความคิด/ข้อเสนอ และข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข | 1 |
| 4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ | 35 |
| 5. ตัวชี้วัดความสำเร็จ | 36 |
| รายการอ้างอิง | 37 |

สารบัญภาพ

| | | หน้า |
|-----------|---|------|
| ภาพที่ 1 | ความสัมพันธ์ระหว่างเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ และการเรียนรู้เชิงลึก | 7 |
| ภาพที่ 2 | กรอบแนวคิดของแผนงาน และความเชื่อมโยง | 9 |
| ภาพที่ 3 | การใช้ภาพถ่ายจากโทรศัพท์สมาร์ตโฟนเพื่อเป็นข้อมูลการประมาณผลผลิต | 23 |
| ภาพที่ 4 | ขั้นตอนแบบจำลอง CLUMondo เบื้องต้น | 24 |
| ภาพที่ 5 | การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ | 27 |
| ภาพที่ 6 | กระบวนการผสมผสานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากหลายแหล่งเพื่อวิเคราะห์ สภาพการใช้ที่ดิน | 28 |
| ภาพที่ 7 | กระบวนการการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ | 29 |
| ภาพที่ 8 | กระบวนการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับ แบบจำลองความสูงเชิงเลขโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ | 30 |
| ภาพที่ 9 | กระบวนการการประมาณผลผลิตของข้าวโดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับ ข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัยและการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง | 31 |
| ภาพที่ 10 | การคาดการณ์ผลผลิตข้าวโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ภาพจากการสำรวจหลายระดับ | 31 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1 ข้อมูลทุติยภูมิที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ | 6 |
| ตารางที่ 2 ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system | 12 |

แบบการเสนอข้อเสนอแนวความคิดการพัฒนาหรือปรับปรุงงาน (ระดับเชี่ยวชาญ)

1. ชื่อเรื่อง การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

2. หลักการและเหตุผล

ระบบการเกษตรและการผลิตอาหารสมัยใหม่กำลังเผชิญกับแรงกดดันที่เพิ่มขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความพร้อมด้านการใช้ที่ดินและน้ำ (บัวพันธ์ และ มุกดา, 2020; กรมอุตุนิยมวิทยา, 2563) และล่าสุดคือการระบาดใหญ่ของโรคโควิด 19 ปัจจัยเหล่านี้คุกคามความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐกิจของระบบการจัดหาอาหารในปัจจุบันและอนาคต (เพชรพริ้ง และ สุกัลยา, 2564) ความจำเป็นด้านนวัตกรรมทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีมากขึ้นกว่าเดิมเพื่อจัดหาอาหารให้เพียงพอสำหรับประชากรโลกที่เติบโตอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ได้นำไปสู่ความเข้าใจที่ดีขึ้นว่าองค์ประกอบต่างๆ ของระบบการเกษตรมีปฏิสัมพันธ์กันอย่างไร ตั้งแต่เซลล์ไปจนถึงระดับภาคสนาม แม้จะมีความก้าวหน้าการศึกษาในเครื่องมือด้านพันธุกรรมในช่วงสองสามทศวรรษที่ผ่านมา แต่ความสามารถในการประเมินสถานะการปลูกพืชในระดับแปลงยังมีไม่เพียงพอ ปัจจุบันความก้าวหน้าที่สำคัญ ได้แก่ การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) (Navalgund et al., 2007; GISGeography, 2022) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) (Zha, 2020) ทำให้สามารถศึกษาข้อมูลซีฟลักซ์ของพืชกับข้อมูลจากข้อมูลภาคสนามได้อย่างแม่นยำ (แคสเสด และ ชรัตน์, 2552) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกรวมเป็นข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ในเครื่องมือสำหรับการจัดการเชิงคาดการณ์ (Ferencz et al., 2004; Zha, 2020)

สำหรับประเทศไทยปัจจุบันมีข้อมูลสารสนเทศการเกษตรจำนวนมากจากหลายหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและเอกชน ที่มีความซ้ำซ้อน ไม่มีเอกภาพ และไม่มีการเชื่อมโยงข้อมูล ดังนั้นการมีฐานข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ที่บูรณาการและเชื่อมโยงข้อมูลต่าง ๆ ตลอดโซ่คุณค่าที่มีความละเอียดในระดับแปลงเกษตรกร ครอบคลุมพื้นที่เพาะปลูกทั่วประเทศ จึงนับว่าจำเป็นอย่างยิ่ง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางด้านฐานข้อมูลขนาดใหญ่ มาช่วยสนับสนุนการบริหารจัดการ จัดทำมาตรฐานข้อมูล และวิเคราะห์ฐานข้อมูลทางด้านการเกษตรซึ่งมีขนาดข้อมูลที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทั้งข้อมูลในอดีตที่มีการจัดเก็บย้อนหลัง และแนวโน้มข้อมูลที่จะมีขนาดเพิ่มขึ้นในอนาคตอย่างต่อเนื่อง จะช่วยให้มีความเข้าใจถึงรูปแบบข้อมูลในอดีต (Understand Past) สามารถติดตามสถานการณ์ปัจจุบัน (Monitor Present) และคาดการณ์อนาคต (Forecast Future) เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจได้อย่างแท้จริง (อานนท์ และ อานนท์, 2562)

3. บทวิเคราะห์/แนวความคิด/ข้อเสนอ และข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

3.1 บทวิเคราะห์

3.1.1 ความก้าวหน้าด้านข้อมูลการสำรวจระยะไกล

ในทศวรรษที่ 20 ซึ่งเป็นยุคที่มีการขับเคลื่อนด้วยข้อมูล ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการใช้ที่ดินที่ได้รับจากเทคโนโลยีจากระยะไกลนั้น มีความต้องการเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ โดยใช้จัดทำแผนที่เฉพาะเรื่อง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายสาขา เช่น เพื่อการบริหารธุรกิจ การทหาร การบริหารจัดการด้านเกษตรกรรม การติดตามและจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมหรือเหตุการณ์ภัยพิบัติทางธรรมชาติ เช่น ด้านอุทกวิทยาและแหล่งน้ำ ด้านธรณีวิทยาและธรณีสัณฐาน ด้านสมุทรศาสตร์และทรัพยากรชายฝั่ง การเกิดไฟป่า เป็นต้น และยังรวมถึงภัยพิบัติที่มนุษย์เป็น

ผู้ดำเนินการให้เกิดขึ้น เช่น วิทยาศาสตร์ หรือสงคราม เป็นต้น ข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถใช้ติดตามการเปลี่ยนแปลงด้านต่างๆ ได้ทันทีที่ทั้งจากการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลโดยตรงหรือใช้เป็นข้อมูลนำเข้าในการวิเคราะห์โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้สร้างแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์ทางด้านต่างๆ เป็นต้น (Navalgund et al., 2007; GISGeography, 2022) ข้อมูลการสำรวจระยะไกลได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางทั้งในระดับท้องถิ่น (local scale) ระดับภาค (regional scale) และระดับโลก (global scale) เพื่อใช้ศึกษาด้านสภาพแวดล้อมที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ในเวลาอันรวดเร็ว และใช้งบประมาณน้อยกว่าการจัดเก็บข้อมูลแปลง (Liaghat and Balasundram, 2010; Sishodia et al., 2020; Navalgund, 2001; ทศนัศร์, 2558)

การสำรวจข้อมูลจากระยะไกลได้นำหลักการสะท้อนและดูดซับพลังงานในแต่ละช่วงคลื่นของวัตถุมาประยุกต์ใช้ซึ่งวัตถุแต่ละชนิดจะมีค่าการสะท้อนพลังงานที่แตกต่างกันออกไป โดยพืชพรรณธรรมชาติสะท้อนพลังงานได้ดีในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared Wavelengths) (700–1,300 นาโนเมตร) และในช่วงคลื่นที่มองเห็นได้จะสะท้อนพลังงานช่วงคลื่นแสงสีเขียว (500– 600 นาโนเมตร) ส่วนการสะท้อน พลังงานของดินจะขึ้นอยู่กับปัจจัยบางประการในดิน เช่น ความชื้นในดิน แร่ธาตุในดิน เป็นต้น และน้ำจะไม่มี การสะท้อนพลังงานในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ พืชพรรณ ดิน และน้ำ เป็นวัตถุปกคลุมผิวโลกเป็นส่วนใหญ่ การสะท้อนพลังงานที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกันของพืชพรรณ ดิน และน้ำทำให้สามารถแยกประเภทของวัตถุชนิดต่างๆ ได้ โดยวัตถุทั้งสามชนิดหลักนี้มี รูปแบบการตอบสนองต่อช่วงคลื่นต่างๆ เรียกว่า ค่าลายเส้นเชิงคลื่น (Spectral signature) โดยที่ช่วงคลื่นเดียวกัน วัตถุต่างชนิดจะให้ค่าการสะท้อนพลังงานต่างกัน ขณะที่ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุชนิดเดียวกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ความยาวช่วงคลื่นต่างกัน วัตถุต่างกันจะมีความสะท้อนเชิงสเปกตรัมต่างกัน ทำให้สามารถแยกชนิดของวัตถุได้ เนื่องจากวัตถุต่างๆ จะมีเปอร์เซ็นต์การสะท้อนพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า ลายเส้นเชิงคลื่น (Jensen, 2000; อมร, 2558) การตรวจวัดป่าไม้หรือพืชพรรณส่วนของใบซึ่งจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญเนื่องจากใบมีคุณลักษณะเฉพาะเมื่อใบได้รับพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic energy) จากดวงอาทิตย์ใบจะมีลักษณะการสะท้อนพลังงานและดูดซับพลังงานจะอยู่ใน 2 ช่วงหลักๆ คือ การสะท้อนพลังงานของใบในช่วงแสงขาว (visible light) การสะท้อนจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.40-0.70 ไมโครเมตร โดยในช่วงนี้ใบจะมีการดูดซับพลังงาน (absorb) ที่ช่วงความยาวคลื่น 0.45 ไมโครเมตร คือ ช่วงสีน้ำเงินและ 0.67 ไมโครเมตร คือ ช่วงสีแดง และสะท้อนพลังงานในช่วงความยาวคลื่น 0.50 ไมโครเมตรคือช่วงสีเขียว ในช่วงแสงสีแดงและน้ำเงินใบจะดูดซับพลังงานโดยคลอโรฟิลล์ เอ และ บี ที่อยู่ภายในใบซึ่งเร่งควัตถุที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) ของใบ ดังนั้นจึงทำให้เรามองเห็นใบเป็นสีเขียวการสะท้อนพลังงานของใบในช่วงอินฟราเรดใกล้ (near-infrared) เป็นช่วงที่ใบสะท้อนพลังงานออกมาได้ดีที่สุดที่ช่วงความยาวคลื่น 0.70-1.30 ไมโครเมตร โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการสะท้อนพลังงานจะขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในใบและนอกจากนี้ใบพืชยังดูดซับพลังงานที่ช่วงความยาวคลื่น 1.50 และ 1.90 ไมโครเมตร ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ได้โดยตรงเพื่อหาความสัมพันธ์กับคุณสมบัติดิน การเจริญเติบโตของพืช และผลผลิตพืช หรือคำนวณค่าดัชนีพืชพรรณแล้วจึงนำไปหาค่าความสัมพันธ์กับข้อมูลอื่นๆ ค่าดัชนีพืชพรรณ (vegetation index) (Jensen, 2000) สำหรับการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลในการศึกษาการเพาะปลูกพืชเศรษฐกิจสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) การวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์ปริมาณพื้นที่ และ 2) การวิเคราะห์สุขภาพพืชและคาดการณ์ผลผลิต

1) การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์ปริมาณพื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ ซึ่งข้อมูลที่ได้มีประโยชน์มากในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเศรษฐกิจ เช่น การระบุพื้นที่ปลูก ขนาดพื้นที่ปลูก เป็นต้น และการจัดการทรัพยากรในภาคเกษตรกรรม เช่น ใช้ในการระบุจำนวนปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ การบริหารจัดการนอกภาคเกษตรตลอดห่วงโซ่อุปทาน เช่น การวางแผนพื้นที่รับซื้อ การวางแผนการขนส่งและการจัดเก็บผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น การนำข้อมูลระยะไกลมาใช้ในการวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกของพืช ประกอบด้วย การสร้างฐานข้อมูลแผนที่และการติดตามการเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์พื้นที่ โดยปัจจุบันมีข้อมูลจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลให้บริการจำนวนมาก และสามารถเข้าถึงได้ง่าย ทำให้ผู้ใช้สามารถปรับปรุงฐานข้อมูลการใช้ที่ดินได้บ่อยขึ้น และสามารถพัฒนาความแม่นยำในการวิเคราะห์และจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินให้สูงขึ้น การสร้างฐานข้อมูลแผนที่พื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจทำได้โดยการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยการแปลตีความข้อมูลภาพจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลด้วยสายตาและการแปลตีความข้อมูลภาพจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งปัจจุบันการจำแนกข้อมูลภาพด้วยคอมพิวเตอร์แบบกำกับดูแลโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักร ซึ่งเป็น การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินแบบอัตโนมัติจากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่มีการศึกษาและนิยมใช้มากขึ้น เนื่องจากตั้งแต่ต้นทศวรรษ 1990 จำนวนดาวเทียมมีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้มีจำนวนภาพพื้นผิวโลกที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น และคาดว่าแนวโน้มของจำนวนดาวเทียมจะเพิ่มขึ้นอีกอย่างต่อเนื่องในอนาคต นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาเซ็นเซอร์ชนิดใหม่ที่ทำให้ความหลากหลายและความละเอียดสูงขึ้น และคลังข้อมูลการสำรวจระยะไกลสามารถเข้าถึงได้ง่ายขึ้น เป็นผลโดยตรงที่ทำให้การสำรวจระยะไกลกลายเป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับการศึกษาสภาพการใช้ที่ดินและติดตามการใช้ที่ดินในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ดังนั้นจากการพัฒนานี้จำเป็นต้องมีการพัฒนากระบวนการเข้าถึงข้อมูล การแลกเปลี่ยนข้อมูล การประมวลผลให้เป็นแบบอัตโนมัติ และเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สามารถผลิตได้ภายในระยะเวลาอันสั้น (Huth *et al.*, 2012)

ปัจจุบันกรมพัฒนาที่ดินใช้การแปลตีความข้อมูลภาพจากเทคโนโลยีสำรวจระยะไกลด้วยสายตา (Visual Interpretation) ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินเป็นวิธีการหลักเนื่องจากเป็นวิธีการที่มีความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่ใช้กำลังคนและเวลามาก บุคลากรต้องมีความรู้ความชำนาญสูง ทำให้ข้อมูลที่ได้ไม่ทันต่อสถานการณ์ของผู้ใช้งาน ประกอบกับเนื่องจากจำนวนข้อมูลการสำรวจระยะไกลมีให้บริการมากขึ้นจากหลายแหล่งและหลายช่วงเวลา ทำให้สามารถทำแผนที่ที่มีรายละเอียดของพื้นที่ที่มีความถูกต้องมากขึ้นกว่าในอดีตและความต้องการในการใช้แผนที่การใช้ที่ดินที่เร่งด่วน ใกล้กับเวลาปัจจุบัน (real time) มากที่สุดเพื่อใช้ในการบริหารจัดการพื้นที่ปลูกและผลผลิตโดยทั้งภาครัฐและเอกชน จึงทำให้มีความพยายามในการหาแนวทางที่จะประยุกต์ใช้การแปลตีความด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดทำฐานข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดิน การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์เป็นการประมวลผลภาพ (Image processing) โดยใช้กระบวนการหรือกรรมวิธีจัดจำแนกค่าของจุดภาพลงในชั้นการจำแนกประเภทข้อมูล เพื่อจัดกลุ่มของจุดภาพให้เป็นกลุ่มหรือชั้นของการจำแนกตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์มี 2 ประเภท ได้แก่ การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แบบไม่มีการกำกับดูแล และการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินจากข้อมูลการสำรวจระยะไกลด้วยคอมพิวเตอร์แบบมีการกำกับดูแล การจำแนกประเภทแบบไม่มีการกำกับดูแลและแบบมีการกำกับดูแลแบบดั้งเดิม มักใช้ข้อมูลภาพเพียง 1 ภาพในการวิเคราะห์อาจทำให้ความถูกต้องแม่นยำต่ำ ปัจจุบันการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินด้วยคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาด้วยการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และ

การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ได้ก้าวหน้าผ่านการจำแนกข้อมูลภาพดาวเทียมด้วยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุ (Object based classification) โดยวิธีการจำแนกเชิงวัตถุเป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้ทุกจุดภาพในการจำแนกเพียงอย่างเดียว มีการใช้พารามิเตอร์อื่นร่วมในการจำแนกด้วย เช่น พื้นผิว มาตรฐาน สี จากการจัดกลุ่มของจุดภาพหรือการแบ่งส่วนของภาพในการจัดประเภทข้อมูลจึงมีความแตกต่างกับวิธีการจำแนกเชิงจุดภาพ (Pixel based classification) ที่ใช้จุดภาพทุกจุดในการจัดประเภทข้อมูล ซึ่งมักเกิดข้อผิดพลาดในการจำแนกหากภาพที่ใช้ในการจำแนกมีสิ่งรบกวน เช่น เงาเมฆ มุมตกกระทบของแสงที่ทำให้วัตถุมีค่าการสะท้อนผิดเพี้ยนไปจากปกติและยังมีการนำกระบวนการของระบบการเรียนรู้ด้วยเครื่องมาประยุกต์ใช้ในการจำแนกข้อมูลของภาพถ่ายดาวเทียม เนื่องจากอัลกอริทึมของระบบดังกล่าวเป็นอัลกอริทึมแบบไม่มีพารามิเตอร์ (Non-parametric algorithms) ไม่ตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการกระจายของข้อมูล ไม่ใช้ตัวแปรหรือพารามิเตอร์ทางสถิติ (Statistical parameters) ในการจำแนกข้อมูลสามารถใช้จำแนกข้อมูลที่มีการกระจายหลากหลายแบบ มีความรวดเร็วและแม่นยำในการจำแนกข้อมูลที่มีความซับซ้อนและปริมาณมาก การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้การเรียนรู้ของเครื่องจักรเป็นการพัฒนากระบวนการแปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบอัตโนมัติ การแปลตีความภาพเพื่อจำแนกวัตถุได้ดีและถูกต้องขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ดังกล่าวข้างต้นอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างพร้อมๆ กันไป ตามความยากง่ายและมาตรฐานที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจไม่แน่นอนเสมอไปรูปร่าง สี และขนาด อาจใช้เป็นองค์ประกอบในการแปลตีความภาพพื้นที่หนึ่งหรือลักษณะหนึ่งส่วนอีกบริเวณอื่นของพื้นที่เดียวกันอาจต้องใช้องค์ประกอบอีกอย่างก็ได้ นอกจากนี้จำเป็นต้องนำข้อมูลจากดาวเทียมอีก 3 ลักษณะมาประกอบการพิจารณา ได้แก่ 1. ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของวัตถุ (Spectral characteristic) ซึ่งสัมพันธ์กับความยาวช่วงคลื่นแสงในแต่ละแบนด์โดยวัตถุต่างๆ สะท้อนแสงในแต่ละช่วงคลื่นไม่เท่ากัน ทำให้สีของวัตถุในภาพแต่ละแบนด์แตกต่างกันในระดับสีขาว-ดำ ซึ่งทำให้สีแตกต่างในภาพสีผสมด้วย 2. ลักษณะรูปร่างของวัตถุที่ปรากฏในภาพ (Spatial characteristic) แตกต่างตามมาตรฐานและรายละเอียดภาพจากดาวเทียม เช่น ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ขนาดจุดภาพ 30 เมตร ซึ่งหมายถึงขนาดวัตถุหรือพื้นที่ขนาด 30×30 เมตร จึงจะปรากฏในภาพ ขณะที่ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS มีขนาดจุดภาพที่แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 250 เมตร 500 เมตร และ 1 กิโลเมตร ขึ้นอยู่กับช่วงคลื่นของภาพที่นำมาใช้ เป็นต้น และ 3. ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของวัตถุตามช่วงเวลา (Temporal characteristic) ซึ่งทำให้สถานะของวัตถุต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เช่น การเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาล การเปลี่ยนแปลงรายปีหรือรายคาบ เป็นต้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้มีความแตกต่างของระดับสีในภาพขาวดำและภาพสีผสม ทำให้เราสามารถใช้อัตราส่วนที่ถ่ายซ้ำที่เดิมในช่วงเวลาต่างๆ มาติดตามการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น สามารถติดตามการบุกรุกทำลายป่าการเติบโตของพืชตั้งแต่ปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยว เป็นต้น

2) การใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลในการวิเคราะห์สุขภาพพืชและคาดการณ์ผลผลิต

ข้อมูลการสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) มีศักยภาพในการศึกษาการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้เพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มมากขึ้นโดยใช้ความแตกต่างของค่าการสะท้อนและการดูดซับพลังงานของพืชในช่วงคลื่นต่างๆ ที่แตกต่างกันเพื่อหาอัตราส่วน (Band Ratio) ของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเรียกว่าดัชนีพืชพรรณ (Vegetation Indices) ซึ่งค่าที่นำมาคำนวณนี้มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์กับพืชพรรณที่สะท้อนปริมาณแสงตกกระทบในพื้นที่เพาะปลูกพืชในสัดส่วนที่แตกต่างกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดัชนีพืชพรรณถูกสร้างขึ้นเพื่อปรับเน้นข้อมูลใหม่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานหรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูลให้แสดงความชัดเจนในสิ่งที่ทำการศึกษามากขึ้น ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงสัดส่วนของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นผิว สถานะของพืชรวมถึงสภาพความแข็งแรงและความผิดปกติของพืชนั้น

ในพื้นที่แปลงปลูกพืช โดยทั่วไปค่าดัชนีพืชพรรณ สามารถประยุกต์วิธีการคำนวณไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้อย่างหลากหลาย ตัวอย่างเช่น ดัชนีความต่างของพืชพรรณ (normalized difference vegetation index: NDVI) (Rouse et al., 1974) ดัชนีความต่างของพืชพรรณด้วยช่วงคลื่นแสงสีเขียว (green normalized difference vegetation index: GNDVI) (Gitelson et al., 1996) และดัชนีความต่างของคลื่นอินฟราเรด (Normalized Difference Infrared Index:NDII) (Hunt and Rock, 1989) เป็นต้น สามารถนำมาใช้เพื่อตรวจสอบสถานะการเจริญเติบโตของพืชตามเวลาจริง การทำนายหรือประเมินคุณลักษณะของพืช เช่น พื้นที่ใบ มวลชีวภาพ ความสมบูรณ์ของพืชและความหนาแน่นของพืชซึ่งจะเป็นประโยชน์ในแง่มุมมองต่างๆ เช่น เพื่อวัดสถานะของต้นกล้า (ก่อนและระหว่างขั้นตอนการปลูก) เพื่อปรับใช้เทคนิคการจัดการเวลาอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อความอยู่รอดและผลผลิตของพืช หรือเพื่อส่งเสริมแนวทางปฏิบัติที่ยั่งยืนมากขึ้น การประยุกต์ใช้ดัชนีพืชพรรณที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับภัยแล้งและเหตุการณ์รุนแรง เช่น คลื่นความร้อนซึ่งเริ่มเข้าสู่ภูมิภาคที่ขณะนี้ประสบปัญหาภัยแล้ง เป็นต้น

3.1.2 ความพร้อมของฐานข้อมูลปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

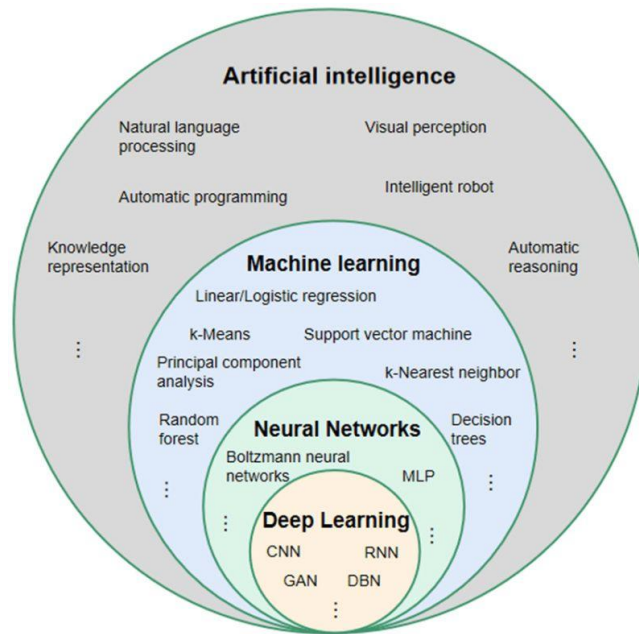
กรมพัฒนาที่ดินเป็นหนึ่งในหลายหน่วยงานที่มีฐานข้อมูลเป็นจำนวนมากที่สามารถช่วยในการบริหารจัดการด้านการเกษตร ฐานข้อมูลของกรมพัฒนาที่ดินมีการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลภาครัฐและเอกชนอื่นๆ ในปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากพลวัตของโลกทำให้สิ่งต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การปรับปรุงฐานข้อมูลให้เป็นปัจจุบันมากที่สุดโดยเฉพาะฐานข้อมูลของหน่วยงานภาครัฐ เช่น ฐานข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดิน และฐานข้อมูลดิน โดยข้อมูลจากการสำรวจระยะไกลมีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดิน สมบัติและความอุดมสมบูรณ์ของดิน รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตพืช ทำให้สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชมีผลมาจากหลายปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการเกษตรกรรมและเศรษฐกิจ ได้แก่ 1. ปัจจัยทางธรรมชาติ ประกอบด้วย สภาพอากาศ อากาศมีผลมากต่อการปลูกพืช ภูมิอากาศที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชสามารถกระทบต่อการเลือกปลูกพืชในพื้นที่นั้น ๆ เช่น 1) ดิน ความอุดมสมบูรณ์ของดินและความเหมาะสมของดินกับพืชที่จะปลูกมีผลต่อผลผลิตและการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูก 2) ปัจจัยทางเศรษฐกิจ ประกอบด้วย เช่น ราคาของพืช โดยราคาที่จากฤดูกาลที่แล้วเป็นตัวกำหนดที่สำคัญในการตัดสินใจเลือกปลูกพืชใด ๆ ของเกษตรกร ค่าใช้จ่ายในการผลิต ได้แก่ ต้นทุนในการผลิตพืชมีผลต่อกำไรที่เกิดขึ้น และอาจกระทบต่อการเลือกปลูกพืชบางประการ 3) ปัจจัยทางสังคม ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างประชากรซึ่งการเปลี่ยนแปลงในประชากรอาจส่งผลกระทบต่อความต้องการในอาหารและพื้นที่ปลูก ความต้องการของตลาด โดยความต้องการของตลาดต่อพืชที่ปลูกมีผลต่อการเลือกปลูกและผลผลิต 4) ปัจจัยทางเทคโนโลยี โดยเฉพาะนวัตกรรมเทคโนโลยี ในการผลิตอาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพและความสามารถในการปลูกพืชบางชนิด 5) การเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชและการเลือกปลูก และปัญหาทางสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ปัญหาทางสิ่งแวดล้อมเช่นการขาดน้ำ ความหลากหลายทางชีวภาพ และการใช้ทรัพยากรที่จำกัด เป็นต้น โดยปัจจัยต่างๆ ดังกล่าวที่สามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการสำรวจระยะไกลในการวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ กระจายอยู่ตามแหล่งต่างๆ ซึ่งแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลทุติยภูมิที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูก และผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

| ข้อมูล | แหล่งข้อมูล |
|--|---|
| 1. ความสูงของพื้นที่ | กรมพัฒนาที่ดิน และ กรมแผนที่ทหาร |
| 2. สภาพภูมิประเทศของพื้นที่ | กรมพัฒนาที่ดิน และ กรมแผนที่ทหาร |
| 3. ข้อมูลดิน | กรมพัฒนาที่ดิน และ กรมแผนที่ทหาร |
| 4. ขอบเขตลุ่มน้ำ | กรมชลประทาน |
| 5. ข้อมูลการใช้ที่ดิน ในปีต่าง ๆ | กรมพัฒนาที่ดิน |
| 6. ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ | กรมอุตุนิยมวิทยา |
| 7. ขอบเขตการปกครอง | กรมการปกครอง แผนที่ภูมิประเทศ |
| 8. ข้อมูลธรณีวิทยา | กรมธรณีวิทยา |
| 9. การคายระเหยน้ำ | สถานีตรวจวัดอากาศ รายงานวิจัย และ ฐานข้อมูล FAO |
| 10. พื้นที่คุ้มครอง | กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่าและพันธุ์พืช |
| 11. ข้อมูลประชากร เศรษฐกิจ-สังคม | สำนักงานสถิติแห่งชาติ |
| 12. ข้อมูลเกี่ยวกับการคาดการณ์ (Scenarios) | เอกสารต่าง ๆ และจากข้อมูลปฐมภูมิการ สัมภาษณ์และจัดประชุม |
| 13. นโยบายและการใช้ที่ดินที่เกี่ยวข้อง | เอกสารต่าง ๆ |

3.1.3 ศักยภาพของการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูก และผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) หมายถึง เทคโนโลยีการสร้าง ความสามารถให้แก่ เครื่องจักรและคอมพิวเตอร์ ด้วยอัลกอริทึมและกลุ่มเครื่องมือทางสถิติ เพื่อสร้างซอฟต์แวร์ ทรงปัญญาที่สามารถเรียนรู้ เลียนแบบความสามารถของมนุษย์ที่ซับซ้อนได้ทั้งกระบวนการจดจำ การทำความเข้าใจ การตอบสนองต่อภาษา การตัดสินใจ และการแก้ไขปัญหาโดยอาศัยข้อมูลจำนวนมากที่มีลักษณะซ้ำ ๆ ในบางกรณีอาจไปถึงขั้นเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง ในการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกต้องเหมาะสม และ ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และเลือกสรรให้สอดคล้องกับจุดประสงค์ของการใช้งาน ทั้งยังต้องคำนึงถึงข้อมูลที่ใช้เป็นฐานในการทำนาย และมีการบำรุงรักษาเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ โดย การติดตามและตรวจสอบกลไกการทำงานของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ให้มีประสิทธิภาพอยู่เสมอรวมทั้ง การเพิ่มข้อมูลชุดใหม่อยู่เสมอ ปัจจุบัน เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก เป็นเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพสำหรับการตรวจสอบและบริหารจัดการ (กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม, 2565; สำนักงานธุรกรรม พัฒนาทางเศรษฐกิจ, 2564) ซึ่งเทคนิคการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่นิยมใช้แบ่งได้เป็นประเภทและมีความสัมพันธ์กัน (ภาพที่ 1) โดยมีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ การเรียนรู้ของเครื่อง โครงข่ายประสาทประดิษฐ์ และการเรียนรู้เชิงลึก
ที่มา : นรินาม, ม.ป.ป.

1) การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ถือเป็นส่วนสำคัญอย่างมากของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ เนื่องจากเปรียบเทียบสมองของมนุษย์โดยกลไกการทำงานของปัญญาประดิษฐ์จะต้องอาศัยการเรียนรู้ของเครื่องที่ประกอบด้วย อัลกอริทึม (Algorithm) หรือชุดคำสั่งหรือเงื่อนไขแบบที่ละขั้นตอนที่จะทำให้คอมพิวเตอร์ หุ่นยนต์ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เรียนรู้ด้วยตนเองโดยใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วประมวลผลออกมาเป็นชุดข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งการเรียนรู้ของเครื่อง แบ่งออกได้ 2 รูปแบบ คือ (1) การเรียนรู้ที่มีคนควบคุม โดยเครื่องจะเรียนรู้และทำนายผลได้ด้วยการช่วยเหลือของนักวิทยาศาสตร์ข้อมูล เช่น การจำแนกหรือจัดลำดับ กิจกรรมในหน่วยงานที่กำหนดเงื่อนไขตามความเร่งด่วน ความสำคัญ หรือตามภารกิจ เป็นต้น และ (2) การเรียนรู้ที่ไม่มีคนควบคุมโดยเครื่องจะเรียนรู้และทำนายผลได้ด้วยการจำแนกแยกแยะ และสร้างรูปแบบจากข้อมูลที่ได้รับอย่างอัตโนมัติ หากเครื่องสามารถทำนายผลได้มากขึ้นเท่าไรยิ่งทำให้เครื่องมีสมรรถนะในการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) มากขึ้นเท่านั้น เนื่องจาก การเรียนรู้เชิงลึกประกอบด้วยอัลกอริทึมที่มีลักษณะเป็นโครงข่ายประสาทที่เชื่อมต่อกันจนกลายเป็นระบบประสาทที่สื่อสารซึ่งกันและกัน ดังนั้น จึงสามารถเรียนรู้และเข้าใจข้อมูลขนาดใหญ่ที่มีความสลับซับซ้อน และหลากหลายได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การแปรผลภาพดาวเทียม การวินิจฉัยโรคจากข้อมูลส่วนตัวของผู้ป่วย ไม่ว่าจะเป็น น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าน้ำตาลในเลือดหรือ ค่าไขมันในเลือด ภาพเอ็กซเรย์ หรือภาพอัลตราซาวด์ แล้วทำการประมวลผลข้อมูลของผู้ป่วยโดยเปรียบเทียบกับ ฐานข้อมูลเพื่อค้นหาความผิดปกติต่าง ๆ ได้ เป็นต้น

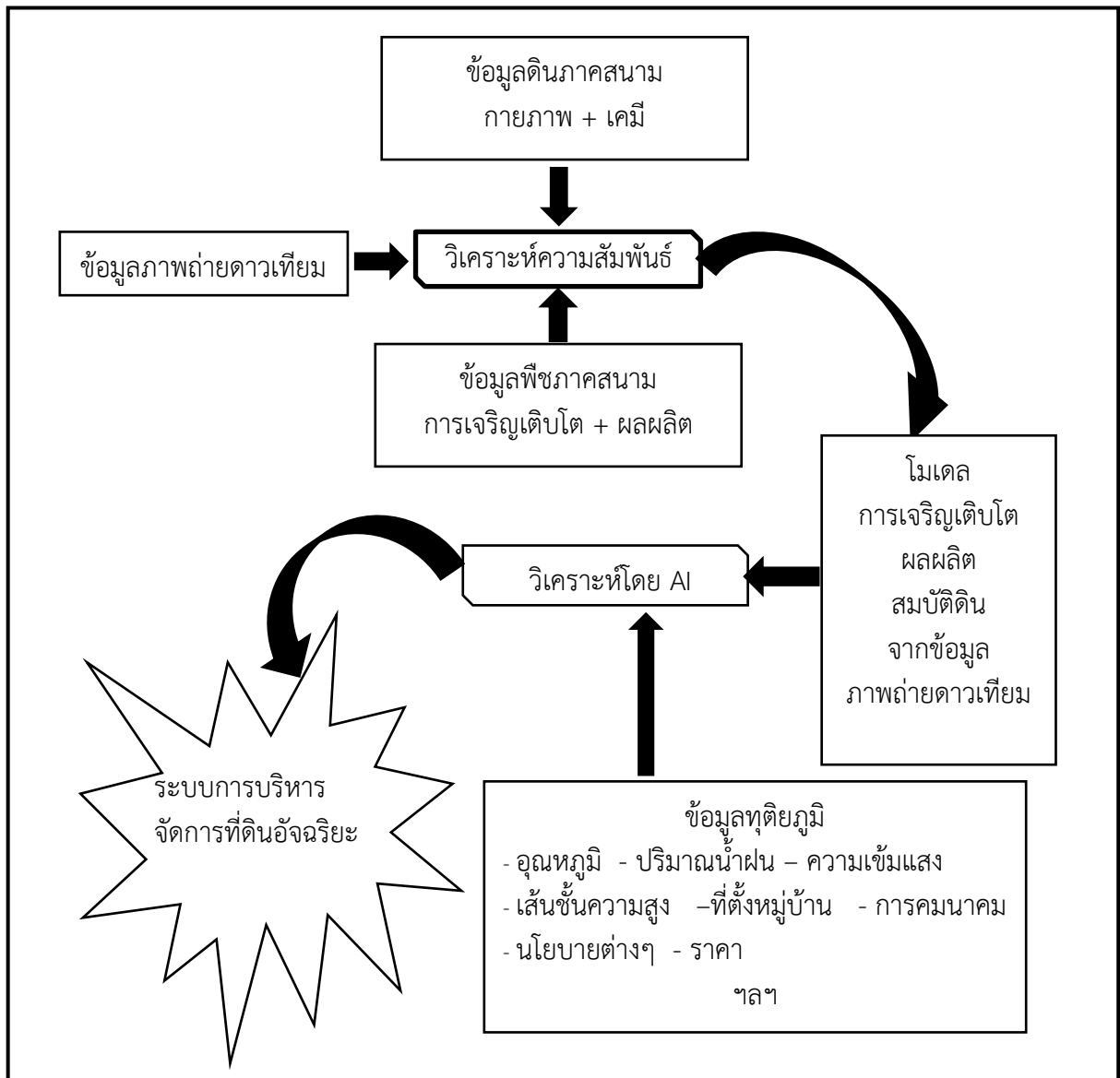
2) แบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์ (Artificial Neural Networks: ANN) เป็นแบบจำลองโครงข่ายประสาทประดิษฐ์นับเป็นสาขาหนึ่งของปัญญาประดิษฐ์ เป็นระบบการคำนวณที่สร้างเลียนแบบการทำงานของระบบสมองมนุษย์ เพื่อใช้ประโยชน์ในการคาดคะเนเหตุการณ์จากข้อมูลที่มีอยู่ด้วยการใช้ระบบการคำนวณแบบไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งมีวิธีการดำเนินระบบเป็นแบบขนาน โดยมีหน่วยประมวลผล

ซึ่งรวมกันอยู่เป็นชั้น ๆ สามารถรับข้อมูลเข้าได้หลายค่า และสามารถคำนวณผลในระบบประกอบไปด้วยฟังก์ชันง่าย ๆ เช่น ฟังก์ชันการรวม และฟังก์ชันการคูณโดยจะให้ผลลัพธ์ค่าเดียว หรือหลายค่าก็ได้ (Lippmann, 1987) โดยมีความสามารถในการเรียนรู้จากหลายตัวอย่างซึ่งจะหาแนวทางการแก้ปัญหา แม้แต่ข้อมูลที่ถูกป้อนเข้ามาไม่สมบูรณ์หรือผิดพลาด ระบบจะเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่คลาดเคลื่อน และปรับเปลี่ยนวิธีการ ประมวลผลเพื่อให้ผลลัพธ์ถูกต้องที่สุด ระบบจะประมวลผลข้อมูลโดยคอมพิวเตอร์อย่างรวดเร็ว (Flood and Kartam, 1994)

3) การเรียนรู้เชิงลึก (Deep learning) เป็นสาขาวิชาขั้นสูงของ การเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้วิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) มาซ้อนกันหลายชั้นและทำการเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่างซึ่งข้อมูลจะถูกนำไปใช้ในการตรวจจํารูปแบบหรือจัดหมวดหมู่ข้อมูลโดยต้องมียุคความรู้ก่อน จากนั้นจะประเมินชุดข้อมูลและนำเสนอหรือแทนองค์ความรู้นั้น (อัยยรัชต์, 2565) การเรียนรู้เชิงลึกถูกใช้อย่างกว้างขวางจากบริษัทอินเทอร์เน็ต เช่น Google, Baidu, Microsoft และ Facebook สำหรับงานวิเคราะห์รูปภาพหลายอย่าง รวมถึงการจัดทำดัชนีรูปภาพ การแบ่งส่วนและการตรวจจําวัตถุ ด้วยเหตุนี้จึงพิสูจน์ให้เห็นว่าการเรียนรู้เชิงลึกเป็นชุดเครื่องมือที่ประสบความสำเร็จอย่างมาก บางครั้งถึงกับสามารถก้าวข้ามความสามารถของมนุษย์ในการแก้ปัญหางานที่ใช้การคำนวณสูงได้จึงกลายเป็นรูปแบบที่ได้รับความนิยมในการใช้งานหลายๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น โครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) ที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถแยกคุณลักษณะนามธรรมระดับกลาง และระดับสูงออกจากรูปภาพดิบได้ดี การสลับเลเยอร์การบิดและการรวมกันเข้าด้วยกัน เช่น การลดขนาดเชิงพื้นที่ของพีเจอร์แมปที่เลเยอร์ การจําภาพขนาดใหญ่ การตรวจจําวัตถุ และการแบ่งส่วนความหมาย นอกจากนี้ การเรียนรู้เชิงลึกยังมีโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network: RNN) ที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับ เช่น การดำเนินการ การจํา และคำบรรยายภาพ เป็นต้น (Zhu et al., 2017)

3.2 แนวความคิด

การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล ข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องเชิงพื้นที่ ร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ มีแนวคิดที่จะใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมซึ่งปัจจุบันสามารถหาได้ง่าย และมีความสัมพันธ์กับข้อมูลด้านต่างๆ เช่น การเจริญเติบโตของพืช สมบัติดิน และสภาพอากาศ เป็นต้น และสามารถนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเข้มแสง เส้นชั้นความสูง ที่ตั้งหมู่บ้าน การคมนาคม นโยบายต่างๆ และราคา เป็นต้น ทำให้สามารถวางแผนการใช้ที่ดินได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยเฉพาะแผนการใช้ที่ดินระยะสั้นที่ปัจจุบันพบกับความผันผวนทั้งสภาพอากาศ เศรษฐกิจ และนโยบาย ซึ่งหากมีข้อมูล เช่น ปริมาณพื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจที่เป็นปัจจุบันมากที่สุดก็จะทำให้การบริหารจัดการทั้งภาครัฐ เอกชนและเกษตรกรแต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ใช้ในการวางแผนการใช้ที่ดินมีปริมาณมาก ระบบเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ มีแนวโน้มที่จะเข้ามามีบทบาทสำคัญกับชีวิตมนุษย์ในอนาคตอันใกล้และมีความสามารถพิเศษในการเรียนรู้และจําและวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณมากได้มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งกรอบแนวคิดของแผนงาน และความเชื่อมโยงแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดของแผนงาน และความเชื่อมโยง

3.2.1 แนวคิดการพัฒนาการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล

1) การผสมผสานข้อมูล (Data Fusion) การสำรวจระยะไกลจากหลายแหล่งและหลายช่วงเวลา เพื่อเพิ่มความแม่นยำ

เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลเป็นการได้มาของข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดที่อยู่ไกลออกไป และทำการสกัดสารสนเทศ (Information extraction) ต่างๆ จากข้อมูลที่ได้มาจากการตรวจวัดเพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผล ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองส่วนนี้มีกระบวนการเริ่มจากการส่งพลังงานจากแหล่งพลังงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล การสกัดสารสนเทศต่างๆ ออกมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดไปจนถึงการนำข้อมูลไปช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในเรื่องต่างๆ การได้มาของข้อมูล ประกอบด้วย แหล่งพลังงาน ปฏิสัมพันธ์ของพลังงานกับวัตถุต่างๆ บนผิวโลกระบบการตรวจวัดข้อมูล และการบันทึกข้อมูล (Jensen, 2000; อมร, 2558) ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติมีมากขึ้นเรื่อยๆ จากการพัฒนาด้านเซ็นเซอร์จัดเก็บข้อมูลทำให้การสำรวจระยะไกลมีความก้าวหน้ามาก และนิยมใช้มากขึ้น เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล ช่วยให้การทำงานได้

เร็วขึ้นและประหยัดค่าใช้จ่าย ซึ่งเดิมการศึกษาดังกล่าวได้จากการสำรวจภาคสนาม แต่ทำได้ช้าและต้องใช้งบประมาณสูง การนำเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ธรรมชาติมีมากขึ้นเรื่อยๆ ทั้งการสำรวจระดับพื้นดิน (Ground based) ระดับอากาศ (Aerial based) และระดับอวกาศ (Satellite based) (Liaghat and Balasundram, 2010) ซึ่งการสำรวจในแต่ละระดับของการสำรวจมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน เช่น ค่าใช้จ่าย ขนาดพื้นที่ในการจัดเก็บข้อมูล ข้อจำกัดของสภาพอากาศ และเวลาที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การสำรวจหรือการจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดิน มีการใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากการพัฒนาเซ็นเซอร์อย่างต่อเนื่อง active-light remote sensing devices หรือ on-the-go proximal system สามารถจัดเตรียมข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และใช้ประโยชน์ได้ทันที (real time) เนื่องจากข้อมูลที่ได้นั้นมีความต่อเนื่อง ถูกต้อง และรวดเร็ว ทำให้สามารถติดตามสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การพยากรณ์อากาศ การติดตามความเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรธรรมชาติ ป่าไม้ การใช้ที่ดิน การติดตามข้อมูลเกี่ยวกับการเกษตร เป็นต้น เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลอาศัยการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เซ็นเซอร์รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พืชสะท้อนกลับ และสามารถจัดทำเป็นแผนที่ระดับแปลง เทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลการสำรวจระยะไกลกับภาคการเกษตร โดยส่วนใหญ่แล้วการสำรวจจากระยะไกลในภาคการเกษตรจะใช้กล้องถ่ายภาพติดบนอากาศยานไร้คนขับ (Drone) เพื่อเก็บข้อมูลในระดับต่ำ (Aerial Photo) และใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อเก็บข้อมูลในระดับสูง (Satellite Image) แล้วนำข้อมูลทั้งสองส่วนนี้มาทำการวิเคราะห์ร่วมกัน ซึ่งปัจจุบันภาพถ่ายที่ได้สามารถนำมาวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อภาคการเกษตรสำหรับการเพาะปลูกพืช เพื่อช่วยด้านการวัด และตรวจวิเคราะห์ข้อมูลด้านการเกษตรแม่นยำ (Precision Farming) ของเกษตรกร เช่น การจำแนกประเภทพืช จำนวนลำต้น ในบริเวณที่มีการเพาะปลูกหนาแน่น การประเมินข้อมูลเกี่ยวกับสุขภาพของพืช เช่น ปริมาณคลอโรฟิลล์ ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณความชื้นและน้ำที่ปกคลุมผิวดิน จากคุณสมบัติการดูดซับในแถบสเปกตรัม เป็นต้น การตรวจสอบโรคพืช แมลงศัตรูพืช โดยการวัดการสะท้อนแสงและการเปลี่ยนแปลงในพฤติกรรมสเปกตรัมต่อความเข้มของ Bacterial Leaf Bright (BLB) ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงของสีใบและลักษณะที่ปรากฏอาจเกิดจากระดับความรุนแรงของการระบาด ช่วยเกษตรกรในการตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้สารกำจัดศัตรูพืชในปริมาณที่ให้ผลประโยชน์ต่อต้นทุนสูงสุด ในตำแหน่งและช่วงเวลาที่เหมาะสม (Cao *et al.*, 2022) การติดตามสถานการณ์เพาะปลูก ช่วงเริ่มต้น ช่วงเจริญเติบโต และสิ้นสุด ด้วยดัชนีพืชพรรณที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงความเขียวเปลี่ยนไปตามเวลาการประมาณการผลิตพืช ซึ่งเป็นประเด็นที่สำคัญที่สุดสำหรับการจัดการทางการเกษตร ผลผลิตมีความสัมพันธ์อย่างยิ่งกับการนำไฟฟ้าของดินซึ่งกำหนดพื้นผิวดินและลักษณะความเค็มของดินที่แสดงในแถบสเปกตรัม การสะท้อนแถบแสงของพืชแสดงถึงความเร็วในการเติบโตของพืช ช่วยให้เกษตรกรสามารถจัดการปรับปรุงที่ดินและประเมินผลผลิตก่อนการเก็บเกี่ยว จึงถือได้ว่าเทคโนโลยีการสำรวจข้อมูลระยะไกลเป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศที่สามารถนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ในงานด้านการเกษตรเพื่อยกระดับภาคการเกษตรให้เป็นการทำเกษตรแบบอัจฉริยะ (Smart Agriculture) หรือการทำเกษตรแบบแม่นยำ (Precision Agriculture) (Zinke-Wehlmann and Charvá, 2021) การผสมผสานข้อมูลจากแหล่งที่มาหลายแหล่งเป็นแนวความคิด เพื่อช่วยปรับปรุงความสามารถในการแยกแยะระหว่างหมวดหมู่พื้นที่ที่แตกต่างกันได้ โดยใช้คุณสมบัติเด่นของแหล่งข้อมูลแต่ละประเภท เช่น ข้อมูลภาพถ่ายในระบบ optic ที่ยังคงเป็นข้อมูลการสำรวจระยะไกลที่มักนำมาใช้สำหรับการวิเคราะห์และจำแนกพื้นที่ แต่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับในบางช่วงเวลาไม่สามารถใช้ข้อมูลภาพประเภทนี้ได้เนื่องจากสภาพอากาศ เช่น ในฤดูมรสุมที่มีปริมาณเมฆปกคลุมพื้นที่มากและในไม่กี่ปีที่ผ่านมา ได้มีความนิยมใช้ข้อมูลภาพถ่ายในระบบอื่นๆ เพิ่มขึ้น เช่น การใช้ข้อมูลภาพประเภท synthetic aperture radar (SAR) เนื่องจากความสามารถบันทึกข้อมูลภาพได้

ทุกสภาพอากาศ และข้อมูลภาพประเภท LiDAR ที่สามารถจัดทำเป็นโครงสร้างสามมิติของพื้นที่ศึกษา ซึ่งมีประโยชน์ในการระบุหมวดหมู่ที่มีการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่างเล็ก ๆ การผสมผสานภาพประเภทต่างๆ ช่วยให้ การวิเคราะห์ลักษณะของพื้นที่ โดยปรับปรุงความสามารถในการแยกแยะระหว่างพื้นที่ปกคลุม และชัดเจน การสูญเสียของภาพที่เกิดจากสภาพอากาศในชุดข้อมูลแบบหลายเวลา นอกจากนี้ โดยการพัฒนาการสำรวจ เพื่อจัดเก็บข้อมูลในระดับต่างๆ และการประยุกต์ใช้ข้อมูลที่จัดเก็บโดยเซ็นเซอร์ประเภทต่างๆ มีดังนี้

1.1) การสำรวจระดับอวกาศ (Satellite based)

ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมสำรวจทรัพยากรโลกที่ใช้ในการติดตามทรัพยากรธรรมชาติ และทรัพยากรที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้นปัจจุบันได้มีการพัฒนารายละเอียดของภาพที่แสดงผลมากขึ้นจนปัจจุบันมี ข้อมูลที่มีรายละเอียดปานกลาง เช่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากร Landsat 8 หรือ Spot 5 และข้อมูลที่มี รายละเอียดสูง เช่น ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติ IKONOS, QUICBIRD (Gxokwe *et al.*, 2020) รายละเอียดของข้อมูลแผนที่เฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการติดตามทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของโลกมี ปริมาณมากขึ้น ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมีการบันทึกอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถศึกษาลักษณะ การแสดงออกของพืชที่สัมพันธ์กับฤดูกาล เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีพิกเซลของพืช ได้แก่ การเจริญเติบโต ในระยะต่างๆ การขาดน้ำในช่วงสภาวะอากาศแห้งแล้ง การทิ้งใบของพืชที่ตอบสนองต่อปริมาณน้ำ ซึ่งลักษณะ ที่พืชแสดงออกนี้จะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สามารถจำแนกลักษณะที่แตกต่างกันได้ รวมถึงการจำแนกชนิดและปริมาณของสิ่งปกคลุมดิน (แคสเสด และ ชรัตน์, 2562) ซึ่งปัจจุบันผู้ที่สนใจ สามารถ เข้าไปศึกษา หรือดาวน์โหลดภาพถ่ายดาวเทียม ได้ที่เว็บไซต์หลายแหล่ง เช่น

Global Visualization Viewer (<https://glovis.usgs.gov/>) สามารถหาข้อมูลภาพ ดาวเทียม และภาพถ่ายทางอากาศ แบบ Online ได้เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น

NASA Earth Observation (<https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/>) มีข้อมูล ในหลากหลาย ประเภทเช่น ชั้นบรรยากาศ (Atmosphere), พื้นดิน (Land), มหาสมุทร (Ocean), พลังงาน (Energy) และ สิ่งแวดล้อม (Environment)

USGS Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) ถือเป็น Portal อันหนึ่ง ที่ ใช้ในการดาวน์โหลดข้อมูล Remote Sensing โดยเฉพาะภาพถ่ายดาวเทียมและภาพถ่ายทางอากาศ ผู้ใช้ สามารถกำหนดเกณฑ์การค้นหาที่หลากหลายได้

ESA's Sentinel data (<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>) ของ Copernicus Open Access Hub จะมีข้อมูล Sentinel 1, Sentinel 2 และ Sentinel 3 สำหรับให้ผู้ใช้ ดาวน์โหลดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

VITO Vision (<https://www.vito-eodata.be/PDF/portal/Application.html>) จะมี ข้อมูลพืชพรรณแบบความละเอียดต่ำ ได้มาจากดาวเทียม PROBA-V, SPOT-Vegetation และ METOP ข้อมูล ประเภทนี้เหมาะกับงานประยุกต์ที่ไม่ต้องการความละเอียดมากนัก

NOAA Digital Coast (<https://coast.noaa.gov/digitalcoast/>) สำหรับผู้ใช้ที่ต้องการ ข้อมูลชายฝั่ง ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมได้ เช่น คลื่นช่วง Infrared คลื่นช่วง Radar ข้อมูลภาพสีจริง นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลอื่นๆ เช่น ข้อมูล สิ่งปกคลุมดิน (Land Cover) ความชัน (Elevation) ข้อมูลเศรษฐกิจและสังคม (Socio-economic data) เป็นต้น

Google Earth Engine (GEE) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open-source software) และคลาวด์คอมพิวติง (Cloud computing platform) ให้บริการโดยกูเกิล (Google Inc.) ตั้งแต่ พ.ศ. 2553 เป็นต้นมา ให้บริการเพื่อการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ (Geospatial data) เช่น

ชุดข้อมูลสภาพภูมิอากาศ ชุดข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวและชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมในแต่ละพื้นที่ เป็นต้น ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต <https://earthengine.google.com>

1.1.2) การสำรวจระดับอากาศแบ่งตามเซ็นเซอร์ที่ใช้บันทึกข้อมูลได้เป็น 2 ประเภทหลักตามแหล่งพลังงานที่ใช้ ได้แก่ เซ็นต์เซอร์แบบ passive และ เซ็นต์เซอร์แบบ active (Jensen, 2000; Omia et al., 2023)

- ระบบ passive sensor system เป็นระบบที่อาศัยการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก ซึ่งโดยทั่วไปคือแสงจากดวงอาทิตย์ ในกรณีที่ใช้แสงจากดวงอาทิตย์ เครื่องมือวัดจะทำงานได้เฉพาะในเวลากลางวันเท่านั้น นอกจากการศึกษารูปแบบของเมฆในทางอุตุนิยมวิทยา การตรวจวัดยังต้องการท้องฟ้าที่ปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆ หรือฝนในช่วงที่ทำการตรวจวัด ซึ่งดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system แสดงในตารางที่ 2 โดยดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system ที่นิยมใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ (Zhu, 2017; Htitiou et al., 2019; Poortinga et al., 2019; Kyriakos and Vavalis, 2023) ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม MODIS ที่เป็นข้อมูลภาพรายละเอียดปานกลางถึงต่ำ เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์พื้นที่ที่มีขนาดใหญ่มาก ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel และ ชุดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Theos หรือ ไทยโชติ ที่มีข้อมูลภาพรายละเอียดปานกลาง เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์พื้นที่ที่ต้องการรายละเอียดสูงขึ้น เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลระดับประเทศ ระดับภาค ระดับจังหวัดและอำเภอ เป็นต้น ซึ่งชุดข้อมูลภาพจากดาวเทียมดังกล่าวมีการให้บริการอย่างต่อเนื่อง และมีความถี่ตามระยะเวลาของวงโคจร ทำให้สามารถนำภาพจากต่างช่วงเวลามาเปรียบเทียบกัน เพื่อใช้ศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ต่อไป

ตารางที่ 2 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 |

ตารางที่ 2 (ต่อ)

| Sensor | Pixel Size (m) | Bands | Revisit Time | Acquisition Cost | Scale of Application | Spatial Resolution |
|-------------|----------------|-------|--------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| MERIS | 300 | 15 | 3 | Readily available | Regional | Low |
| MODIS | 500/1000 | 7 | 1 | Readily available | Regional to global | Low |
| QuickBird | 2.4 | 5 | 1-3.5 | Expensive | Local | High |
| RapidEye | 5 | 5 | 5.5 | Expensive | Local | High |
| Sentinel 2 | 10,20,60 | 13 | 5 | Readily available | Local to regional | High/Medium |
| SPOT | 10,20 | 4 | 26 | Readily available | Local to regional | High |
| Worldview-2 | <1 | 8 | 1 | Very expensive | Local | High |
| Sentinel 1 | 5 | 1 | 12 | Readily available | Local to regional | High |

ที่มา : Gxokwe *et al.* (2020)

- ระบบ active sensor system เป็นระบบที่ใช้แหล่งกำเนิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือแหล่งพลังงานของตนเองในการบันทึกข้อมูล เช่นเซอร์ดังกล่าวปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังวัตถุที่ต้องการ จากนั้นตรวจจับและวัดความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนกลับมา เช่นเซอร์ที่ใช้งานอยู่ส่วนใหญ่ทำงานในช่วงคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งช่วยให้สามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศได้ในเกือบทุกสภาพอากาศ ข้อดีของเซ็นเซอร์ประเภทนี้คือไม่มีเงาเนื่องจากไม่เปลี่ยนแปลงตามมุมของดวงอาทิตย์ ใช้งานง่าย เช่น ใช้ติดบนรถแทรกเตอร์หรือเครื่องบิน ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากคลื่นไมโครเวฟสามารถส่งสัญญาณทะลุผ่านกลุ่มเมฆ หมอก ฝนได้ บันทึกสัญญาณได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน และในทุกฤดูกาล ข้อเสียคือ ไม่สามารถใช้ร่วมกับเซ็นเซอร์แบบ passive ไม่สามารถใช้สำหรับการศึกษาในแถบช่วงคลื่น เช่น การคำนวณดัชนีพืชพรรณ ระบบ active sensor system เป็นระบบที่มีแหล่งกำเนิดพลังงานจากการสร้างขึ้นของอุปกรณ์สำรวจในช่วงคลื่นไมโครเวฟที่นำมาใช้ในระบบเรดาร์ (Radio Detector and Ranging) โดยส่งผ่านพลังงานนั้นไปยังพื้นที่เป้าหมายและบันทึกสัญญาณการกระจัดกระจายกลับ (Backscatter) จากพื้นที่เป้าหมาย Active remote sensing ซึ่งหลักการทำงานของระบบเรดาร์ (RADAR) ในการสำรวจทรัพยากรด้วยดาวเทียมระบบเรดาร์ที่ต้องการมีรายละเอียดสูง (High Resolution) ใช้ระบบการบันทึกข้อมูลแบบ Synthetic Aperture Radar (SAR) ที่พัฒนาจากรับสัญญาณเรดาร์แบบสังเคราะห์ (Synthetic Antenna) ให้มีขนาดใหญ่กว่าจานเรดาร์ธรรมดา จึงให้รายละเอียดที่สูงโดยการบันทึกภาพของระบบเรดาร์นั้น บันทึกจากทางด้านข้างของดาวเทียมมุมตกกระทบในการบันทึกจะแตกต่างกันไปในแต่ละดาวเทียม ซึ่งมุมตกกระทบดังกล่าวมีผลต่อพลังงานที่กระเจิงกลับ การบันทึกของระบบเรดาร์มีช่วงความถี่คลื่นไมโครเวฟ ระหว่าง 0.3 - 12.5 GHz หรือความยาวคลื่น 2.4 - 100 เซนติเมตร และด้วยย่านความถี่แต่ละแถบความถี่มีความสามารถในการทะลุทะลวงที่แตกต่างกัน ระบบเรดาร์จึงแบ่งแถบความถี่ (Band) ออกเป็น 5 แถบความถี่

ได้แก่ X-band ที่มีความถี่สูงสุด รองลงมา คือ C-band S-band L-band และ P-band ตามลำดับ แสดงการสำรวจด้วยระบบเรดาร์ย่านความถี่ต่าง ๆ ดาวเทียมสำรวจทรัพยากรธรรมชาติในระบบ passive sensor system ที่นิยมใช้ในการศึกษาปรากฏการณ์ต่างๆ ได้แก่ Sentinel 1 เป็นต้น

1.1.2) การวิเคราะห์การเจริญเติบโตและคาดการณ์ผลผลิตโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีการศึกษาและใช้อย่างแพร่หลาย โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมมีการบันทึกอย่างต่อเนื่องทำให้สามารถศึกษาลักษณะการแสดงออกของพืชที่สัมพันธ์กับฤดูกาล เช่น การเปลี่ยนแปลงของสีพืคลักษณะของพืช ได้แก่ การเจริญเติบโตในระยะต่างๆ การขาดน้ำในช่วงสภาวะอากาศแห้งแล้ง การทิ้งใบของพืชที่ตอบสนองต่อปริมาณน้ำ ซึ่งลักษณะที่พืชแสดงออกนี้จะปรากฏเป็นค่าการสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงไป ทำให้สามารถจำแนกลักษณะที่แตกต่างกันได้ รวมถึงการจำแนกชนิดและปริมาณของสิ่งปกคลุมดิน การศึกษาด้านสีพืคลักษณะของพืชและการสำรวจระยะไกลต้องการการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก รวมถึงการสังเกตการเปลี่ยนแปลงการดูดซับและการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นและลักษณะทางชีวเคมีหรือชีวฟิสิกส์ของพืช นักวิทยาศาสตร์ด้านสีพืคลักษณะของพืชกำลังพัฒนาวิธีการเพื่อจัดการข้อมูลในการใช้สำหรับจัดการผลิตพืชและสถานการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) ของภาพถ่ายดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของพืชอย่างแพร่หลาย การจำแนกชนิดพืชโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงช่วงเวลาเดียว (single-date image) ที่ยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากพืชแต่ละชนิดต่างมีวงจรการเจริญเติบโตในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนเชิงช่วงคลื่นของพืชแต่ละชนิดในแต่ละสีพืคลักษณะของพืชและการสำรวจระยะไกล ต้องการการรวบรวมข้อมูลจำนวนมาก รวมถึงการสังเกตการเปลี่ยนแปลงการดูดซับและการสะท้อนในแต่ละช่วงคลื่นและลักษณะทางชีวเคมีหรือชีวฟิสิกส์ของพืช นักวิทยาศาสตร์ด้านสีพืคลักษณะของพืชกำลังพัฒนาวิธีการเพื่อจัดการข้อมูลเพื่อใช้สำหรับจัดการผลิตพืชและสถานการณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืช การใช้ข้อมูลอนุกรมเวลา (time series) ของภาพถ่ายดาวเทียมได้ถูกนำมาใช้ในการจำแนกชนิดของพืชอย่างแพร่หลาย การจำแนกชนิดพืชโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเพียงช่วงเวลาเดียว (single-date image) ที่ยังคงมีข้อจำกัด เนื่องจากพืชแต่ละชนิดต่างมีวงจรการเจริญเติบโตในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ค่าการสะท้อนเชิงช่วงคลื่นของพืชแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาจะไม่ถูกนำมาพิจารณา ซึ่งค่าดังกล่าวอาจมีประโยชน์อย่างมากในการแยกแยะชนิดของพืชที่เซนเซอร์ของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ ประกอบกับระบบการเพาะปลูกพืชในภาคเกษตรกรรมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งเป็นประโยชน์ในการสังเกตพัฒนาการของพืชในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น การประมาณผลผลิตพืช เป็นต้น (ดังนั้นเพื่อให้การจำแนกมีความถูกต้องและแม่นยำ จำเป็นต้องมีหลายปัจจัย ได้แก่ การเลือกใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมและข้อมูลสนับสนุน การเลือกใช้ขั้นตอนในการจำแนกที่เหมาะสม รวมถึงทักษะการวิเคราะห์และประสบการณ์ของผู้ศึกษา การจำแนกโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียมถือเป็นวิธีการการจำแนกประเภทข้อมูลด้วยระบบผู้เชี่ยวชาญ (expert system) ที่ต้องใช้วิธีการส่งสมความรู้และประสบการณ์ให้กับระบบคอมพิวเตอร์ในการตัดสินใจให้ถูกต้อง (Knowledge-Base system) ซึ่งงานวิจัยด้านการใช้ระบบดังกล่าวในการจำแนกประเภทข้อมูลการใช้ที่ดินสำหรับประเทศไทยยังมีจำนวนน้อย ข้อมูลช่วงคลื่นแบบอนุกรมเวลาจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมสามารถระบุลักษณะการใช้ที่ดินได้เป็นอย่างดี โดยการใช้ชุดข้อมูลในช่วงเวลาที่แตกต่างกันของสีพืคลักษณะ (Phenology) และการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของสิ่งปกคลุมดิน (Land cover dynamics) หากอุปกรณ์ตรวจจับของดาวเทียมไม่สามารถจำแนกความแตกต่างในลักษณะเชิงช่วงคลื่นและเชิงพื้นที่ได้ มีการนำข้อมูลอนุกรมเวลาของข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการสำรวจระยะไกลอย่างแพร่หลาย เช่น การทำแผนที่เพาะปลูกรายปีของไม้เศรษฐกิจแบบอัตโนมัติด้วยชุดข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat การจำแนกสิ่งปกคลุม

ดินโดยใช้ข้อมูลอนุกรมเวลาของภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสภาวะด้านชีพลักษณะของป่ามรสุมเขตร้อน ซึ่งการศึกษาการเจริญเติบโตของพืชโดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกล มีดังนี้

Eiumnoh and Shrestha (1999) ศึกษาการทำแผนที่พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NOAA-AVHRR ซึ่งได้จากดาวเทียม NOAA-14 มีขนาดตามมาตราส่วนแผนที่ เท่ากับ scale 1: 250,000 ในฤดูกาลปลูก ปี พ.ศ. 2538 และ 2539 พบว่า ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NOAA-AVHRR สามารถใช้ในการจัดทำแผนที่ปลูกมันสำปะหลังในระดับภูมิภาคในประเทศไทยได้ โดยมันสำปะหลังจะเริ่มปลูกในเดือนธันวาคมและใช้เวลาในการปลูก 12 เดือน ซึ่งพบว่า ค่าการสะท้อนแสงของมันสำปะหลังจะเพิ่มสูงขึ้นตามการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้น

Rahma *et al.* (2004) ศึกษาการจำแนกพื้นที่ปลูกอ้อยและสภาพการเจริญเติบโตของอ้อยโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม NDVI ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม IRS LISS II ขนาดจุดภาพ 36.25 เมตร ที่บันทึกในวันที่ 25 สิงหาคม พ.ศ. 2542 เปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม คือ ดัชนีพื้นที่ใบสูงสุด (maximum leaf area index) ของอ้อยที่มีอายุ 6 เดือน โดยเก็บข้อมูลภาคสนามหลังจากมีการถ่ายภาพ 2 สัปดาห์ พบว่า ค่าสะท้อนแสงของแปลงปลูกอ้อยจะเปลี่ยนแปลงตามการเจริญเติบโต (phenology) ระยะเวลาเจริญเติบโต และสุขภาพของพืช โดยดัชนี NDVI สามารถจำแนกพื้นที่ที่ปลูกอ้อยออกจากพืชชนิดอื่น แต่ยังมีข้อจำกัดสำหรับการจำแนกออกจากแปลงไม้ผลเนื่องจากในช่วงนี้ค่าดัชนี NDVI ของอ้อยมีค่าใกล้เคียงกับไม้ผล ค่าดัชนี NDVI ของอ้อยอยู่ในช่วง 0.23-0.56 โดยอ้อยที่มีสุขภาพแย่มาก ปานกลาง ดี และดีมาก ค่า NDVI อยู่ในช่วง 0.23-0.24, 0.24-0.28, 0.28-0.38 และ 0.38-0.56 ตามลำดับ

Fortes *et al.* (2015) ศึกษาการใช้ค่า NDVI เพื่อทำแผนที่คาดการณ์ผลผลิตของมะเขือเทศพันธุ์โรงงาน โดยแผนที่ดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการแบ่งโซนในการใช้ปัจจัยการผลิต เช่น ปุ๋ย ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตมะเขือเทศสูง และสามารถทำแผนที่แสดงความแปรปรวนของผลผลิตในแปลงปลูกได้

Peña and Brenning (2015) รายงานว่า ภาพถ่ายดาวเทียมหลายช่วงเวลาสามารถให้ข้อมูลลักษณะสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่เปลี่ยนไป ซึ่งสามารถใช้อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางชีพลักษณะพืชตลอดฤดูปลูก และช่วยอำนวยความสะดวกในการจำแนกประเภทพืช ซึ่งคณะวิจัยได้ศึกษาในไม้ผลหลัก 4 ชนิด ใน Maipo Valley ภาคกลางของประเทศชิลี ระหว่างปีการผลิต 2013-14 โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ในคำนวณดัชนี NDVI และดัชนี NDWI เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลสเปกตรัมเพื่อใช้ร่วมกับชุดข้อมูลอ้างอิงต่างๆ ในการจำแนกชนิดไม้ผล โดยใช้วิธี linear discriminant analysis, random forest และ support vector machine พบว่า ค่า NDWI มีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่า NDVI และการใช้ภาพถ่ายหลายช่วงคลื่นมีความแม่นยำมากกว่าการใช้ค่า NDVI หรือ ค่า NDWI เพียงอย่างเดียว และพบว่า ภาพช่วงคลื่นสีเขียว ช่วงคลื่นสีแดง ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน และช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (short-wave infrared) ในระยะแรกที่พืชมีความเขียวสามารถจำแนกชนิดของไม้ผลได้ดีที่สุด

บุษราวัลย์ และ ปรีชา (2559) ศึกษาการประมาณเนื้อที่เพาะปลูกสับปะรดโรงงาน อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 ที่บันทึกในช่วงเวลาที่มีการเพาะปลูกสับปะรดโรงงานที่กำลังเจริญเติบโตเต็มที่ ช่วงเดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 โดยคำนวณดัชนีพืชพรรณ 3 ดัชนี ได้แก่ ดัชนี Simple Division (IRR) ดัชนี Vegetation Index (VEGINDEX) และดัชนี NDVI และสุ่มตัวอย่างข้อมูลในพื้นที่เพาะปลูกสับปะรดโรงงาน จำนวน 30 แปลง พบว่า มีค่า IRR อยู่ระหว่าง 0.28-1.51 ค่า VEGINDEX อยู่ระหว่าง 10-45 และค่า NDVI อยู่ระหว่าง 0.27-0.43 เมื่อนำค่าดัชนีพืชพรรณ

มาหาความสัมพันธ์กับผลผลิตที่ได้จากการสำรวจภาคสนาม แสดงให้เห็นว่า ค่า IRR มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.20 และค่า VEGINDEX กับค่า NDVI มีค่า r^2 เท่ากับ 0.02 และ 0.16 ตามลำดับ

Caturegli *et al.* (2016) ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (UAVs) ที่ติดตั้ง multispectral sensor ศึกษาในระดับไนโตรเจน ในหญ้าสนาม พบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนในต้นหญ้าสูงมาก ($r^2 = 0.95$) ซึ่งค่าสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถนำมาใช้กำหนดค่าความต้องการไนโตรเจนของหญ้าแต่ละชนิดได้

Bendin *et al.* (2016) ศึกษาการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 8 โดยคำนวณค่า EVI หลายช่วงเวลาร่วมกับใช้ชุดข้อมูลอ้างอิง ในการจำแนกการใช้ที่ดินเพื่อเกษตรกรรมในพื้นที่ Cerrado (Brazilian Savanna) รัฐเซาเปาโล ประเทศบราซิล โดยใช้วิธี Random Forest classification ในการสร้างฐานข้อมูลค่าการสะท้อนแสงในชั้นแรกได้ทำการสุ่มตัวอย่างตามชนิดพืช ได้แก่ ไม้ยืนต้น (b) พืชล้มลุก ป่าปลูก พืชกึ่งยืนต้น พืชล้มลุก ได้แก่ ระบบการปลูก 3 ชนิดพืช ใน 1 ปี ได้แก่ มันฝรั่ง ถั่ว และ ข้าวโพด ซึ่งมันฝรั่ง มีการเก็บเกี่ยวระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงกลางเดือนสิงหาคมแล้วตามด้วยการปลูกข้าวโพดในเดือนกันยายนและเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ปลูกถั่วซึ่งมีอายุสั้นช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคมแล้วปลูกข้าวโพดตามในเดือนพฤษภาคม พบว่า การใช้ชุดข้อมูลภาคสนามตามช่วงเวลา (time series) มาทำโมเดลร่วมกับข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม พบว่าสามารถตรวจจับการปลูกข้าวโพดได้แต่ไม่สามารถตรวจจับการปลูกมันสำปะหลังและถั่วได้

ชัตติยานี และคณะ (2561) ศึกษาค่าสะท้อนพลังงานของมันสำปะหลังจากข้อมูลดาวเทียม LANDSAT 8 จำนวน 4 ช่วงคลื่น ได้แก่ ช่วงคลื่นสีน้ำเงิน สีเขียว สีแดง และอินฟราเรดใกล้ ที่ผ่านกระบวนการปรับแก้เชิงเรขาคณิตแล้ว และเก็บข้อมูลระยะการเจริญเติบโตของมันสำปะหลัง 4 ช่วงระยะการเจริญเติบโต ประกอบด้วยระยะที่ 1 ระยะการเจริญเติบโตทางลำต้น ระยะที่ 2 ระยะพัฒนาราก สะสมอาหาร และลงหัว และระยะที่ 3 ระยะเก็บเกี่ยว ผลการศึกษาพบว่า ลักษณะการสะท้อนช่วงคลื่นของมันสำปะหลังในแต่ละช่วงระยะการเจริญเติบโตในช่วงคลื่นที่ตามองเห็นมีการสะท้อนต่ำเนื่องจากคลอโรฟิลล์จะมีอิทธิพลต่อการดูดกลืนพลังงานมาก และในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้พืชจะสะท้อนพลังงานสูงเนื่องจากคลอโรฟิลล์ที่อยู่ในใบพืชสามารถตอบสนองพลังงานที่มากกระทบในช่วงคลื่นนี้ได้ดี การจัดหาสเปกตรัมไลบารีของมันสำปะหลัง พบว่า ลักษณะของลายเส้นต์เชิงคลื่นที่ขึ้นลงแตกต่างกันตามช่วงความยาวคลื่น ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีผลต่อการสะท้อนพลังงานของพืชพรรณ โดยค่าการสะท้อนพลังงานที่แท้จริงของมันสำปะหลังในช่วงระยะการเจริญเติบโต ระยะที่ 1 ช่วงอายุ 1 เดือน เท่ากับ 0.040 ถึง 0.357 และช่วงอายุ 2 เดือน เท่ากับ 0.029 ถึง 0.340 ระยะที่ 2 ช่วงอายุ 6 เดือน เท่ากับ 0.027 ถึง 0.571 และ ระยะที่ 3 ช่วงอายุ 9 เดือน เท่ากับ 0.027 ถึง 0.457

Anand *et al.* (2018) ประเมินการเปลี่ยนแปลงของพืชพรรณที่ปกคลุมพื้นที่โดยการใช้ดัชนี NDVI และคาดการณ์ค่า NDVI สำหรับปี 2028 โดยสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ได้สูงเท่ากับ 0.617 และพบว่าความหนาแน่นของพื้นที่ป่าลดลงใน West Singhbhum และพื้นที่รกร้างว่างเปล่าและที่ดินเปล่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการศึกษานี้แสดงให้เห็นรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI และสามารถทำนายสถานการณ์ในทศวรรษหน้าได้

Chen *et al.* (2018) ศึกษาการใช้ชุดภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ตามอนุกรมเวลา ในการประมาณอายุของต้นยางพาราในบริเวณรอยต่อของประเทศจีน พม่า และลาว โดยขั้นตอนการสร้างแผนที่ปลูกยางพาราเริ่มโดยการคัดเลือกจุดภาพที่มีค่า NDVI ที่มีค่าน้อยกว่า 0.400 และกำหนดให้เป็นพื้นที่ว่างเปล่า หรือพื้นที่ที่มีพืชปกคลุมน้อย จากนั้นจึงใช้ค่า NDVI เป็นข้อมูลป้อนเข้าในโมเดลการเจริญเติบโต

ของยางพารา (rubber tree growth model) จำนวน 3 โมเดล แล้วสร้างแผนที่ประมาณอายุต้นยางพารา และพบว่า ค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับโมเดลการเจริญเติบโตของยางพารา โดยค่า r^2 มีค่าระหว่าง 0.62-0.94

Cilek and Berberoglu (2018) จัดทำแผนที่รูปแบบการเพาะปลูกโดยใช้เทคนิคการจำแนกตามวัตถุภายในพื้นที่เกษตรกรรมแถบเมดิเตอร์เรเนียนในประเทศตุรกี เนื่องจากพื้นที่ในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียนมีการเพาะปลูกพืชที่หลากหลายทำให้การแสดงลักษณะทางช่วงคลื่นที่คล้ายคลึงกันซึ่งทำให้ยากต่อการจำแนกคุณลักษณะในพื้นที่ด้วยจุดภาพในข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมอย่างง่าย ดังนั้นการจำแนกตามวัตถุจึงถูกนำมาใช้สำหรับการจำแนกสิ่งปกคลุมดินในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งปัจจัยที่นำมาใช้เพื่อจำแนกภาพตามวัตถุในการจัดทำแผนที่ให้ถูกต้องมีบทบาทสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งจากการวิจัยพบว่าการจำแนกตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันสองช่วงคือฤดูหนาวและฤดูร้อนในพื้นที่ศึกษาให้ความแม่นยำสูง โดยเดือนมีนาคมและเมษายนเป็นเวลาถ่ายภาพที่ดีที่สุดสำหรับฤดูหนาว และระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงสิงหาคมเป็นเวลาถ่ายภาพที่ดีที่สุดสำหรับฤดูเพาะปลูกฤดูร้อน

Santillan and Santillan (2018) ศึกษาการเปรียบเทียบและการวิเคราะห์การสะท้อนแสงเชิงคลื่นของสาขาศูและปาล์มชนิดอื่นๆ ได้แก่ มะพร้าว และปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้จำแนกชนิดของพืชแต่ละชนิด ชุดข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยค่าลายเซ็นต์เชิงคลื่นเฉลี่ยของปาล์มแต่ละชนิดที่วัดได้ภายในช่วงความยาวคลื่น 345 – 1,045 นาโนเมตร โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์ไฟเบอร์ออปติกขนาดเล็กของ Ocean Optics USB4000-VIS-NIR ข้อมูลการสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดนี้ยังได้รับการสุ่มตัวอย่างใหม่เพื่อให้ตรงกับ การตอบสนองกับช่วงคลื่นของดาวเทียม ALOS AVNIR-2 แถบช่วงคลื่นที่ 4 ดาวเทียม ASTER VNIR แถบช่วงคลื่นที่ 3 ดาวเทียม Landsat 7 ETM+ แถบช่วงคลื่นที่ 4 ดาวเทียม Landsat 8 แถบช่วงคลื่นที่ 5 และดาวเทียม Worldview-2 8 แบนด์ การตรวจสอบลายเซ็นต์เชิงคลื่นแสดงให้เห็นว่าบริเวณอินพาราเรดใกล้ โดยเฉพาะที่ 770, 800 และ 875 นาโนเมตร ให้ความยาวคลื่นที่ดีที่สุดที่สามารถแยกต้นสาขาศูออกจากต้นปาล์มชนิดอื่นได้ การสุ่มตัวอย่างใหม่ของค่าการสะท้อนแสงในแหล่งกำเนิดเพื่อให้ตรงกับ การตอบสนองทางสเปกตรัมของเซ็นเซอร์ออปติคัลทำให้สามารถวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าการสะท้อนแสงของ สาขาศู และปาล์มอื่นๆ ในแถบต่างๆ ของเซ็นเซอร์ได้ โดยรวมแล้วความรู้ที่ได้รับจากการวิเคราะห์จะมีประโยชน์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายดาวเทียมเชิงคลื่น โดยเฉพาะในการพิจารณาว่าแถบใดที่จะรวมหรือไม่รวม หรือจะใช้แถบทั้งหมดของเซ็นเซอร์ในการแยกแยะและทำแผนที่ต้นสาขาศู

ยศธร (2562) ศึกษาการใช้เทคนิค NDVI และ NDWI ในการจำแนกชนิดป่าไม้ในเขตอำเภอนครไทย จังหวัดพิษณุโลก พบว่า การใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมกับเทคนิคอัตราส่วนช่วงคลื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง NDVI และ NDWI สามารถเพิ่มความถูกต้องในการจำแนกชนิดป่าได้ซึ่งค่า NDVI และ NDWI ของป่าแต่ละชนิดที่จำแนกออกมานั้น ค่าเฉลี่ยของ NDVI และ NDWI แตกต่างกัน เช่น ค่า NDVI ของป่าเบญจพรรณกับป่าดิบเขานั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนป่าไผ่กับสวนป่าสักนั้นมีความใกล้เคียงกันจึงแยกออกจากกันไม่ได้ ส่วนค่าของ NDWI ของป่าเบญจพรรณกับป่าดิบเขา นั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนค่าของป่าที่ใกล้เคียงกันของ NDWI นั้น คือ ป่าเบญจพรรณกับป่าทุ้ง ป่าเบญจพรรณกับป่าพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ และป่าทุ้งกับป่าพื้นที่ชุ่มน้ำตามธรรมชาติ

Guan *et al.* (2019) ประเมินความสัมพันธ์ภาพ NDVI รายละเอียดสูงกับอัตราปุ๋ยและผลผลิตข้าวและข้าวสาลี โดยการบันทึกข้อมูลรีโมทเซ็นซิงซึ่งได้ใช้อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (UAVs) ที่ติดตั้งกล้องชนิด multispectral sensor ผลการศึกษาพบว่า ค่า NDVI สามารถแสดงค่าความแตกต่างการได้รับปุ๋ยในอัตราที่ต่างกันของข้าวและข้าวสาลี และค่า NDVI มีความสัมพันธ์กับผลผลิตโดยมีค่า r^2 อยู่ระหว่าง 0.601–0.809

Htitiou *et al.* (2019) ใช้ข้อมูลการรับรู้จากระยะไกลเพื่อศึกษาศักยภาพของข้อมูลอนุกรมเวลา Sentinel 2A (S2) และ Landsat 8 (L8) โดยคำนวณดัชนี NDVI ซึ่งประเมินโดยใช้การจำแนกประเภท Random Forest (RF) เพื่อจำแนกและจัดทำแผนที่ชนิดพืชต่างๆ ในประเทศโมร็อกโก อนุกรมเวลาดัชนี NDVI ซึ่งเป็นตัวชี้วัดทางชีวลักษณะ เป็นตัวแปรสำหรับการจำแนกประเภทพื้นที่เพาะปลูก วิธีการจัดประเภทที่ใช้ขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับการใช้ตัวแยกประเภท Random Forest (RF) ที่มีการควบคุมดูแลผลลัพธ์แสดงให้เห็นถึงความสามารถของภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความละเอียดระดับปานกลางถึงสูง (10-30 ม.) ในการบันทึกภาพระยะทางชีวลักษณะของระบบการปลูกพืชต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา ซึ่งการจำแนกประเภทโดยใช้ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel 2 ให้ความแม่นยำโดยรวมที่สูงกว่า 93 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำปาที่ 0.91 ซึ่งสูงกว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่าย Landsat 8 ซึ่งอยู่ที่ 90 เปอร์เซ็นต์ และค่าสัมประสิทธิ์ค้ำปาที่ 0.88 กล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ค่าชีวลักษณะที่ได้จากข้อมูลอนุกรมเวลา ข้อมูลภาพถ่าย Sentinel 2 มีศักยภาพสูงสำหรับการจำแนกประเภทพืชผลทางการเกษตรในพื้นที่กึ่งแห้งแล้ง และดังนั้นจึงสามารถเป็นเครื่องมือสำหรับการตัดสินใจในการจัดการและติดตามในสภาพพื้นที่ที่ซับซ้อน เช่น พื้นที่ชลประทาน

Sayavong *et al.* (2019) ศึกษาการจัดทำแผนที่จำแนกอายุยางพาราในแขวงหลวงน้ำทา ประเทศลาว และศึกษาศักยภาพการใช้คลื่นเดี่ยว ได้แก่ แบนด์ 4 (RED) แบนด์ 5 (NIR), และแบนด์ 7 (SWIR) และดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ ดัชนี NDVI และ ดัชนี Land Surface Water Index (LSWI) โดยใช้ข้อมูลภาพถ่าย Landsat ในการจำแนกพื้นที่ปลูกยางพารากับพื้นที่ที่ไม่ได้ปลูกยางพารา และประมาณอายุของยางพารา โดยได้แบ่งอายุของยางพาราออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ อายุน้อยกว่า 7 ปี อายุระหว่าง 7-12 ปี และอายุมากกว่า 12 ปี พบว่าการจำแนกมีความแม่นยำสูงถึง 92 และ 0.89 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับสำหรับความแม่นยำรวมและค่า Kappa coefficient ความแม่นยำของผลผลิตและผู้ใช้ของอายุต้นยางคือ 75-92 เปอร์เซ็นต์ และ 75-91 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับกลุ่มอายุทั้งสาม ความแม่นยำรวมและค่า Kappa coefficients สำหรับดัชนี NDVI และ LSWI คือ 87 และ 80 เปอร์เซ็นต์ และ 0.79 และ 0.67 ตามลำดับ และยังพบว่าค่า LSWI มีค่ามากกว่า NDVI เมื่อต้นยางพารามีอายุมากกว่า 7 ปี แต่ NDVI แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำรวมที่ดีกว่า LSWI ในช่วงเริ่มต้นที่ต้นยางมีการผลิใบ

Somching (2019) ศึกษาศักยภาพของการใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมตามอนุกรมเวลา ตั้งแต่ปี 1992-2018 จากชุดภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ที่คำนวณดัชนี NDVI เพื่อระบุอายุของยางพาราในพื้นที่ราบของอำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต ซึ่งการศึกษาพบว่า ค่า NDVI ของแปลงยางพารามีการเปลี่ยนแปลงตามอายุของยางพารา โดยแปลงยางพาราที่ถูกโค่นจะมีค่า NDVI ลดลงและมีค่าต่ำ ยางพาราที่ปลูกใหม่ค่า NDVI จะสูงขึ้นตามอายุของต้นยางพารา และมีแนวโน้มคงที่เมื่อยางพาราโตเต็มที่ แต่อย่างไรก็ตาม NDVI จะลดลงอีกครั้งเมื่อยางพาราโตถูกโค่นเพื่อปลูกใหม่

Chen *et al.* (2020) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า NDVI ตลอดทั้งปีในพื้นที่ปลูกอ้อยและพืชอื่นๆ ในเมืองฟูซู่ มณฑลกวางสี ประเทศจีน โดยดัชนี NDVI คำนวณจากข้อมูลภาพที่ได้จากการหลอม (fusion) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม HJ-1 CCD และดาวเทียม MODIS โดยใช้โมเดล multi-source remote sensing data ESTRAFM ทำให้มีรายละเอียดจุดภาพ 30 เมตร ผลการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI มีการเพิ่มขึ้นและลดลงตามช่วงเวลา เนื่องจากการปลูกอ้อยในพื้นที่ศึกษาเริ่มปักท่อนพันธุ์ในกลางเดือนมีนาคม เริ่มงอกในปลายเดือนมีนาคม แรกหน่อในกลางเดือนพฤษภาคม ระยะยี่ดปล้องในปลายเดือนมิถุนายน ระยะโตเต็มที่ในกลางเดือนพฤศจิกายน สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า NDVI คือ ช่วงเดือนมกราคมถึงกลางเดือนมีนาคม (1-113 วัน) ซึ่งมีอ้อยปกคลุมน้อยจะมีค่า NDVI เปลี่ยนแปลงน้อย ตั้งแต่กลางเดือนมีนาคมถึงปลายเดือนมิถุนายนเป็นช่วงเริ่มต้นของการยี่ดลำต้น (113-177 วัน) และ NDVI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ตั้งแต่ปลายเดือน

มิถุนายนถึงต้นเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากการยึดลำต้นไปสู่ช่วงการสะสมน้ำตาล (177-273 วัน) และ NDVI เพิ่มขึ้นช้า หลังจากต้นเดือนตุลาคม (273 วัน) อ้อยเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนจากการสะสมน้ำตาลไปสู่ช่วงการหมักสมบูรณ์ทางเทคนิค และ NDVI เริ่มลดลง ขณะที่พืชอื่นเช่นข้าวโพดฤดูร้อน NDVI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ต้นเดือนเมษายนถึงต้นเดือนพฤษภาคม (97-129 วัน) และลดลงอย่างรวดเร็วตั้งแต่ต้นเดือนพฤษภาคมถึงปลายเดือนกรกฎาคม (129-209 วัน) สำหรับข้าวโพดฤดูใบไม้ผลิ NDVI เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่กลางเดือนมกราคมถึงปลายเดือนมิถุนายน (17-177 วัน) และลดลงตั้งแต่ปลายเดือนมิถุนายนถึงปลายเดือนกรกฎาคม (177-209 วัน) ค่า NDVI ของป่าสูง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทั้งหมด ในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตทั้งหมดอ้อยแสดงระดับการแตกต่างที่สำคัญเมื่อเทียบกับข้าวในช่วงต้นฤดูปลูก ข้าวโพดในช่วงใบอ่อน และป่าตั้งแต่ปลายเมษายนถึงสิ้นเดือนพฤษภาคม (113-145 วัน) ซึ่งเป็นเวลา 1 เดือนหลังจากที่เริ่มงอกและเกือบครึ่งเดือนหลังจากการแตกหน่อ แต่อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลานี้มีข้อจำกัดด้านสภาพอากาศทำให้ยากมากที่จะได้รับข้อมูลที่ชัดเจนที่มีความละเอียดสูง นอกจากนี้บางช่วงเวลาไม่สามารถจำแนกพืชบางชนิดออกจากกันได้ เช่น ข้าว ข้าวโพด และป่า ในปลายเดือนกรกฎาคม (209 วัน) ดัชนีค่า NDVI ของข้าวโพดและข้าวมีค่าต่ำ ซึ่งการแก้ปัญหาในการจำแนกได้ใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลข ช่วยในการจำแนก โดยแบ่งลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ เนินเขา และ ภูเขา โดยความแม่นยำในการระบุพื้นที่ปลูกอ้อยในการจำแนกในบริเวณที่ราบ เนินเขา และ ภูเขา เท่ากับ 95.61, 91.84 และ 83.80 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ

Abyanta *et al.* (2022) การวิเคราะห์สุขภาพของอ้อยโดยใช้การเปรียบเทียบชุดข้อมูลดาวเทียม Landsat 8 หลายช่วงเวลา ได้แก่ ข้อมูลภาพที่บันทึกเดือนพฤษภาคม และสิงหาคม พ.ศ. 2564 และในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และมิถุนายน พ.ศ. 2565 ในอำเภอปากีส รัฐมะลัง ประเทศอินโดนีเซีย โดยข้อมูลดาวเทียมจะถูกคำนวณดัชนี NDVI ซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถประมาณระดับของคลอโรฟิลล์ในใบ และ ดัชนี NDMI ซึ่งเป็นดัชนีที่สามารถประมาณระดับความชื้นในใบ โดยผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงของดัชนี NDVI และ NDMI มีลักษณะคล้ายกัน คือ ค่า NDVI และ NDWI ของอ้อย มีค่าสูงในเดือนกุมภาพันธ์ พฤษภาคม และมิถุนายน พ.ศ. 2564 และ 2565 แต่มีค่าต่ำในเดือนสิงหาคม 2564 ซึ่งเป็นช่วงที่อ้อยมีสุขภาพแย่มาก เนื่องจากมีบางแปลงอยู่ในช่วงเก็บเกี่ยว ต้นของอ้อยเข้าสู่ระยะใบมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง โดยการจำแนกสุขภาพของอ้อย ตามช่วงค่า NDVI เป็น 4 ระดับ คือ สุขภาพแย่มาก ปกติ ดี และดีมาก มีค่า NDVI อยู่ในช่วง น้อยกว่า 0.392, 0.392-0.57, 0.571-0.726 และมากกว่า 0.728 ตามลำดับ และจำแนกตามช่วงค่า NDWI เป็น 5 ระดับ คือ สุขภาพแย่มาก แย่มาก ปกติ ดี และดีมาก มีค่า NDWI อยู่ในช่วง น้อยกว่า 0.000, 0.010-0.200, 0.210-0.300 และ 0.310-0.400 และมากกว่า 0.400

1.2) การสำรวจระดับอากาศ (Aerial based)

เนื่องจากปัจจุบันความนิยมใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลมีมากขึ้น ประกอบกับมีการพัฒนาอุปกรณ์ เช่น อากาศยานไร้คนขับที่มีราคาถูกลง มีหลากหลายรูปแบบ และเซ็นเซอร์ชนิดต่างๆ มีความก้าวหน้ามากขึ้น ทำให้การสำรวจระดับอากาศได้รับความนิยมสูงขึ้น เนื่องจากสามารถบินถ่ายภาพในช่วงเวลาต่างๆได้ตามที่ต้องการ ไม่จำเป็นต้องรอรอบการโคจร ทำให้ข้อมูลที่ได้มีความเป็นปัจจุบันสูง และมีผลกระทบจากสภาพอากาศน้อย ได้ข้อมูลและสาระที่ถูกต้องครบถ้วนเนื่องจากรายละเอียดจุดภาพมีรายละเอียดสูง ประหยัดต้นทุนและเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับในการเดินสำรวจในพื้นที่จริง (Chang and Clay, 2016) ซึ่งเซ็นเซอร์ที่ใช้ติดกับ เฮลิคอปเตอร์ บอลลูน เครื่องบิน หรืออากาศยานไร้คนขับ เป็นต้น มีทั้งแบบ passive sensor และ active sensor (Navalgund, 2001) ข้อมูลภาพการสำรวจระยะไกลมีความละเอียดและการประยุกต์ใช้ที่หลากหลาย ได้แก่

กรมพัฒนาที่ดิน (2560) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศได้จากเซ็นเซอร์ที่ติดกับเครื่องบิน สามารถใช้จัดทำเป็นภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข เช่น โครงการภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000 ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ปี 2545 เป็นข้อมูลภาพที่ได้มีกระบวนการปรับแก้ความผิดเพี้ยนเนื่องจากเรขาคณิตของการถ่ายภาพ และความสูงต่างของภูมิประเทศ (relief displacement) โดยมีระบบพิกัดอ้างอิงผลลัพธ์ที่ได้คือภาพถ่ายที่ปรากฏรายละเอียดลักษณะสิ่งปกคลุมภูมิประเทศ ณ เวลาที่ทำการถ่ายภาพไว้ทั้งหมด มีมาตรฐานและความถูกต้อง สามารถวัดพิกัด ทิศทาง ระยะทาง ขนาด และรูปร่างของวัตถุได้ เช่นเดียวกับแผนที่ลายเส้น หรือแผนที่ภูมิประเทศ มีระวางขนาด 50 x 50 เซนติเมตร ครอบคลุมพื้นที่ขนาด 2 x 2 ตารางกิโลเมตรต่อระวาง ระบบพิกัดกริด UTM พื้นหลักฐาน WGS84 ทั้งนี้แผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีซิเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000 มีความละเอียดจุดภาพ 3 ระดับ ได้แก่ ความละเอียดจุดภาพ 0.50 1.00 และ 10.00 เมตร

ทศนัศว์ และ เชษฐจรูจ (2564) รายงานว่าข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้อากาศยานไร้คนขับ (โดรน) ที่ติดกล้องชนิด multispectral และ ทำการคำนวณค่า NDVI พบว่า ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุต่างกัน มีค่าเฉลี่ย NDVI ที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 8 ปี มีค่าเฉลี่ย NDVI สูงสุด เท่ากับ 0.42 รองลงมา ได้แก่ ต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 10, 4 และ 6 ปี ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ Qiao et al. (2016) ซึ่งรายงานว่า ค่า NDVI ของแปลงปลูกต้นยูคาลิปตัสที่มีอายุ 1 ถึง 7 ปี อยู่ในช่วงระหว่าง 0.15 – 0.60 โดยค่า NDVI จะเปลี่ยนไปตามอายุของต้นยูคาลิปตัส นอกจากนี้ยังรายงานว่า ค่า NDVI ของแปลงปลูกต้นยูคาลิปตัสลดลงต่ำสุดเมื่อถึงอายุที่มีการตัด หลังจากนั้นค่า NDVI จะเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งเมื่อต้นยูคาลิปตัสมีการงอกกล้าต้นใหม่ขึ้นมา

Amin et al. (2021) การติดตามลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชผลช่วยในการจัดการด้านการเกษตรอย่างมีนัยสำคัญ และมีบทบาทสำคัญในการทำนายผลผลิตของพืชผล การสังเกตการณ์ผ่านดาวเทียมแบบหลายช่วงเวลาช่วยให้สามารถวิเคราะห์พลวัตตามฤดูกาลของพืชในพื้นที่ขนาดใหญ่ได้โดยใช้ดัชนีพืชพรรณหรือตัวแปรทางชีวภาพภาพ สามเหลี่ยมปากแม่น้ำไนล์ตอนเหนือเป็นพื้นที่เกษตรกรรมประมาณครึ่งหนึ่งของอียิปต์ ในภูมิภาคนี้ ระบบการทำฟาร์มแบบเข้มข้นมีความสำคัญมากกว่า ซึ่งแปลเป็นแรงกดดันต่อความต้องการน้ำประปา ยิ่งไปกว่านั้น แผนการปลูกพืชหมุนเวียนสองครั้งกำลังเพิ่มขึ้น ทำให้ต้องมีการตรวจสอบความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงพื้นที่สูงเพื่อบันทึกวงจรการเจริญเติบโตของพืชที่ต่อเนื่องกัน การศึกษานี้นำเสนอกรอบการทำงานสำหรับการแสดงลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของพืชผลตามอนุกรมเวลาที่มีความละเอียดเชิงพื้นที่และเชิงเวลาสูงของดัชนีพื้นที่ใบสีเขียว (LAI) โดยเฉพาะของนาข้าว

Putra et al. (2021) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับศึกษาการเจริญเติบโตของสับปะรด ในประเทศอินโดนีเซีย โดยข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศถูกคำนวณดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ GDVI, NDVI, OSAVI (Optimize Soil Adjusted Vegetation Index) และ TDVI (Transformed Difference Vegetation Index) และแบ่งระยะที่เก็บข้อมูลตามช่วงอายุของสับปะรด ที่อยู่ระหว่างก่อนการบังคับให้ออกดอก 5 เดือน ถึง 2 เดือนหลังการบังคับ แบ่งออกเป็น 8 ระยะ ได้แก่ F-5, F-4, F-3, F-2, F-1, F0, F+1, และ F+2 พบว่า ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสามารถใช้ในการศึกษาประมาณมวลชีวภาพและความแปรปรวนปริมาณมวลชีวภาพของสับปะรดในแต่ละช่วงอายุได้ โดยพบว่า ความแปรปรวนปริมาณมวลชีวภาพของสับปะรดในแต่ละช่วงอายุจะแตกต่างกัน ดัชนี GNDVI สามารถใช้ในการประมาณปริมาณมวลชีวภาพได้ที่ระยะ F-5, F-4, F-3, and F+1 stage ดัชนี OSAVI สามารถใช้ในการประมาณปริมาณมวลชีวภาพได้ที่ระยะ F-2, F-1 และ F + 2 และ ดัชนี TDVI สามารถใช้ในการประมาณปริมาณมวลชีวภาพได้ที่ระยะ F0

ทศน์ศรี (2565) รายงานว่าการใช้ข้อมูลภาพถ่ายโดยใช้อากาศยานไร้คนขับที่ติดกล้องชนิด multispectral รายละเอียดจุดภาพ 10 เซ็นติเมตร และทำการคำนวณดัชนีพืชพรรณ 5 ดัชนี ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี GNDVI ดัชนี RVI ดัชนี MTCI และ ดัชนี NRDE สามารถใช้ในการจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดิน และจำแนกประเภทของพืชและการเจริญเติบโตของไม้ยืนต้นในป่าชุมชนในจังหวัดบึงกาฬได้ โดยการศึกษาได้ศึกษาในป่าชุมชน 2 แห่ง ได้แก่ ป่าชุมชนบ้านนาสวรรค์ และป่าชุมชนบ้านนาเจริญ การจำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินทำโดยการจัดกลุ่มค่าการสะท้อนแสงตามช่วงของค่า NDVI ออกเป็น 6 กลุ่ม ได้แก่ น้อยกว่า 0, 0.01-0.20, 0.21-0.40, 0.41-0.60, 0.61-0.80 และ 0.81-1.00 จำแนกประเภทสิ่งปกคลุมดินได้ตามกลุ่ม ได้แก่ แหล่งน้ำและดินไม่มีพืชปกคลุม, ดินและบริเวณที่มีหญ้าปกคลุมที่มีการเผาไหม้, บริเวณที่มีหญ้าปกคลุม, ไม้พุ่มขนาดเล็ก, ไม้ยืนต้นขนาดเล็ก และไม้ยืนต้นขนาดกลางและไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ ตามลำดับ นอกจากนี้ การศึกษาโดยใช้สมการการถดถอยเชิงเส้น (linear regression) พบว่า ป่าชุมชนบ้านนาสวรรค์ ดัชนี RVI มีความสัมพันธ์กับความสูงของต้นไม้สูงที่สุด r^2 เท่ากับ 0.59 ดัชนี MTCI มีความสัมพันธ์กับความกว้างทรงพุ่ม ขนาดรอบลำต้นเหนือดิน 50 ซม. และ ขนาดรอบลำต้นเหนือดิน 150 ซม. ของต้นไม้สูงที่สุด r^2 เท่ากับ 0.54, 0.27 และ 0.28 ตามลำดับ ขณะที่ป่าชุมชนบ้านนาเจริญ ดัชนี MTCI มีความสัมพันธ์กับความสูง ความกว้างทรงพุ่ม ขนาดรอบลำต้นเหนือดิน 50 ซม. และ ขนาดรอบลำต้นเหนือดิน 150 ซม. ของต้นไม้สูงที่สุด r^2 เท่ากับ 0.79, 0.60, 0.55 และ 0.56 ตามลำดับ

Gong *et al.* (2023) รายงานการใช้ข้อมูล LiDAR โดยใช้อากาศยานไร้คนขับ ในการจำแนกชนิดต้นไม้ในป่าเขตร้อนตอนใต้ของประเทศจีน โดยอาศัยคุณลักษณะความถี่ (frequency) และความหนาแน่น (intensity) ของข้อมูล การจำแนกเบื้องต้นทำโดยใช้วิธีการแบ่งช่วงความหนาแน่นของกลุ่มของข้อมูลจุด (point cloud) ออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ ความหนาแน่น 100, 80, 50 และ 30 เปอร์เซนต์ ต่อตารางเมตร พบจำนวนจุดในแต่ละกลุ่ม ดังนี้ 230, 184, 115 และ 69 จุดต่อตารางเมตร ตามลำดับ แล้วได้นำมาวิเคราะห์ผลกระทบของคุณลักษณะความถี่ต่อการจำแนกชนิดของต้นไม้ภายใต้เงื่อนไขความหนาแน่นของกลุ่มของข้อมูลจุดทั้ง 4 กลุ่ม ผลการวิจัยพบว่า 1. ความถี่ของความหนาแน่นของต้นไม้ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญสำหรับชนิดภายในกลุ่มเดียวกัน ($p > 0.05$) และแตกต่างกันมีนัยสำคัญสำหรับต้นไม้ต่างชนิด ($p < 0.01$) (2) คุณลักษณะความถี่ของ LiDAR สามารถใช้ในการจำแนกชนิดต้นไม้ที่แตกต่างกันได้ ด้วยความแม่นยำโดยรวม (OA) คือ 86.7 เปอร์เซนต์

1.3) การสำรวจระดับพื้นดิน (Ground based)

เทคนิคการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์แบบมือถือและติดตั้งบนยานพาหนะมีศักยภาพที่สำคัญในการสำรวจ การตรวจวัดใกล้ชิด (proximal sensing) สามารถทำให้การจัดการที่เฉพาะจุดในการให้ปุ๋ย, สารป้องกันแมลง หรือการให้น้ำ ใกล้กับเวลาปัจจุบัน และสามารถใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดพื้นที่ปลูกสำหรับการเกษตรแบบแม่นยำ โดยศักยภาพทั้งหมดของเทคโนโลยีการเกษตรที่แม่นยำนี้อาจถูกใช้งานให้เต็มที่โดยการผสมผสานกับวิธีนวัตกรรมในการประมวลผลข้อมูล เช่น การใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง ในการดึงข้อมูลที่มีประโยชน์ที่มีผลต่อผลผลิตของพืช (Abbas *et al.*, 2020) การสำรวจหรือการจัดเก็บข้อมูลระดับพื้นดิน มีการใช้อย่างแพร่หลายเนื่องจากการพัฒนาเซ็นเซอร์อย่างต่อเนื่อง เช่น การใช้ active-light remote sensing devices หรือ on-the-go proximal system ซึ่งสามารถจัดเตรียมข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและใช้ประโยชน์ได้ทันที เนื่องจากข้อมูลที่ได้มานั้นมีความต่อเนื่อง ถูกต้อง และรวดเร็ว ทำให้สามารถติดตามสถานการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกได้อย่างต่อเนื่อง โดยส่วนใหญ่การสำรวจระดับพื้นดินจะถูกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง (reference data) เพื่อพัฒนาสำหรับใช้ในระดับภูมิภาค ซึ่งตัวอย่างการใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากการสำรวจระดับพื้นดิน มีดังนี้

Abbas *et al.* (2020) ใช้เซ็นเซอร์ระดับพื้นดินหลายชนิดร่วมกับการใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องในการประมาณผลผลิตมันฝรั่งในจังหวัด Prince Edward Island และ New Brunswick ของประเทศแคนาดา เซ็นเซอร์ที่ใช้ประกอบด้วย DualEM-2 (DualEM Inc, Milton, Canada) โดยวางไปบนพื้นดินตามแนวร่องของมันฝรั่ง เพื่อวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน โดยการตีกริด (grid) แล้ววัดเป็นระยะรัศมี 2 เมตร รอบเซ็นเซอร์ FieldScout TDR 350 (Spectrum Technologies, Aurora, USA) ใช้วัดความชื้นดินที่ระดับ 15 เซนติเมตร โดยวัดบริเวณที่ใกล้กับจุดวัดค่าการนำไฟฟ้าของดิน handheld slope meter (Mastercraft Torpedo Level, Vonore, USA) FieldScout CM 1 0 0 0 NDVI Meter (Spectrum Technologies, Aurora, USA) ใช้วัดค่า NDVI โดยวัดเหนือทรงพุ่มของมันฝรั่งระยะ 0.5 เมตร การเก็บตัวอย่างดินทำโดยเก็บในช่วงการปลูกมันฝรั่งที่ระดับ 15 เซนติเมตร เพื่อวัดระดับ ความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณอินทรีย์วัตถุ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และเก็บตัวอย่างผลผลิตตามกริดที่เก็บข้อมูล จากนั้นวิเคราะห์และสร้างแบบจำลองในการประมาณผลผลิตมันฝรั่งโดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งพบว่าดัชนี NDVI มีความสัมพันธ์กับความเป็นกรดเป็นด่าง โดยมีค่า r^2 ระหว่าง -0.54-0.12 และ มีความสัมพันธ์กับปริมาณอินทรีย์วัตถุ โดยมีค่า r^2 ระหว่าง -0.10-0.31 ซึ่งระดับความสัมพันธ์มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสถานที่ ฤดูกาลและปีที่ปลูก

Qian *et al.* (2018) ใช้โทรศัพท์มือถือสมาร์ตโฟนในการถ่ายภาพเพื่อใช้ในการประมาณผลผลิตแอปเปิลโดยการทำงานมีขั้นตอนหลัก 8 ขั้นตอน (ภาพที่ 3) ได้แก่

1. สร้างและสแกนคิวอาร์โค้ด (QR code) บนต้นไม้เพื่อตั้งรหัสต้นไม้ (Tree ID) ข้อมูลคิวอาร์โค้ดบนต้นไม้จะถูกเชื่อมโยงกับภาพที่ถ่ายด้วยกล้องของโทรศัพท์สมาร์ตโฟน ผ่านการประมวลผลภาพและการถอดรหัสบาร์โค้ด ทำให้สามารถดึงข้อมูลรหัสต้นไม้ที่เก็บในคิวอาร์โค้ด และบันทึกไว้ได้

2. ถ่ายภาพทางด้านข้างของต้นสองข้าง เนื่องจากจะต้องมาซ้อนทับกัน และต้องครอบคลุมทั้งทรงพุ่มของต้นไม้นั้นๆ ให้มากที่สุดและหลีกเลี่ยงไม่ให้ถ่ายภาพติดต้นไม้อื่น ภาพทั้งสองนี้จะถูกเก็บไว้ในสมาร์ตโฟนและเชื่อมโยงกับรหัสต้นไม้

3. ประมวลผลภาพล่วงหน้าในโทรศัพท์สมาร์ตโฟน เพื่อการประหยัดการส่งถ่ายข้อมูลและทำการการแบ่งกลุ่มภาพล่วงหน้าโดยใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟน

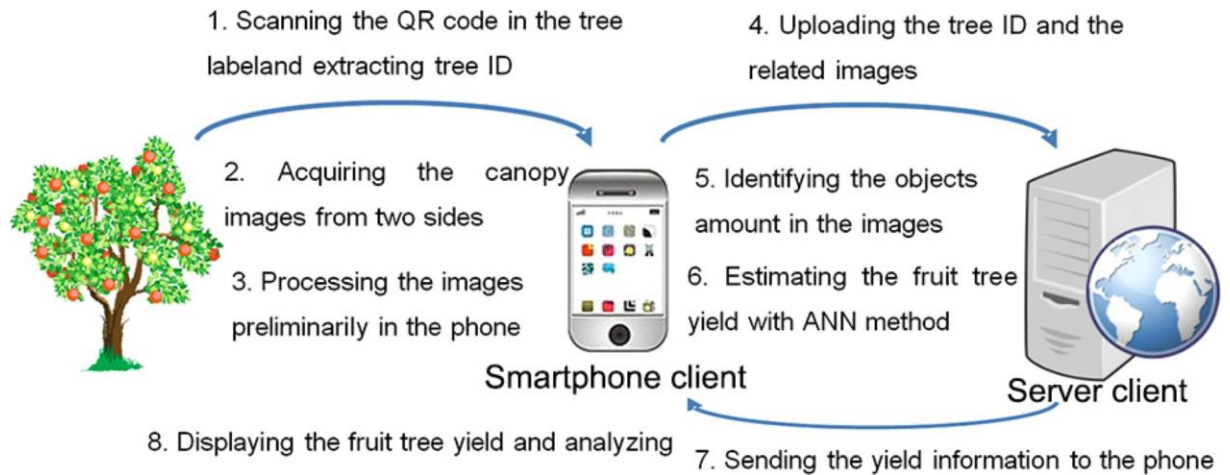
4. อัปโหลดรหัสต้นไม้และภาพที่เกี่ยวข้องหลังจากการประมวลผลภาพ

5. การระบุปริมาณวัตถุในภาพ ได้แก่ พื้นที่พิกเซลทั้งหมดที่ระบุ (TP) จำนวนวงกลมที่พอดีกับขนาดผล (FC) ค่ารัศมีเฉลี่ยของวงกลมที่พอดีกับขนาดผล (RC) และพื้นที่พิกเซลรูปหลายเหลี่ยมเล็ก (SP) ถูกนำมาใช้เป็นพารามิเตอร์นำเข้าไปเพื่อสร้างโมเดลการประเมินผลผลิต TP แสดงแนวโน้มผลผลิตทั้งหมดสำหรับต้นไม้ที่แตกต่างกัน FC และ RC แทนจำนวนและขนาดของผลไม้ที่ไม่ทับซ้อนหรือทับซ้อนน้อย สองพารามิเตอร์นี้มีความสัมพันธ์ตรงกับผลผลิตของผลไม้ SP แทนจำนวนของรูปหลายเหลี่ยมเล็กและไม้พอดี เนื่องจากการทับซ้อนที่รุนแรง ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องแยกพารามิเตอร์เหล่านี้ TP และ SP สามารถคำนวณได้โดยตรงโดยโปรแกรมซอฟต์แวร์ Matlab FC และ RC ก็ถูกคำนวณโดยโปรแกรมซอฟต์แวร์ Matlab หลังจากการทำวงกลม

6. ประมาณผลผลิตของต้นไม้ผลโดยวิธี ANN (Artificial Neural Network) โดยใช้คุณลักษณะของรูปภาพที่ถูกแยกออกมา 4 ประการเป็นพารามิเตอร์ทางเข้าและผลผลิตของต้นไม้แต่ละต้นเป็นพารามิเตอร์ทางเอาต์พุต จากนั้นจึงสร้างโมเดลประมาณผลผลิตของต้นไม้ผลตามวิธี ANN และได้ผลประมาณผลผลิต

7. ส่งข้อมูลผลผลิตไปยังโทรศัพท์

8. แสดงผลผลิตของต้นไม้ผลตามด้วยการวิเคราะห์ ค่าผลผลิตถูกบันทึกและแสดงบนโทรศัพท์ ด้วยการนำค่าผลผลิตจากต้นไม้หลายต้นในสวนทั้งหมด เราสามารถสร้างแผนผลผลิตได้



ภาพที่ 3 การใช้ภาพถ่ายจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนเพื่อเป็นข้อมูลการประมาณผลผลิต
ที่มา : Qian *et al.* (2018)

3.2.2 แนวคิดการใช้ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจมีผลจากหลายปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยทางธรรมชาติ สภาพอากาศ ดิน ปัจจัยทางเศรษฐกิจ ราคาของพืช ต้นทุนในการผลิต ปัจจัยทางสังคม ความต้องการของตลาด ปัจจัยทางเทคโนโลยี นวัตกรรมเทคโนโลยี และการเปลี่ยนแปลงทางสิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจัยเหล่านี้มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามท้องที่ (คมสัน, 2550) ซึ่งความต้องการต่างๆ มีแนวโน้มรุนแรงขึ้นเนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น และปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งเสริมให้เกิดการใช้ที่ดินมากยิ่งขึ้นปัจจัยที่เป็นแรงขับ (Driving force) ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน (นิพนธ์, 2549) ประกอบด้วย

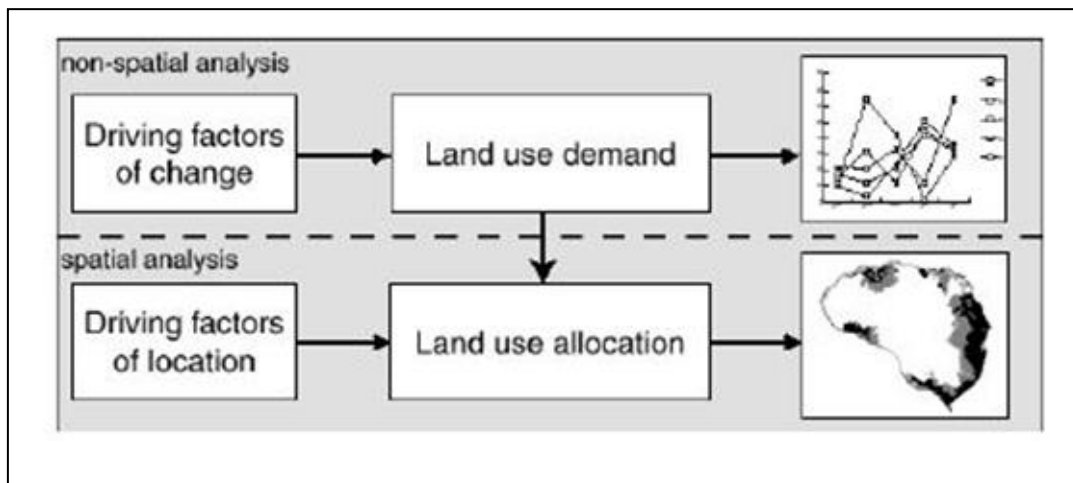
- ปัจจัยด้านชีวภาพ (Biophysical drivers) ลักษณะด้านภูมิอากาศ เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ทิศทางลม เป็นต้น หรือภูมิประเทศ เช่น ความลาดชัน ความสูงของพื้นที่ เป็นต้น หรือลักษณะการใช้ที่ดินในอดีตซึ่งส่งผลต่อความอุดมสมบูรณ์ของดิน หรือโรคระบาดต่างๆที่เกิดขึ้นในพื้นที่

- ปัจจัยจากมนุษย์ (Human drivers) มนุษย์เป็นตัวละครสำคัญในการใช้ที่ดิน แนวโน้มทางด้านเศรษฐกิจ ด้านการเมือง การพัฒนาทางเทคโนโลยี การเพิ่มขึ้นของประชากร และนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมเป็นตัวขับเคลื่อนการใช้ที่ดินที่สำคัญที่สุด

การนำปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ เช่น ข้อมูลความสูงของพื้นที่ ระยะห่างจากลำน้ำ ระยะห่างจากหมู่บ้าน นโยบายต่างๆ เป็นต้น มาใช้เป็นข้อมูลร่วมวิเคราะห์ จะทำให้การวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ ถูกต้องและแม่นยำขึ้นโดยมีการศึกษาการใช้แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดินวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน เช่น แบบจำลอง CLUMondo ซึ่งเป็นแบบจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินแบบพลวัตเชิงพื้นที่ (Verburg *et al.*, 2002) จะคาดคะเนการเปลี่ยนแปลงประเภทของสิ่งปกคลุมดิน เช่น ป่าไม้ พื้นที่เกษตรกรรม และสิ่งปลูกสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น แบบจำลอง CLUMondo ได้ถูก

ออกแบบให้สามารถจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ความเข้มข้นของการใช้ที่ดิน และสามารถสะท้อนบทบาทหน้าที่ของที่ดินได้ ในขั้นตอนทำงาน แบบจำลองจะวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสมของศักยภาพพื้นที่ซึ่งเป็นพลวัต ซึ่งมีองค์ประกอบ 2 ส่วน ส่วนแรกไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ (Non-Spatial demand modules) และส่วนที่สองเกี่ยวข้องกับพื้นที่ (Spatially explicit allocation modules) ดังภาพที่ 4 องค์ประกอบที่ไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ ประกอบด้วยความต้องการการใช้ที่ดินในภาพรวมครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ซึ่งอาจเป็นขนาดของการใช้ที่ดินแต่ละประเภท หรือปริมาณสินค้าและบริการ (goods and services) เช่น ขนาดของพื้นที่ที่อยู่อาศัย (แอคแตร์) และความต้องการปริมาณอาหาร (ตัน) ตามลำดับ ในขั้นตอนการจำลองการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ความต้องการดังกล่าว จะถูกจัดสรรไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของที่ดินในแผนที่ตารางกริด

การกำหนดความต้องการการใช้ที่ดิน สามารถดำเนินการได้ที่ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User interface) โดยข้อมูลดังกล่าวอาจได้มาจากการวิเคราะห์อย่างง่าย ๆ เช่น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินเหมือนในอดีต หรือการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน เช่น การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เป็นต้น โดยความต้องการจะระบุเป็นรายปี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ศึกษา หรือภาพเหตุการณ์ในอนาคต



ภาพที่ 4 ขั้นตอนแบบจำลอง CLUMondo เบื้องต้น

ที่มา: Verburg *et al.* (2002)

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้ที่ดินโดยใช้แบบจำลองยกตัวอย่าง เช่น

วันฉixa และคณะ (2565) รายงานว่า แบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง CA-Logistic ในการพยากรณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเมือง กรณีศึกษาอำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยขับเคลื่อนและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยการใช้สมการถดถอยโลจิสติกส์ พบว่า ปัจจัยขับเคลื่อนทั้ง 6 ปัจจัย มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินทุกประเภทโดยค่าความสัมพันธ์มีค่าเป็นบวก (แปรผันตรง) และลบ (แปรผกผัน) ซึ่งจากการพิจารณาสมการเชิงเส้นตรงแบบหลายตัวแปร การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทเมือง พบในบริเวณที่ใกล้แหล่งน้ำ มีพื้นที่ราบใกล้เส้นทางถนน และแหล่งการค้า เนื่องจากเป็นแหล่งที่อยู่อาศัย และทำการค้า ซึ่งจะมีจำนวนประชากรอยู่เป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวกเป็นจำนวนมาก เช่น สะดวกต่อการเข้าถึง สำหรับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทเกษตรกรรม พบในบริเวณที่ไม่ไกลจะแหล่งน้ำมากนัก มีพื้นที่ราบใกล้เส้นทางถนน และไม่ไกลจากแหล่งการค้า เนื่องจากการทำการเกษตรจะเป็นจะต้องมีน้ำเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้ดี ซึ่งจะอยู่ใกล้กับเส้นทาง

ถนน และแหล่งการค้า เพื่อสะดวกต่อการดูแล และการขนส่งไปยังแหล่งจำหน่าย ขณะที่การใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทป่าไม้ พบในบริเวณที่ใกล้แหล่งน้ำ มีพื้นที่สูงชัน ซึ่งมีปัจจัยความลาดชันของป่าไม้เป็นตัวเดียวที่มีค่าในทางบวก เนื่องจากความสูงชันส่งผลให้พื้นที่ป่าไม้ห่างไกลจากเส้นทางถนน และแหล่งการค้า ทำให้ยากต่อการเข้าถึง ส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทแหล่งน้ำ พบในบริเวณที่ใกล้แหล่งน้ำ พื้นที่ราบไม่ไกลจากเส้นทางถนน และแหล่งการค้ามากนัก เนื่องจากพื้นที่แหล่งน้ำมีความจำเป็นต่อการใช้อุปโภคและบริโภค รวมถึงน้ำในภาคการเกษตร และการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทพื้นที่เบ็ดเตล็ด เนื่องจากพื้นที่เบ็ดเตล็ดอาจเป็นได้หลายแบบ เช่น ทุ่งหญ้าธรรมชาติ พื้นที่ลุ่ม เหมือนแระ บ่อขุด และอื่น ๆ จึงทำให้พบในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งน้ำมากนักมีพื้นที่ราบใกล้เส้นทางถนน และแหล่งการค้า

ทศนัศร์ และคณะ (2564) รายงานว่าในกลุ่มน้ำกระเสียวมีความสัมพันธ์กับปัจจัยขับเคลื่อน ได้แก่ การระบายน้ำของดิน ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากหมู่บ้าน และปริมาณน้ำฝน โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง คือ การระบายน้ำของดิน และระยะห่างจากทางน้ำ โดยพื้นที่นา พบปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินสำหรับทำนาแบบแปรผันตรง คือ ความลึกของดิน ส่วนอีก 6 ปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างจากหมู่บ้าน ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากถนน ปริมาณน้ำฝน การระบายน้ำของดิน และ ความสูงเชิงเลข มีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกับการใช้ประโยชน์ที่ดินในการทำนา กล่าวคือ พื้นที่นาจะพบในพื้นที่ราบซึ่งจะอยู่ใกล้กับหมู่บ้าน และเส้นทางน้ำ ที่มีการระบายน้ำของดินค่อนข้างเร็ว เนื่องจากการทำนาข้าวจำเป็นต้องมีน้ำขัง ในช่วงแรกของการเพาะปลูกเป็นจำนวนมากเพื่อช่วยในเรื่องการเจริญเติบโต และให้ผลผลิตได้ดี ข้าวโพด พบปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินในการปลูกข้าวโพดเพียง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงเชิงเลข ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ส่วนปัจจัยเกี่ยวกับการระบายน้ำของดิน และปริมาณน้ำฝน มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงกับการใช้ที่ดินในการปลูกข้าวโพด อ้อย และปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ได้แก่ ระยะห่างจากถนน ความสูงเชิงเลข และระยะห่างจากทางน้ำ ส่วนปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง ได้แก่ การระบายน้ำของดิน ระยะห่างจากหมู่บ้าน และปริมาณน้ำฝน ปัจจัยที่ไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินในการปลูกอ้อย คือ ความลึกของดิน กล่าวคือ อ้อยต้องอยู่ใกล้เส้นทางคมนาคมเพื่อสะดวกต่อการขนส่งไปยังแหล่งรับซื้อ มันสำปะหลัง พบในบริเวณที่มีพื้นที่ราบ ทุกปัจจัยมีความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินสำหรับปลูกมันสำปะหลัง โดยมีเพียง 1 ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน คือ ระยะห่างจากถนน ส่วนปัจจัยที่แปรผันตรง ได้แก่ ความลึกของดิน ความสูงเชิงเลข การระบายน้ำของดิน ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากหมู่บ้าน และปริมาณน้ำฝน เนื่องจากการปลูกมันสำปะหลังจำเป็นต้องมีน้ำเพื่อช่วยในเรื่องการเจริญเติบโตให้ผลผลิตได้ดี และอยู่ใกล้เส้นทางคมนาคมเพื่อสะดวกต่อการขนส่งไปยังแหล่งรับซื้อสับปะรด พบว่า ระยะห่างจากถนน ไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับปลูกสับปะรด ส่วนปัจจัยที่แปรผันตรงกับการใช้ที่ดินสำหรับสับปะรด ได้แก่ การระบายน้ำของดิน ความลึกของดิน ระยะห่างจากทางน้ำ และปริมาณน้ำฝน ปัจจัยที่แปรผกผันกับการใช้ที่ดินสำหรับสับปะรด ได้แก่ ความสูงเชิงเลข และระยะห่างจากหมู่บ้าน ยางพารา พบว่า มี 6 ปัจจัยขับเคลื่อนที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับปลูกยางพารา ได้แก่ ความลึกของดิน การระบายน้ำของดิน ระยะห่างจากหมู่บ้าน ระยะห่างจากทางน้ำ ปริมาณน้ำฝน และ ความสูงเชิงเลข เนื่องจากการปลูกยางพาราจำเป็นต้องมีน้ำเพื่อช่วยในเรื่องการเจริญเติบโต และผลิตน้ำยางได้ดี ปาล์มน้ำมัน พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินในการปลูกปาล์มน้ำมัน แบบแปรผันตรงที่ระดับความเชื่อมั่น 0.05 ได้แก่ การระบายน้ำของดิน ระยะห่างจากหมู่บ้าน และปริมาณน้ำฝน ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน จำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ ความสูงเชิงเลข และระยะห่างจากถนน ปัจจัยในส่วนของความลึกดิน และระยะห่างจากทางน้ำ พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อปลูกปาล์มน้ำมัน ไม่ผล พบว่า ปัจจัยส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทไม้ผล โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์

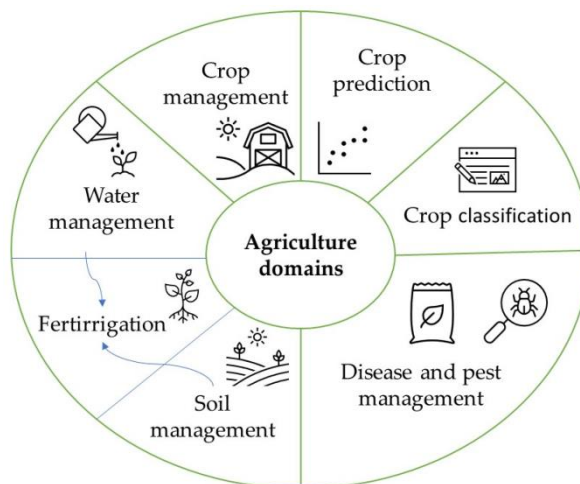
แบบแปรผันตรงได้แก่ ความสูงเชิงเลข การระบายน้ำของดิน และปริมาณน้ำฝนกล่าวคือ การปลูกไม้ผลพบในบริเวณพื้นที่ที่มีการระบายน้ำดี และปริมาณน้ำเพียงพอต่อการเจริญเติบโต พื้นที่ป่า พบว่า ปัจจัยส่วนใหญ่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ป่า โดยปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง ได้แก่ ความลึกของดิน ความสูงเชิงเลข ระยะห่างจากถนน และระยะห่างจากทางน้ำ ส่วนความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ได้แก่ การระบายน้ำของดิน และปริมาณน้ำฝน ทั้งนี้ พบว่าระยะห่างจากหมู่บ้าน ไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ป่า พื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พบว่า ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง ได้แก่ การระบายน้ำของดิน และปริมาณน้ำฝน ส่วนความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน ได้แก่ ระยะห่างจากถนน ระยะห่างจากหมู่บ้าน และความสูงเชิงเลข เนื่องจากพื้นที่สิ่งปลูกสร้างเป็นแหล่งชุมชนที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรมซึ่งจะมีจำนวนประชากรอาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก จำเป็นต้องมีสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น สะดวกต่อการเข้าถึง เป็นต้น ทั้งนี้พบว่าความลึกของดิน และระยะห่างจากทางน้ำ ไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินพื้นที่ชุมชนและสิ่งปลูกสร้าง พื้นที่น้ำ พบว่า ปัจจัยกายภาพขนาดใหญ่มีความสัมพันธ์กับการใช้ประโยชน์ที่ดินสำหรับพื้นที่น้ำ เนื่องจากพื้นที่แหล่งน้ำจำเป็นต่อการใช้อุปโภคและบริโภค รวมถึงน้ำในภาคการเกษตร โดยเป็นความสัมพันธ์แบบแปรผกผัน 4 ปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างจากทางน้ำ ระยะห่างจากถนน การระบายน้ำของดิน และความสูงเชิงเลข ปัจจัยความสัมพันธ์แบบแปรผันตรง 2 ปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างจากหมู่บ้าน และปริมาณน้ำฝน ทั้งนี้ พบว่าปัจจัยความลึกของดิน ไม่มีความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินพื้นที่น้ำ ซึ่งปัจจัยที่วิเคราะห์โดยใช้แบบจำลอง แล้วพบว่ามีความสัมพันธ์กับการใช้ที่ดินใช้ที่ดินสูงในแต่ละพื้นที่ควรถูกนำมาใช้วิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อจัดทำแผนที่การใช้ที่ดินและคาดการณ์ผลผลิตพืชได้ถูกต้องและแม่นยำขึ้น

3.2.3 แนวคิดการใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและขั้นตอนการวิเคราะห์การเจริญเติบโตและคาดการณ์ผลผลิต

ปัจจุบันเหตุการณ์ทางภูมิรัฐศาสตร์โดยเฉพาะสงครามทำให้เกิดผลเสียแก่สินค้าทางการเกษตรอย่างมากต่อทุกประเทศทั่วโลก นอกจากนี้ เหตุการณ์ทางภูมิอากาศ และการระบาดใหญ่ของโควิด-19 ได้ส่งผลกระทบต่อความมั่นคงทางอาหารของโลกลดลง เมื่อความต้องการอาหารจะเพิ่มขึ้นจึงต้องมีการพัฒนาประสิทธิภาพของกระบวนการทางการเกษตรเพื่อเพิ่มผลผลิต (FAO, 2021) ด้วยเหตุนี้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์จึงถูกพัฒนาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ในปัจจุบันเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์จึงมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมากโดยเฉพาะการนำวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีสารสนเทศต่างๆ มาปรับใช้ในทางการเกษตร เช่น ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก (Global Positioning System: GPS) ระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เทคโนโลยีการรับรู้ระยะไกล (Remote-Sensing) และระยะใกล้ (Proximal Sensing) เทคโนโลยีการจัดการพื้นที่ตามความเหมาะสม (Variable Rate Technology: VRT) และเทคโนโลยีเพื่อการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) ร่วมกับอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoTs) ส่งผลให้มีการผลิตทางการเกษตรเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ มีต้นทุนการผลิตต่ำ ผลผลิตที่มีคุณภาพ มีศักยภาพการแข่งขันสูง รวมทั้งสามารถใช้ในการตรวจวัด ติดตาม บันทึก และเข้าถึงข้อมูลรวมถึงกิจกรรมสำคัญต่าง ๆ ทางการเกษตร การใช้ระบบการประมวลผลคลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud Computing) และการเชื่อมโยงระบบการขนส่งและการตลาด (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563) ในการประโยชน์ในการใช้งานเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ทางการเกษตร ณ ขณะนี้สามารถสรุปได้ 7 ประการด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 5 คือ 1) การประเมินทรัพยากรที่ต้องใช้ในการจัดการผลผลิต (Atzberger, 2013) 2) การประเมิน และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการน้ำของทางชลประทาน รวมถึงการใช้น้ำสำหรับการเกษตร (Khanna and Kaur, 2019) 3) การประเมิน และจัดการดิน เพื่อจัดการการปลูกพืชเฉพาะพื้นที่โดยประโยชน์ที่ได้จากข้อ 2) และ 3) จะช่วยในการเจริญเติบโตของต้นพืชจึงเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ 4) การใช้สารเคมีในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อสิ่งแวดล้อมและประมาณปริมาณการใช้ปุ๋ยที่เหมาะสมต่อเกษตรกร

(Carter and Johannsen, 2017) 5) ทำนายผลผลิตพืชผลเพื่อการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน (Vashisht *et al.*, 2022) 6) การจำแนกประเภทพืชผลที่ปลูก และสามารถรวมการประมวลผลภาพและการเรียนรู้เชิงลึกได้ (Chen *et al.*, 2022) 7) การประเมินโรค และแมลงศัตรูพืชที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิต คุณภาพของพืช และการจัดการ จึงสามารถช่วยปรับปรุงผลผลิตให้เพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลอย่างมากต่อความมั่นคงทางอาหาร (Lucas, 2011)

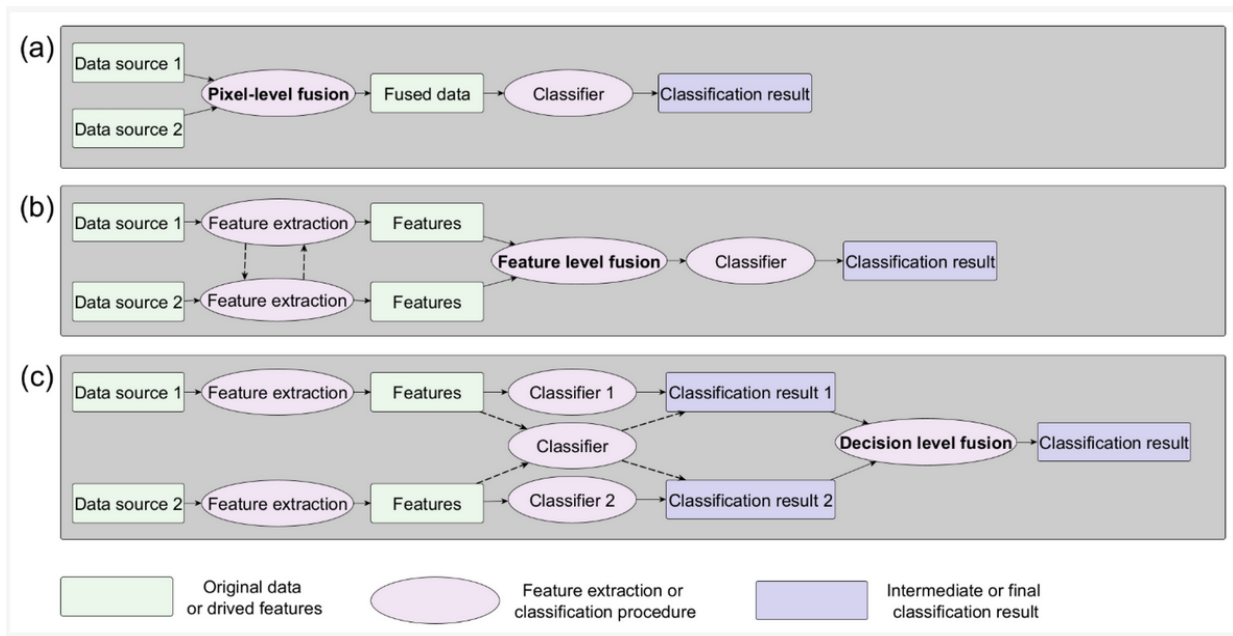
ในประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์มาใช้โดยเรียกว่าเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ (Smart Agriculture) โดยเทคโนโลยีนี้เป็นเทคโนโลยีที่อาศัยการใช้เทคโนโลยีเกษตรแบบแม่นยำ (precision agriculture) เทคโนโลยีสารสนเทศภูมิศาสตร์ (geo informatics) การเก็บข้อมูลระยะไกล (remote sensing) รวมทั้งการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ (Internet of Things หรือ IoTs) ซึ่งข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาประมวลผลและจัดทำเป็น Data platform เพื่อสร้างระบบช่วยการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงที่สุด รวมถึงใช้วิเคราะห์แนวทางแก้ไข/พัฒนาที่ดีที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการผลิต ขณะนั้นๆ ด้วยชุดข้อมูลขนาดใหญ่ (Big data) ซึ่งช่วยในการจัดการดิน น้ำ และผลผลิตซึ่งประโยชน์จากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ได้สอดคล้องกับการใช้ประโยชน์ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2563)



ภาพที่ 5 การใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์
ที่มา: Oliveira and Silva, 2023

การใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ โดยการผสมผสานข้อมูลจากหลายแหล่งและวิเคราะห์ข้อมูลกำลังเป็นที่นิยมและพัฒนาอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการใช้ข้อมูลภาพเพียงภาพเดียวแล้ววิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ให้ความถูกต้องและแม่นยำต่ำ การผสมผสานข้อมูลจากหลายแหล่งและใช้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์และดึงข้อมูลสำคัญจะทำให้ถูกต้องแม่นยำขึ้น โดยที่ผ่านมามีการศึกษา ดังนี้

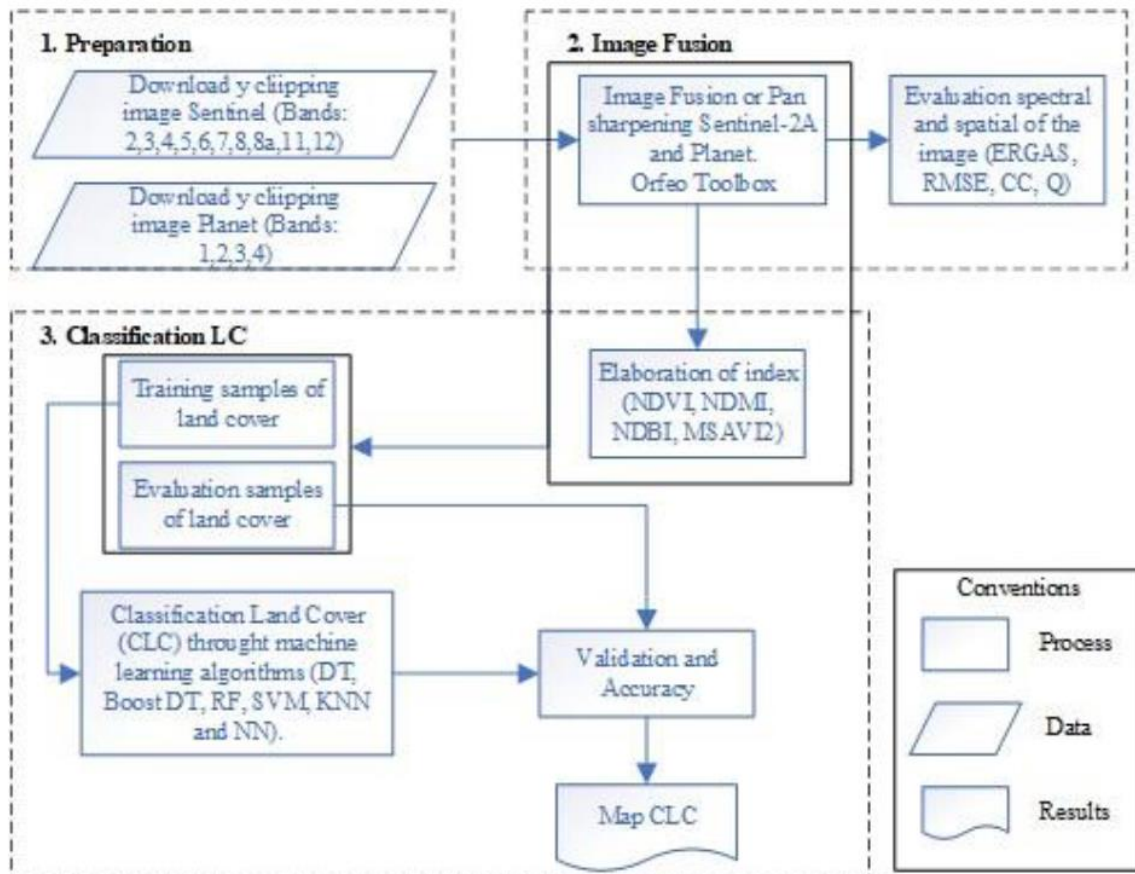
Qin and Liu (2022) ได้กล่าวถึงการใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลภาพในหลากหลายระดับเพื่อการวิเคราะห์ภาพการใช้ที่ดินให้มีความแม่นยำ โดยกระบวนการดำเนินงานแสดงในภาพที่ 6 ข้อมูลภาพในหลากหลายระดับ ซึ่งประกอบด้วย การใช้ข้อมูลภาพจากหลากหลายเซ็นเซอร์ (Multi-Sensor) หลากหลายเวลา (Multi-Temporal) และการหลอมรวมภาพหลายภาพเข้าด้วยกัน (Multi-View Fusion) เพื่อให้การวิเคราะห์ภาพการใช้ที่ดินแม่นยำขึ้น โดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลประกอบด้วยข้อมูลประเภทเชิงคลื่นจากดาวเทียม sentinel 1 ดาวเทียม sentinel 2 และข้อมูล LiDAR จากหลายช่วงเวลา และข้อมูลจากแหล่งอื่นๆ เช่น โซเชียลมีเดีย และ ค่าตำแหน่งจากโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น โดยมีกระบวนการหลอมข้อมูลแบ่งได้ 3 ระดับ (ภาพที่ 6) ได้แก่ (a) การหลอมรวมในระดับจุดภาพ (pixel level) (b) การหลอมรวมในระดับวัตถุ (feature level) และ (c) การหลอมรวมในระดับการตัดสินใจ (decision level) ซึ่งเมื่อมีการหลอมข้อมูลในระดับต่างๆ แล้ว การหลอมรวมภาพหลายภาพเข้าด้วยกันโดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างภาพที่มีการหลอมรวมในหลากหลายระดับและการสร้างแบบจำลองพื้นผิวดิจิทัล (digital surface models) ขึ้นมา ซึ่งกระบวนการเหล่านี้ต้องอาศัยเทคนิคด้านปัญญาประดิษฐ์โดยเฉพาะการเรียนรู้เชิงลึก



ภาพที่ 6 กระบวนการผสมผสานข้อมูลการสำรวจระยะไกลจากหลายแหล่งเพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน
(a) ระดับจุดภาพ (b) ระดับวัตถุ และ (c) ระดับการตัดสินใจ

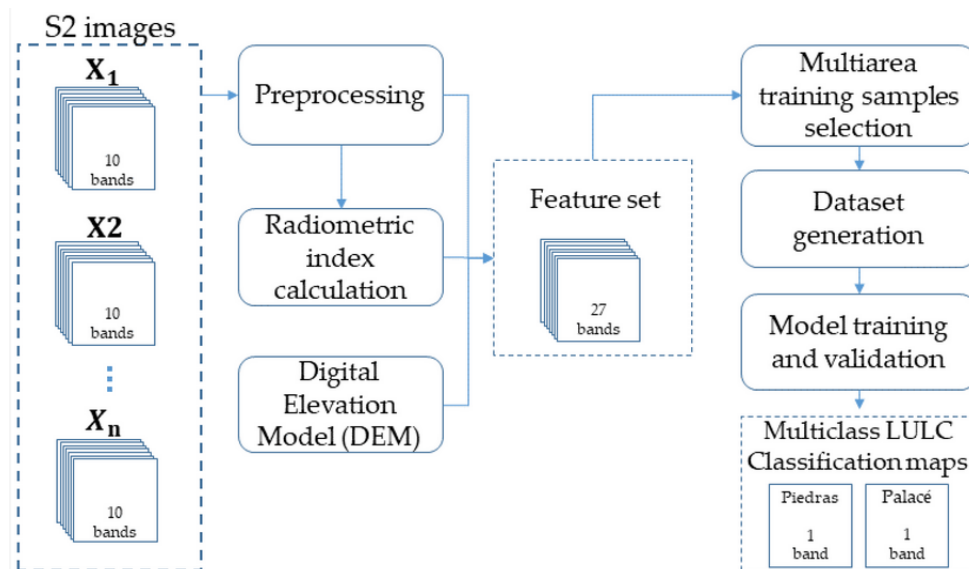
ที่มา : Qin and Liu (2022)

Maycol and Aguilera (2020) ศึกษาที่ใช้เทคนิคการผสมผสานข้อมูลจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2 และ ดาวเทียม PlanetScope เพื่อวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน โดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ได้แก่ วิธีต้นไม้ตัดสินใจ วิธีป่าสุ่ม วิธีเครื่องสนับสนุนเวกเตอร์ เป็นต้น ในการวิเคราะห์ดัชนีพืชพรรณ ได้แก่ ดัชนี NDVI ดัชนี NDMI ดัชนี NDBI และดัชนี MSAVI ที่ได้มาจากการผสมรวมภาพ (ภาพที่ 7) โดยวิธีที่ดีที่สุดให้ค่าความแม่นยำรวมเท่ากับ 87.8 เปอร์เซ็นต์ และค่า Kappa เท่ากับ 87 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 7 กระบวนการการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์
ที่มา : Maycol and Aguilera (2020)

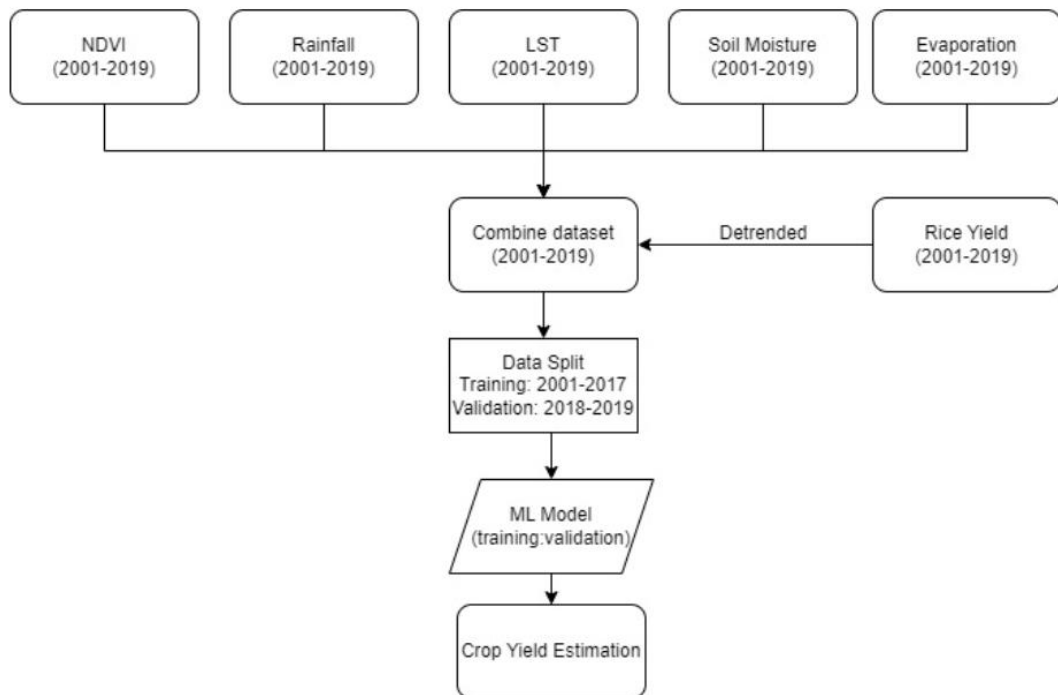
Arrechea-Castillo *et al.* (2023) ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่ซัพพลายจำนวน 16 ดัชนี ที่คำนวณจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel 2a ร่วมกับ แบบจำลองความสูงเชิงเลข ที่มีรายละเอียดจุดภาพ 12.5 เมตร ซึ่งได้จากภารกิจดาวเทียม ALOS PALSAR, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดิน (ภาพที่ 8) โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกเปรียบเทียบกับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องแบบ SVM แบบ RF และแบบ ANN พบว่า เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึก ให้ความแม่นยำสูงสุด 96.51 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่ แบบ RF แบบ SVM และแบบ ANN เท่ากับ 81.45, 85.44 และ 82.84 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ



ภาพที่ 8 กระบวนการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมร่วมกับแบบจำลองความสูงเชิงเลขโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์

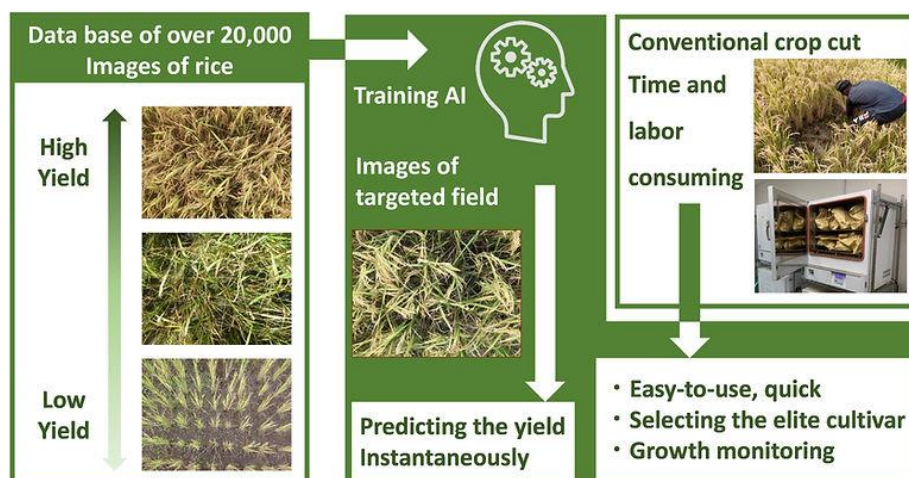
ที่มา : Arrechea-Castillo *et al.* (2023)

Islam et al. (2023) ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ร่วมกับการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องในการประมาณผลผลิตของข้าว (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 กระบวนการการประมาณผลผลิตของข้าวโดยใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง
ที่มา : Islam et al. (2023)

Tanaka et al. (2023) การประเมินผลผลิตข้าวโดยการใช้เทคนิคการเรียนรู้เชิงลึกภาพสีผสมจริง (RGB) โดยใช้ บันทึกภาพดิจิทัลมากกว่า 22,000 โดยภาพได้จากการถ่ายแนวตั้งเหนือแปลงปลูกในช่วงที่รวงข้าวแก่ ระยะห่าง 0.8 ถึง 0.9 เมตร ภาพที่ได้จะถูกนำมาหาความสัมพันธ์และสร้างโมเดลโดยวิธี convolutional neural network โดยการใช้วิธีถ่ายภาพแบบนี้ทำให้มีต้นทุนในการเก็บข้อมูลต่ำ ปฏิบัติงานง่าย และรวดเร็ว



ภาพที่ 10 การคาดการณ์ผลผลิตข้าวโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์วิเคราะห์ภาพจากการสำรวจหลายระดับ
ที่มา : Tanaka et al., 2023

3.3 ข้อเสนอ

การศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจด้วยระบบ AI โดยการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกองค์กร (SWOT Analysis) โดยหลักการสำคัญของ SWOT คือการวิเคราะห์ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมและศักยภาพขององค์กรที่มีผลต่อการดำเนินการ ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานมีทั้งปัจจัยภายนอก (External Factor) และปัจจัยภายใน (Internal Factor) โดยที่ปัจจัยภายนอกถือว่าเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ยากหรือไม่สามารถควบคุมได้ เช่น การเมืองการปกครอง สภาพเศรษฐกิจ กฎหมาย เทคโนโลยี เป็นต้น ส่วนปัจจัยภายในเป็นปัจจัย ที่องค์กรสามารถควบคุมได้ เช่น บุคลากร งบประมาณ เป็นต้น โดย SWOT ย่อมาจากภาษาอังกฤษ 4 ตัว ดังนี้

S (Strengths) หมายถึง จุดเด่นหรือจุดแข็ง ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยภายใน ความสามารถและสถานการณ์ภายในองค์กรที่เป็นบวก องค์กรนำมาใช้เป็นประโยชน์ในการทำงาน เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์หรือหมายถึงการดำเนินงานภายในที่องค์กรทำได้ดีเป็นข้อดีที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในหน่วยงาน เช่น จุดแข็งด้านการเงิน จุดแข็งด้านการผลิต จุดแข็งด้านทรัพยากรบุคคล องค์กรจะต้องใช้ประโยชน์จากจุดแข็งในการกำหนดกลยุทธ์

W (Weaknesses) หมายถึง จุดด้อยหรือจุดอ่อน ซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยภายใน สถานการณ์ภายในองค์กรที่เป็นลบและด้อยความสามารถ ซึ่งองค์กรไม่สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ในการทำงานเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์หรือหมายถึงการดำเนินงานภายในที่องค์กรทำได้ไม่ดีเป็นปัญหาหรือ ข้อบกพร่องที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายในต่างๆ ของหน่วยงาน ซึ่งจะต้องหาวิธีในการแก้ไขปัญหา

O (Opportunities) หมายถึง โอกาส ซึ่งเกิดจากปัจจัยภายนอกและสถานการณ์ ภายนอกที่เอื้ออำนวยให้การทำงานขององค์กรบรรลุวัตถุประสงค์หรือหมายถึงสภาพแวดล้อมภายนอกที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการขององค์กร เป็นผลจากการที่สภาพแวดล้อมภายนอกของหน่วยงาน เอื้อประโยชน์หรือส่งเสริมการดำเนินงานขององค์กร โอกาสแตกต่างจากจุดแข็ง ตรงที่โอกาสนั้น เป็นผล มาจากสภาพแวดล้อมภายนอก แต่จุดแข็งนั้นเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมภายใน

T (Threats) หมายถึง อุปสรรค ซึ่งเกิดจากปัจจัยภายนอกและสถานการณ์ภายนอก ขัดขวางการทำงานขององค์กรไม่ให้บรรลุวัตถุประสงค์หรือหมายถึง สภาพแวดล้อมภายนอกที่เป็นปัญหาต่อองค์กร บางครั้งการจำแนกโอกาสและอุปสรรคเป็นสิ่งที่ทำได้ยากเพราะทั้งสองสิ่งนี้สามารถเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอาจทำให้สถานการณ์ที่เคยเป็นโอกาสกลับกลายเป็นอุปสรรคได้และในทางกลับกันอุปสรรคอาจกลับกลายเป็นโอกาสได้เช่นกันด้วย

จากการศึกษา SWOT Analysis สำหรับโครงการ “การประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจด้วยระบบ AI” สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

| SWOT Analysis | |
|--|---|
| <p>จุดแข็ง (Strengths : S)</p> <p>S1 : กรมพัฒนาที่ดินมีการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกล บุคลากรมีทักษะในการวิเคราะห์ภาพถ่ายและสำรวจภาคสนาม</p> <p>S2 : กรมพัฒนาที่ดินมีฐานข้อมูลแผนที่การใช้ที่ดินเชิงเลข และข้อมูลปัจจัยที่เกี่ยวข้องเชิงเลข เช่น ฐานข้อมูลแผนที่จุดดินและสมบัติดิน ฐานข้อมูลแผนที่กำลังผลิตพืชตามชุดดิน เป็นต้น</p> <p>S3 : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์มีข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) ซึ่งพร้อมที่จะใช้ในการพัฒนาต่อยอด</p> <p>S4 : กรมพัฒนาที่ดินมีสถานีพัฒนาที่ดิน บุคลากรและหมอดินอาสาอยู่ทุกจังหวัดทำให้มีศักยภาพในการเก็บข้อมูลในระดับพื้นที่แบบใกล้เคียงกับปัจจุบันมากที่สุด (real time)</p> | <p>จุดอ่อน (Weaknesses : W)</p> <p>W1 : การวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดิน ในปัจจุบันใช้วิธีการวิเคราะห์ภาพโดยใช้สายตาเป็นหลัก ยังไม่มีการใช้การวิเคราะห์โดยใช้คอมพิวเตอร์</p> <p>W2: กรมพัฒนาที่ดินยังมีการศึกษาการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลน้อยในการประเมินการเจริญเติบโตของพืชและคาดการณ์ผลผลิตน้อย</p> <p>W2 : กรมพัฒนาที่ดินมีฐานข้อมูลจำนวนมาก โดยเฉพาะฐานข้อมูลดิน แต่มีการนำมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสำรวจระยะไกลน้อย</p> <p>W3 : ยังไม่มีการพัฒนาการใช้งานปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ</p> |
| <p>โอกาส (Opportunities : O)</p> <p>O1 : มีข้อมูลสำรวจระยะไกลให้บริการหลากหลายมากขึ้น คุณภาพดีขึ้นและมีการพัฒนาด้านคุณภาพของข้อมูลอย่างต่อเนื่อง มีการให้บริการถี่และเร็วขึ้น มีช่องทางการเข้าถึงข้อมูลที่ง่ายขึ้น</p> <p>O2 : ประเทศไทยมีฐาน ด้าน ภูมิอากาศ อุตุนิยมวิทยา เช่น ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความชื้น แสง ทำให้สามารถนำมาใช้ประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูล</p> <p>O3 : รัฐมีนโยบายสนับสนุนงานวิจัยและประยุกต์ใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลและปัญญาประดิษฐ์</p> <p>O4 : มีหน่วยงานความร่วมมือระหว่างประเทศจำนวนมากที่มีการศึกษาการใช้ข้อมูลสำรวจระยะไกลและปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและคาดการณ์ผลผลิต</p> <p>O5 : มีหน่วยงานที่พัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ให้ใช้งานง่ายขึ้น มีการให้บริการผ่านระบบคลาวด์ ทำให้ไม่ต้องทำงานผ่านคอมพิวเตอร์ประสิทธิภาพสูงในสำนักงาน</p> | <p>อุปสรรค (Threats : T)</p> <p>T1 : ยังมีบุคลากรที่มีความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์น้อย</p> <p>T2 : บุคลากรในระดับภูมิภาคที่จะช่วยเก็บข้อมูลในระดับท้องถิ่น ยังมีความรู้ความเข้าใจในการเก็บข้อมูลภาคสนาม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์สภาพการใช้ที่ดินและประเมินปริมาณผลผลิตน้อย</p> <p>T3 : งบประมาณมีจำกัดและไม่เพียงพอในการจัดหาอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง หรือใช้บริการผ่านระบบคลาวด์</p> <p>T4 : วัสดุอุปกรณ์มีจำกัด อุปกรณ์ที่มีในปัจจุบันส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่</p> |

หลังจากการวิเคราะห์ SWOT กลยุทธ์หลักที่การศึกษานี้นำมาใช้ คือ กลยุทธ์เชิงป้องกัน (WT Strategy) ที่จะเน้นการจัดการกับจุดอ่อนภายในองค์กรและหลีกเลี่ยงอุปสรรคภายนอกที่อาจเกิดขึ้นได้ เพื่อทำให้องค์กรสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีเป้าหมายหลักดังนี้

3.3.1 ควรประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลเพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูก และผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ โดยการความสัมพันธ์กับข้อมูลด้านต่างๆ โดยการพัฒนาระบบที่ช่วยให้ฐานข้อมูล ดินและข้อมูลสำรวจระยะไกลสามารถใช้งานร่วมกันได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ เช่น การเจริญเติบโตของพืช สมบัติดิน และสภาพอากาศ เป็นต้น และสามารถนำมาวิเคราะห์กับข้อมูลด้านอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ความเข้มแสง เส้นชั้นความสูง การตั้งหมู่บ้าน การคมนาคม นโยบายต่างๆ และราคา เป็นต้น เพื่อให้สามารถวางแผนการใช้ที่ดินได้ทั้งระยะสั้นและระยะยาว ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะแผนการใช้ที่ดินระยะสั้นที่ปัจจุบันพบกับความผันผวนทั้งสภาพอากาศ เศรษฐกิจ และนโยบาย ซึ่งจะทำให้ภาครัฐ เอกชนและเกษตรกรสามารถบริหารจัดการพื้นที่ปลูกและผลผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.2 ควรพัฒนาทักษะและความรู้ด้านปัญญาประดิษฐ์ โดยการฝึกอบรมพนักงานที่มีความรู้ด้านการสำรวจระยะไกลด้าน Data Science และการใช้คอมพิวเตอร์และปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการทำการวิเคราะห์ที่ดินและประเมินผลผลิต เนื่องจากการวางแผนการใช้ที่ดิน การบริหารจัดการ พื้นที่ปลูก และผลผลิต มีฐานข้อมูลมีใช้วิเคราะห์ปริมาณมาก การพัฒนาระบบการและนโยบายที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลที่เหมาะสม สิ่งสำคัญที่องค์กรต้องพิจารณาคือการสร้างความมั่นใจว่า ข้อมูลนั้นพร้อมใช้งานในเวลาที่ต้องการสามารถนำไปใช้งานได้จริง มีคุณภาพ และนำมาใช้งานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบ AI เป็นระบบที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลแบบอัตโนมัติอย่างแพร่หลาย

3.3.3 ควรบูรณาการระหว่างหน่วยงาน โดยเฉพาะการบริการด้านข้อมูล เช่น ข้อมูลภาพถ่าย ดาวเทียม การส่งข้อมูลภาคสนามจากหน่วยงานในภูมิภาค เช่น ปฏิทินการเพาะปลูก การจัดการแปลง เป็นต้น

3.3.4 การสนับสนุนการใช้บริการผ่านระบบคลาวด์ เพื่อลดความจำเป็นในการลงทุนในอุปกรณ์ และโครงสร้างพื้นฐาน

3.3.5 ควรประยุกต์ใช้วงจรการบริหารงานคุณภาพ PDCA (Deming, 2004) ในการบริหารโครงการการประยุกต์ใช้ข้อมูลการสำรวจระยะไกลร่วมกับปัญญาประดิษฐ์เพื่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นโครงการที่ต้องใช้บุคคลากรจำนวนมาก โดยเฉพาะบุคคลากรในระดับท้องถิ่น กระบวนการทำงานที่ซับซ้อนทำให้ผิดพลาดได้ง่ายและจำเป็นต้องแก้ไขอย่างเร่งด่วนเพื่อให้ได้ แผนที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ และการคาดการณ์ผลผลิตที่ถูกต้องแม่นยำโดยวงจร PDCA นั้นสามารถนำมาใช้ในทุกกิจกรรม เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและคุณภาพการดำเนินงาน (สุขสันต์, 2564) ซึ่งประกอบด้วย

1) Plan (วางแผน) คือ การวางแผนงานการดำเนินงานอย่างรอบคอบ ทั้งในหัวข้อที่ ต้องการปรับปรุงเปลี่ยนแปลง พัฒนาสิ่งใหม่ๆ และการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงาน ตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่กำหนดขึ้น

2) Do (ปฏิบัติตามแผน) คือ การปฏิบัติตามวิธีการและขั้นตอนในแผนงานที่ได้กำหนดไว้ อย่างเป็นระบบและมีความต่อเนื่องโดยต้องเก็บรวบรวมและบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลในขั้นตอนต่อไป

3) Check (ตรวจสอบ/ประเมินผล) คือ การตรวจสอบ และประเมินผลการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนของแผนงานว่ามีปัญหาอะไรที่เกิดขึ้น จำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงแก้ไขแผนงานในขั้นตอนใดบ้าง

4) Act (ปรับปรุงแก้ไข) คือ การนำผลการประเมินมาปรับปรุงแก้ไขส่วนที่มีปัญหาหรือถ้าไม่มีปัญหาใดๆ ก็ยอมรับแนวทางปฏิบัติตามแผนงานที่ได้ผลสำเร็จเพื่อนำไปใช้ในการทำงานครั้งต่อไป

3.4 ข้อจำกัดที่อาจเกิดขึ้น

3.4.1 การเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยี ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้หน่วยงานภาครัฐไม่สามารถปรับตามได้ทันต่อเหตุการณ์

3.4.2 ความพร้อมด้านบุคลากร เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องเรียนรู้ และปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลง

3.4.3 ความพร้อมด้านงบประมาณ เนื่องจากเทคโนโลยีด้านต่างๆ ที่ได้รับการพัฒนาปัจจุบัน โดยเฉพาะด้านเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศและ Data Science จำเป็นต้องใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวมักมีราคาสูง

3.4.4 ข้อจำกัดจากเหตุการณ์ไม่คาดคิด ปัจจุบันนอกจากเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถพัฒนาตามได้ทัน เหตุการณ์ที่ไม่คาดคิดเกิดขึ้นจำนวนมากและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงาน เช่น เหตุการณ์โรคระบาดทำให้ไม่สามารถปฏิบัติงานภาคสนาม การเกิดภัยแล้ง น้ำท่วมที่เกิดขึ้น และคาดเดาได้ยากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อวิเคราะห์ ประเมิน และคาดการณ์พื้นที่ปลูกและผลผลิตของพืชเศรษฐกิจ

3.5 แนวทางแก้ไข

3.5.1 การเตรียมความพร้อมด้านเทคโนโลยี เทคโนโลยีและสถาปัตยกรรม IT รุ่นใหม่ ที่ได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับการจัดเก็บ การวิเคราะห์ และการใช้งานข้อมูลที่มีปริมาณมหาศาล (volume) มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในระดับนาที่หรือวินาที (velocity) และมีความหลากหลาย ทั้งจากประเภทของตัวข้อมูลเอง และจากแหล่งที่มาของข้อมูลที่แตกต่างกัน (variety) ข้อมูลที่จะนำมาใช้งานมีปริมาณมากกว่า การพัฒนาความพร้อมทั้งระบบการได้มาของข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูล การบริการข้อมูล จึงต้องได้รับการพัฒนาจากของเดิมที่มีอยู่

3.5.2 การเตรียมความพร้อมด้านบุคลากรจากที่เทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้รับการพัฒนาอย่างรวดเร็ว บุคลากรในหน่วยงานต้องเรียนรู้ และปรับตัวให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลง โดยวิธี up-skill และ re-skill

3.5.3 การเตรียมความพร้อมด้านงบประมาณ ควรมีการบูรณาการระหว่างหน่วยงานในด้านการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อไม่ให้เกิดความซ้ำซ้อนในการจัดหาข้อมูล การจัดเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.4 ควรจัดตั้งหน่วยงานกลางเพื่อให้สามารถควบคุมคุณภาพข้อมูล การปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยตลอดเวลา

3.5.5 การเตรียมความพร้อมด้านข้อจำกัดจากเหตุการณ์ไม่คาดคิด เช่น การช่วยเทคโนโลยีช่วยในการเก็บข้อมูล ได้แก่ การใช้ data logger ในการเก็บภาคสนาม เพื่อลดความถี่ในการออกเก็บภาคสนาม เป็นต้น

4. ผลที่คาดว่าจะได้รับ

พัฒนากระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลรีโมทเซ็นซิง ในการวิเคราะห์พื้นที่ปลูกพืชเศรษฐกิจ ครอบคลุมทั้งเนื้อที่ปลูก สภาพการเจริญเติบโต และผลผลิต ซึ่งจะถูกนำไปเชื่อมโยงกับสภาพพื้นที่และอากาศ ข้อมูลดินและผลผลิตของดินต่อการปลูกพืชเศรษฐกิจ ผลตอบแทนทางเศรษฐกิจของการผลิตพืชเศรษฐกิจที่เปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่และสภาพแวดล้อมต่างๆ ทำให้ทราบศักยภาพการผลิตพืชได้แม่นยำและส่งผลให้สามารถคาดการณ์ผลผลิตได้แม่นยำยิ่งขึ้น และวางแผนทั้งระยะสั้นและระยะยาวได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถใช้งานได้ทันเหตุการณ์

5. ตัวชี้วัดความสำเร็จ

- 5.1 สามารถลดระยะเวลาในการเตรียมข้อมูลโดยการใช้ open source data ไม่ต่ำกว่า 2 เดือนจากวิธีการเดิม
- 5.2 สามารถลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูลไม่ต่ำกว่า 2 เดือนจากวิธีการเดิม
- 5.3 สามารถส่งต่อข้อมูลให้ผู้ใช้งานต่อ เร็วขึ้นไม่ต่ำกว่า 2 เดือนจากวิธีการเดิม
- 5.4 ข้อมูลถูกต้องแม่นยำขึ้นจากวิธีการเดิม ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20

(ลงชื่อ) *ทศนัศร์ รัตนแก้ว*
 (นายทศนัศร์ รัตนแก้ว)
 (ตำแหน่ง) นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ
 ผู้ขอประเมิน
 (วันที่)/...../.....

รายการอ้างอิง

- เพชรพริ้ง แพงคำรักษ์ และ สุกัลยา เขียวขวัญ. 2564. ผลกระทบและการรับมือต่อการแพร่ระบาดของโควิด-19 (ระลอก 1) ของครัวเรือนเกษตรกร กรณีศึกษา บ้านโนนศิลา ตำบลเวงน้อย อำเภอเวงน้อย จังหวัดขอนแก่น. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี. ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 หน้า 93-110.
- แคสเสด มงคลสวัสดิ์ และชรัตน์ มงคลสวัสดิ์. 2552. แนวทางการใช้ดัชนีพืชพรรณและความชื้นของข้อมูลดาวเทียมหลายช่วงเวลาเพื่อติดตามตรวจสอบความแห้งแล้งจากสถานะดัชนีพืชพรรณของป่ามรสุมเขตร้อน. วารสารสมาคมสำรวจขอมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. แหล่งที่มา: https://gecnet.kku.ac.th/research/n_journal/2552/2_Journal_10-2.pdf, 10 มกราคม 2566.
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2560. ภาพถ่ายออร์โธรีซีเชิงเลข. กลุ่มจัดการและบริการแผนที่และข้อมูลทางแผนที่ สำนักเทคโนโลยีการสำรวจและทำแผนที่ กรมพัฒนาที่ดิน. แหล่งที่มา <http://www.lddservice.org/services/ortho.php>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.
- กรมอุตุนิยมวิทยา. 2563. ความผันแปรและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ พ.ศ. 2563. ศูนย์ภูมิอากาศ กองพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา.
- กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม และกระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจ และสังคม. 2565. แผนปฏิบัติการด้านปัญญาประดิษฐ์แห่งชาติเพื่อการพัฒนาประเทศไทย (พ.ศ. 2565 – 2570). กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. 248 หน้า.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2563. แผนปฏิบัติการเกษตรอัจฉริยะ ปี พ.ศ. 2565-2566. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 186 หน้า.
- ชัตติยานี ศรีแฉล้ม สุพรรณ กาญจนสุธรรม แก้ว นวลฉวี และณรงค์ พลธิ์รักษ์. 2561. การศึกษาค่าสะท้อนพลังงานของมันสำปะหลังจากข้อมูลดาวเทียม ในเขตอำเภอโชคชัย จังหวัดนครราชสีมา. วารสารวิจัยและพัฒนา วไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 13 ฉบับที่ 3 หน้า 12-22.
- คมสัน ศิริวงศ์วัฒนา. 2550. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง CLUE-S คาดการณ์การเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุม ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่หยอด อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.
- ทศนัศว์ รัตน์แก้ว. 2558. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสำรวจระยะไกลเพื่อการจัดการปุ๋ยไนโตรเจน. วารสารสมาคมนักเรียนทุนรัฐบาลไทย 2558. หน้า 138-145.
- ทศนัศว์ รัตน์แก้ว. 2565. การใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศศึกษาการเจริญเติบโตของต้นไม้ในป่าชุมชนจังหวัดบึงกาฬ. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 36 หน้า.

- ทศนัศร์ รัตนแก้ว และ เขมฐรรุจ จันทรแปง. 2564. การใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อศึกษาการเจริญเติบโตของยูคาลิปตัสบนคันนาในพื้นที่ดินเค็ม. รายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 58 หน้า.
- ทศนัศร์ รัตนแก้ว คันสนีย์ อรัญวาสน์ ฐริกา คันธา และฤทัย พริกมาก. 2564. การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงและคาดการณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินรอบอ่างเก็บน้ำกรณีศึกษาลุ่มน้ำสาขาห้วยกระเสียว. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร (องค์การมหาชน) รหัสโครงการ POP6 405032550. 88 หน้า.
- นิพนธ์ ตั้งธรรม. 2549. การจำลองแบบการจัดการลุ่มน้ำและระบบสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยป่าไม้ คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 588 น.
- นิรนาม. ม.ป.ป. Relations between artificial intelligence, machine learning, neural network, and deep learning. แหล่งที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Relations-between-artificial-intelligence-machine-learning-neural-network-and-deep_fig2_375110440, 10 มกราคม 2566.
- บัวพันธ์ พรหมพักพิง และ มุกดา วงศ์อ่อน. 2020. การเกษตรและอาหาร: ประเด็นปัญหาเก่าในวาระใหม่ของการวิจัยและการพัฒนา. MFU Connexion: Journal of Humanities and Social Sciences; 2020, 9(1): 1-18.
- บุษราวัลย์ ศรีเลิศวรกุล และ ปรีชา ธรรมานนท์. 2559. การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพืชพรรณกับผลผลิตสับปรดโรงงาน โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม Landsat 8. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 54: สาขาวิทยาศาสตร์, สาขาพันธุวิศวกรรม, สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, สาขาอุตสาหกรรมเกษตร, สาขาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. หน้า 1081-1088.
- ยศธร ไตรพรมา. 2562. การใช้เทคนิค NDVI และ NDWI ในการจำแนกชนิดป่าไม้ในเขตอำเภอ นครไทย จังหวัดพิษณุโลก. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาตรี ภาควิชาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร. 62 หน้า.
- วันฉัชชา เทพวงศ์, ธิดาภัทร อนุชาญ และ นิติ เอี่ยมชื่น. 2565. การเปรียบเทียบแบบจำลอง CLUMondo และแบบจำลอง CA-Logistic ในการพยากรณ์การใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตเมือง กรณีศึกษาอำเภอเมืองเชียงราย จังหวัดเชียงราย. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 27 (ฉบับที่ 3) หน้า 1618-1634.
- สำนักงานธุรกรรมพัฒนาทางเศรษฐกิจ. 2564. ปัญญาประดิษฐ์ในการให้บริการของภาครัฐ. แหล่งที่มา: <https://www.eta.or.th/th/Useful-Resource/Knowledge-Sharing/Articles/AI-in-Government-Services.aspx#>, 2 มกราคม 2567
- สุขสันต์ สุขสงคราม. 2564. แนวคิดการบริหารแบบวงจรคุณภาพ (PDCA) กับการบริหารแบบพระพุทธศาสนา. Journal of Thammawat Vol.2 No.1 วารสารธรรมวัตร ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 หน้า 39-49.
- อมร เพชรสว่าง. 2558. องค์ประกอบของเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). แหล่งที่มา <http://www.gistda.or.th/main/th/node/817>, 23 กุมภาพันธ์ 2560.

- อัยยรัชฌ์. 2565. การตรวจจับหลายคิวอาร์โค้ด สำหรับการขนส่งโดยการเรียนรู้เชิงลึก. วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. มหาวิทยาลัยสารคาม.
- อานนท์ หย่องฮวย และ อานนท์ ทับเที่ยง. 2562. ปัจจัยที่มีผลต่อการยอมรับการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างหน่วยงานภาครัฐและภาคธุรกิจ. *Engineering Transactions*, Vol. 22, No.1 (46). หน้า 41-47.
- Abbas, F., H. Afzaal, A. A. Farooque, and S. Tang. 2020. **Crop Yield Prediction through Proximal Sensing and Machine Learning Algorithm**. *Agronomy* Vol. 10 (1046). Available Source: <https://doi.org/10.3390/agronomy10071046>, January 3, 2024.
- Abyanta, R. D. G., Z. Ali, and R. H. Ayan. 2022. **Health Analysis of Sugarcane Plants Using Comparison of Landsat 8 Satellite Image Time Series (Case Study: Pakis District, Malang Regency)**. *Journal of Marine-Earth Science Technology*, Volume 3 (2) p. 44-48.
- Amin Eatidal, S. Belda, L. Pipia, Z. Szantoi, A. E. Baroudy, J. Moreno, and J. Verrelst. 2021. **Crop phenology monitoring from Landsat 8 and Sentinel-2 green LAI time series at the Nile Delta**. *EGU General Assembly*. Available source: <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU21/EGU21-12437.html>, 3 กุมภาพันธ์ 2565.
- Anand, A., S. K. Singh, and S. Kanga. 2018. **Estimating the change in Forest Cover Density and Predicting NDVI for West Singhbhum using Linear Regression**. *International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*. IX (1): 193—203. Available source: <https://doi.org/10.31786/09756272.18.9.1.125>, April 9, 2021.
- Arrechea-Castillo D., Y. T. Solano-Correa, J. F. Muñoz-Ordóñez, E. L. Pencue-Fierro, and A. Figueroa-Casas. 2023. **Multiclass Land Use and Land Cover Classification of Andean Sub-Basins in Colombia with Sentinel-2 and Deep Learning**. *Remote Sensing* Vol.5 (2521). Available source: <https://doi.org/10.3390/rs15102521>, December 24, 2023.
- Atzberger, C. 2013. **Advances in remote sensing of agriculture: Context description. existing operational monitoring systems and major information needs**. *Remote sensing*. 5(2): 949-981.
- Bendin, H. do N., I. D. Sanches, T. S. Körting, L. M. G. Fonseca, A. J. B. Luiz c, and A. R. Formaggio. 2016. **Using Landsat 8 Image Time Series for Crop Mapping in a Region of Cerrado, Brazil**. *The International Archives of the Photogrammetry*. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B8, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. Available source: <https://www.researchgate.net/publication/307529596>, April 10, 2022.
- Cao Y., P. Yuan, H. Xu, J. F. Martínez-Ortega, J. Feng, and Z. Zhai. **Detecting Asymptomatic Infections of Rice Bacterial Leaf Blight Using Hyperspectral Imaging and 3-Dimensional Convolutional Neural Network with Spectral Dilated Convolution**. *Front. Plant Sci.* Vol.13. Available Source: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.963170>, July 2022, 23.

- Carter PG. Johannsen CJ. 2017. **Site-specific soil management**. pp. 497-503. In. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. Elsevier. Amsterdam. The Netherlands
- Caturegli, L., M. Corniglia, M. Gaetani, N. Grossi, S. Magni, M. Migliazzi, L. Angelini, M. Mazzoncini, N. Silvestri, M. Fontanelli, M. Raffaelli, A. Peruzzi, M. Volterran. 2016. **Unmanned Aerial Vehicle to Estimate Nitrogen Status of Turfgrasses**. PLOS ONE, 11(6).
- Chang, J. and D. Clay. 2016. **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. 6p.
- Chen, G., J. Thill, S. Anantsuksomsri, N. Tontisirin, and R. Tao. 2018. **Stand age estimation of rubber (*Hevea brasiliensis*) plantations using an integrated pixel- and object-based tree growth model and annual Landsat time series**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 144. pp. 94–104.
- Chen, K., C. Lin, C. Chen, J. Lee, and C. Wu. 2022. **Crop classification on deep learning**. pp. 1-2. In 2022 IET International Conference on Engineering Technologies and Applications (IET-ICETA). IEEE.
- Chen, Y., L. Feng, J. Mo, W. Mo, M. Ding, and Z. Liu. 2020. **Identification of Sugarcane with NDVI Time Series Based on HJ-1 CCD and MODIS Fusion**. Journal of the Indian Society of Remote Sensing. Vol. 48 (2) p. 249–262. Available Source: <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01042-1>, December 24, 2023.
- Cheng Xinglu, Y. Sun, W. Zhang, Y. Wang, X. Cao, and Y. Wang. 2023. **Application of Deep Learning in Multitemporal Remote Sensing Image Classification**. Remote Sensing. 2023, 15, 3859. Source: <https://doi.org/10.3390/rs15153859>
- Cilek, A. and S. Berberoglu. 2018. **Object-Based Crop Mapping Using Multi-Temporal Landsat 8 Imagery**. Int. Journal of Engineering Research and Application. Vol. 8, Issue 4, (Part -II) April 2018, pp.34-37.
- Deming, W. E. 2004. **Out of the Crisis**. U.S.A.: MIT center for Advanced Engineering Study.
- Eiumnoh, A. and R. P. Shrestha. 1999. **A Study on Estimation of Cassava Area and Production Using Remote Sensing and Geographic Information Systems in the Northeast Region of Thailand**. Southeast Asian Studies Vol. 37 (3) p. 417-430.
- FAO. 2021. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2021**. Available source: <https://policycommons.net/artifacts/1850109/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world-2021/2596732/>, 03 January 2024.

- Ferencz, C., P. Bogna, J. Lichtenberger, D. Hamar, G. Tarcsa, G. Tima, G. Molna, S. Pasztor, P. Steinbach, and B. Szekely. 2004. **Crop yield estimation by satellite remote sensing**. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 25, No. 20, 4113–4149.
- Flood, I. and N. Kartam. 1994. **Neural networks in civil engineering. II: Systems and application**. *Journal of computing in civil engineering*. 8(2): 149-162.
- Fortes, R., M. H. Prieto, A. García-Martín, A. Córdoba, L. Martínez, and C. Campillo. 2015. **Using NDVI and guided sampling to develop yield prediction maps of processing tomato crop**. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 13(1), e02-004, 9 pages.
- GISGeography. 2022. **100 Earth Shattering Remote Sensing Applications & Uses**. Available source: <https://gisgeography.com/remote-sensing-applications/>. December 2022, 23.
- Gitelson, A.A., Y.J. Kaufman, and M.N. Merzlyak. 1996. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS**. *Remote Sensing of Environment* 58(3): 289-298.
- Gong, Y., X. Li, H. Du, G. Zhou, F. Mao, L. Zhou, B. Zhang, J. Xuan, and D. Zhu. 2023. **Tree Species Classifications of Urban Forests Using UAV-LiDAR Intensity Frequency Data**. *Remote Sens.* 2023,15, 110. Source: <https://doi.org/10.3390/rs1501011>
- Guan, S., K. Fukami, H. Matsunaka., M. Okami, R. Tanaka, H. Nakano, T. Sakai, K. Nakano, H. Ohdan, and K. Takahashi. 2019. **Assessing Correlation of High-Resolution NDVI with Fertilizer Application Level and Yield of Rice and Wheat Crops using Small UAVs**. *Remote Sensing*. 11(2):112.
- Gxokwe, S., T. Dube, and D. Mazvimav. 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. Available Source: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/24/4190>. July 2022, 23.
- Htitiou, A., A. Boudhar, Y. Lebrini, R. Hadria, H. Lionboui, L. Elmansouri, B. Tychon, T. Benabdelouahab. 2019. **The Performance of Random Forest Classification Based on Phenological Metrics Derived from Sentinel-2 and Landsat 8 to Map Crop Cover in an Irrigated Semi-arid Region**. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*. Available source: <https://doi.org/10.1007/s41976-019-00023-9>, April 10, 2022.
- Hunt, E. R. Jr. and Rock, B. N. 1989. **Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances**. *Remote Sens. Environ.*, 30, 43–54, Available source: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90046-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90046-1), April 10, 2022.
- Huth, J., C. Kuenzer, T. Wehrmann, S. Gebhardt, V. Q. Tuan, and Stefan Dech. 2012. **Land Cover Cover and Land Use Classification with TWOPAC: towards Automated**

- Processing for Pixel- and Object-Based Image Classification.** Remote Sensing. Vol. 4 p. 2530-2553.
- Islam, M. D., L. Di, F. M. Qamer, S. Shrestha, L. Guo, L. Lin, T. J. Mayer, and A. R. Phalke. 2023. **Rapid Rice Yield Estimation Using Integrated Remote Sensing and Meteorological Data and Machine Learning.** Remote Sens. Vol.15 (9) 2374., Available source: <https://doi.org/10.3390/rs15092374>, December 23, 2022.
- Jensen, J. R. 2000. **Remote Sensing of Environment: An Earth Resource Perspective Second edition.** Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA. 592p.
- Khanna, A. and S. Kaur. 2019. **Evolution of Internet of Things (IoT) and its significant impact in the field of Precision Agriculture.** Computers and Electronics in Agriculture 157(2) p.218-231.
- Kyriakos, C. and M. Vavalis. 2023. **Business Intelligence through Machine Learning from Satellite Remote Sensing Data.** Future Internet. Vol 15 (355). Available source: <https://doi.org/10.3390/fi15110355>, December 23, 2022.
- 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.
- Lippmann. R. (1987). **An introduction to computing with neural nets.** IEEE Assp magazine. 4(2): 4-22.
- Lucas. J. A. 2011. Advances in plant disease and pest management. **The Journal of Agricultural Science.** 149(S1): 91-114.
- Maycol, A. and Z. Aguilera. 2020. **Classification of Land-Cover through Machine Learning Algorithms for Fusion of Sentinel-2a and PlanetScope Imagery.** IEEE Latin American GRSS & ISPRS Remote Sensing Conference (LAGIRS) 22-26 March 2020.
- 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 (12) pp. 1747-1766.
- Oliveira, R. C., and R. D. S. Silva. 2023. **Artificial Intelligence in Agriculture: Benefits, Challenges, and Trends.** Appl. Sci. Vol. 13 (7405); Available source: <https://doi.org/10.3390/app13137405>, January 3, 2024.
- Omia, E., 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(2), 354; Available source: <https://doi.org/10.3390/rs15020354>, January 3, 2024.

- Peña, M.A., Brenning, A., 2015. **Assessing fruit-tree crop classification from Landsat 8 time-series for the Maipo Valley, Chile.** *Remote Sensing of Environment*, 171, pp. 234-244.
- Poortinga, A., K. Tenneson, A. Shapiro, Q. Nquyen, K. S. Aung, F. Chishtie, and D. Saah. 2019. **Mapping Plantations in Myanmar by Fusing Landsat-8, Sentinel-2 and Sentinel-1 Data along with Systematic Error Quantification.** *Remote Sensing*. Vol 11 (831); Available source: <https://doi:10.3390/rs11070831>, January 3, 2024.
- Putra, A. N., W. Kristiawati, D. C. Mumtazydah, T. Anggarwati, R. Annisa, D. H. Sholikah, D. Okiyanto, Sudarto 2021. **Pineapple biomass estimation using unmanned aerial vehicle in various forcing stage: Vegetation index approach from ultra-high-resolution image.** *Smart Agricultural Technology*. 9 p. Available source: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2021.100025>, January 3, 2024.
- Qian, J., B. Xing, X. Wu, M. Chen, Y. Wang. 2018. **A smartphone-based apple yield estimation application using imaging features and the ANN method in mature period.** *Agricultural Engineering*. Vol. 75 (4). Available Source: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0152>, January 3, 2024.
- Qin, R. and T. Liu. 2022. **A Review of Landcover Classification with Very-High Resolution Remotely Sensed Optical Images—Analysis Unit, Model Scalability and Transferability.** *Remote Sens*. 2022, 14(3), 646; Available source: <https://doi.org/10.3390/rs14030646>, January 3, 2024.
- Rahman, M. R., A. H. Islam, and M A. Rahman. 2004. **NDVI Derived Sugarcane Area Identification and Crop Condition Assessment.** *Plan Plus*, Vol. 1 (2) 9 p. Available source: <https://www.researchgate.net/publication/283630310> , January 3, 2024.
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering.1974. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** In: S.C. Freden, E.P. Mercanti, and M. Becker (eds) *Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium. Volume I: Technical Presentations*, NASA SP-351, NASA, Washington, D.C., pp. 309-317.
- Santillan, J. R. and M. M. Santillan. 2018. **Analysis of In-Situ Spectral Reflectance of Sago And Other Palms: Implications for Their Detection in Optical Satellite Image.** *SPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume IV-3, 2018. ISPRS TC III Mid-term Symposium “ Developments, Technologies and Applications in Remote Sensing”, 7–10 May, Beijing, China. Available source: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-3-185-2018>, December 1, 2021.
- Sayavong, S., N. Kaewjampa, R. Katawatin, C. B. Iwai, S. Moukomla, J. Oszwald, and A. Pierret. 2019. **Mapping rubber stand ages in luangnamtha district (Northern laos) using**

- NDVI and LSWI from Landsat images.** Asia-Pacific Journal of Science and Technology. Vol. 24 (2)
- 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.
- Somching, N. 2019. **The Age Dynamics of Para Rubber Plantations using Landsat Time Series (1991 – 2018) using Machine Learning Algorithm.** Thesis Master of Science, Environmental Management Technology, Prince of Songkla University. 76 p.
- Tanaka, Y., T. Watanabe, K. Katsura, Y. Tsujimoto, T. Takais, T. Sonam, T. Tanaka, K. Kawamuras, H. Saito, K. Homma, S. Mairoua, K. Ahouanton, A. Ibrahim, K. Senthilkumar, V. K.r Semwal, E. J. G. Matute, E. Corredor, R. El-Namaky, N. Manigbas, E. J. P. Quilang, Y. Iwahashi, K. Nakajima, E. Takeuchi, and K. Saito. 2023. **Deep Learning Enables Instant and Versatile Estimation of Rice Yield Using Ground-Based RGB Images.** *Plant Phenomics* Vol. 5 (0073). Available Source: <https://doi.org/10.34133/plantphenomics.0073>, July 2022, 23.
- Vashisht. S., Kumar. P., and Trivedi. M. C. 2022. Improved extreme learning machine for crop yield prediction. *In 2022 3rd International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*. IEEE.
- Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R. and Espaldon, V. 2002. **Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model.** *Environmental Management* Vol. 30, No. 3, pp 391-405 66(8):1011–1016.
- Zha, J. 2020. **Artificial Intelligence in Agriculture.** *Journal of Physics: Conference Series*. Available Source: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1693/1/012058>, July 2022, 23.
- Zhu. X. X., Tuia. D., Mou. L., Xia. G. S., Zhang. L., Xu. F., & Fraundorfer. F. 2017. **Deep learning in remote sensing: A comprehensive review and list of resources.** *IEEE geoscience and remote sensing magazine*. 5(4): 8-36.
- Zinke-Wehlmann, C. and K. Charva. 2021. **Chapter 14 Introduction of Smart Agriculture.** *Big Data in Bioeconomy*. Available Source: https://www.researchgate.net/publication/353906927_Introduction_of_Smart_Agriculture, July 23, 2022.