2 สาระสำคัญของโครงการ และคำสำคัญ (Keywords)

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย): ระบบวิเคราะห์พื้นที่สีเขียวและแนะนำพื้นที่ปลูกต้นไม้อัจฉริยะของประเทศไทยด้วยข้อมูลดาวเทียมและปัญญาประดิษฐ์

Title (English): An Intelligent Satellite-Driven Geospatial Decision Support System for Green Space Analysis and AI-Powered Tree Planting Prioritization across Thailand

สาระสำคัญ (Abstract)

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island, UHI) และปริมาณพื้นที่สีเขียวต่อประชากรที่ต่ำกว่ามาตรฐาน 9 ตารางเมตรต่อคนขององค์การอนามัยโลก (WHO) เป็นปัญหาสำคัญที่กระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนในเขตเมืองทั่วประเทศไทย อย่างไรก็ตาม หน่วยงานปกครองส่วนท้องถิ่นและภาคประชาสังคมยังขาดเครื่องมือกลางที่ใช้ข้อมูลภูมิสารสนเทศประกอบการตัดสินใจวางแผนการปลูกต้นไม้ในระดับพื้นที่ โครงการนี้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงภูมิสารสนเทศบนเว็บแอปพลิเคชันที่บูรณาการข้อมูลดาวเทียมแบบเปิด ได้แก่ Sentinel-2 (NDVI ความละเอียด 10 เมตร) Landsat 8/9 (Land Surface Temperature 30 เมตร) WorldPop (ประชากร 100 เมตร) และ ESA WorldCover เข้ากับแพลตฟอร์ม Google Earth Engine จากนั้นประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์คำนวณคะแนนความสำคัญ (Priority Score) เพื่อจัดอันดับพื้นที่ที่ควรปลูกต้นไม้ภายในจังหวัดและอำเภอ พร้อมแนะนำพันธุ์ไม้พื้นถิ่นที่เหมาะสมตามภูมิภาคและประมาณการณ์ผลกระทบทั้งในด้านการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์และการลดอุณหภูมิผิวพื้น ระบบครอบคลุม ทั่วประเทศไทย 77 จังหวัด 928 อำเภอ รองรับการวิเคราะห์ย้อนหลังตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 จนถึงปัจจุบัน และสามารถส่งออกรายงานเชิงวิชาการในรูปแบบ PDF

คำสำคัญ (Keywords)

NDVI	LST	Urban Heat Island	Google Earth Engine
GIS	Decision Support	AI Recommendation	พื้นที่สีเขียว
Remote Sensing	Sentinel-2	CO2 Sequestration	Smart City

3 หลักการและเหตุผล

การขยายตัวของชุมชนเมืองในประเทศไทยอย่างรวดเร็วในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ส่งผลให้พื้นที่ปกคลุมด้วยสิ่งปลูกสร้างเพิ่มขึ้นจนเกิดปรากฏการณ์ เกาะความร้อนเมือง (Urban Heat Island, UHI) ซึ่งทำให้เมืองมีอุณหภูมิ สูงกว่าพื้นที่ชนบทโดยรอบประมาณ 1 ถึง 3 องศาเซลเซียส (Bowler et al., 2010) สิ่งนี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพประชาชน คุณภาพอากาศ การใช้พลังงาน เครื่องปรับอากาศ และความเปราะบางต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

องค์การอนามัยโลกแนะนำให้พื้นที่ในเขตเมืองมีพื้นที่สีเขียวเข้าถึงได้ อย่างน้อย 9 ตารางเมตรต่อประชากรหนึ่งคน (WHO, 2017) แต่จากการสำรวจของ กรุงเทพมหานคร พบว่ามีพื้นที่สีเขียวเฉลี่ยเพียงประมาณ 3 ตารางเมตรต่อคน ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานสากลอย่างมาก ในขณะเดียวกัน หัวเมืองสำคัญหลายแห่ง ของประเทศก็มีสถิติคล้ายคลึงกัน อย่างไรก็ตาม การจะเพิ่มพื้นที่สีเขียวอย่างมีประสิทธิภาพและตอบโจทย์ความต้องการของชุมชนอย่างแท้จริง จำเป็นต้องมีข้อมูลภูมิสารสนเทศที่แม่นยำ และเครื่องมือที่ใช้ ตัดสินใจร่วมกันระหว่างเทศบาล ภาคประชาสังคม และนักวิจัย

ปัจจุบัน แพลตฟอร์มประมวลผลข้อมูลดาวเทียมระดับโลกอย่าง Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) ได้เปิดให้นักวิจัยและสาธารณะใช้งานได้ฟรี พร้อมข้อมูลเปิดอย่าง Sentinel-2 (Drusch et al., 2012) ที่ให้ภาพหลายช่วงคลื่นความละเอียด 10 เมตร และ Landsat 8/9 ของ USGS ที่ให้ข้อมูล อุณหภูมิผิวพื้นที่ความละเอียด 30 เมตร ทำให้การพัฒนาเครื่องมือ วิเคราะห์เชิงพื้นที่ครอบคลุมทั่วประเทศเป็นไปได้โดยไม่ต้องลงทุนโครงสร้างพื้นฐานราคาแพง โครงการนี้จึงมุ่งใช้ประโยชน์จากโครงสร้าง ที่มีอยู่ผนวกกับเทคนิคปัญญาประดิษฐ์และระบบเว็บที่ทันสมัย พัฒนาเป็นเครื่องมือกลางสำหรับการวางแผนเพิ่มพื้นที่สีเขียวระดับชาติ

4 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่แสดงผลค่าดัชนีพืชพรรณ (NDVI) และอุณหภูมิ ผิวพื้น (LST) ระดับจังหวัดและอำเภอครอบคลุมประเทศไทยทั้ง 77 จังหวัด 928 อำเภอ บนแผนที่แบบโต้ตอบ 3 มิติ
2. พัฒนาอัลกอริทึมจัดอันดับความสำคัญของพื้นที่ปลูกต้นไม้ (Priority Score) โดยการถ่วงน้ำหนักดัชนีการขาดพืชพรรณ ความร้อนผิวพื้น และความหนาแน่น ประชากร เพื่อแนะนำพิกัดที่ควรปลูกต้นไม้มากที่สุด 10 อันดับแรก
3. พัฒนาระบบแนะนำพันธุ์ไม้พื้นถิ่นที่เหมาะสมแยกตาม 6 ภูมิภาคของไทย (เหนือ อีสาน กลาง ตะวันออก ตะวันตก และใต้) ครอบคลุมพันธุ์ไม้ 22 ชนิด พร้อมเหตุผลทางนิเวศและการใช้ประโยชน์
4. ประมาณการณ์ผลกระทบของการปลูกในพื้นที่ที่แนะนำ ทั้งปริมาณก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ที่ดูดซับได้ต่อปี และผลในการลดอุณหภูมิผิวพื้น อิงตามแนวทางของ IPCC 2019 และ Bowler et al. 2010
5. พัฒนาฟีเจอร์ Time-lapse แสดงพัฒนาการของพื้นที่สีเขียวย้อนหลัง ตั้งแต่ปี 2558 ถึงปัจจุบัน (มากกว่า 10 ปี) เพื่อให้ผู้ใช้เห็น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในเชิงเวลา
6. พัฒนาระบบส่งออกรายงาน PDF คุณภาพระดับวิทยานิพนธ์ ที่รวมแผนที่ NDVI/LST ตารางเปรียบเทียบ กราฟแนวโน้ม วิธีวิทยา ข้อจำกัด และบรรณานุกรม ไว้ในไฟล์เดียว
7. เปรียบเทียบค่าพื้นที่สีเขียวต่อคนของแต่ละจังหวัดกับมาตรฐาน WHO 9 ตารางเมตรต่อคน และคำนวณค่า Urban Subset ที่จำกัดเฉพาะเขตเมือง (Built-up area) เพื่อให้เปรียบเทียบกับมาตรฐานได้อย่างถูกต้อง

5 ปัญหาหรือประโยชน์ที่เป็นเหตุผลให้ควรพัฒนาโปรแกรม

5.1 ปัญหาที่โครงการมุ่งแก้ไข

ขาดข้อมูลกลางที่ครอบคลุมทั่วประเทศ

หน่วยงานท้องถิ่นแต่ละแห่ง เก็บข้อมูลพื้นที่สีเขียวในรูปแบบของตนเอง ไม่มีฐานข้อมูลกลางที่เปรียบเทียบกันได้ทั่วประเทศ ทำให้การวางนโยบายในระดับชาติ ขาดข้อมูลสนับสนุนที่เป็นกลาง

พื้นที่สีเขียวต่ำกว่ามาตรฐาน WHO

กรุงเทพมหานครและหัวเมือง ส่วนใหญ่มีพื้นที่สีเขียวต่อประชากรต่ำกว่า 9 ตารางเมตรต่อคน ตามมาตรฐาน WHO ส่งผลต่อสุขภาพ คุณภาพอากาศ และคุณภาพชีวิต

ปรากฏการณ์เกาะความร้อนเมือง (UHI)

เมืองในไทยร้อนกว่าชนบท รอบข้าง 1 ถึง 3 องศาเซลเซียส (Bowler et al., 2010) ทำให้การใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศและความเสี่ยงต่อสุขภาพเพิ่มขึ้น

ขาดเครื่องมือตัดสินใจอย่างเป็นระบบ

การปลูกต้นไม้ในเขตเมือง ปัจจุบันยังขึ้นกับการตัดสินใจของบุคคลหรือพื้นที่ที่ว่างอยู่ มากกว่าการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อหาจุดที่ควรปลูกมากที่สุด

ขาดความรู้เรื่องพันธุ์ไม้ที่เหมาะสม
หลายเทศบาลปลูกต้นไม้ ที่ไม่เหมาะกับสภาพดินและภูมิอากาศของพื้นที่ ทำให้ต้นไม้ตาย หรือไม่เติบโต ส่งผลให้งบประมาณสูญเปล่า

5.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ภาครัฐและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
ใช้เป็นเครื่องมือวางแผน นโยบายเพิ่มพื้นที่สีเขียว จัดสรรงบประมาณการปลูกต้นไม้ และกำหนดเขต Green Buffer Zone อย่างมีหลักฐานเชิงข้อมูล

ภาคประชาสังคมและเครือข่ายชุมชน
ตรวจสอบสถานะพื้นที่สีเขียว ของบ้านเกิด เปรียบเทียบกับจังหวัดอื่น และนำเสนอข้อเรียกร้องต่อหน่วยงานท้องถิ่นโดยอ้างอิงข้อมูลที่เป็นกลาง

นักวิจัยและสถาบันการศึกษา
นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ต่อ ในงานวิจัยด้าน UHI การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ และนิเวศวิทยาเมือง รวมทั้งใช้ระบบเป็นกรณีศึกษาในวิชาภูมิสารสนเทศ

ภาคเอกชนและ CSR
องค์กรที่ทำกิจกรรมความรับผิดชอบต่อสังคม ด้านการปลูกป่าและคืนพื้นที่สีเขียว ใช้ระบบเลือกพื้นที่และพันธุ์ไม้ที่ให้ผลกระทบสูงสุดต่องบประมาณที่จำกัด

นโยบายระดับชาติและพันธกิจสากล
สนับสนุนเป้าหมายการพัฒนา ที่ยั่งยืน (SDGs) เป้าหมายที่ 11 เมืองยั่งยืน เป้าหมายที่ 13 ปฏิบัติการเรื่องสภาพภูมิอากาศ และพันธสัญญาคาร์บอนสุทธิเป็นศูนย์ ของไทยภายในปี ค.ศ. 2065

6 เป้าหมายและขอบเขตของโครงการ

6.1 เป้าหมาย (Goals)

- พัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่พร้อมใช้งานจริง (Production-Ready) เปิดให้สาธารณะใช้ฟรี
- ครอบคลุมพื้นที่ 77 จังหวัด 928 อำเภอ ของประเทศไทย
- รองรับการวิเคราะห์ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558 จนถึงปัจจุบัน (มากกว่า 10 ปี)
- ความแม่นยำของพื้นที่สีเขียวต้องสอดคล้องกับข้อมูล ESA WorldCover (ภายใน ±10%)
- เวลาตอบสนองของ API สำหรับข้อมูลที่อยู่ใน cache ต้องน้อยกว่า 2 วินาที
- รองรับภาษาไทยและภาษาอังกฤษเต็มรูปแบบ ทั้งในระบบและรายงาน PDF
- รายงาน PDF ที่ส่งออกต้องมีคุณภาพเทียบเท่ารายงานวิทยานิพนธ์ (มีแผนที่ ตาราง กราฟ บรรณานุกรม)

6.2 ขอบเขต (Scope)

มิติ	ขอบเขต
พื้นที่ทางภูมิศาสตร์	ประเทศไทย ใช้ขอบเขตการปกครองจาก GADM v4.1 (จังหวัดและอำเภอ)
ช่วงเวลา	พ.ศ. 2558 ถึงปัจจุบัน (จุดเริ่มต้นของ Sentinel-2)
ความละเอียดเชิงพื้นที่	NDVI 10 ม., LST 30 ม., ประชากร 100 ม., Priority 100 ม.
ดัชนีและข้อมูล	NDVI, LST, Green Area %, m²/คน, Priority Score, CO2 และ Cooling impact

มิติ	ขอบเขต
พันธุ์ไม้แนะนำ	22 ชนิด แบ่งตาม 6 ภูมิภาคของไทย
ภาษา	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
แพลตฟอร์ม	เว็บแอปพลิเคชัน (Responsive, รองรับ Desktop และ Mobile)
การ Deploy	Frontend บน Vercel, Backend บน Render/Railway

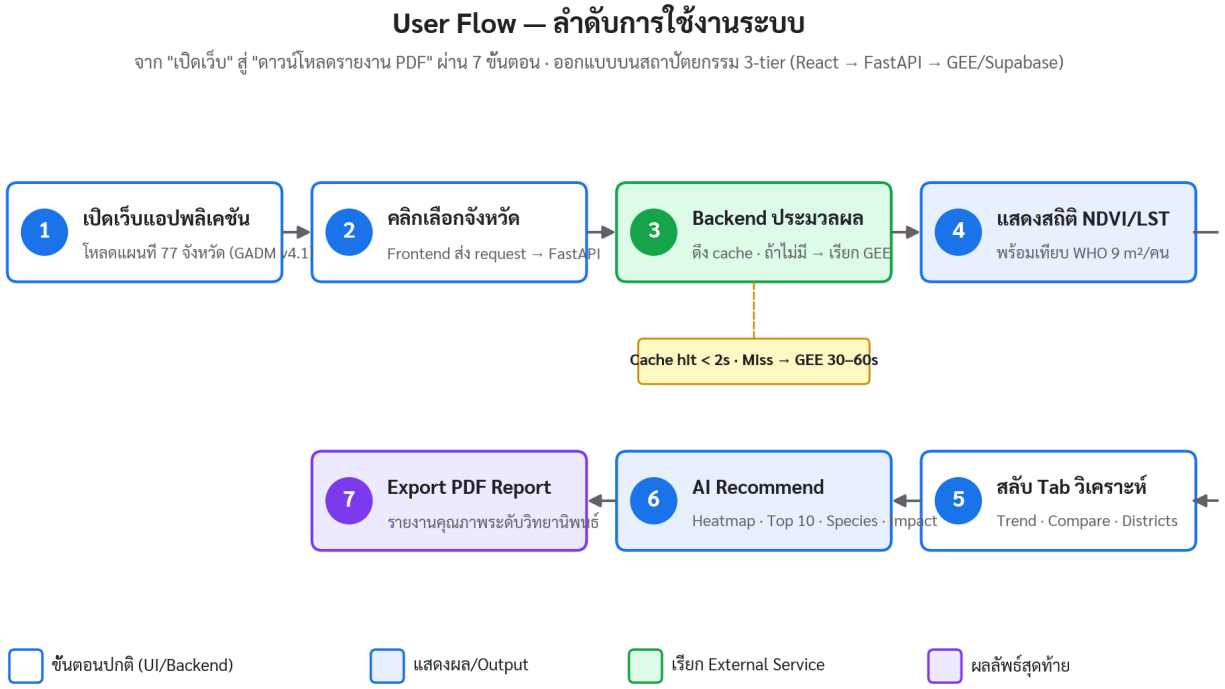
7 รายละเอียดของการพัฒนา

7.1 เนื้อเรื่องย่อ (Story Board) และสถาปัตยกรรมระบบ

ระบบประกอบด้วยสามส่วนหลัก คือส่วนหน้าเว็บ (Frontend) ส่วนหลังเว็บ (Backend) และบริการภายนอก (External Services) ซึ่งทำงานร่วมกัน ในรูปแบบ Three-tier Architecture ดังภาพแนวคิดต่อไปนี้

```
■■■
```

รูปที่ 7.1 — แผนภาพลำดับการใช้งานระบบ (User Flow Diagram)

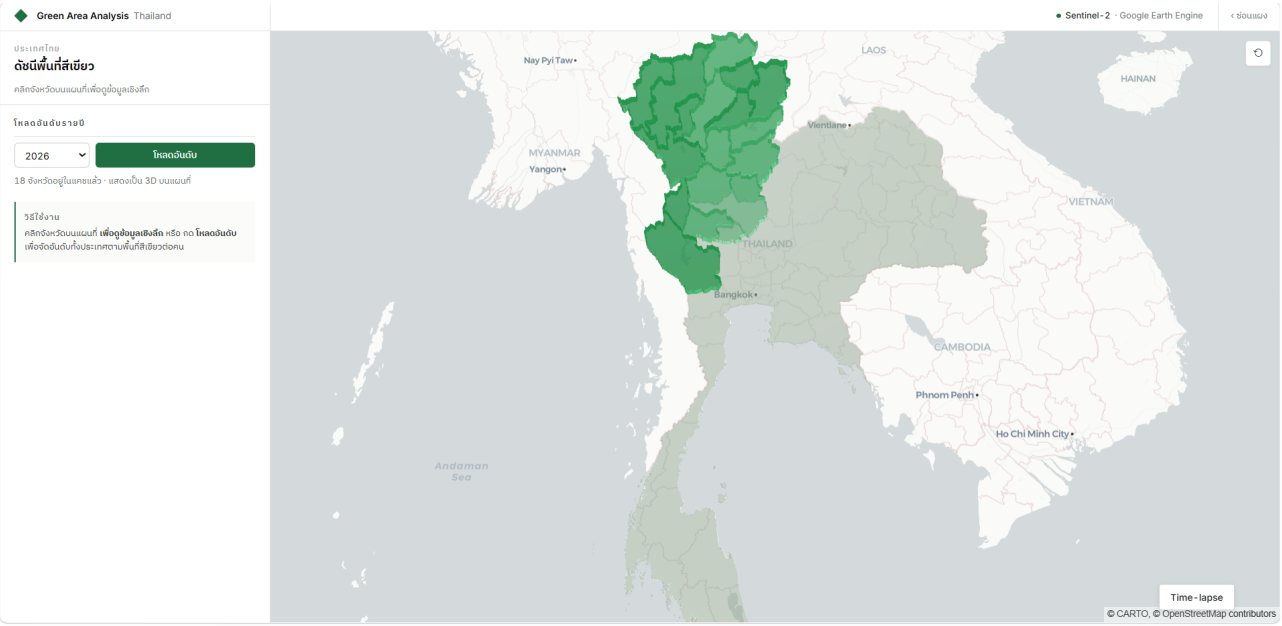


ภาพแสดงลำดับขั้น 7 ขั้นตอนแบบ Serpentine (แถวบน: ขั้น 1–4 ไหลจากซ้ายไปขวา · แถวล่าง: ขั้น 5–7 ไหลย้อนจากขวาไปซ้าย) โดยกล่องสีเขียวคือขั้นที่เรียกบริการภายนอก (Google Earth Engine) กล่องสีฟ้าอ่อนคือขั้นแสดงผล และกล่องสีม่วงคือผลลัพธ์สุดท้าย (PDF Report) ค่าบนกล่อง Cache hit < 2 วินาที เทียบกับ Cache miss 30–60 วินาที สะท้อนผลของการออกแบบ Caching Layer ที่ช่วยลด GEE round-trip

7.1.1 ตัวอย่างหน้าจอจากระบบที่พัฒนาแล้ว (Working Prototype)

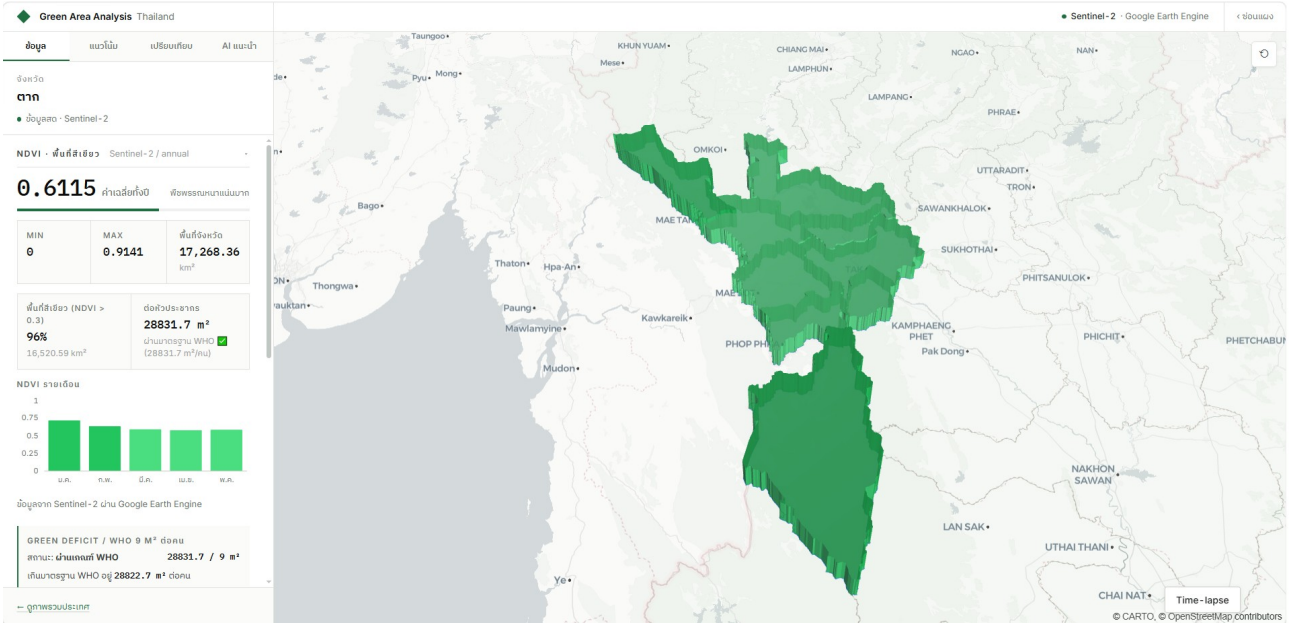
ปัจจุบันระบบได้พัฒนาไปแล้วประมาณ 85% ของขอบเขตที่กำหนด ครอบคลุมทั้งส่วน Frontend (React + Deck.gl 3D Map + 4 Tabs: ข้อมูล/แนวโน้ม/เปรียบเทียบ/AI แนะนำ) Backend (FastAPI + Google Earth Engine + Supabase Cache 11 ตาราง) และระบบ Export PDF Report ระดับวิทยานิพนธ์ที่ใช้งานได้จริง ภาพหน้าจอ 11 ภาพต่อไปนี้ถ่ายจากระบบที่กำลังทำงานบน localhost ด้วยข้อมูลจริงจาก Sentinel-2 และ Landsat 8/9 ปี พ.ศ. 2569 โดยใช้กรณีศึกษา จังหวัดตาก พร้อมแสดงการ drill-down ลงไประดับอำเภอ (แม่สอด) เพื่อสาธิตความละเอียด เชิงพื้นที่ของระบบ และตัวอย่างไฟล์ PDF Report ที่ระบบ generate ออกมาจริง

รูปที่ 7.2 — หน้าจอแรกของระบบ (Initial Map View)



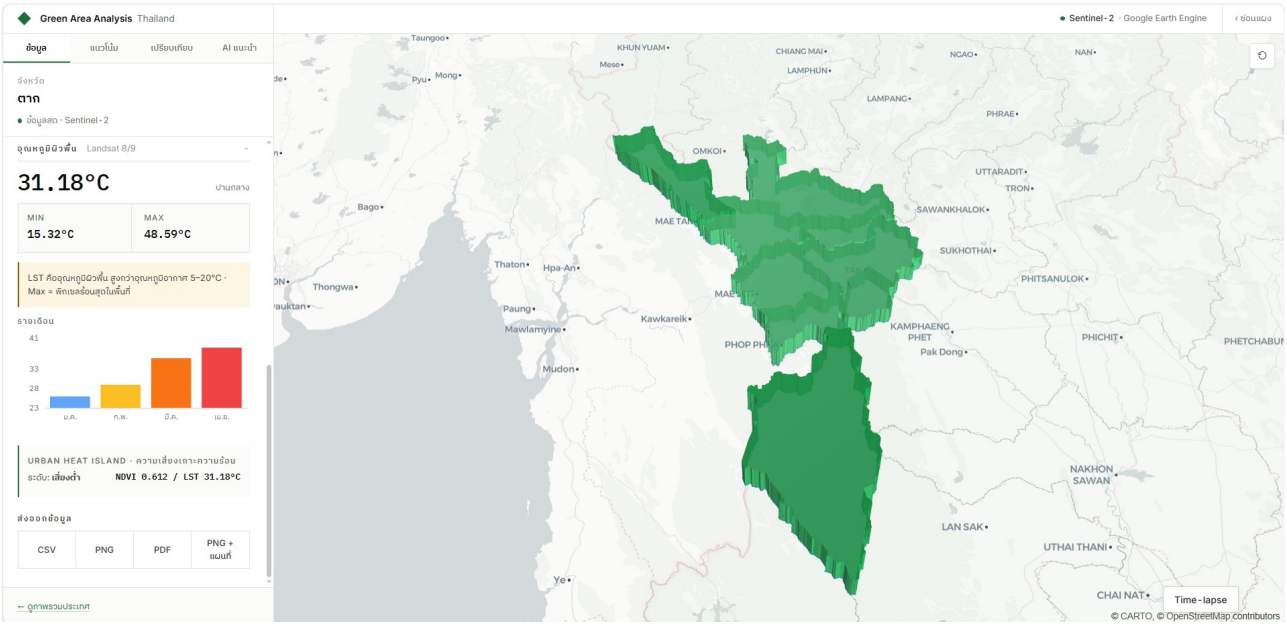
แสดงแผนที่ประเทศไทย 77 จังหวัด ที่ใช้ Deck.gl 3D extrusion วาดบน MapLibre GL JS พร้อม basemap ของ CARTO จังหวัดที่มีสีเขียวเข้ม (ภาคเหนือและภาคตะวันตก) คือจังหวัด ที่มีข้อมูล NDVI อยู่ใน Supabase cache แล้ว (18 จังหวัด) ส่วนสีเทาคือยังไม่มี cache แถบสถานะมุมขวาบนระบุแหล่งข้อมูล Sentinel-2 ผ่าน Google Earth Engine ฝั่งซ้ายเป็น Sidebar สำหรับเลือกปีและกดโหลดอันดับ ปุ่ม Time-lapse ที่มุมขวาล่างเปิดโหมดดูพัฒนาการย้อนหลัง

รูปที่ 7.3 — หน้ารายละเอียดจังหวัด — Tab "ข้อมูล" (NDVI ระดับจังหวัด)



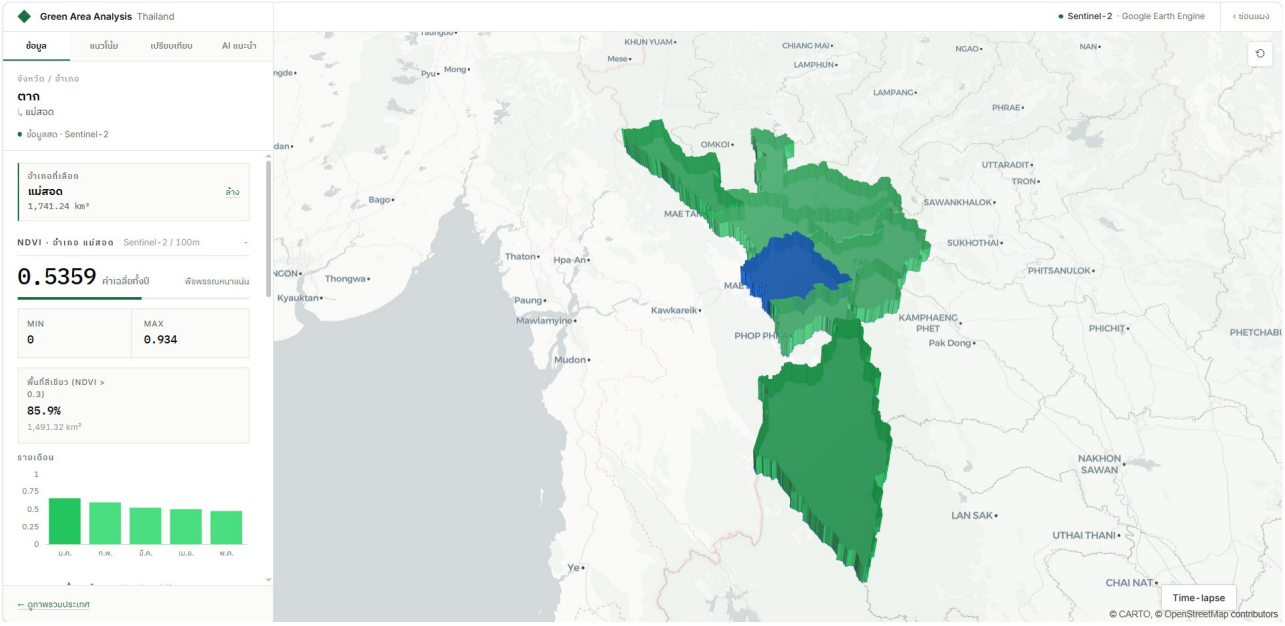
เมื่อผู้ใช้คลิกจังหวัดบนแผนที่ (ภาพแสดงจังหวัดตาก) Sidebar เปลี่ยนเป็น Tab "ข้อมูล" แสดง NDVI ค่าเฉลี่ยทั้งปี 0.6115 (พืชพรรณหนาแน่นมาก) ค่าต่ำสุด 0 ค่าสูงสุด 0.9141 พื้นที่จังหวัด 17,268.36 km² พื้นที่สีเขียว (NDVI > 0.3) 96% หรือ 16,520.59 km² พื้นที่สีเขียวต่อหัวประชากร 28,831.7 m² (ผ่านมาตรฐาน WHO 9 m²/คน) กราฟ NDVI รายเดือนแสดงการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ในแผนที่แสดงจังหวัดตากเป็น 3D extrusion พร้อม basemap รายละเอียดอำเภอ

รูปที่ 7.4 — หน้ารายละเอียดจังหวัด — Tab "ข้อมูล" (LST + Urban Heat Island)



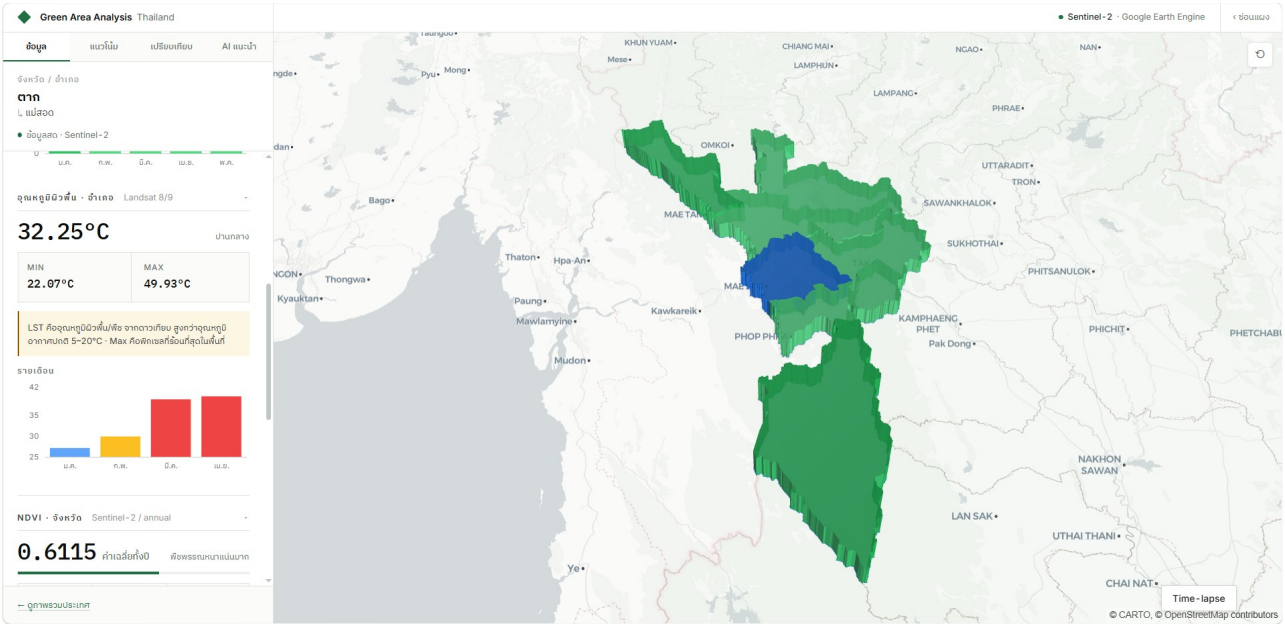
หน้าจอเดียวกันเลื่อนลงดู Land Surface Temperature (LST) จาก Landsat 8/9 อุณหภูมิผิวพื้นเฉลี่ย 31.18°C (ระดับปานกลาง) ค่าต่ำสุด 15.32°C ค่าสูงสุด 48.59°C กราฟแท่ง LST รายเดือนใช้สีแสดงระดับอุณหภูมิ (น้ำเงิน → แดง) กล่อง Urban Heat Island ประเมินความเสี่ยงเกาะความร้อนเป็น "เสี่ยงต่ำ" จากการรวม NDVI 0.612 และ LST 31.18°C ส่วนล่างของ Sidebar มีปุ่มส่งออกข้อมูล เป็น CSV, PNG, PDF และ PNG + แผนที่

รูปที่ 7.5 — การ Drill-Down ระดับอำเภอ — NDVI ของอำเภอแม่สอด



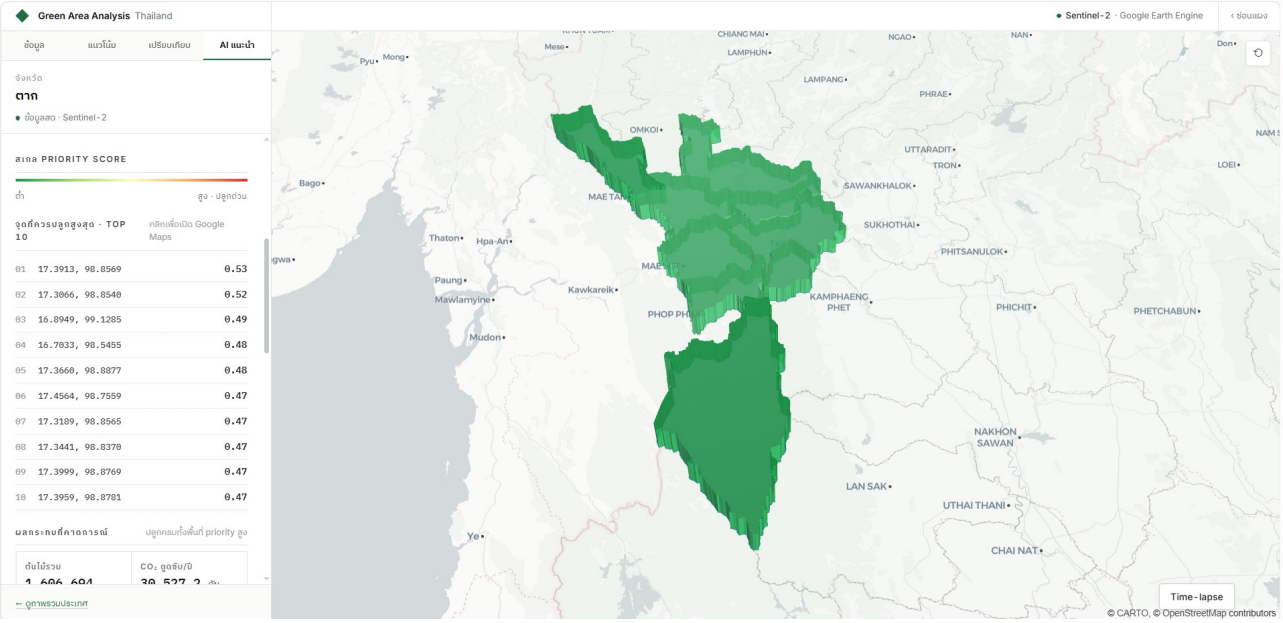
ระบบรองรับการวิเคราะห์ลงลึกถึงระดับอำเภอ (928 อำเภอทั่วประเทศจาก GADM v4.1) ภาพแสดงการคลิกเลือก "อำเภอแม่สอด" จากจังหวัดตาก พื้นที่อำเภอ 1,741.24 km² NDVI เฉลี่ยทั้งปี 0.5359 (พืชพรรณหนาแน่น แต่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจังหวัดที่ 0.6115 เพราะเป็นเขตเมืองชายแดน) ค่าต่ำสุด 0 ค่าสูงสุด 0.934 พื้นที่สีเขียว (NDVI > 0.3) 85.9% หรือ 1,491.32 km² ในแผนที่ ระบบแสดงอำเภอแม่สอดด้วยสีฟ้าเข้ม (highlight) เพื่อแยกจากอำเภออื่นในจังหวัดเดียวกัน ที่ยังคงสีเขียวตามค่า NDVI เดิม ทำให้ผู้ใช้เห็นบริบทรอบข้างได้ด้วย

รูปที่ 7.6 — การ Drill-Down ระดับอำเภอ — LST ของอำเภอแม่สอด



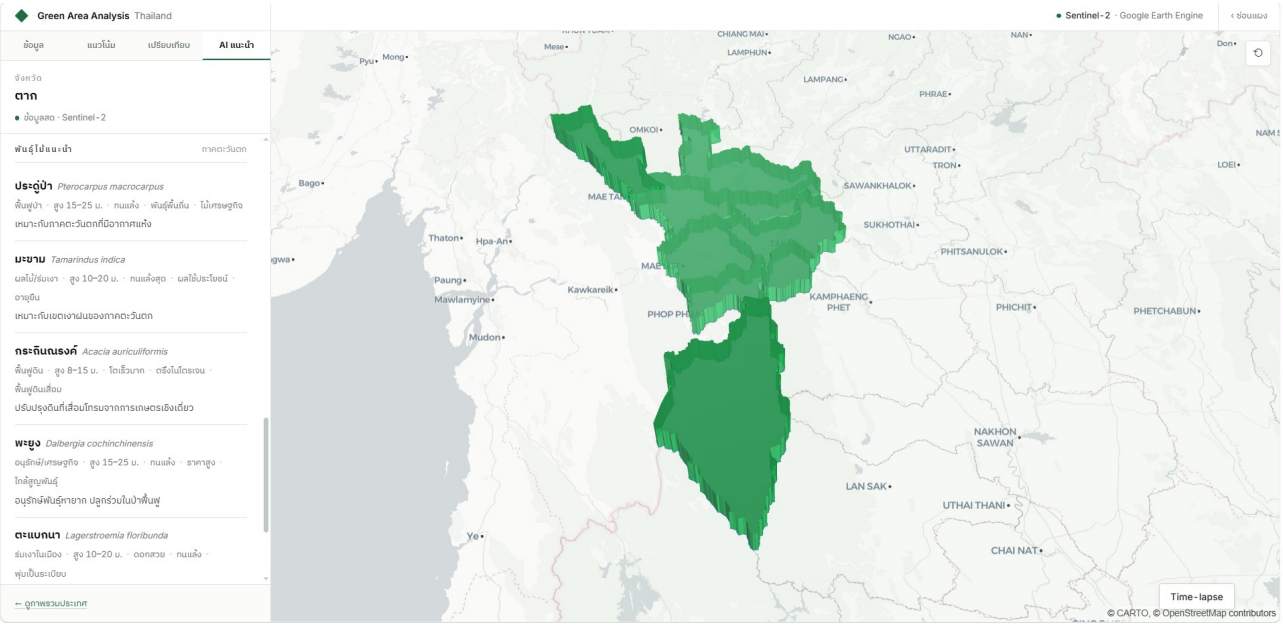
หน้าจอเดียวกัน Tab "ข้อมูล" เลื่อนลงดู LST ระดับอำเภอ อุณหภูมิผิวพื้นเฉลี่ย 32.25°C (สูงกว่าค่าเฉลี่ยจังหวัด 31.18°C เนื่องจากเป็นเขตเมือง) ค่าต่ำสุด 22.07°C ค่าสูงสุด 49.93°C กราฟแท่งรายเดือนแสดงแนวโน้มร้อนขึ้นจาก ม.ค. (สีน้ำเงิน 28°C) ถึง เม.ย. (สีแดง 38°C) สะท้อนรูปแบบฤดูร้อนของไทย ที่ด้านล่างของ Sidebar มีข้อมูล NDVI ของจังหวัดตากเทียบให้ดูพร้อมกัน (0.6115) เพื่อให้เปรียบเทียบ ข้อมูลระดับจังหวัดและอำเภอได้ในมุมมองเดียว

รูปที่ 7.7 — Tab "AI แนะนำ" — Priority Score Top 10 + Impact Projection



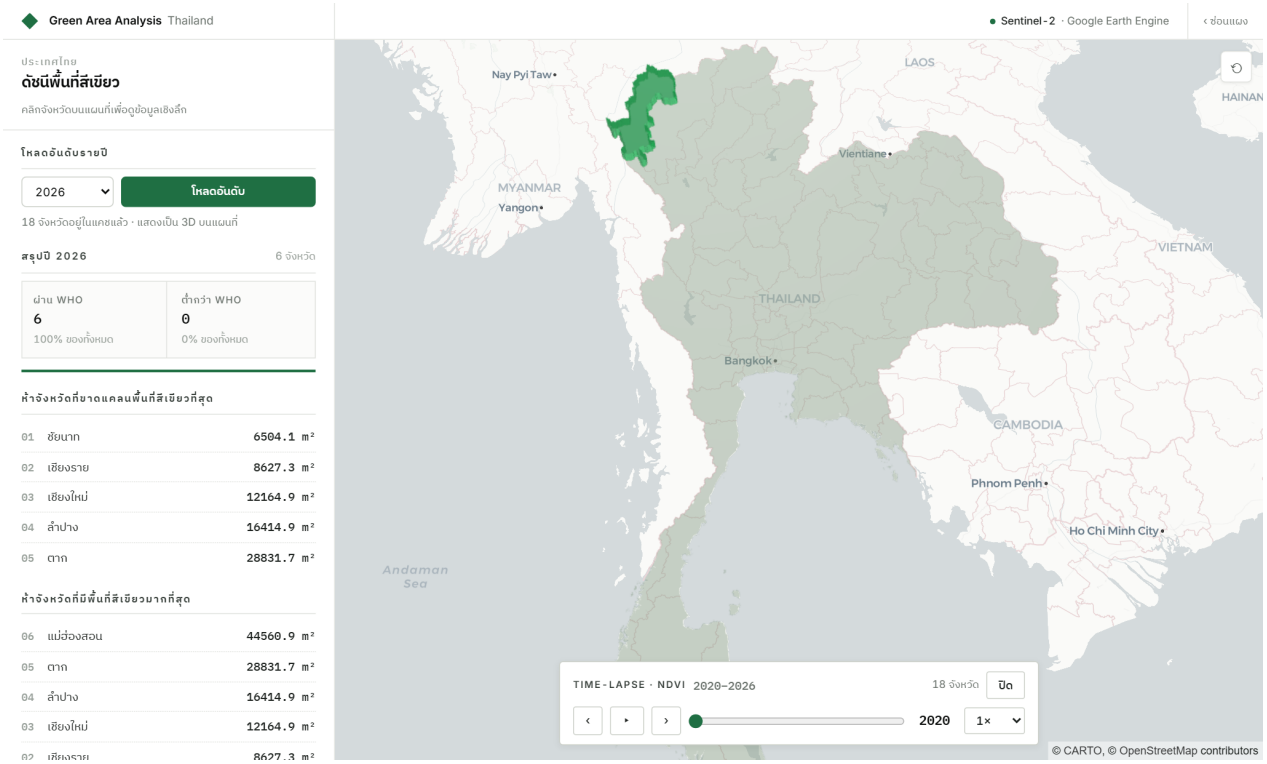
หัวใจสำคัญของระบบ — Tab "AI แนะนำ" แสดง Priority Score ที่คำนวณจาก NDVI deficit, LST heat และความหนาแน่นประชากร (WorldPop) จุดที่ควรปลูกสูงสุด TOP 10 พร้อมพิกัด ละติจูด/ลองจิจูดและคะแนน Priority (0.53-0.47) คลิกพิกัดเปิด Google Maps เพื่อ ดูตำแหน่งจริง ส่วนล่างคำนวณผลกระทบที่คาดการณ์ — ปลูกครบทั้งพื้นที่ priority สูง จะได้ต้นไม้รวม 1,606,694 ต้น ดูดซับ CO_2 ได้ประมาณ 30,527.2 ตันต่อปี (อิงสัมประสิทธิ์ IPCC 2019)

รูปที่ 7.8 — Tab "AI แนะนำ" — พันธุ์ไม้แนะนำตามภูมิภาค



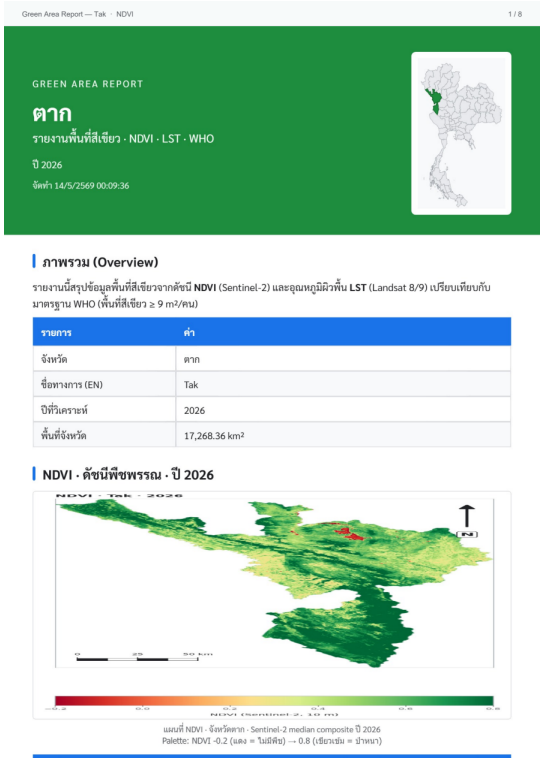
หน้าจอเลื่อนลงต่อจากรูปที่ 7.7 แสดงพันธุ์ไม้แนะนำสำหรับภาคตะวันตก (จังหวัดตาก) คัด 5 ชนิดที่เหมาะกับสภาพภูมิอากาศและดินของภาค ได้แก่ ประดู่ป่า (Pterocarpus macrocarpus), มะขาม (Tamarindus indica), กระถินณรงค์ (Acacia auriculiformis), พะยูง (Dalbergia cochinchinensis) และตะแบกนา (Lagerstroemia floribunda) แต่ละชนิดมีข้อมูลความสูงโตเต็มที่ คุณสมบัติเด่น และเหตุผลทางนิเวศที่เหมาะกับพื้นที่

รูปที่ 7.9 — ฟีเจอร์ Time-lapse — ดูพัฒนาการพื้นที่สีเขียวย้อนหลังหลายปี



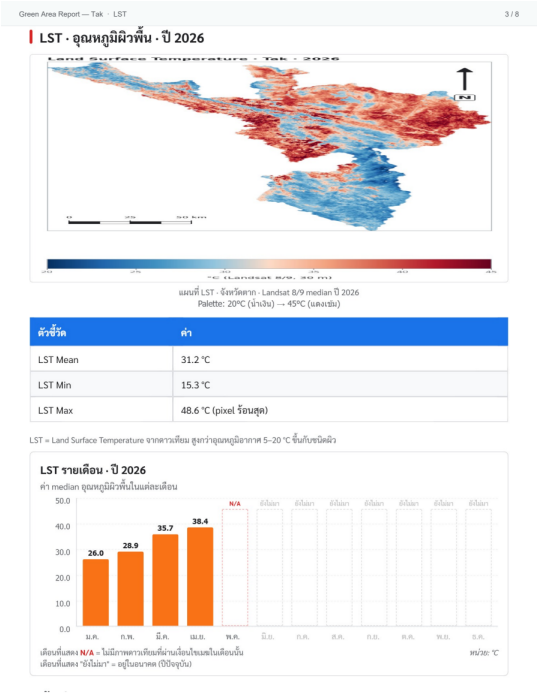
เมื่อกดปุ่ม Time-lapse ระบบเปิดแถบควบคุมด้านล่างของแผนที่ ผู้ใช้ลาก slider เลือกปี พ.ศ. 2563-2569 หรือกดปุ่ม Play เพื่อให้แผนที่อนิเมตการเปลี่ยนแปลง ค่า NDVI ในแต่ละปี ในภาพแสดงปี พ.ศ. 2563 ซึ่งมีข้อมูล cache เฉพาะ บางจังหวัดในภาคเหนือ ฟีเจอร์นี้ช่วยให้เห็นแนวโน้มการเสื่อมโทรมหรือฟื้นฟูของพื้นที่สีเขียวในระยะ 10+ ปี

รูปที่ 7.10 — ตัวอย่าง PDF Report ที่ระบบสร้าง — หน้าปก + แผนที่ NDVI



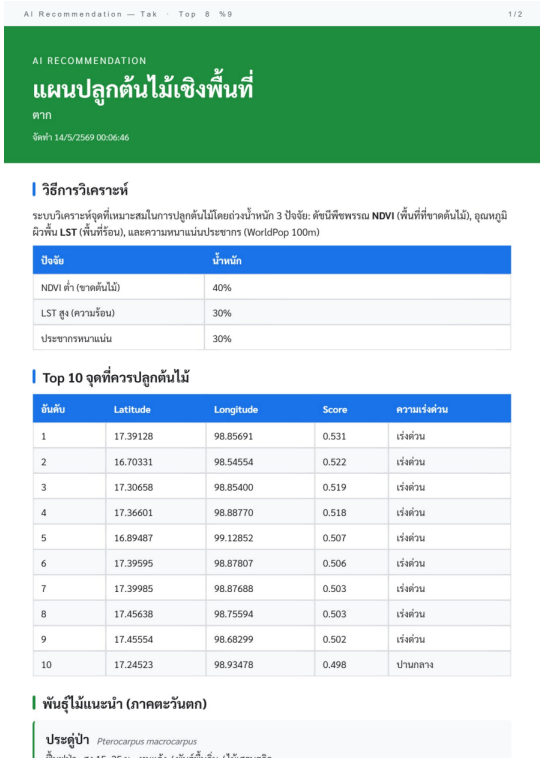
ตัวอย่างหน้า 1 ของไฟล์ PDF Report ที่ระบบ Export ออกมาจริง สำหรับจังหวัดตาก ปี พ.ศ. 2569 (ใช้ jsPDF + html2canvas สร้างฝั่ง Client) มีโครงสร้างคล้าย งานวิทยานิพนธ์ ประกอบด้วยหน้าปกระบุ "Green Area Report" + ชื่อจังหวัด ภาพประกอบ thumbnail ของประเทศไทยที่ highlight จังหวัด ตารางภาพรวม (จังหวัด/ชื่อทางการ/ปี/พื้นที่) และแผนที่ NDVI ของจังหวัดที่ render ผ่าน matplotlib พร้อม colorbar, ทิศเหนือ, scale bar และ palette อธิบายระดับสี ไฟล์ขนาดประมาณ 600 KB จำนวน 8 หน้า

รูปที่ 7.11 — ตัวอย่าง PDF Report — หน้า LST (Land Surface Temperature)



หน้าที่ 3 ของรายงานเดียวกัน แสดงแผนที่ LST ที่ render ด้วย matplotlib พร้อม colorbar ระดับ 20-45°C (น้ำเงิน → แดง) ทิศเหนือ และ scale bar 30 km ตารางสรุปค่า LST Mean 31.2°C, Min 15.3°C, Max 48.6°C (pixel ร้อนสุด) พร้อมกราฟแท่ง LST รายเดือนปี 2569 ที่แสดงค่า median รายเดือน ม.ค.-เม.ย. (26.0°C → 38.4°C) แสดงให้เห็นรูปแบบฤดูร้อน หน้ารายงานทั้งหมดออกแบบให้พิมพ์เป็นเล่มได้ทันที

รูปที่ 7.12 — ตัวอย่าง PDF Report — รายงาน AI Recommendation



AI Recommendation — Tak · Top 8 %9 1/2

AI RECOMMENDATION

แผนปลูกต้นไม้เชิงพื้นที่

ตาก

จัดทำ 14/5/2569 00:06:46

วิธีการวิเคราะห์

ระบบวิเคราะห์จุดที่เหมาะสมในการปลูกต้นไม้โดยถ่วงน้ำหนัก 3 ปัจจัย: ดัชนีพืชพรรณ **NDVI** (พื้นที่ที่ขาดต้นไม้), อุณหภูมิผิวพื้น **LST** (พื้นที่ร้อน), และความหนาแน่นประชากร (WorldPop 100m)

ปัจจัย	น้ำหนัก
NDVI ต่ำ (ขาดต้นไม้)	40%
LST สูง (ความร้อน)	30%
ประชากรหนาแน่น	30%

Top 10 จุดที่ควรปลูกต้นไม้

อันดับ	Latitude	Longitude	Score	ความเร่งด่วน
1	17.39128	98.85691	0.531	เร่งด่วน
2	16.70331	98.54554	0.522	เร่งด่วน
3	17.30658	98.85400	0.519	เร่งด่วน
4	17.36601	98.88770	0.518	เร่งด่วน
5	16.89487	99.12852	0.507	เร่งด่วน
6	17.39595	98.87807	0.506	เร่งด่วน
7	17.39985	98.87688	0.503	เร่งด่วน
8	17.45638	98.75594	0.503	เร่งด่วน
9	17.45554	98.68299	0.502	เร่งด่วน
10	17.24523	98.93478	0.498	ปานกลาง

พันธุ์ไม้แนะนำ (ภาคตะวันตก)

ประดู่ป่า *Pterocarpus macrocarpus*

ไฟล์ PDF แยกต่างหากสำหรับ AI Recommendation (recommend_report_Tak.pdf) ขนาด 2 หน้า ระบุ "วิธีการวิเคราะห์" (3 ปัจจัยพร้อมน้ำหนัก: NDVI 40%, LST 30%, ประชากรหนาแน่น 30%) ตาราง Top 10 จุดที่ควรปลูกต้นไม้พร้อมพิกัด Latitude/Longitude และคะแนน Priority Score (0.531-0.498) ระดับความเร่งด่วน "เร่งด่วน/ปานกลาง" และส่วนล่างเป็นพันธุ์ไม้แนะนำ ภาคตะวันตก เริ่มจากประดู่ป่า (Pterocarpus macrocarpus) รายงานนี้ใช้ส่งให้หน่วยงานท้องถิ่นนำไปวางแผนปลูกได้ทันที

ส่วนที่กำลังพัฒนาเพิ่มเติม: (1) Heatmap Layer ของ Priority Score บนแผนที่ (ปัจจุบันแสดงแค่ Top 10 พิกัดและ รายงาน PDF — ยังไม่ overlay บนแผนที่หลัก) · (2) Tab "เปรียบเทียบ" สำหรับเปรียบเทียบ NDVI/LST ระหว่างหลายจังหวัดในกราฟเดียว · (3) Urban Subset ที่ clip ด้วย ESA WorldCover Built-up เพื่อเปรียบเทียบ WHO เฉพาะเขตเมือง · (4) ระบบ Time-lapse สำหรับ LST (ปัจจุบันรองรับเฉพาะ NDVI) · (5) การ Deploy ขึ้น Production บน Vercel และ Render พร้อมตั้งค่า CORS + Rate Limiting

7.2 เทคนิคหรือเทคโนโลยีที่ใช้

7.2.1 ดัชนีพืชพรรณ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI เป็นดัชนีมาตรฐานที่บ่งชี้ความสมบูรณ์ของพืชพรรณ (Tucker, 1979) คำนวณจากค่าการสะท้อนของช่วงคลื่น Near-Infrared (NIR) และ Red ตามสูตรดังนี้:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

ค่า NDVI อยู่ในช่วง -1 ถึง 1 โดยค่าใกล้ 1 หมายถึงพืชพรรณหนาแน่น ค่าใกล้ 0 หมายถึงพื้นที่โล่งหรือสิ่งปลูกสร้าง และค่าติดลบหมายถึงน้ำ ในระบบ ใช้ข้อมูล Sentinel-2 SR Harmonized โดยกำหนดเกณฑ์ NDVI มากกว่า 0.3 ว่าเป็นพื้นที่สีเขียว และ NDVI มากกว่า 0.5 ว่าเป็นป่าหนาแน่น ระบบใช้ Cloud Masking ผ่าน band QA60 เพื่อกรองภาพที่ปกคลุมด้วยเมฆออก

7.2.2 อุณหภูมิผิวพื้น LST (Land Surface Temperature)

LST วัดจาก Thermal Band ของ Landsat 8 และ Landsat 9 (band ST_B10) ในระบบ Collection 2 Level 2 Science Product (USGS, 2022) แปลงเป็น องศาเซลเซียสด้วยสูตร:

$$LST\ (°C) = ST_B10 \times 0.00341802 + 149.0 - 273.15$$

ระบบใช้ Cloud Mask จาก band QA_PIXEL กรอง pixel ที่เป็นเมฆและ เงาเมฆออก กรองภาพที่มี cloud cover เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ออกก่อนคำนวณ ค่ามัธยฐาน เพื่อให้ได้ภาพ Composite ที่สะอาดในช่วงปีที่กำหนด

7.2.3 อัลกอริทึมจัดอันดับความสำคัญ (Priority Score)

นวัตกรรมหลักของโครงการคือการพัฒนา Priority Score ที่นำสามมิติของ ปัจจัยมาประกอบกัน เพื่อหาพื้นที่ที่ "ควรปลูกต้นไม้มากที่สุด" ตามสูตร:

$$Priority = w_1 \cdot NDVI_deficit + w_2 \cdot LST_heat + w_3 \cdot population_need$$

โดยค่าน้ำหนักเริ่มต้น w_1=0.40, w_2=0.30, w_3=0.30 (ปรับได้ผ่าน UI) แต่ละมิติ Normalize เป็นช่วง [0, 1] ด้วยสูตรดังนี้:

- **NDVI_deficit** = clamp((0.3 - NDVI) / 0.3, 0, 1) — พื้นที่ที่ NDVI ต่ำกว่า 0.3 ถือว่าขาดต้นไม้
- **LST_heat** = clamp((LST - 25) / 15, 0, 1) — พื้นที่ที่อุณหภูมิ 25 ถึง 40°C ถูก scale เป็น 0 ถึง 1
- **population_need** = clamp(ln(pop + 1) / ln(1000), 0, 1) — ใช้ log scale
  เนื่องจากความหนาแน่นประชากรในไทยกระจายหลาย order of magnitude

หลังคำนวณ Priority image ที่ความละเอียด 100 เมตร ระบบจะ sample 2000 จุด แล้วคัดเลือก top 10 ที่มี score สูงสุดเพื่อแสดงเป็นพิกัดแนะนำ ส่วน Heatmap layer ใช้ XYZ tile ที่ render ผ่าน Google Earth Engine พร้อมจานสี (green to red) สำหรับให้ผู้ใช้เห็นภาพรวม

7.2.4 ระบบแนะนำพันธุ์ไม้ตามภูมิภาค

โครงการแบ่งประเทศไทยออกเป็น 6 ภูมิภาค (เหนือ อีสาน กลาง ตะวันออก ตะวันตก ใต้) ตามสภาพภูมิอากาศและพันธุ์ไม้พื้นถิ่น แล้วคัดเลือกพันธุ์ไม้ 5 ชนิดต่อภูมิภาค (รวม 22 ชนิดทั่วประเทศ) โดยพิจารณาจากเกณฑ์: ความทนทาน การให้ร่มเงา การฟื้นฟูดิน การให้ผลผลิต และการอนุรักษ์พันธุ์พื้นถิ่น พันธุ์ไม้แต่ละชนิด มีข้อมูลประกอบ ได้แก่ ชื่อไทย ชื่อวิทยาศาสตร์ ความสูงโตเต็มที่ จุดประสงค์การใช้งาน คุณสมบัติเด่น และเหตุผลทางนิเวศ

7.2.5 การประมาณการณ์ผลกระทบ (Impact Projection)

หลังคำนวณพื้นที่ที่มี Priority score สูงกว่าเกณฑ์ 0.5 ระบบจะประมาณการณ์ผลกระทบเชิงปริมาณตามแนวทาง IPCC 2019 และ Bowler et al. 2010 ดังนี้:

ตัวชี้วัด	สูตร / ค่าอ้างอิง
ความหนาแน่นการปลูก	400 ต้นต่อเฮกตาร์ (FAO standard reforestation)
CO_2 ดูดซับต่อต้นต่อปี	แตกต่างตามชนิด 12 ถึง 32 กก. (อิง IPCC Tier 1)
ผลในการลดอุณหภูมิ	−1.5°C ที่ Canopy maturity (Bowler et al. 2010)
เทียบเท่ารถยนต์ออกถนน	CO_2 ตัน หารด้วย 4.6 (EPA 2023 baseline)
ระยะเวลาเติบโต	10 ถึง 15 ปี (เขตร้อน)

7.2.6 โครงสร้างข้อมูลและกลไกการ Cache

ระบบใช้ฐานข้อมูล PostgreSQL ผ่าน Supabase รวม 11 ตาราง แบ่งเป็นกลุ่ม NDVI (รายปีและรายเดือน ระดับจังหวัดและอำเภอ) กลุ่ม LST รูปแบบเดียวกัน ตาราง urban_ndvi_annual สำหรับ Urban subset ตาราง

planting_recommendations เก็บผล AI Recommend และ ตาราง province_population เก็บข้อมูลประชากร นอกจากนี้ Backend มี in-process TTL Cache สำหรับ Tile URL ของ Google Earth Engine (อายุ 30 นาที จุประสงค์เพื่อลดเวลา Cache Hit จาก 30 วินาที ลงเหลือต่ำกว่า 50 มิลลิวินาที)

7.3 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนา

ภาษาโปรแกรม

- **Python 3.12** — สำหรับ Backend API และ data pipeline
- **JavaScript ES2022** — สำหรับ Frontend (React 19)
- **SQL (PostgreSQL)** — สำหรับ Schema และ Query ฐานข้อมูล
- **Earth Engine API (JavaScript Style)** — สำหรับ remote sensing pipeline

Backend Frameworks และ Libraries

Library	หน้าที่
FastAPI 0.110+	Web framework แบบ async ที่มี OpenAPI ในตัว
Uvicorn	ASGI server สำหรับ production
earthengine-api	Python client ของ Google Earth Engine
supabase-py	Client สำหรับเชื่อมต่อ Supabase Postgres
matplotlib + Pillow	สร้าง Thumbnail แผนที่ NDVI/LST พร้อม colorbar และ legend
slowapi	Rate limiting (60 requests ต่อ IP ต่อนาที)
httpx	HTTP client async สำหรับเรียก thumbnail จาก GEE
pytest	Test framework สำหรับ unit tests

Frontend Frameworks และ Libraries

Library	หน้าที่
React 19	UI framework หลัก
Deck.gl 9.3	WebGL2 visualization สำหรับ 3D extrusion map
MapLibre GL JS	Open-source basemap (positron-gl-style)
react-map-gl	React wrapper สำหรับ MapLibre
Turf.js	Geospatial calculations (centroid, bbox, area)
Recharts	กราฟ NDVI/LST รายเดือนและรายปี
jsPDF + html2canvas	สร้าง PDF Report ในฝั่ง Client
jspdf-autotable	ตารางใน PDF

Infrastructure และ Services

- **Google Earth Engine** — Compute platform สำหรับ remote sensing
- **Supabase** — Postgres + Storage + Authentication (ใช้ service role key)
- **Vercel** — Static hosting สำหรับ Frontend
- **Render / Railway** — Container hosting สำหรับ Backend

- **Git + GitHub** — Version control

Development Tools

- Visual Studio Code, PyCharm — IDE หลัก
- Postman, Swagger UI — ทดสอบ API
- Chrome DevTools, React DevTools — Debug Frontend
- Figma — ออกแบบ UI/UX

7.4 รายละเอียดโปรแกรมที่จะพัฒนา (Software Specification)

7.4.1 Input Specification

Parameter	ชนิด	หมายเหตุ
province	String (English)	ชื่อจังหวัด เช่น "Bangkok Metropolis"
district	String (Optional)	ชื่ออำเภอ ใช้สำหรับ analysis รายอำเภอ
year	Integer (2015-current)	ปีที่ต้องการวิเคราะห์
start_year, end_year	Integer	ใช้สำหรับ Time-lapse และ Time-series
w_ndvi, w_lst, w_pop	Float [0-1]	น้ำหนัก Priority Score (optional)

7.4.2 Output Specification

Field	ชนิด	หมายเหตุ
ndvi_mean, ndvi_min, ndvi_max	Float [-1, 1]	สถิติ NDVI
green_area_pct, green_area_km2	Float	พื้นที่สีเขียวเป็น % และ km^2
green_area_m2_per_person	Float	พื้นที่สีเขียวต่อคน
who_status	String	ผ่าน/ไม่ผ่านมาตรฐาน WHO 9 m^2/คน
lst_mean, lst_min, lst_max	Float (°C)	สถิติอุณหภูมิ
tile_url	String (URL)	XYZ tile URL ของ Heatmap
top_locations	Array	10 พิกัด (lng, lat, score) ที่ priority สูงสุด
recommended_species	Object	พันธุ์ไม้แนะนำตามภาค (5 ชนิด)
impact	Object	trees_total, CO_2 tonnes, equivalent cars, ΔLST

7.4.3 Functional Requirements

FR-01: คำนวณค่า NDVI รายปีและรายเดือน ระดับจังหวัดและอำเภอ
FR-02: คำนวณค่า LST รายปีและรายเดือน ระดับจังหวัดและอำเภอ
FR-03: แสดงแผนที่ NDVI/LST แบบ 3D extrusion ผ่าน Deck.gl
FR-04: เปรียบเทียบจังหวัดได้พร้อมกันหลายจังหวัด
FR-05: จัดอันดับจังหวัดตามค่าพื้นที่สีเขียวต่อคน
FR-06: คำนวณ AI Priority Score และแสดงเป็น Heatmap layer
FR-07: แสดง 10 พิกัดที่ควรปลูกต้นไม้มากที่สุด พร้อม priority score
FR-08: แนะนำพันธุ์ไม้ตามภูมิภาค พร้อมข้อมูลประกอบและเหตุผลทางนิเวศ

FR-09: ประมาณการณ์ CO_2 sequestration และ cooling effect
FR-10: Time-lapse animation แสดง NDVI ย้อนหลังหลายปี
FR-11: Time-series chart แสดงแนวโน้มย้อนหลัง 5 ปี
FR-12: Urban Subset ที่ clip ด้วย ESA WorldCover Built-up
FR-13: ส่งออก PDF Report คุณภาพระดับวิทยานิพนธ์
FR-14: รองรับการปรับ Weight ของ Priority Score ผ่าน UI
FR-15: Cache invalidation (admin only) ด้วย ADMIN_TOKEN
FR-16: Rate limiting 60 requests ต่อ IP ต่อนาที

7.4.4 Non-Functional Requirements

NFR-01 Performance
API response time น้อยกว่า 2 วินาที สำหรับ cache hit และไม่เกิน 60 วินาทีสำหรับ cache miss (รวมการคำนวณ GEE)

NFR-02 Scalability
รองรับ concurrent users พร้อมกันอย่างน้อย 100 sessions ผ่าน Rate Limiting และ Caching layer

NFR-03 Usability
UI ออกแบบให้ผู้ใช้ที่ไม่มีพื้นฐาน GIS ใช้งานได้ รองรับภาษาไทยและอังกฤษ มี Tooltip อธิบายค่า NDVI/LST

NFR-04 Reliability
Cache fallback หาก GEE quota หมด, retry-on-disconnect สำหรับ Supabase, comprehensive logging ทุก endpoint

NFR-05 Security
CORS configuration, Admin endpoints มี Token-based auth, service role key เก็บใน environment variables ไม่อยู่ใน source code

NFR-06 Maintainability
Code separation ระหว่าง routers, helpers, และ business logic, Type-hinted Python และ Pydantic schemas, OpenAPI documentation อัตโนมัติผ่าน /docs

7.4.5 Design (Architecture)

ระบบใช้ Three-tier architecture: **Presentation Tier** (React 19 Single Page Application) สื่อสารกับ **Application Tier** (FastAPI REST API) ที่จัดการ business logic ทั้งหมด ส่วน **Data Tier** ประกอบด้วย Supabase Postgres สำหรับ cache และ Google Earth Engine สำหรับ raw remote sensing data การออกแบบเน้น loose coupling ระหว่าง tier โดยใช้ JSON over HTTPS เป็น contract ตามมาตรฐาน OpenAPI 3.0

โครงสร้างไฟล์ของระบบจัดเป็น Monorepo ที่แยก Frontend และ Backend ออกจากกันชัดเจน แต่ละโมดูลมี responsibility ที่ชัดเจน เช่น Backend มี routers แบ่งเป็น ndvi.py / lst.py / recommend.py / maps.py helper modules เช่น gee_utils.py สำหรับ cloud masking และ dependencies.py สำหรับ Supabase client และ geometry loading

7.5 ขอบเขตและข้อจำกัดของโปรแกรมที่พัฒนา

Cloud Cover ของภาพดาวเทียม

ภาคใต้และพื้นที่ฝนชุก อาจมีภาพ Sentinel-2 ที่ผ่าน cloud filter น้อย ทำให้ค่า NDVI ในบางเดือนมีความไม่แน่นอนสูง ระบบจะ fallback ไปใช้ภาพที่ cloud cover ไม่เกิน 80% หากภาพคุณภาพดีกว่านี้ไม่พอ

ความครอบคลุมของ WorldPop
ข้อมูลประชากร WorldPop GP/100m ของไทยปัจจุบันมีถึงปี 2021 ทำให้การเปรียบเทียบกับมาตรฐาน WHO ในปีปัจจุบันอาจคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจาก demographic change

GEE Quota และความเร็ว
การ Compute ครั้งแรกของจังหวัดหนึ่ง ใช้เวลา 30-60 วินาที (ขึ้นกับขนาดจังหวัด) ระบบจึงต้องพึ่ง cache layer อย่างหนัก รุ่น Free tier ของ GEE มี quota 25 ขอนำเข้า ต่อนาที — ระบบจึงตั้ง rate limit 60 req/min

Priority Score เป็น Proxy ไม่ใช่ Ground Truth
คะแนน Priority เป็นการประมาณการณ์ที่อิง remote sensing เท่านั้น ไม่ได้พิจารณา ปัจจัยอื่น เช่น สิทธิ์การถือครองที่ดิน การใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือข้อจำกัดทางวิศวกรรม การปลูกจริงต้องสำรวจหน้างานเพิ่ม

Cooling Effect เป็นค่าเฉลี่ย
ค่า -1.5°C ที่ใช้ประมาณ ΔLST เป็นค่าเฉลี่ยจาก meta-analysis ของ Bowler et al. 2010 ในพื้นที่จริงค่า cooling จะแปรผันตามชนิดต้นไม้ ความหนาแน่น ของ canopy และ microclimate รอบข้าง

ESA WorldCover เป็น Snapshot
ข้อมูล Built-up area จาก ESA WorldCover v200 เป็นภาพถ่ายปี 2021 ใช้เป็น proxy ของเขตเมืองในทุกปีที่วิเคราะห์ ทำให้ Urban Subset ของปี 2025 อาจไม่สะท้อนการขยายตัวของเมืองหลังปี 2021

ภาษาและประเทศ
ระบบรองรับเฉพาะภาษาไทยและภาษาอังกฤษ และวิเคราะห์เฉพาะพื้นที่ในประเทศไทยเท่านั้น (GADM v4.1 boundaries)

Browser Requirements
การแสดงแผนที่ 3D ต้องใช้ Browser ที่รองรับ WebGL2 (Chrome / Firefox / Edge รุ่นใหม่) อาจมีปัญหาบนเครื่องที่กราฟิกเก่ามาก

8 บรรณานุกรม (Bibliography)

บรรณานุกรมนี้รวบรวมแหล่งอ้างอิงทั้งทางวิชาการและทางเทคนิคที่ใช้ในการพัฒนาระบบ รวมทั้งสิ้น 31 รายการ (วิชาการ 23 + มาตรฐาน/เทคนิค 8) รายการเต็มพร้อม traceability ไปยังแต่ละ requirement และไฟล์โค้ดที่เกี่ยวข้อง ดูได้ใน REQUIREMENTS.md §6-7 ของโปรเจกต์

แหล่งอ้างอิงทางวิชาการ (Academic Sources)

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. Landscape and Urban Planning, 97(3), 147-155. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006

Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., et al. (2014). Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. Global Change Biology, 20(10), 3177-3190. https://doi.org/10.1111/gcb.12629

Dong, H., Tang, L., Liu, J., Hu, X., & Shao, G. (2025). Remote sensing of urban tree carbon stocks: A methodological review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 227.

Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., et al. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. Remote Sensing of Environment, 120, 25-36. https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026

Fulton, A. J., Ries, P. D., & Riley, G. E. (2025). Where Are the Benefits of Trees Needed Most? A Comparison of Equity-Based Mapping Tools in Austin, Texas. Arboriculture & Urban Forestry, 52(4). https://doi.org/10.48044/jauf.2025.020

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18-27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Konijnendijk, C. C. (2023). Evidence-based guidelines for greener, healthier, more resilient neighbourhoods: Introducing the 3-30-300 rule. Journal of Forestry Research, 34, 821-830. https://doi.org/10.1007/s11676-022-01523-z

Lee, J., Lim, J., Lee, J., Park, J., & Won, M. (2024). Ground-Based NDVI Network: Early Validation Practice with Sentinel-2 in South Korea. Sensors, 24(6), 1892. https://doi.org/10.3390/s24061892

Malakar, N. K., Hulley, G. C., Hook, S. J., Laraby, K., Cook, M., & Schott, J. R. (2018). An Operational Land Surface Temperature Product for Landsat Thermal Data: Methodology and Validation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 56(10), 5717-5735. https://doi.org/10.1109/TGRS.2018.2824828

Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. Econometrica, 13(3), 245-259. https://www.jstor.org/stable/1907187 ; Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods (4th ed.). London: Griffin.

Mehmood, K., Anees, S. A., Muhammad, S., Hussain, K., Shahzad, F., Liu, Q., Ansari, M. J., Alharbi, S. A., & Khan, W. R. (2024). Analyzing vegetation health dynamics across seasons and regions through NDVI and climatic variables. Scientific Reports, 14, 11775. https://doi.org/10.1038/s41598-024-62464-7

Nyelele, C., et al. (2022). A comparison of tree planting prioritization frameworks (i-Tree Landscape vs. spatial decision support tool). Urban Forestry & Urban Greening / USDA Forest Service. https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2022/nrs_2022_nyelele_001.pdf

Pasquarella, V. J., Brown, C. F., Czerwinski, W., & Rucklidge, W. J. (2023). Comprehensive Quality Assessment of Optical Satellite Imagery Using Weakly Supervised Video Learning. IEEE/CVF CVPR Workshops (EarthVision), 2125-2135. https://doi.org/10.1109/CVPRW59228.2023.00206

Rouse, J. W. Jr., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973/1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, NASA SP-351, 309-317. https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614

Tatem, A. J. (2017). WorldPop, open data for spatial demography. Scientific Data, 4, 170004. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.4

A multi-objective decision support framework to prioritize tree planting locations in urban areas. (2021). Landscape and Urban Planning. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204621001353

Towards "Right Tree, Right Place" in urban environments: A systematic review of decision-support methods and tools for urban tree planting. (2026). Urban Forestry & Urban Greening. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866726000750

Quantifying Regulating Ecosystem Services of Urban Trees using i-Tree Eco. (2024). Forests, 15(8), 1446. https://www.mdpi.com/1999-4907/15/8/1446

Network-based assessment of urban forest and green space accessibility in six major cities (London, New York, Paris, Tokyo, Seoul, Beijing). (2025). Urban Forestry & Urban Greening. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866725001153

GIS-based analysis for assessing the accessibility at hierarchical levels of urban green spaces. (2016). Urban Forestry & Urban Greening. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S161886671630019X

An Application of the Grid-Based Two-Step Floating Catchment Area Method to Assess the Spatial Accessibility of Green Spaces in Seoul, South Korea. (2026). ISPRS International Journal of Geo-Information, 15(2), 71. https://doi.org/10.3390/ijgi15020071

On the Suitability of Different Satellite Land Surface Temperature Products to Study Surface Urban Heat Islands. (2024). Remote Sensing, 16(20), 3765. https://doi.org/10.3390/rs16203765

The cooling effect of urban green spaces as nature-based solutions for mitigating urban heat: insights from a decade-long systematic review. (2025). Climate Risk Management, e00731.

แหล่งอ้างอิงด้านมาตรฐานและรายงานทางเทคนิค

American Forests. (2024). Tree Equity Score: Methodology. https://www.treeequityscore.org/methodology

Google. Cloud Score+ S2_HARMONIZED V1 [dataset documentation]. Google Earth Engine Data Catalog. https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/GOOGLE_CLOUD_SCORE_PLUS_V1_S2_HARMONIZED

Hijmans, R. J., Garcia, N., & Wieczorek, J. (2021). GADM database of Global Administrative Areas, version 4.1. University of California, Berkeley.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Chapter 4: Forest Land. Geneva: IPCC.

U.S. Environmental Protection Agency. (2023). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. EPA-420-F-23-014. Washington, D.C.: U.S. EPA.

U.S. Geological Survey. (2022). Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide. Version 5.0. Sioux Falls, SD: USGS EROS Center.

World Health Organization, Regional Office for Europe. (2017). Urban green spaces: a brief for action. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., et al. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221

9 ประวัติและผลงานด้านวิชาการของผู้พัฒนาโครงการ

ทีมพัฒนาประกอบด้วยนิสิตชั้นปีที่ 3 สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา จำนวน 3 คน มีความเชี่ยวชาญและสามารถใช้เครื่องมือพัฒนาที่จำเป็นได้ครบถ้วน

9.1 นาย อติชาติ ผาแสนเถิน (หัวหน้าทีม)

การศึกษา: กำลังศึกษาปริญญาตรีปีที่ 3 สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

ทักษะหลัก:

- Full-stack development — React 19, FastAPI, PostgreSQL
- Remote Sensing และ Geospatial Analysis — Google Earth Engine, GIS
- System Architecture — RESTful API design, Caching strategies, Database design
- DevOps พื้นฐาน — Git, CI/CD, Deployment บน Vercel และ Render

บทบาทในโครงการ:

- ออกแบบสถาปัตยกรรมระบบ และพัฒนา Backend ทั้งหมด (FastAPI + GEE Pipeline)

- พัฒนา AI Priority Score algorithm และระบบแนะนำพันธุ์ไม้
- ออกแบบ Database Schema สำหรับ Supabase (11 ตาราง พร้อม Cache versioning)
- พัฒนาฟีเจอร์ Time-lapse และ Impact projection

9.2 นาย ชยากร เตชะพัฒนาวงศ์ (ผู้ร่วมทีม)

การศึกษา: กำลังศึกษาปริญญาตรีปีที่ 3 สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

ทักษะหลัก:

- Backend Development — Python, FastAPI, REST API
- Database Design — PostgreSQL, Schema Migration
- API Testing — Postman, Pytest

บทบาทในโครงการ:

- พัฒนา endpoint สำหรับ NDVI/LST monthly data
- พัฒนาระบบ rate limiting และ admin authentication
- ทดสอบและ optimize query ของ Supabase

9.3 นาย รัชชานนท์ รัตนสุวรรณ (ผู้ร่วมทีม)

การศึกษา: กำลังศึกษาปริญญาตรีปีที่ 3 สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยพะเยา

ทักษะหลัก:

- Frontend Development — React, JavaScript ES2022, CSS
- Data Visualization — Deck.gl, MapLibre GL JS, Recharts
- UI/UX Design — Figma, Responsive Design

บทบาทในโครงการ:

- พัฒนา UI ส่วน Sidebar, Tabs (Stats, Trend, Compare, Recommend)
- พัฒนาระบบ Map Visualization ด้วย Deck.gl 3D extrusion
- พัฒนาระบบ Export PDF ฝั่ง Frontend (jsPDF + html2canvas)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ: นาย ธรรมรัตน์ ธรรมา (ปริญญาโท) สังกัด มหาวิทยาลัยพะเยา · ทำหน้าที่ให้คำปรึกษาด้านวิธีวิทยา การวิเคราะห์ข้อมูล และการนำเสนอผลงาน ตลอดระยะเวลาการพัฒนาโครงการ