

การประเมินพื้นที่เสี่ยงภัยจากการเคลื่อนตัวของผิวดินในประเทศไทย โดยใช้เทคนิค SBAS-InSAR ร่วมกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

Assessment of Ground Surface Displacement and Landslide Risk in Thailand Using SBAS-InSAR and Geographic Information Systems

จิตติพัฒน์ เพ็ญภูธร¹ ปิณณทัต พันธุ์แดง² และ รศ.ดร.จิรวัตร บุญญะรัฐ³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

การศึกษานี้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ภาพเรดาร์จากดาวเทียมแบบสังเคราะห์ช่องเปิดโดยวิธีช่วงฐานจำกัดขนาดเล็ก (Small Baseline Subset – SBAS) ร่วมกับชุดคำสั่ง MintPy ในการประมวลผลภาพจากดาวเทียม Sentinel-1 ที่ใช้คลื่นเรดาร์ย่านซี (C-band) จากแนวโคจรขาขึ้น เพื่อวิเคราะห์และติดตามการเคลื่อนตัวของผิวดินในบริเวณภาคเหนือและกรุงเทพมหานคร ในช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2568 โดยเริ่มต้นจากการคัดกรองและตัดกรอบพื้นที่สนใจ (พื้นที่ศึกษา) เพื่อจำกัดขอบเขตข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลเชิงซ้อนจากการประมวลผลครั้งเดียว (Single Look Complex – SLC) มาประมวลผลเพื่อสร้างภาพเปรียบเทียบคลื่นเรดาร์ (อินเตอร์เฟอโรแกรม) สำหรับชุดข้อมูล SBAS โดยเลือกคู่ภาพที่มีระยะห่างเชิงพื้นที่ไม่เกิน 200 เมตร และระยะเวลาห่างกันไม่เกิน 12 วัน เพื่อนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา และคำนวณอัตราการเคลื่อนตัว พร้อมทั้งเลือกจุดอ้างอิงที่มีการเคลื่อนตัวน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังนำข้อมูลความเร็วและลำดับเวลาการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งผิวดินเข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (QGIS) เพื่อจัดทำแผนที่เชิงพื้นที่และวิเคราะห์รูปแบบการเคลื่อนตัว ทำให้สามารถระบุพื้นที่เสี่ยงภัยที่มีอัตราการเคลื่อนตัวเกินเกณฑ์วิกฤตได้อย่างแม่นยำ งานวิจัยนี้ยังได้เปรียบเทียบแนวโน้มการทรุดตัวของผิวดินกับข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน และแผนที่เสี่ยงภัยจากการเกิดดินโคลนถล่ม ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย ได้แก่ การบูรณาการข้อมูลจากเทคนิคอินเตอร์เฟอโรเมตรีในลักษณะใกล้เคียงเวลาจริง (near-real time) เพื่อติดตามการทรุดตัวของผิวดิน และใช้ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสนับสนุนมาตรการเตือนภัยการเกิดดินโคลนถล่มในอนาคต

คำสำคัญ: InSAR, SBAS, MintPy, Displacement, QGIS

Abstract

This study presents the application of Small Baseline Subset Interferometric Synthetic Aperture Radar (SBAS-InSAR) in conjunction with the MintPy processing package to analyze satellite radar imagery from the Sentinel-1 mission (C-band, ascending orbit) for the purpose of monitoring ground surface displacement in Northern Thailand and the Bangkok Metropolitan Region between 2018 and 2025.

The analysis begins with the selection and cropping of the area of interest (AOI), followed by the generation of interferograms from image pairs with spatial baselines not exceeding 200 meters and temporal baselines of no more than 12 days. These are used for time-series analysis and the estimation of annual displacement rates, referencing the most stable point in the dataset.

The resulting displacement velocity maps and time-series data are integrated into a Geographic Information System (QGIS) for spatial analysis. The results are compared against groundwater level data and landslide hazard maps provided by governmental agencies to evaluate the consistency of the observed displacement trends with official hazard assessments.

This study proposes the use of near-real-time InSAR data integration as a decision-support tool for early warning systems in landslide-prone areas.

Keywords: InSAR, SBAS, MintPy, Displacement, QGIS

1 บทนำ

การวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบภาพจากเรดาร์แบบสังเคราะห์ช่องเปิด (Interferometric Synthetic Aperture Radar – InSAR) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ข้อมูลจากภาพถ่ายดาวเทียมในการวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของผิวดินในระดับมหภาค ครอบคลุมพื้นที่เป็นอาณาบริเวณกว้างได้ ด้วยข้อดีดังกล่าวจึงมีผู้นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลก ปัจจุบันได้รับการพัฒนาจนสามารถตรวจวัดการเคลื่อนตัวของผิวดินได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง และแบ่งออกตามเทคนิคย่อยได้หลายวิธี ในการศึกษานี้จะใช้การวิเคราะห์แบบช่วงฐานจำกัดขนาดเล็ก (Small Baseline Subset InSAR– SBAS InSAR) เป็นเครื่องมือในการศึกษา ซึ่งเทคนิคดังกล่าวจะคัดเลือกคู่ภาพที่มีระยะห่างเชิงพื้นที่และระยะห่างเชิงเวลาในระดับต่ำเพื่อให้ภาพเปรียบเทียบคลื่นเรดาร์มีสัญญาณรบกวนน้อย จุดสำคัญในการวิเคราะห์คือ การเลือกจุดอ้างอิง (reference point) และวันอ้างอิง (reference date) ที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดความเอนเอียงของผลลัพธ์เบื้องต้น การวิเคราะห์ตามวิธี SBAS InSAR จะดำเนินการด้วย

ไลบรารี MintPy (Miami InSAR Time-series software in Python) ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับกระบวนการวิเคราะห์โดยเทคนิค SBAS ตั้งแต่การตัดกรอบภาพ (clipping) การสร้างอินเตอร์เฟอแกรม การวิเคราะห์ข้อมูลตามลำดับเวลา และการสร้างแผนที่ความเร็วของการเคลื่อนตัว งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิค SBAS InSAR มาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของผิวดิน เช่น การทรุดตัวของพื้นดินในกรุงเทพมหานคร และการเคลื่อนตัวของผิวดินในพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มบริเวณภาคเหนือ ซึ่งส่งผลกระทบต่อโครงสร้างพื้นฐาน ระบบระบายน้ำ และความปลอดภัยของประชาชน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ

-ประยุกต์ใช้ SBAS-InSAR ร่วมกับ MintPy ในการประมวลผลภาพ Sentinel-1 C-band สำหรับพื้นที่ภาคเหนือและกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2561–2568

-วิเคราะห์อัตราการเคลื่อนตัว (displacement rate) รายปีในพื้นที่ภาคเหนือ และระบุพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม โดยพิจารณาจากอัตราการเคลื่อนตัวเทียบกับเกณฑ์วิกฤติ

-นำผลการวิเคราะห์ซึ่งได้แก่ การเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาและอัตราการเคลื่อนตัว เข้าสู่ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (QGIS) เพื่อวิเคราะห์เชิงพื้นที่ร่วมกับข้อมูลระดับน้ำบาดาลและแผนที่ความเสี่ยงดินถล่ม

2 ระเบียบวิธีวิจัย

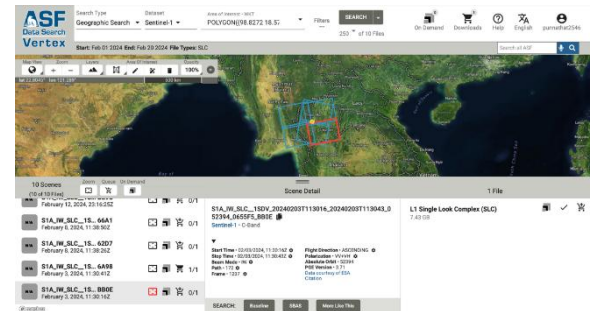
2.1 ขั้นตอนการเตรียมไฟล์ข้อมูล InSAR ในการวิเคราะห์ Mintpy

2.1.1 เลือกแหล่งข้อมูลการดาวนโหลด InSAR จาก Alaska Satellite Facility (ASF)

- กำหนดพื้นที่สนใจ (Area of Interest - AOI)
- ตั้งค่าพารามิเตอร์การค้นหา:
 - เลือกเซ็นเซอร์ที่ต้องการ คือ Sentinel-1 (C-band)
 - กำหนดช่วงวันที่สำหรับข้อมูลที่ต้องการ
 - เลือกประเภทผลิตภัณฑ์ SBAS สำหรับการประมวลผล

Mintpy

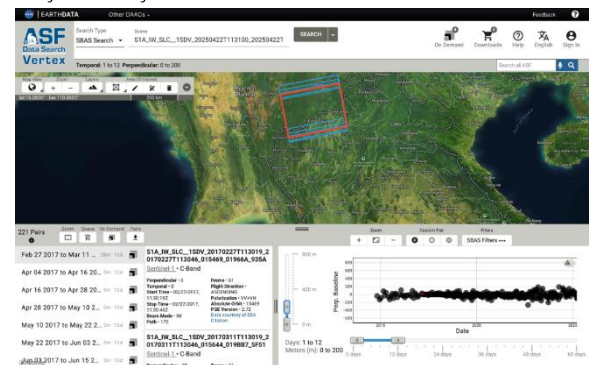
-เลือกประเภท Flight direction เป็น Ascending



รูปที่ 1: แหล่งข้อมูลการดาวนโหลด InSAR จาก Alaska Satellite Facility (ASF)

2.1.2 เลือกจำนวนภาพตามระยะเวลา

- ระยะ Perp. Baseline 0 to 200 m
- Day 1-12 days



รูปที่ 2: การประมวลผล SBAS

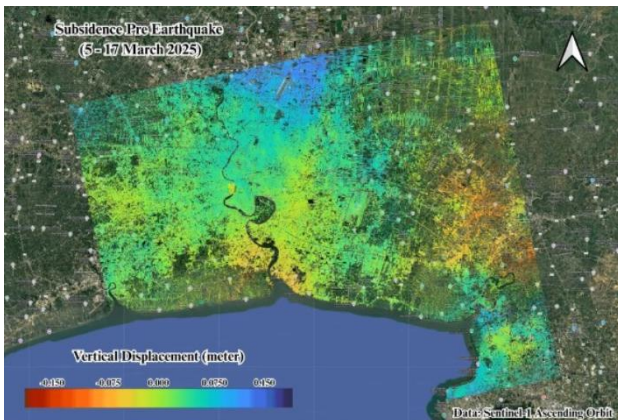
3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลลัพธ์

3.1 ผลการทดลองในพื้นที่ กรุงเทพฯ ก่อนและหลังเกิด

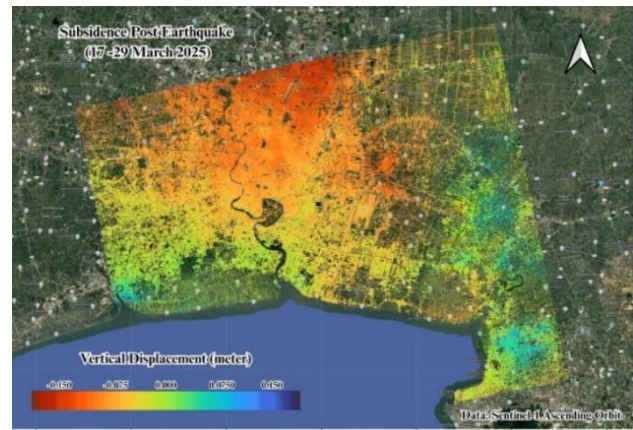
แผ่นดินไหว

เมื่อวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2568 เกิดเหตุการณ์แผ่นดินไหวขนาดประมาณ 8.2 ตามมาตราขนาดโมเมนต์ในประเทศเมียนมา ซึ่งประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่ใกล้ศูนย์กลางแผ่นดินไหว ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงในหลายพื้นที่ จากเหตุการณ์ดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้นำเหตุการณ์นี้มาเป็นกรณีศึกษา โดยใช้โปรแกรม MintPy ซึ่งเป็นเครื่องมือประมวลผลข้อมูลเรดาร์จากดาวเทียมแบบสังเคราะห์ช่องเปิด (InSAR) เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มการเคลื่อนตัวของผิวดินในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

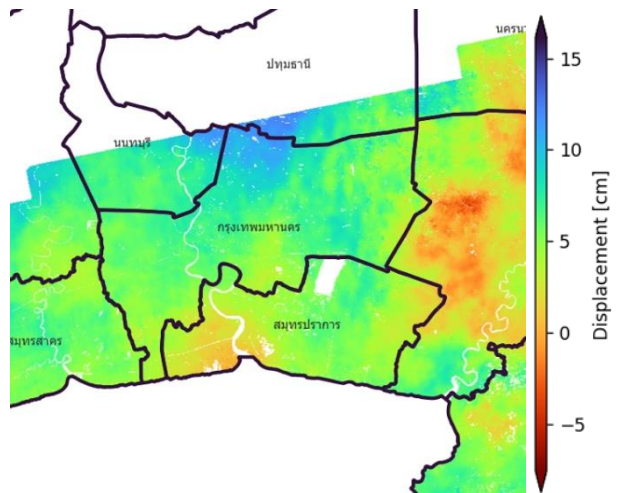
ในการศึกษาแบ่งช่วงเวลาการวิเคราะห์ออกเป็นสองช่วง ได้แก่ ช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหว ระหว่างวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2568 ถึง 17 มีนาคม พ.ศ. 2568 (แสดงในรูปที่ 9) และช่วงหลังเกิดแผ่นดินไหว ระหว่างวันที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2568 ถึง 29 มีนาคม พ.ศ. 2568 (แสดงในรูปที่ 10) ผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม MintPy ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่เผยแพร่โดยเพจบนสื่อสังคมออนไลน์ [4] โดยเพจดังกล่าวได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-1 และเทคนิค InSAR ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบการทรุดตัวของผิวดินในเขตกรุงเทพมหานครก่อนและหลังเหตุการณ์แผ่นดินไหว โดย [4] ได้มีการรายงานว่าการที่กรุงเทพฯ ก่อนเกิดแผ่นดินไหวมีการเคลื่อนตัวอยู่ในช่วง $+0.05$ ถึง -0.01 เมตร และ พบการทรุดตัวเพิ่มขึ้นหลังแผ่นดินไหว โดยเฉพาะตอนบนของกรุงเทพฯ ที่มีค่าทรุดสูงสุดถึง -0.073 เมตร (7.3 เซนติเมตร) ในบางพื้นที่ภายในเวลาไม่ถึง 2 สัปดาห์ สันนิษฐานว่าแรงสั่นสะเทือนอาจมีผลต่อโครงสร้างของชั้นดินในพื้นที่อ่อน ทำให้เกิดการทรุดตัวแบบเฉียบพลัน



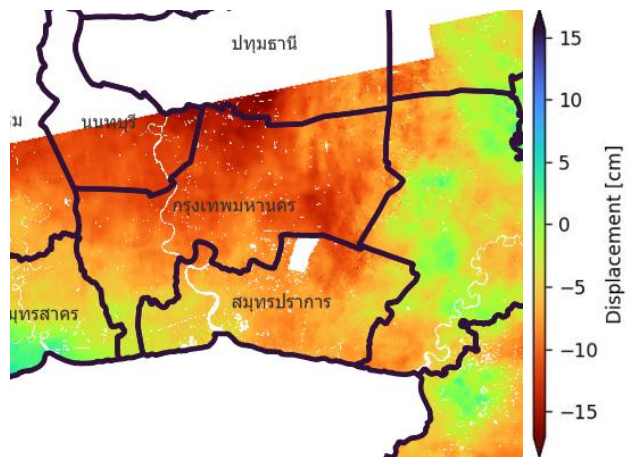
รูปที่ 7: อัตราการเคลื่อนตัวก่อนเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์โดยผู้ศึกษาอื่น [4]



รูปที่ 8: อัตราการเคลื่อนตัวหลังเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์โดยผู้ศึกษาอื่น [4]



รูปที่ 9: อัตราการเคลื่อนตัวก่อนเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์โดยผู้ศึกษา



รูปที่ 10: อัตราการเคลื่อนตัวก่อนเกิดแผ่นดินไหวที่วิเคราะห์โดยผู้ศึกษา

จากผลลัพธ์ของ Mintpy นั้นได้ออกมาแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับบทความที่อ้างถึง โดยการเคลื่อนตัวของกรุงเทพฯ ในช่วงก่อนเกิดแผ่นดินไหวอยู่ในช่วง $+0.1$ ถึง -0.04 เมตรและหลังจากการเกิดแผ่นดินไหวพบการทรุดตัวเพิ่มขึ้นตอนบนของกรุงเทพฯ มีค่ามากที่สุดถึง -0.13 เมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้ว่าค่าจะไม่เท่ากันแต่จากแนวโน้มต่างๆ เหมือนกันอย่างมาก จากผลลัพธ์นี้แสดงให้เห็นว่าขบวนการวิเคราะห์ในการศึกษานี้มีความสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของผู้ศึกษาอื่น

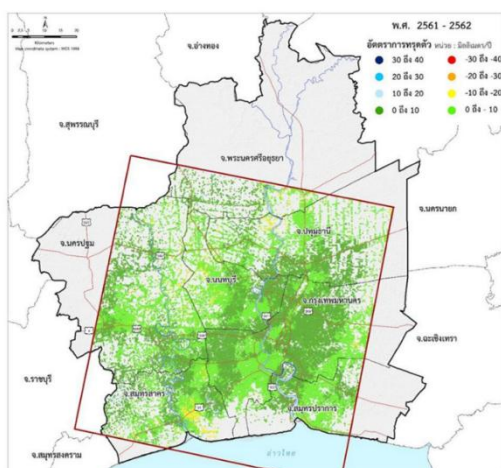
3.2 ผลการทดลองที่พื้นที่ กรุงเทพฯ ณ ปี พ.ศ. 2561 ถึงปี พ.ศ. 2562

จากการสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับการทรุดตัวของผิวดินในพื้นที่กรุงเทพมหานครย้อนหลัง พบว่าในรายงานสถานการณ์น้ำบาดาล ประจำปี พ.ศ. 2565 ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล [9] มีการนำเสนอภาพแสดงการทรุดตัวของพื้นที่กรุงเทพมหานครในช่วงปี พ.ศ. 2561–2562 ข้อมูลดังกล่าวจึงถูกนำมาใช้เป็นพื้นฐานในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับผลการประมวลผลที่ได้จากโปรแกรม MintPy

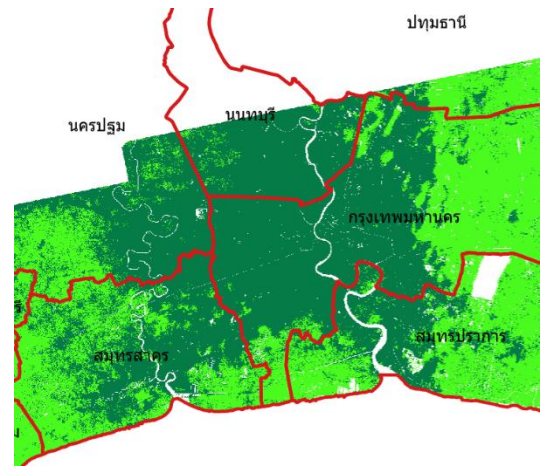
จากรูปที่ 11 ซึ่งเป็นภาพจากรายงานข้างต้น พบว่าภาพส่วนใหญ่ประกอบด้วยเขตสีเขียวเข้ม เขียวอ่อน และเหลือง โดยสีเขียวอ่อนและเหลืองถูกใช้แทนบริเวณที่มีการทรุดตัวของผิวดินในระดับน้อย ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยจึงได้ปรับค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลให้มีการแสดงเขตสีใกล้เคียงกับรายงานดังกล่าว โดยกำหนดให้สีเขียวเข้มแสดงถึงการทรุดตัวของผิวดิน และสีเขียวอ่อนแสดงถึงการทรุดตัว ตามที่แสดงในรูปที่ 12

เมื่อนำภาพที่ได้จากโปรแกรม MintPy (รูปที่ 12) มาเปรียบเทียบกับภาพจากรายงานเดิม (รูปที่ 11) พบว่าแนวโน้มของการเคลื่อนตัวของผิวดินทั้งในลักษณะการยกตัวและการทรุดตัวมีความสอดคล้องกันอย่างมากในหลายพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ยังมีบางบริเวณที่ผลลัพธ์ไม่ตรงกับข้อมูลจากรายงาน ซึ่งเกิดจากบริเวณนั้นมีความเร็วการเคลื่อนตัว (velocity) อยู่ใกล้ศูนย์ ส่งผลให้การแปลผลด้วยวิธี SBAS ซึ่งเป็นเทคนิคที่เน้นความต่อเนื่องเชิงเวลา แต่มีความละเอียดเชิงพื้นที่น้อยกว่าวิธีอื่น อาจเกิดความคลาดเคลื่อนในพื้นที่ที่ค่าการเคลื่อนตัวต่ำหรืออยู่ในช่วงเปลี่ยนผ่านใกล้ค่าศูนย์

แม้ว่าจะมีข้อจำกัดดังกล่าว แต่ในบริเวณที่รายงานเดิมระบุว่า เป็นพื้นที่ทรุดตัว (แสดงด้วยสีเหลือง) โปรแกรม MintPy ก็สามารถตรวจพบการทรุดตัวได้อย่างถูกต้อง แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคนิคนี้ในการตรวจสอบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระดับผิวดินในภาพรวม



รูปที่ 11: อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินปี พ.ศ. 2561-2562 [9]



รูปที่ 12: อัตราการทรุดตัวของแผ่นดินจากการวิเคราะห์ของผู้ศึกษา

3.3 ผลการทดลองที่พื้นที่บริเวณจังหวัดเชียงใหม่

เมื่อวันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2567 ได้เกิดเหตุการณ์ดินเลื่อนไถลในพื้นที่บ้านปางยาง หมู่ที่ 7 ตำบลบ้านปาง อำเภอหางดง จังหวัดเชียงใหม่ เหตุการณ์นี้สอดคล้องกับประกาศแจ้งเตือนของกรมทรัพยากรธรณีในช่วงวันที่ 3–4 ตุลาคม พ.ศ. 2567 ซึ่งระบุว่าหลายพื้นที่ รวมถึงจังหวัดเชียงใหม่ มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดดินถล่มจากฝนตกหนัก

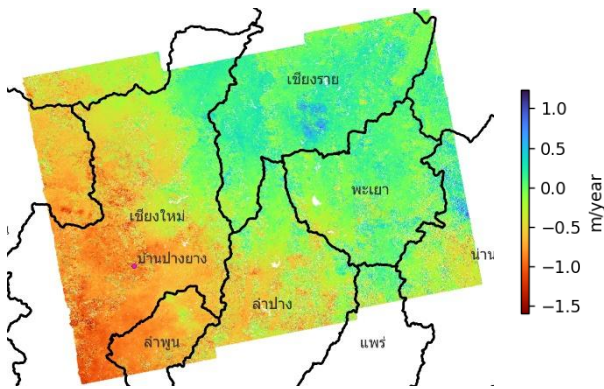
จากเหตุการณ์ดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์พื้นที่บ้านปางยางในช่วงเวลาก่อนเกิดเหตุ เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผิวดินโดยใช้ข้อมูลจากวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2567 ถึงวันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2567 เป็นระยะเวลาสองเดือนก่อนเกิดเหตุดินถล่ม ผลการวิเคราะห์ปรากฏในรูปที่ 14

จากรูปดังกล่าวพบว่า พื้นที่บ้านปางยางมีการเคลื่อนตัวของผิวดินในระดับสูงอย่างชัดเจนแม้ก่อนเกิดเหตุการณ์ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มความไม่เสถียรของชั้นดินในพื้นที่ การทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าโปรแกรม MintPy สามารถระบุพื้นที่ที่มีการเคลื่อนตัวของผิวดินในปริมาณมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในกรณีที่มีการเคลื่อนตัวดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะนำไปสู่การเลื่อนไถลหรือการถล่มของดินในเวลาต่อมา

กรณีพิบัติภัยภายในประเทศ รอบ 24 ชั่วโมง

1. แผ่นดินถล่ม : จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 3 ต.ค. 67 เกิดการเลื่อนไถลของดินบริเวณถนนเส้นทางบ้านปางยาง หมู่ที่ 7 ตำบลบ้านปาง อำเภอหางดง สาเหตุเนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวอยู่ในพื้นที่ที่มีโอกาสเกิดแผ่นดินถล่มระดับสูง ลักษณะทางธรณีวิทยาเป็นหินแกรนิต ประกอบกับมีฝนตกหนัก ทำให้ชั้นดินอิ่มน้ำไว้มาก และขาดเสถียรภาพ จึงเลื่อนไถลลงมาปิดทับถนน (ที่มา : เครือข่าย ทอ. และกรมทรัพยากรธรณี)

รูปที่ 13: ข่าวการเกิดการเลื่อนไถลของดิน ณ วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2567

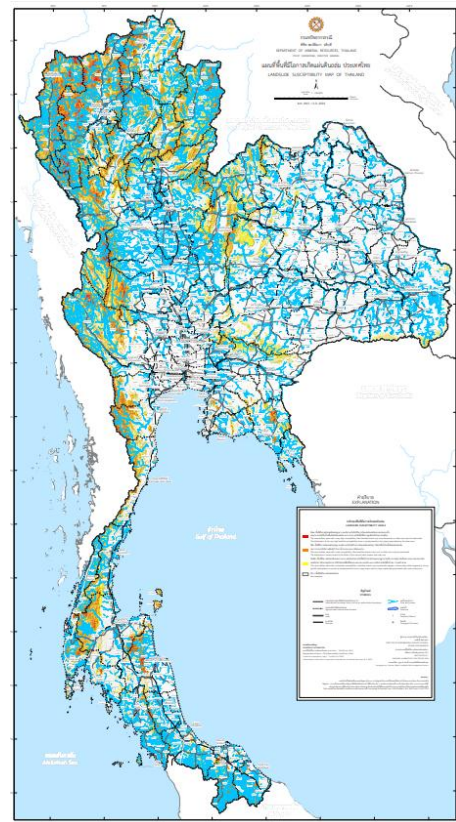


รูปที่ 14: ผลการเกิดการเลื่อนไหลของดิน ณ วันที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2567

3.4 ผลการทดลองเทียบกับแผนที่เตือนภัยของกรมทรัพยากรธรณี

จากการค้นข้อมูลพบว่า กรมทรัพยากรธรณีได้จัดทำรายงานแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยประจำปี พ.ศ. 2567 [8] ซึ่งได้ระบุพื้นที่เสี่ยงภัยดินถล่มในระดับต่าง ๆ ทั่วประเทศ จากข้อมูลดังกล่าว ผู้วิจัยได้นำพื้นที่ในเขตภาคเหนือที่อยู่ในความสนใจมาทำการวิเคราะห์ โดยเลือก 2 พื้นที่ศึกษา และใช้ช่วงเวลาเดียวกันในการประมวลผล ได้แก่ ช่วงระหว่างวันที่ 3 มกราคม พ.ศ. 2567 ถึงวันที่ 16 ธันวาคม พ.ศ. 2567

ผลการประมวลผลจากแต่ละพื้นที่จะนำมาเปรียบเทียบกับแผนที่เสี่ยงภัยของหน่วยงานรัฐ และในกรณีที่พื้นที่ใดมีผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกัน หรือแสดงรูปแบบการเคลื่อนตัวที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน จะรวมข้อมูลเหล่านั้นเพื่อจัดทำแผนที่ภาพรวมของพื้นที่เสี่ยงภัย ซึ่งสามารถใช้ตรวจสอบความแม่นยำของการวิเคราะห์จากโปรแกรม MintPy ร่วมกับแผนที่เสี่ยงภัยต้นฉบับ



รูปที่ 15: แผนที่เสี่ยงภัยการเกิดดินโคลนถล่มปี พ.ศ. 2567 [8]

3.4.1 พื้นที่บริเวณจังหวัดตาก

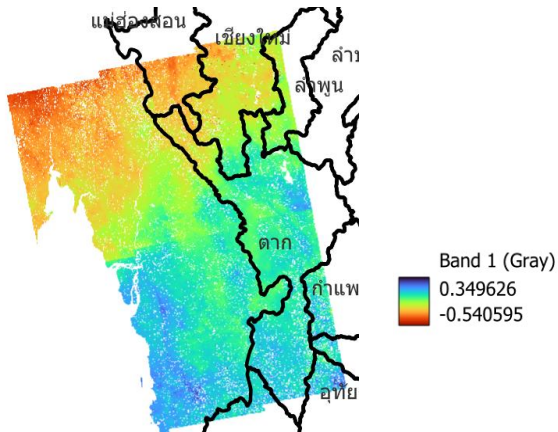
จากรูปที่ 16 ซึ่งเป็นผลรวมของภาพการเคลื่อนตัวของผิวดินจำนวนสองชุดที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดตาก ผู้วิจัยได้ปรับค่าความเร็วการเคลื่อนที่ให้อยู่ในสเกลเดียวกัน โดยกำหนดให้ค่าประมาณศูนย์แสดงด้วยสีเขียวมัน เมื่อเปรียบเทียบกับแผนที่พื้นที่เสี่ยงภัยของกรมทรัพยากรธรณีในรูปที่ 20 พบว่า บริเวณที่แผนที่เสี่ยงภัยระบุว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงสูง ผลลัพธ์จากการประมวลผลด้วยโปรแกรม MintPy ก็สามารถตรวจพบการเคลื่อนตัวของผิวดินในระดับสูงเช่นเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็น การเคลื่อนที่ในทิศทางบวก (การยกตัว) หรือทิศทางลบ (การทรุดตัว)

ตัวอย่างเช่น บริเวณตอนล่างของจังหวัดตาก (รูปที่ 17) ซึ่งแผนที่เสี่ยงภัยแสดงว่าเป็นพื้นที่เสี่ยงสูง ผลจาก MintPy ก็แสดงให้เห็นว่ามีการเคลื่อนตัวในระดับมาก แม้สีที่ปรากฏจะเป็นสีฟ้า (แสดงถึงการยกตัว) แต่ก็สะท้อนถึงการเคลื่อนที่ของผิวดินที่มีนัยสำคัญ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับสภาพไม่เสถียรของชั้นดิน และมีโอกาสนำไปสู่การถล่มได้เช่นกัน

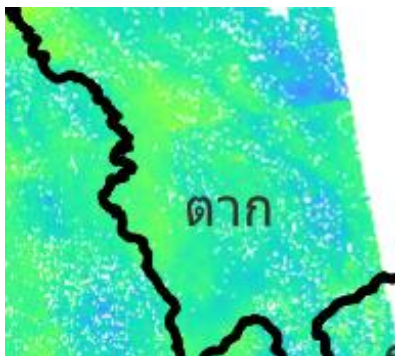
ในบริเวณตอนกลางของจังหวัดตาก (รูปที่ 18) จะเห็นว่าฝั่งซ้ายของภาพซึ่งเป็นส่วนกลางของจังหวัด มีค่าการเคลื่อนที่ต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับแผนที่เสี่ยงภัยที่ระบุว่าเป็นพื้นที่ความเสี่ยต่ำ ส่วนพื้นที่ที่มีค่าสีน้ำเงินเข้มแสดงถึงการเคลื่อนตัวสูงก็ตรงกับตำแหน่งในแผนที่ที่แสดงว่าเป็นพื้นที่เสี่ยง

สำหรับบริเวณตอนบนของจังหวัดตาก (รูปที่ 19) ด้านซ้ายของภาพที่แสดงเป็นสีแดง แสดงถึงการเคลื่อนที่ในระดับสูง ซึ่งตรงกับพื้นที่เสี่ยงภัยที่ระบุไว้ในแผนที่เช่นกัน อย่างไรก็ตาม บริเวณด้านขวาของภาพมีทั้งพื้นที่ที่แสดงด้วยสีน้ำเงิน (การเคลื่อนที่ต่ำ) และสีเขียวมัน (การเคลื่อนที่น้อย) แต่ในแผนที่เสี่ยงภัยระบุว่าเป็นพื้นที่ดังกล่าวเป็น

พื้นที่เสี่ยงสูง แสดงให้เห็นว่าผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MintPy ในบางจุดอาจไม่สอดคล้องกับแผนที่เสี่ยงภัย ซึ่งอาจเกิดจากข้อจำกัดของวิธีการหรือความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลในช่วงเวลาที่วิเคราะห์



รูปที่ 16: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่จังหวัดตากหลังรวมข้อมูล



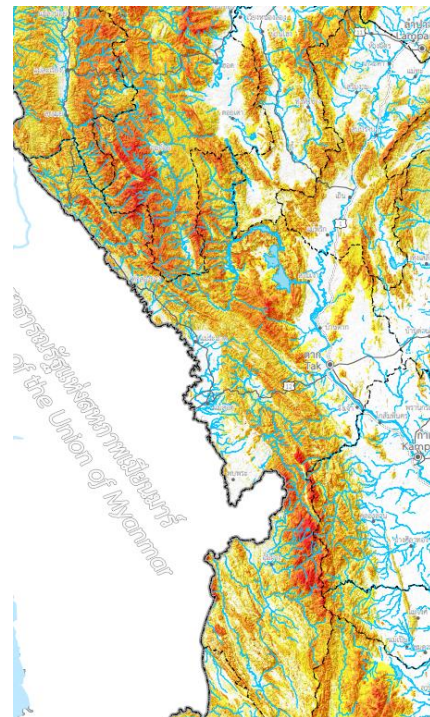
รูปที่ 17: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่ตอนล่างของจังหวัดตาก



รูปที่ 18: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่ตอนกลางของจังหวัดตาก

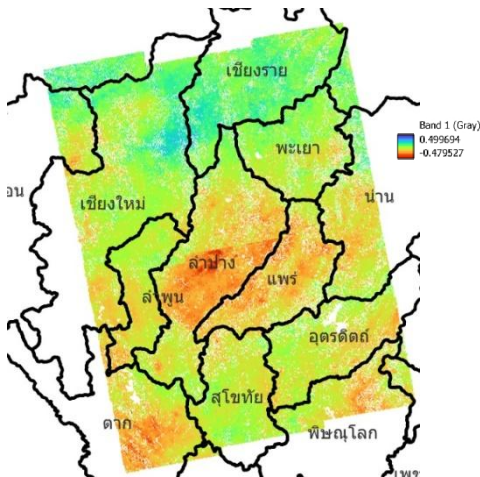


รูปที่ 19: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่ตอนบนของจังหวัดตาก



รูปที่ 20: แผนที่เสี่ยงภัยบริเวณจังหวัดตาก

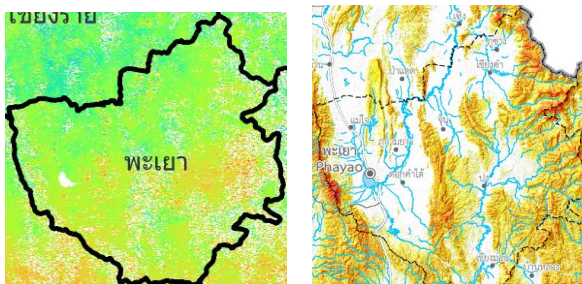
3.4.2 พื้นที่บริเวณจังหวัดลำปาง



รูปที่ 21: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่บริเวณจังหวัดลำปาง
หลังรวมข้อมูล

จากรูปที่ 21 ซึ่งเป็นผลรวมของภาพการเคลื่อนตัวของผิวดิน จำนวนสองชุดที่ครอบคลุมพื้นที่บริเวณจังหวัดลำปาง ผู้วิจัยได้ปรับค่าความเร็วการเคลื่อนที่ให้อยู่ในสเกลเดียวกัน โดยกำหนดให้ค่าประมาณศูนย์แสดงด้วยสีเขียวมะนาว หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์

3.4.2.1 วิเคราะห์จังหวัดพะเยา



รูปที่ 22: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในจังหวัดพะเยาเทียบกับ
กับแผนที่เสี่ยงภัยจังหวัดพะเยา

จากรูปที่ 22 แสดงแผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่จังหวัดพะเยาเทียบกับแผนที่เสี่ยงภัยจังหวัดพะเยา

ผลลัพธ์ดังนี้

พื้นที่บริเวณขอบด้านซ้ายและขวาของจังหวัด

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) จะเห็นว่าพื้นที่เสี่ยงสูงกระจายตามแนวขอบตะวันตกและตะวันออกของจังหวัด

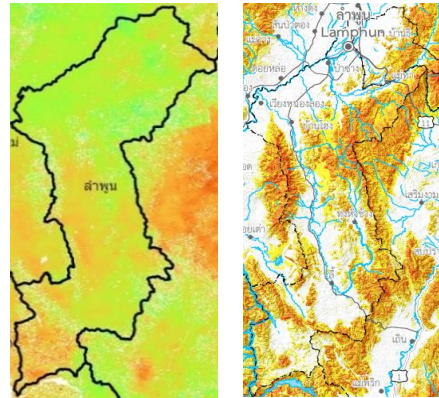
-ผลลัพธ์จาก MintPy (ซ้าย) แสดงให้เห็นสี โดยเฉพาะเฉดสีส้ม-แดงที่แสดงการทรุดตัวบริเวณพื้นที่ขอบจังหวัด

พื้นที่ศูนย์กลางจังหวัด

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) ระบุว่าพื้นที่ใจกลางเมืองพะเยา มีความเสี่ยงต่ำ (โทนสีอ่อน)

-ผลลัพธ์ MintPy แสดงสีเขียวมะนาวถึงเขียวอ่อน แสดงว่าการเคลื่อนตัวใกล้ศูนย์ ตรงกับข้อมูลว่าพื้นที่บริเวณนี้มีความเสถียร

3.4.2.2 วิเคราะห์จังหวัดลำพูน



รูปที่ 23: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่จังหวัดลำพูนเทียบกับ
แผนที่เสี่ยงภัยจังหวัดลำพูน

จากรูปที่ 23 แสดงแผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่จังหวัดลำพูนเทียบกับแผนที่เสี่ยงภัยจังหวัดลำพูน ผลลัพธ์ดังนี้

พื้นที่บริเวณเชิงเขาทางทิศใต้และทิศตะวันตก

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) แสดงพื้นที่เสี่ยงสูงกระจายตามแนวเชิงเขาริมตะวันตกเฉียงใต้ของจังหวัด

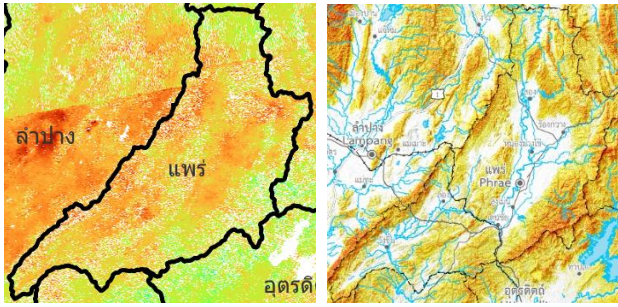
-ผลลัพธ์ MintPy (ซ้าย) ตรงจุดนั้นปรากฏเฉดสีส้ม-แดง แสดงการเคลื่อนตัวแบบทรุดตัวชัดเจน สอดคล้องกับแผนที่เสี่ยงภัย

พื้นที่บริเวณเชิงเขาทางทิศเหนือ-ตะวันออก

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) บ่งชี้พื้นที่เสี่ยงปานกลางถึงสูงเรียงตามแนวเชิงเขาตะวันออกเฉียงเหนือ

-ผลลัพธ์ MintPy (ซ้าย) พบสีเขียวอ่อนและส้มอ่อนมีแนวโน้มการเคลื่อนตัวสะสมที่อาจนำไปสู่ดินโคลนถล่มในอนาคตได้

3.4.2.3 วิเคราะห์จังหวัดแพร่



รูปที่ 24: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่จังหวัดแพร่เทียบกับแผนที่เสี่ยงภัยจังหวัดแพร่

จากรูปที่ 24 แสดงแผนภาพการเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษาของผู้วิจัยกับแผนที่เสี่ยงภัยพื้นที่จังหวัดแพร่ ผลลัพธ์ดังนี้

พื้นที่บริเวณเชิงเขาทิศตะวันตก (อำเภอสูงเม่น)

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) แสดงพื้นที่เสี่ยงสูงเป็นแนวยาวตามเทือกเขาฝั่งตะวันตกของจังหวัด

-ผลลัพธ์ MintPy (ซ้าย) ตรงบริเวณเดียวกันปรากฏเฉดสีส้มถึงแดง แสดงการเคลื่อนตัวสะสมสูงสอดคล้องกับแผนที่เสี่ยงภัย

พื้นที่ลุ่มแม่น้ำยมตอนล่าง (อำเภอเมือง-ร้องกวาง)

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) พื้นที่ราบลุ่มจัดเป็นพื้นที่เสี่ยงต่ำ (สีอ่อน)

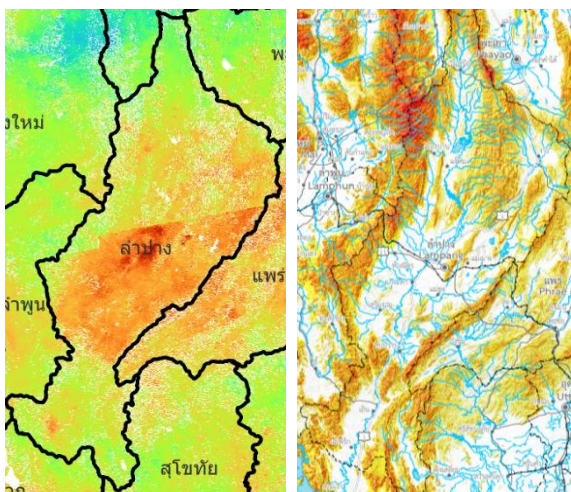
-ผลลัพธ์ MintPy (ซ้าย) แสดงเป็นสีเขียวอ่อนถึงเขียวมะนาว แปลว่าการเคลื่อนตัวใกล้ 0 แสดงความเสถียรตรงกับพื้นที่เสี่ยงภัย

พื้นที่บริเวณเชิงเขาทิศเหนือ-ตะวันออก (อำเภอวังชิ้น-เด่นชัย)

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) ระบุว่ามีความเสี่ยงปานกลางกระจายอยู่ตามเชิงเขาทางทิศเหนือและตะวันออก

-ผลลัพธ์ MintPy (ซ้าย) แสดงเป็นสีเขียวส้มอ่อน หมายถึงการทรุดตัวปานกลาง สอดคล้องกับแผนที่เสี่ยงภัย

3.4.2.4 วิเคราะห์จังหวัดลำปาง



รูปที่ 25: แผนภาพแสดงอัตราการเคลื่อนตัวในพื้นที่จังหวัดลำปางเทียบกับแผนที่เสี่ยงภัยจังหวัดลำปาง

จากรูปที่ 25 ซึ่งเป็นการแสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการศึกษาของผู้วิจัยกับแผนที่เสี่ยงภัยพื้นที่จังหวัดลำปาง ผลลัพธ์ดังนี้

พื้นที่บริเวณเทือกเขาตะวันออกเฉียงเหนือ

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) แสดงพื้นที่เสี่ยงสูงกระจายตามแนวเทือกเขาทิศตะวันออกเฉียงเหนือของจังหวัด

-ผลลัพธ์ MintPy (ซ้าย) ตรงพื้นที่ดังกล่าวปรากฏเฉดสีส้ม-แดง แสดงการทรุดตัวสูง สอดคล้องกับแผนที่เสี่ยงภัย

พื้นที่เชิงเขาตอนกลางและตอนใต้

-แผนที่เสี่ยงภัย (ขวา) บ่งชี้ว่าพื้นที่เชิงเขาบางส่วนตอนกลาง-ใต้มีความเสี่ยงปานกลาง

-ผลลัพธ์ MintPy (ซ้าย) พบเฉดสีเขียวอ่อนถึงส้มอ่อน ตรงกับพื้นที่เสี่ยงปานกลาง ชี้ให้เห็นการเคลื่อนตัวปานกลางที่อาจสะสมจนเกิดดินโคลนถล่มได้

3.5 สรุป

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ดำเนินการในงานวิจัยนี้ สามารถสรุปข้อค้นพบเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรม MintPy ได้ว่า โปรแกรมดังกล่าวมีศักยภาพในการวิเคราะห์ค่าความเร็วการเคลื่อนตัวของผิวดิน (velocity) และการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (displacement) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ หลักการพื้นฐานในการนำมาใช้ประเมินความเสี่ยงของการเกิดดินถล่ม อ้างอิงจากสมมติฐานที่ว่า หากพื้นที่ใดมีค่าการเคลื่อนตัวของผิวดินในระดับสูง ย่อมมีโอกาสที่พื้นที่นั้นจะเกิดการถล่มได้มากขึ้น

ผลการประมวลผลแสดงให้เห็นว่า MintPy สามารถระบุอัตราความเร็วของการเคลื่อนตัวในแต่ละพื้นที่ได้จริง อย่างไรก็ตาม ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์นั้นเป็นค่าที่เปรียบเทียบสัมพันธ์กับจุดอ้างอิง (reference point) ที่กำหนดให้มีค่าศูนย์ หากจุดอ้างอิงดังกล่าวมีความเสถียร ค่าอื่น ๆ ในภาพจะสะท้อนการเคลื่อนตัวที่แท้จริงของพื้นที่โดยรอบ แต่หากจุดอ้างอิงมีการเคลื่อนตัว แม้เพียงเล็กน้อย ก็อาจส่งผลให้ค่าความเคลื่อนตัวในภาพเกิดความคลาดเคลื่อน เช่น หากจุดอ้างอิงเกิดการยกตัวเล็กน้อย พื้นที่โดยรอบอาจแสดงค่าทรุดตัวเกินความเป็นจริงได้

โปรแกรม MintPy มีฟังก์ชันสำหรับการเลือกจุดอ้างอิงโดยอัตโนมัติ โดยพิจารณาจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น พื้นที่ที่ไม่มีการเคลื่อนตัว (deformation) หรือเคลื่อนตัวน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม เทคนิค SBAS ที่ใช้ใน MintPy มุ่งเน้นการวิเคราะห์ภาพรวม จึงมีความละเอียดเชิงพื้นที่น้อยกว่าวิธีการอื่น และอาจไม่เหมาะกับการตรวจสอบแบบรายจุด

ในการประยุกต์ใช้กับการประเมินพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดดินถล่มพบว่า ผลการวิเคราะห์จาก MintPy มีความสอดคล้องกับแผนที่เสี่ยงภัยที่จัดทำโดยหน่วยงานรัฐในหลายกรณี โดยเฉพาะในพื้นที่ที่จัดว่าเสี่ยงภัยในระดับสูง ซึ่งโปรแกรมสามารถตรวจพบค่าการเคลื่อนตัวสูงได้เช่นกัน อย่างไรก็ตาม ในบางพื้นที่ที่แผนที่ระบุว่าเสี่ยงต่ำถึงปานกลาง โปรแกรมอาจไม่สามารถแยกแยะความเสี่ยงได้ชัดเจนหรือในบางกรณี โปรแกรมอาจแสดงค่าการเคลื่อนตัวสูงในพื้นที่ที่แผนที่ไม่ได้ระบุว่ามีความเสี่ยง ทั้งนี้เป็นเพราะแผนที่เสี่ยงภัยพิจารณาจากหลายปัจจัยร่วมกัน ไม่ใช่เพียงแค่ค่าการเคลื่อนตัวของผิวดิน

กล่าวโดยสรุป โปรแกรม MintPy เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมในการวิเคราะห์แนวโน้มภาพรวมของพื้นที่ที่อาจมีความเสี่ยงต่อการเกิดดินถล่ม โดยสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการระบุพื้นที่ที่ควรได้รับการวิเคราะห์เชิงลึกเพิ่มเติมด้วยวิธีอื่นต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ Alaska Satellite Facility (ASF) Vertex สำหรับการสนับสนุนข้อมูลดาวเทียม Sentinel-1 C-band ที่มีคุณภาพ ซึ่งเป็นแหล่งข้อมูลหลักในการประมวลผล SBAS InSAR ด้วยซอฟต์แวร์ MintPy ทำให้โครงการวิจัยนี้สามารถวิเคราะห์และติดตามการเคลื่อนตัวของผิวดินได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ahmed, S., et al. (2024). *Land subsidence in Bangkok vicinity: Causes and long-term trend analysis using InSAR and machine learning*.
- [2] ASF. (n.d.). ASF data search. Retrieved from <https://search.asf.alaska.edu/>
<https://scihub.copernicus.eu/>
<https://gdal.org/en/stable/>
- [3] EarthScope Consortium. (2023, June 28). *Event calendar*. Retrieved from https://www.earthscope.org/calendar/?category_name=courses-workshops&past_events=true&search=ISCE
- [4] Facebook. (n.d.). โพสต์จาก Facebook. Retrieved from <https://www.facebook.com/1185188561/posts/10237858791107349>
- [5] GEOS 657. (n.d.). *Microwave remote sensing*. Retrieved from <https://radar.community.uaf.edu/>
- [6] GitHub - insarlab. (n.d.). *MintPy: Miami InSAR time-series software in Python*. Retrieved from <https://github.com/insarlab/MintPy>
- [7] กรมทรัพยากรธรณี. (2567). รายงานสถานการณ์ธรณีพิบัติภัยประจำวัน ที่ 3 ตุลาคม พ.ศ. 2567. เข้าถึงจาก <https://www.dmr.go.th/>
- [8] กรมทรัพยากรธรณี. (n.d.). ศูนย์ข้อมูลธรณีภัย. เข้าถึงจาก <https://www.dmr.go.th/geohazard>
- [9] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2566). รายงานสถานการณ์น้ำบาดาล ปี 2565. เข้าถึงจาก <https://www.dgr.go.th/th/public-service/download?file>
- [10] Kumvijairat, N. (2022). *Investigation of mass wasting in the vicinity of Khao Kho, central Thailand using time-series InSAR technique*.
- [11] Novellino, A., et al. (2021). *Slow-moving landslide risk assessment combining machine learning and InSAR techniques*.
- [12] ประชาชาติธุรกิจ. (2024, ตุลาคม 3). 12 จังหวัด ระวัง "แผ่นดินถล่ม" วันที่ 3-4 ตุลาคม 2567. เข้าถึงจาก <https://www.prachachat.net/economy/news-1666939>
- [13] Pumpuang, A., & Aobpaet, A. (2024). *Evolution pattern of land subsidence using InSAR time-series analysis in Bangkok, Bangkok, Thailand*.
- [14] Yunjun, Z., et al. (2019). *Small baseline InSAR time series analysis: Unwrapping error correction and noise reduction*.