การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ด้วยเทคนิค InSAR เพื่อการตรวจสอบการทรุดตัวของจังหวัดนครสวรรค์

InSAR Spatial Analysis for Inspection Subsidence of Nakhon Sawan

จุฬพัฒน์ บุญสุยา[1,*] อนุเผ่า อบแพทย์[2] และ สรวิศ สุภเวชย์[3]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.กรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: Chullapat.bo@ku.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการทรุดตัวของแผ่นดินเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อบ้านเรือนประชาชน โครงสร้างพื้นฐาน เส้นทางคมนาคม รวมถึงระบบน้ำใต้ดินในอนาคตได้ โครงการวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อการตรวจวัดหาอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์จากการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาอินซาร์ (Time-Series Interferometric Synthetic Aperture Radar, TSInSAR) ซึ่งเป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่สามารถวัดระยะทางและติดตามการเปลี่ยนแปลงความสูงบนพื้นผิวโลกได้ โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อติดตามการทรุดตัวของแผ่นดิน การเฝ้าระวังและตรวจสอบสภาพโครงสร้างสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ด้วยคุณสมบัติของภาพถ่ายจากดาวเทียมนั้น จึงช่วยลดค่าใช้จ่ายการสำรวจรังวัดและช่วยประหยัดงบประมาณและแรงงานได้ และได้ใช้ข้อมูลแบบอนุกรมเวลาจากดาวเทียม Sentinel–1 จำนวน 34 ภาพ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2566 โดยการสร้าง Interferogram ด้วยโปรแกรม SNAP และโปรแกรม MATLAB เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินโดยรอบที่ข้อมูลได้ครอบคลุมถึง รวมถึงจุดตรวจสอบที่โปรแกรมได้ประมวลผลออกมา เพื่อที่จะได้นำมาวิเคราะห์และประเมินผลพื้นที่เสี่ยงที่อาจเกิดการทรุดตัวได้ และสามารถที่จะดำเนินการในขั้นตอนการปฏิบัติการต่อไปได้ จากผลลัพธ์ที่ได้ โดยได้ตรวจสอบพบการเคลื่อนตัวประมาณ -5.2 ถึง 4.4 มิลลิเมตรต่อปี แสดงให้เห็นว่าการทรุดตัวของจังหวัดนครสวรรค์ เกิดการเคลื่อนตัวอยู่มากในบางพื้นที่ ได้แก่ บริเวณที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน และบริเวณที่มีการใช้น้ำบาดาลที่มาก เช่น บริเวณอำเภอโกรกพระ อำเภอเมืองนครสวรรค์ อำเภอชุมแสง และอำเภอเก้าเลี้ยว จากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการของใช้เทคโนโลยีอนุกรมเวลาอินซาร์มาประยุกต์ใช้ในการติดตามการทรุดตัวที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ: การทรุดตัวของแผ่นดิน, นครสวรรค์, อนุกรมเวลาอินซาร์

Abstract

Land subsidence is a significant problem that continues to occur, resulting in damage to homes, infrastructure, transport routes, and groundwater systems. This research project focuses on measuring the land subsidence rate in Nakhon Sawan Province by analyzing satellite images using Time-Series Interferometric Synthetic Aperture Radar (TSInSAR), a photographic data analysis technique. This technique uses satellite data to measure distances and track elevation changes on the Earth's surface, making it useful for tracking land subsidence, and inspection of various building structures. Additionally, satellite images allow for analysis of data, reducing surveying costs and saving budget and labor. The study used time-series data consisting of 34 images taken between January 1, 2017 and February 1, 2023, from the Sentinel-1 satellite. Interferograms were created using the SNAP and MATLAB programs to obtain the results of the land subsidence rate. Checkpoints were processed in order to analyze and evaluate risk areas that may cause subsidence and to continue in the next operating step. The results showed a displacement of -5.2 to 4.4 millimeters per year, indicating significant subsidence in some areas of Nakhon Sawan Province, particularly in land use areas and areas with high use of groundwater, such as Krok Phra District, Mueang Nakhon Sawan District, Chum Saeng District, and Kao Liao District. The research demonstrates the effectiveness of InSAR time series technology in tracking land subsidence.

Keywords: Land subsidence, Nakhon Sawan, Time-Series InSAR

1. คำนำ

จังหวัดนครสวรรค์ เป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในบริเวณภาคกลางตอนบนและภาคเหนือตอนล่าง ซึ่งเป็นศูนย์กลางการคมนาคม อีกทั้งยังเป็นแหล่งปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างมาก โดยจังหวัดนครสวรรค์มีลักษณะภูมิประเทศคล้ายแอ่งกระทะ บริเวณตอนกลางของจังหวัดจะเป็นแอ่งต่ำซึ่งเป็นที่ราบน้ำท่วมถึง [1] นอกจากนี้ยังเป็นที่ราบตะกอนน้ำพา (Alluvial plain) ซึ่งเป็นที่ราบขนาดใหญ่อยู่บริเวณสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยา โดยเมื่อฤดูน้ำหลากน้ำจะไหลล้นสองฝั่งแม่น้ำและนำพาตะกอนมาสะสมบริเวณพื้นที่ดังกล่าว ทำให้พื้นดินในบริเวณนี้เป็นดินอ่อนและสามารถเกิดการทรุดตัวของพื้นดินได้ แต่ด้วยพื้นที่บริเวณดังกล่าวมีความอุดมสมบูรณ์สูง เหมาะแก่การทำเกษตรกรรม ที่ราบบริเวณริมสองฝั่งแม่น้ำจึงเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง [2] นอกจากนี้ จังหวัดนครสวรรค์ยังเป็นพื้นที่สันดินริมน้ำ (Lavee) คือ สันดินธรรมชาติที่เกิดจากแม่น้ำพัดพาตะกอนมาทับถมในฤดูน้ำหลาก เมื่อเวลาผ่านไปน้ำได้ลดระดับลงทำให้ตะกอนที่ทับถมกันนั้นเกิดเป็นสันดินยาวขนานไปกับริมแม่น้ำ เมื่อเกิดน้ำท่วมจนน้ำทะลุสันดินจะทำให้น้ำไหลท่วมเข้ามาในพื้นที่ได้ จึงเป็นสาเหตุให้พื้นที่บริเวณสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยาในเขตจังหวัดนครสวรรค์ อาจเกิดการเคลื่อนตัวหรือทรุดตัว [3]

โดยการทรุดตัวของพื้นดิน (land subsidence) อาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การทรุดตัวจากการที่ชั้นดิน ชั้นหิน หรือชั้นตะกอนยุบตัวอันเนื่องมาจากการที่ระดับน้ำใต้ดินลดระดับลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการสูบน้ำบาดาลบริเวณแหล่งชุมชน ที่อยู่อาศัย เพื่อนำมาใช้อุปโภค-บริโภค โดยสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ในปริมาณที่มากเกินกว่าปริมาณน้ำบาดาลที่มีอยู่ กว่าที่น้ำบาดาลบริเวณพื้นที่ใกล้เคียงจะไหลเข้ามาทดแทนในช่องว่างของชั้นหินอุ้มน้ำนั้นก็ส่งผลให้ช่องว่างของชั้นดิน ชั้นหิน หรือชั้นตะกอนบริเวณที่มีการสูบน้ำบาดาลหรือบริเวณข้างเคียงทรุดตัวลงมา [4] อย่างไรก็ตาม รูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณจังหวัดนครสวรรค์อาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดิน เนื่องจากการขยายตัวของแหล่งชุมชนและการใช้ที่ดินแบบเกษตรกรรมที่มีการใช้น้ำบาดาลมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ลดลง และเกิดการทรุดตัวของพื้นดินมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้ ปัญหาการทรุดตัวของพื้นดินได้สร้างความเสียหายให้กับประชากร แหล่งชุมชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่บริเวณที่ได้รับผลกระทบนี้ ทั้งโครงสร้างอาคาร และทรัพย์สิน ดังนั้น การติดตามการทรุดตัวของจังหวัดนครสวรรค์จึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยปัจจุบันในการสำรวจและติดตามการทรุดตัวของนครสวรรค์นั้น จะเป็นการสำรวจโดยเทคนิคการสำรวจรังวัดระดับเป็นหลัก ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในเรื่องอัตรากำลังคนและเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานค่อนข้างมาก [5] จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบการทรุดตัวที่ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ได้ตลอดเวลาโดยไม่ต้องใช้กำลังคนในการลงพื้นที่ สามารถติดตามหรือตรวจสอบการทรุดตัวของพื้นที่ได้ในทุกช่วงเวลา และยังไม่จำกัดการเข้าถึงพื้นที่หรือบริเวณที่ต้องการตรวจสอบ โดยให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ มีความแม่นยำที่สูง และสามารถสังเกตการณ์ในพื้นที่ที่มีการทรุดตัวได้อย่างต่อเนื่อง [6] ในปัจจุบันนั้นได้มีการใช้เทคโนโลยีเพื่อติดตามการทรุดตัวของพื้นดินอย่างหลากหลาย โดยหนึ่งในนั้นคือ เทคโนโลยีเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์แบบอินเตอร์เฟอโรเมตรี (Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR) เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจากเทคโนโลยีระบบเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar, SAR) และทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบอนุกรมเวลาอินซาร์ (Time-Series Interferometric Synthetic Aperture Radar, TSInSAR) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของพื้นดินในพื้นที่บริเวณจังหวัดนครสวรรค์

การวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียมด้วยเทคนิคแบบอนุกรมเวลาอินซาร์ (TSInSAR) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมระบบเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (SAR) ที่วิเคราะห์ผลต่างเฟส (Phase) ของภาพจำนวนสองภาพขึ้นไป (Phase Differential) ซึ่งทั้งสองภาพนี้จะถูกบันทึกในตำแหน่งเดียวกันแต่คนละช่วงเวลา โดยผลต่างเฟสจะสามารถสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DEM) และสามารถศึกษารูปแบบการเปลี่ยนแปลงในลักษณะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ [7] เช่น สามารถวัดระยะทางและติดตามการเปลี่ยนแปลงความสูงบนพื้นผิวโลกได้ โดยสามารถนำเทคนิค InSAR มาประยุกต์ใช้เพื่อติดตามการทรุดตัวของแผ่นดิน ดินถล่ม การเฝ้าระวังและตรวจสอบสภาพโครงสร้างสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การวิเคราะห์แผ่นดินถล่มที่ Guanling ประเทศจีน [8] การติดตามการทรุดตัวของพื้นดินในเขตเมืองชายฝั่ง Qianhai Shenzhen ฮ่องกง [9] และการประเมินข้อมูลเพื่อตรวจสอบพื้นดินหลังจากการขุดอุโมงค์กรุงลอนดอน [10] เป็นต้น ด้วยคุณสมบัติของภาพถ่ายจากดาวเทียมที่สามารถเลือกวิเคราะห์ข้อมูลได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ในช่วงเวลาที่ต้องการ ที่มีค่าความละเอียดในการตรวจสอบถึงระดับมิลลิเมตรและยังสามารถตรวจสอบได้ตลอดเวลา

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้เทคโนโลยีอนุกรมเวลาอินซาร์ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel–1 จำนวน 34 ภาพ ตั้งแต่ช่วงวันที่ 1 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2566 ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดนครสวรรค์ เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีทางการสำรวจระยะไกลด้วยดาวเทียมมาใช้ในการติดตามการทรุดตัวของพื้นดิน

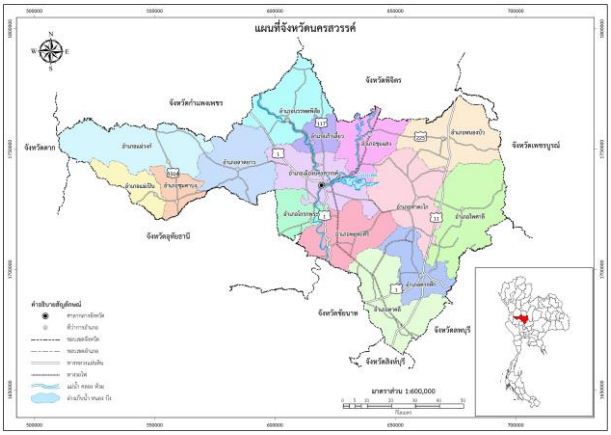
2. พื้นที่และหลักการข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดที่อยู่ต้นแม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งเป็นบริเวณที่ปากแม่น้ำปิง แม่น้ำยม และแม่น้ำน่าน ไหลมารวมกัน และไหลผ่านช่วงกลางของจังหวัด จึงทำให้ที่ราบปากแม่น้ำขนาดใหญ่ที่อยู่บริเวณสองฝั่งแม่น้ำเจ้าพระยามีความอุดมสมบูรณ์สูง เหมาะแก่การทำเกษตรกรรม และเป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของประชากรสูง อีกทั้งยังเป็นศูนย์กลางการคมนาคม และเป็นแหล่งปลูกพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างมาก

โดยจังหวัดนครสวรรค์ตั้งอยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่างและภาคกลางตอนบนของประเทศไทย ดังแสดงในรูปที่ 1 มีพื้นที่ประมาณ 9,529 ตารางกิโลเมตร (หรือประมาณ 5,955,813 ไร่) แบ่งเป็นพื้นที่การเกษตรประมาณ 6,847 ตารางกิโลเมตร (หรือประมาณ 4,279,704 ไร่) พื้นที่ป่าไม้ประมาณ 953 ตารางกิโลเมตร (หรือประมาณ 595,681 ไร่) ตามลักษณะสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดนครสวรรค์จะเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำโดยเฉพาะตอนกลางของจังหวัด ซึ่งอยู่ในเขตอำเภอเมืองนครสวรรค์ อำเภอบรรพตพิสัย

อำเภอชุมแสง อำเภอท่าตะโก อำเภอโกรกพระ และอำเภอพยุหะคีรี [11] ทางด้านทิศตะวันตกของจังหวัดจะมีภูเขาสลับซับซ้อนและเป็นป่าทึบในเขตอำเภอลาดยาว อำเภอแม่วงก์ อำเภอแม่เปิน และอำเภอชุมตาบง พื้นที่ป่าของจังหวัดเป็นสภาพป่าที่เชื่อมโยงติดต่อกับป่าห้วยขาแข้งของจังหวัดอุทัยธานี [12] ทั้งนี้ พื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ยังเป็นที่ราบตะกอนน้ำพาที่เกิดจากน้ำไหลล้นบริเวณสองฝั่งแม่น้ำและนำพาตะกอนมาสะสม ทำให้พื้นดินในบริเวณนี้เป็นดินอ่อนและสามารถเกิดการทรุดตัวของพื้นดินได้ จึงทำให้ต้องมีการดำเนินการตรวจสอบการทรุดตัวของแผ่นดินอยู่เสมอ



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาวิจัย จังหวัดนครสวรรค์

2.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

2.2.1 ลักษณทางชั้นดินของจังหวัดนครสวรรค์

ลักษณะและสมบัติดินในจังหวัดนครสวรรค์พบว่า เป็นดินตื้นหรือตื้นมากถึงชั้นเศษหิน ซึ่งจะพบชั้นหินในช่วงความลึกต่ำกว่า 50-125 เซนติเมตรจากผิวดิน โดยดินด้านบนเป็นดินร่วนปนทรายหรือดินร่วนเหนียวปนทรายมีเศษหินปะปนเล็กน้อย มีสีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม ส่วนดินด้านล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทรายหรือดินร่วนปนดินเหนียว มีเศษหินและก้อนหินปะปนอยู่มาก มีสีน้ำตาลปนแดงหรือสีน้ำตาลปนแดงเข้ม และจะพบเกล็ดไมก้า (Mica) ตลอดชั้นดิน [13] ลักษณะตะกอนดินพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ จะเป็นตะกอนควอเทอร์นารี (Quaternary) เป็นส่วนมากซึ่งเป็นตะกอนจากลุ่มน้ำ (Qa) ลุ่มน้ำพัด (Qaf) และตะกอนดินขั้นบันได (Qt) [14]

เนื่องจากจังหวัดนครสวรรค์มีชั้นดินและตะกอนดินที่มีความตื้นและเป็นดินที่ค่อนข้างอ่อน อีกทั้งพื้นที่ส่วนมากยังเป็นตะกอนดิน เมื่อระยะเวลาผ่านไปได้มีการขยายตัวของแหล่งชุมชนเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ เพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นที่อยู่อาศัย บ้านเรือน และแหล่งการค้า ทำให้พื้นดินเกิดการรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น อาจทำให้พื้นดินบางแห่งที่เป็นบริเวณชั้นดินที่ไม่แข็งแรง ไม่สามารถทนต่อน้ำหนักได้และเกิดการทรุดตัวของพื้นดินในที่สุด

2.2.2 ลักษณะทางอุทกวิทยาของพื้นที่ศึกษา

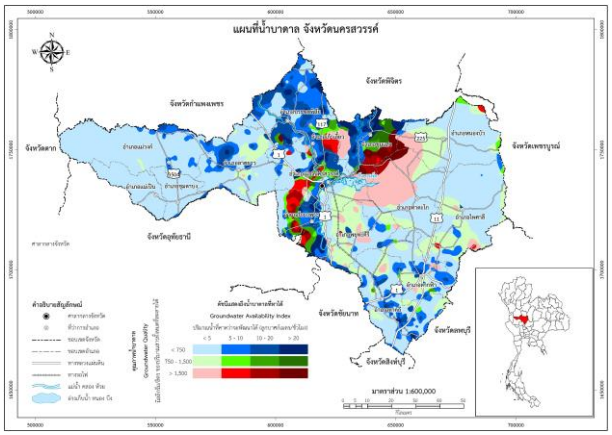
จังหวัดนครสวรรค์มีระบบทางน้ำ (drainage system) ทางด้านทิศตะวันตกเป็นต้นน้ำลำธาร ซึ่งเป็นระบบทางน้ำเป็นแบบคล้ายกิ่งไม้ (Sub Dendritic หรือ Some Control) มีลักษณะของลำน้ำสาขาใหญ่ที่ไหลลงในลำน้ำใหญ่เป็นแบบแขนงของกิ่งไม้ ลำน้ำสาขาบางสาขาจะมีทิศทางการไหลที่ถูกบังคับโดยสภาพภูมิประเทศ หรือตามโครงสร้างหินและภูเขา ส่วนของต้นน้ำจะมีลำน้ำสาขามากกว่าปลายน้ำ ซึ่งลำน้ำใหญ่ที่เป็นที่รวมของลำน้ำสาขาย่อยจะไหลลงไปสู่แม่น้ำปิงและแม่น้ำเจ้าพระยา ในส่วนตอนกลางของจังหวัดนครสวรรค์จะมีแม่น้ำปิงบรรจบกับแม่น้ำน่านไปเป็นแม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำทั้ง 3 สายนี้จะมีระบบทางน้ำเรียกว่า ระบบธารน้ำโค้งตวัด (Meandering system) คือ แม่น้ำจะมีทางน้ำที่คดเลี้ยว และทิ้งร่องรอยของการเปลี่ยนทิศทางการไหลของทางน้ำเป็นลักษณะของหนองบึงเรียกว่า บึงโค้ง (oxbow lake) สำหรับระบบของทางน้ำตอนกลางซึ่งอยู่ ระหว่างแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน จะมีระบบทางน้ำแบบ Beaded Drainage คือ จะมีบึงและหนองเกิดขึ้นมากมายและมีทางน้ำเชื่อมระหว่างบึงต่อบึงหรือหนองต่อหนอง สำหรับทางตะวันออกของจังหวัดนครสวรรค์นั้นเป็นต้นน้ำลำธารเช่นกัน และมีระบบทางน้ำเช่นเดียว กับทางฝั่งตะวันตกซึ่งเป็นแบบทางน้ำคล้ายกิ่งไม้ (Sub dendritic หรือ some control) ซึ่งสาขาของลำน้ำจะไหลรวมเป็นลำน้ำใหญ่แล้วไหลลงสู่แม่น้ำน่าน บึงบอระเพ็ด และแม่น้ำเจ้าพระยา [15]

2.2.3 ข้อมูลน้ำบาดาลของจังหวัดนครสวรรค์

น้ำบาดาล (groundwater) คือ น้ำที่อยู่ในช่องว่างของดินโดยไม่มีอากาศปนอยู่ด้วย ซึ่งชั้นดินบริเวณที่มีน้ำบาดาลอยู่จะถูกเรียกว่า ชั้นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturated Zone) หรือชั้นอุ้มน้ำ (Aquifer) โดยจะอยู่ในชั้นที่ลึกลงไปมากกว่าชั้นดินที่ไม่อุ้มน้ำ น้ำบาดาลเกิดจากน้ำบนผิวดินที่ไหลผ่านชั้นดินลงไป และเก็บกักในช่องว่างใต้ดิน มีความลึกจากผิวดินลงไปเกินกว่า 15 เมตร [16] โดยความหนาแน่นของชั้นน้ำบาดาลจะขึ้นอยู่กับสภาพทางธรณีวิทยา ชั้นน้ำบาดาลเกิดจากกรวดทรายและตะกอนดินที่ถูกแม่น้ำพัดมาสะสมในบริเวณที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา เนื่องจากการทับถมมาเป็นระยะเวลานาน จึงเกิดเป็นชั้นน้ำบาดาลจำนวนหลายชั้น เมื่อมีการสูบน้ำบาดาลจากชั้นหนึ่งชั้นใดไปใช้ก็จะส่งผลกระทบไปยังชั้นน้ำบาดาลชั้นอื่น ๆ ที่สัมพันธ์กันได้

แหล่งน้ำบาดาลจังหวัดนครสวรรค์ประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวสลับกับดินทรายจากแม่น้ำปิง แม่น้ำน่าน ขนานไปกับลำน้ำ มีความกว้างไม่เกิน 30 กิโลเมตร แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกอยู่บริเวณทางตอนเหนือของแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งพบชั้นของน้ำชั้นแรกอยู่ลึกประมาณ 20 เมตรจากผิวดิน ส่วนที่สองอยู่ใต้บึงบอระเพ็ดบริเวณตั้งแต่ตำบลปากน้ำโพเขตอำเภอเมืองนครสวรรค์ลงมา พบชั้นน้ำชั้นแรกอยู่ลึกประมาณ 15 เมตรจากผิวดิน [17] โดยบริเวณพื้นที่ที่มีการใช้น้ำบาดาลของจังหวัดนครสวรรค์จะแสดงในรูปที่ 2

ดังนั้น เมื่อความต้องการใช้น้ำในด้านการอุปโภค-บริโภค และด้านการเกษตรกรรมเพิ่มมากขึ้น รวมถึงมีปัญหาการขาดแคลนน้ำ ทำให้มีการขุดเจาะบ่อบาดาลหรือระบบการสูบน้ำบาดาลมาใช้ ซึ่งปริมาณการสูบน้ำขึ้นมาถ้ามีปริมาณค่อนข้างมาก จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัวในพื้นที่

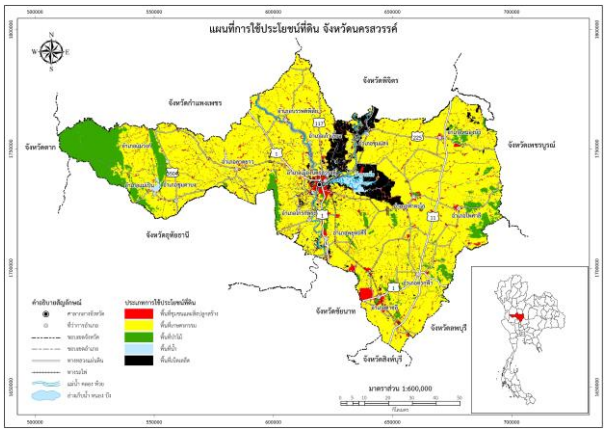


รูปที่ 2 แผนที่การใช้น้ำบาดาลของจังหวัดนครสวรรค์

2.2.4 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

สภาพการใช้ที่ดินในจังหวัดนครสวรรค์ จากการศึกษาข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) พบว่า มีการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านเกษตรกรรม ประมาณร้อยละ 71.85 ของจังหวัด ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยส่วนมากเป็นการทำนาข้าว ประมาณร้อยละ 38.96 ของพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 54.22 ของพื้นที่เกษตรกรรม เนื่องจากกลุ่มดินในจังหวัดนครสวรรค์ส่วนมากเป็นดินบนพื้นที่ราบลุ่ม มีเนื้อที่ 2,772,025 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 46.54 ของจังหวัด จึงเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมในการพัฒนาเพื่อการเกษตรชลประทาน [11]

เนื่องจากความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเป็นบริเวณปากแม่น้ำ ทำให้มีการขยายตัวของแหล่งชุมชนและการใช้ที่ดินแบบเกษตรกรรมที่สูงขึ้น จึงมีปริมาณความต้องการน้ำเพื่อการอุปโภค-บริโภคเพิ่มขึ้น ในบางพื้นที่ที่น้ำประปาไม่เพียงพอ ได้มีการขุดเจาะบ่อบาดาล ส่งผลให้ระดับน้ำบาดาลในพื้นที่ลดลง เกิดเป็นช่องว่างในชั้นดิน จึงอาจเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดิน



รูปที่ 3 แผนที่ลักษณะการใช้ที่ดินจังหวัดนครสวรรค์

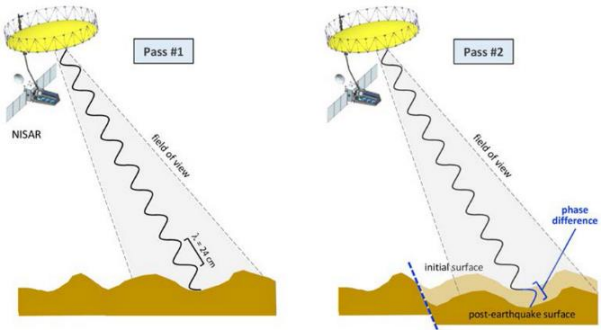
2.3 รายละเอียด Interferometric Synthetic Aparture Radar (InSAR)

2.3.1 Interferometric Synthetic Aparture Radar (InSAR)

เรดาร์รูรับแสงสังเคราะห์แบบอินเตอร์เฟอโรเมตริก (InSAR) เป็นเทคนิคที่สามารถหาค่าการทรุดตัวโดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในลักษณะของพื้นที่ อีกทั้งยังสามารถแสดงรายละเอียดได้ชัดเจนมากกว่าการรังวัดด้วยกล้องระดับ ซึ่งเทคนิค InSAR เป็นวิธีการหาค่าความสูงของวัตถุบนพื้นดิน เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงเฟสของสัญญาณคลื่นไมโครเวฟ โดยข้อดีของการถ่ายภาพ SAR คือ มีการทำงานแบบ Active remote สามารถผลิตสัญญาณคลื่นไมโครเวฟได้ และสามารถถ่ายภาพได้ทุกเวลาทั้งเวลากลางวันและเวลากลางคืน โดยความถูกต้องของภาพ SAR และ InSAR ขึ้นอยู่กับวิธีการประมวลผลและค่าความสูงภูมิประเทศที่นำมาใช้ [18]

ในปัจจุบัน ส่วนมากเทคนิค InSAR ถูกใช้สำหรับการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวที่เกิดขึ้น [19] ซึ่งอาศัยการวิเคราะห์ของผลต่างภาพ SAR ตั้งแต่สองภาพขึ้นไป (Phase Differential) โดยจะรวบรวมภาพ SAR เข้าด้วยกันและคำนวณความแตกต่างระหว่างค่าเฟสที่สอดคล้องกันแบบ pixel-by-pixel [20] ภาพเหล่านี้จะถูกบันทึกที่บริเวณตำแหน่งเดียวกันในช่วงเวลาที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4 ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถศึกษาถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลง (Deformation Pattern) ในลักษณะต่าง ๆ ของพื้นที่ศึกษาที่จะเกิดขึ้นได้ [21] และเมื่อประมวลผลแล้ว ภาพที่ถูกบันทึกจากดาวเทียมจะทับกันสนิท ช่วงเวลานั้นภาพทั้งสองภาพจะไม่มีสิ่งรบกวนในชั้นบรรยากาศ และลักษณะของวัตถุในภาพจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะสามารถบอกความแตกต่างของค่าเฟสที่ตรวจพบในภาพเมื่อเฟสมีการเปลี่ยนแปลง อันเนื่องมาจากการเคลื่อนตัวของพื้นผิวภูมิประเทศที่เกิดขึ้นในช่วงการบันทึกภาพในแต่ละครั้ง [22]

นอกจากนี้ เทคนิค InSAR ยังสามารถใช้งานได้ในทุกสภาพอากาศทั้งกลางวันและกลางคืนโดยไม่เสียค่าใช้จ่าย ทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง การทรุดตัวของแผ่นดิน ตรวจสอบแนวโน้มการเปลี่ยนรูปของพื้นดิน เพื่อที่จะสามารถป้องกันความเสียหายและแจ้งเตือนได้ทันเวลา รวมถึงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมสำรวจ เนื่องจากเทคนิค InSAR ให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ [23]



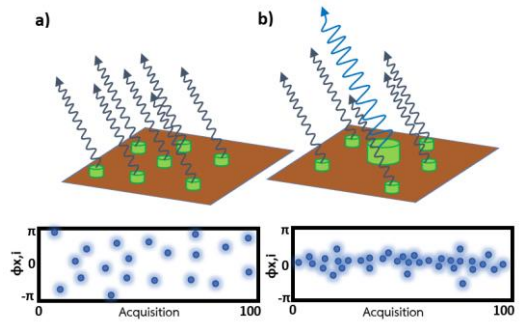
รูปที่ 4 ลักษณะการถ่ายภาพ SAR ที่เวลาต่างกัน [24]

2.3.2 หลักการของ Time Series InSAR

อนุกรมเวลาอินซาร์ (Time-Series InSAR) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูล InSAR ที่นำเอาชุดข้อมูล InSAR จำนวนมาก ซึ่งได้จากการรวบรวมภาพ SAR มาวิเคราะห์เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงของพื้นที่ ตั้งแต่ช่วงเวลาที่เริ่มต้นจนถึงปัจจุบัน [25] โดยเทคนิค Time series InSAR จะอาศัยค่าการสะท้อนกลับของสัญญาณที่คงที่ (Permanent Scatterer, PS) ของสัญญาณเรดาร์ที่ส่งไปกระทบกับวัตถุแล้วสะท้อนกลับมายังเสาอากาศ โดยจะใช้หลักการสร้างจำนวนภาพ Differential Interferograms ทั้งนี้คู่ภาพที่ถูกสร้างขึ้นมานั้นจะอาศัยการอ้างอิงจากภาพ Master ภาพเดียวกัน อย่างไรก็ตาม เทคนิคอนุกรมเวลาอินซาร์ ยังสามารถให้จำนวนจุดตรวจสอบที่มาก จึงมีความหนาแน่นของจุดตรวจสอบมากพอที่จะแก้ไขปัญหาในเรื่องของผลลัพธ์คาดเคลื่อนเนื่องมาจากจุดตรวจสอบน้อยเกินไป รวมถึงข้อจำกัดของการใช้งานในการตรวจสอบค่าการทรุดตัว ทำให้มีค่าความแม่นยำและถูกต้องในระดับมิลลิเมตร [7] สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการประมวลผลอนุกรมเวลาของภาพเรดาร์โดยใช้วิธี Persistent Scatterers เป็นอีกหนึ่งวิธีของเทคนิค Time-series InSAR

2.3.3 เทคนิค Persistent Scatterers InSAR

เทคนิค Persistent Scatterers InSAR (PSI) เป็นวิธีการที่ได้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดสูง ใช้สำหรับการตรวจจับและวัดค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโลก ซึ่งเทคนิค PSI นั้นจะใช้ข้อมูลเฟสเรดาร์ที่มีความเชื่อมโยงกันจากตัวสะท้อนเรดาร์จำนวนหลายตัวบนพื้นดิน [26] โดยจะอาศัยค่าสะท้อนกลับของคลื่นไมโครเวฟ เรียกว่า Permanent scatterer (PS) โดยค่าการสะท้อนกลับของแต่ละจุดภาพ (Pixel) เป็นการรวมผลแบบเวกเตอร์ของการกระเจิง (Backscattering) ที่เกิดจากวัตถุในแต่ละจุดภาพ ดังรูปที่ 5a และเมื่อเวลาผ่านไป การเปลี่ยนแปลงของวัตถุเหล่านี้ เช่น พืช ป่าไม้ การขยายตัวของชุมชน หรือวัตถุที่มีการเปลี่ยนตำแหน่ง จะทำให้ผลรวมค่าการสะท้อนคลื่นไมโครเวฟของจุดภาพนั้นเปลี่ยนไป [7] ดังรูปที่ 5b จึงเปรียบได้ว่าการที่ค่าการสะท้อนของจุดภาพนั้นมีค่าเปลี่ยนไป เกิดการที่วัตถุหรือพื้นผิวนั้นมีการเคลื่อนตัวในแนวราบหรือแนวดิ่ง [26] ซึ่งทำให้เทคนิคนี้มีความเหมาะสมกับการใช้เพื่อตรวจสอบการทรุดตัวของแผ่นดิน



รูปที่ 5 การจำลองเฟส a) จุดภาพที่ไม่มีการ Dominate b) จุดภาพที่มีการ Dominate สะท้อนตัวใดตัวหนึ่ง

2.3.4 Stanford Method for Persistent Scatterers (StaMPS)

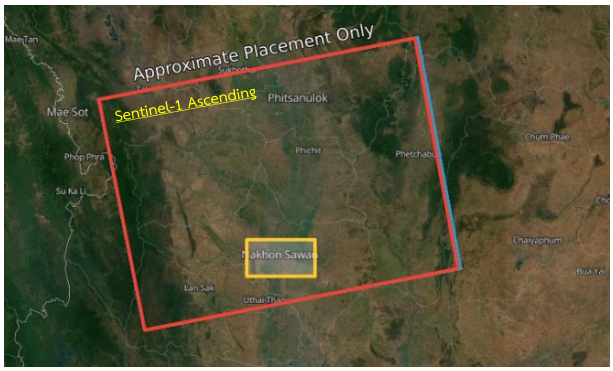
การวิเคราะห์ด้วยวิธี StaMPS นั้นจะใช้ภาพ SAR ที่ถูกบันทึกจากตำแหน่งของพื้นที่ที่ต้องการวิเคราะห์เดียวกัน ในช่วงเวลาที่ต่างกัน ภาพ SAR จะมี Persistent Scatterers (PS) หรือจุดที่มีความสามารถในการส่งสัญญาณกลับไปยังเครื่องรับสัญญาณอย่างต่อเนื่อง จากนั้นใช้ StaMPS เพื่อนำภาพ SAR เหล่านี้มาประมาณการเคลื่อนไหวของพื้นผิว และการแก้ไขปัญหาการแยกองค์ประกอบของสัญญาณ (Signal Decomposition) [27] เทคนิค PS ในช่วงแรกนั้นจะใช้ค่าแอมพลิจูดในการคัดกรอง ซึ่งช่วยในเรื่องการไม่มีค่าสหสัมพันธ์กันของข้อมูล และช่วยแก้ไขปัญหาในเรื่องความคลาดเคลื่อนของสัญญาณในแต่ละจุดภาพนั้น โดยส่วนใหญ่แล้วค่าสหสัมพันธ์ขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของค่า scattering ที่สะท้อนกลับมาจากพื้นดินเป็นแบบสุ่ม (random) ส่งผลให้จุดภาพเหล่านั้นไม่มีความคงที่ของเฟส พื้นที่ทำการศึกษานั้นจึงถูกจำกัดให้มี bright scatterer จำนวนมาก เช่น บริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างค่อนข้างเยอะ และอีกหนึ่งข้อจำกัดคือ ต้องทราบค่าแบบจำลองการเคลื่อนตัวของพื้นผิวไว้ก่อนหน้า หรือมีการเคลื่อนตัวที่คงที่ จึงจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพได้ [22] ดังนั้นจึงอนุมานได้ว่า จุดภาพที่มีค่าความคงที่ของเฟสมาก จุดภาพนั้นก็ยิ่งมีโอกาสที่จะมีค่าสหสัมพันธ์มากตามไปด้วย เรียกว่า PS Pixel โดยจะประมวลผลหาค่าการเคลื่อนตัวต่อไป

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การประมวลผล Time Series InSAR

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการทรุดตัวของพื้นที่บริเวณจังหวัดนครสวรรค์ที่มีการสูบน้ำบาดาลบริเวณแหล่งชุมชน ที่อยู่อาศัย เพื่อนำมาใช้อุปโภคบริโภค หรือทำเกษตรกรรม ส่งผลให้ใต้ชั้นดินเกิดช่องว่าง และทรุดตัวลงในที่สุด นอกจากนี้พื้นดินบริเวณจังหวัดนครสวรรค์ซึ่งเป็นดินอ่อน เมื่อมีการขยายตัวของชุมชน มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มมากขึ้น อาจส่งผลให้บริเวณดังกล่าวทรุดตัวได้เช่นกัน

ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-1 วงโคจรแบบขาขึ้น (Ascending orbit) พื้นที่ศึกษา จังหวัดนครสวรรค์ ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นวงโคจรที่เคลื่อนที่จากทิศใต้ไปทิศเหนือเหนือพื้นผิวโลก เทคนิคนี้มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการตรวจสอบการเสียรูปของพื้นดินที่เกิดจากกระบวนการทางธรณีวิทยา เช่น ภูเขาไฟ แผ่นดินไหว และแผ่นดินถล่ม เป็นต้น และใช้เทคนิค Time Series InSAR ด้วยวิธี Persistent Scatterers ที่มีความละเอียดสูงสำหรับการตรวจจับและวัดค่าการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโลก เพื่อที่จะนำค่าไปวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวบริเวณพื้นที่นั้น ซึ่งใช้ภาพถ่าย SAR เป็นจำนวนทั้งหมด 34 ภาพ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึง 1 กุมภาพันธ์ 2566 ดังตารางที่ 1

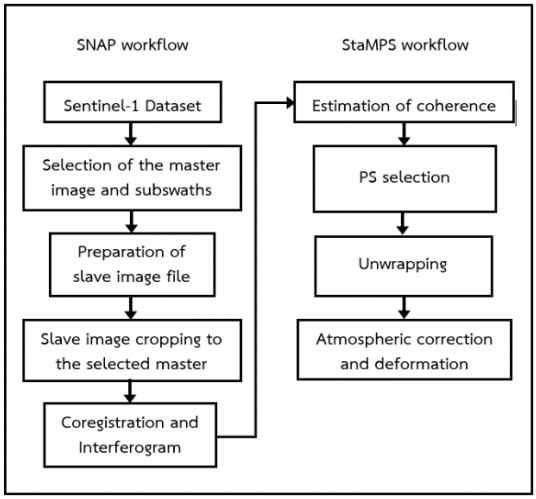


รูปที่ 6 ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-1 วงโคจรขาขึ้น

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดภาพถ่ายจำนวนทั้งหมด 34 ภาพ

ภาพที่	วันบันทึกภาพ	ภาพที่	วันบันทึกภาพ
1	2563-03-07	18	2563-05-30
2	2560-10-13	19	2563-07-17
3	2560-11-06	20	2563-09-15
4	2560-12-12	21	2563-11-14
5	2561-01-29	22	2564-01-25
6	2561-03-06	23	2564-03-26
7	2561-05-25	24	2564-05-13
8	2561-07-16	25	2564-07-24
9	2561-09-26	26	2564-08-22
10	2561-11-13	27	2564-11-21
11	2562-01-24	28	2654-01-08
12	2562-03-13	29	2564-03-21
13	2562-05-24	30	2564-05-20
14	2562-07-23	31	2564-07-07
15	2562-09-09	32	2564-09-17
16	2562-11-20	33	2564-11-16
17	2563-01-07	34	2564-01-27

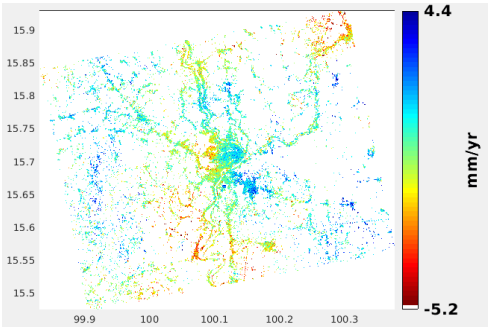
โดยขั้นตอนในการโหลดภาพนั้นจะต้องใช้ภาพที่มี Path และ Frame เดียวกันทั้งหมด จะทำให้ภาพซ้อนกันพอดี เพื่อที่จะสามารถนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนของการสร้าง Interferogram ได้ โดยใช้โปรแกรม SNAP เลือกภาพ Master ใช้ในการอ้างอิงจับคู่ภาพ ที่เป็นข้อมูลของวันที่ 7 มีนาคม 2560 (Subswath : IW2, VV โพลาไรเซชัน, Burst 6-8) ทำการเตรียมข้อมูลก่อนเข้าซอฟต์แวร์ StaMPS โดยใช้คำสั่ง mt_prep_snap ในการประมวล Time Series InSAR จะสร้างไฟล์ PS Candidates หลักจากนั้นเข้าไปประมวลผล StaMPS ในซอฟต์แวร์ MATLAB เพื่อหา PS pixel ที่เป็นลักษณะจุดภาพที่มีการ Dominate ตัวสะท้อนของสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ถัดมาทำการ Unwrapped Interferogram จากข้อมูล Differential InSAR ที่มีหลักการทำงานโดยหาค่าต่างเฟสระหว่างจุดภาพภายใน Interferogram แล้วจึงหาผลรวมอีกครั้งเพื่อให้ได้เฟสที่ต่อเนื่องกัน เพื่อแปลงเป็นข้อมูลในรูปแบบของค่าพิกัดลองติจูด ละติจูด และค่าการทรุดตัว โดยได้แสดงเป็นแผนผังถึงขั้นตอนกระบวนการทำงานเพื่อหาค่าการทรุดตัวของแผ่นดิน ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แผนผังขั้นตอนการประมวลผลด้วยเทคนิคอนุกรมเวลา

3.2 ข้อมูลแสดงแผนที่การเคลื่อนตัว

เมื่อได้ค่าการเคลื่อนตัว (Deformation) และค่าพิกัด Longitude, Latitude ที่ได้จากการประยุกต์อนุกรมเวลาอินซาร์ในการตรวจสอบการทรุดตัวของพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ จากโปรแกรม MATLAB แล้วนั้น ทำการนำเข้าในส่วนของโปรแกรม QGIS มาแสดงผลลงในแผนที่ โดยการสร้างชั้นข้อมูล (Layer) และกำหนดค่าพิกัดในแนวแกน X (Longitude), Y (Latitude) และ Z (Deformation) ที่ได้มานั้น แล้วทำการ Classify ข้อมูลตามที่ต้องการ เพื่อให้ค่าที่แสดงบนแผนที่มีความถี่ของข้อมูลที่ชัดเจนและเห็นได้ชัดขึ้น โดยผลลัพธ์จากการประยุกต์ใช้อนุกรมเวลาอินซาร์ที่แสดงนั้น จะเป็นจุดข้อมูล (Point) ในแต่ละสีที่แสดงถึงค่าการทรุดตัวของแผนดิน ทำให้รู้ว่าบริเวณในพื้นที่นั้นมีการทรุดตัวมากน้อยแค่ไหน จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 8



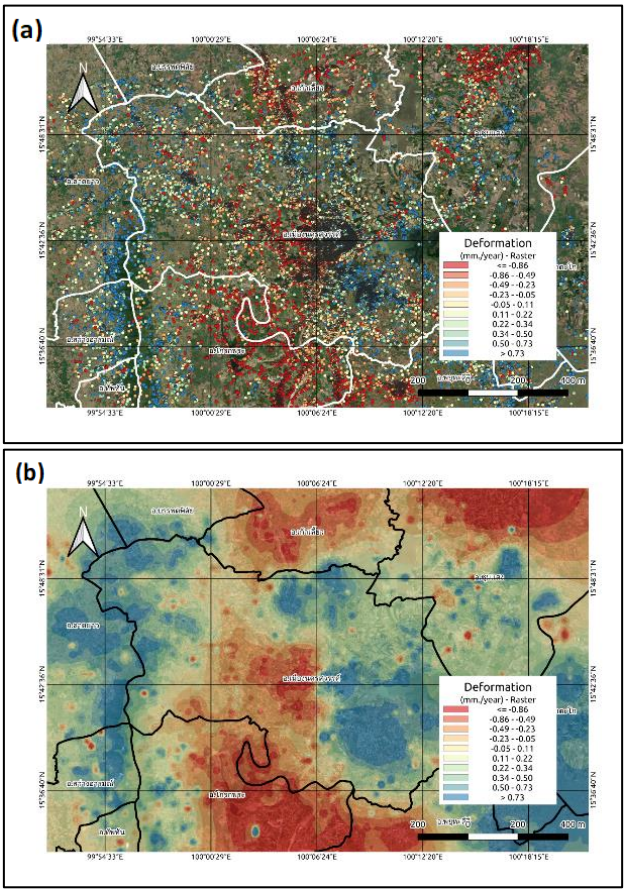
รูปที่ 8 การวิเคราะห์การทรุดตัวจาก MATLAB

4. ผลลัพธ์

ผลจากการศึกษาการติดตามการทรุดตัวในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ด้วยเทคนิค Time Series InSAR จากภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-1 จำนวน 34 ภาพ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึง 1 กุมภาพันธ์ 2566 จากการวิเคราะห์ค่าการทรุดตัวในแนววงโคจรของดาวเทียมขาขึ้น

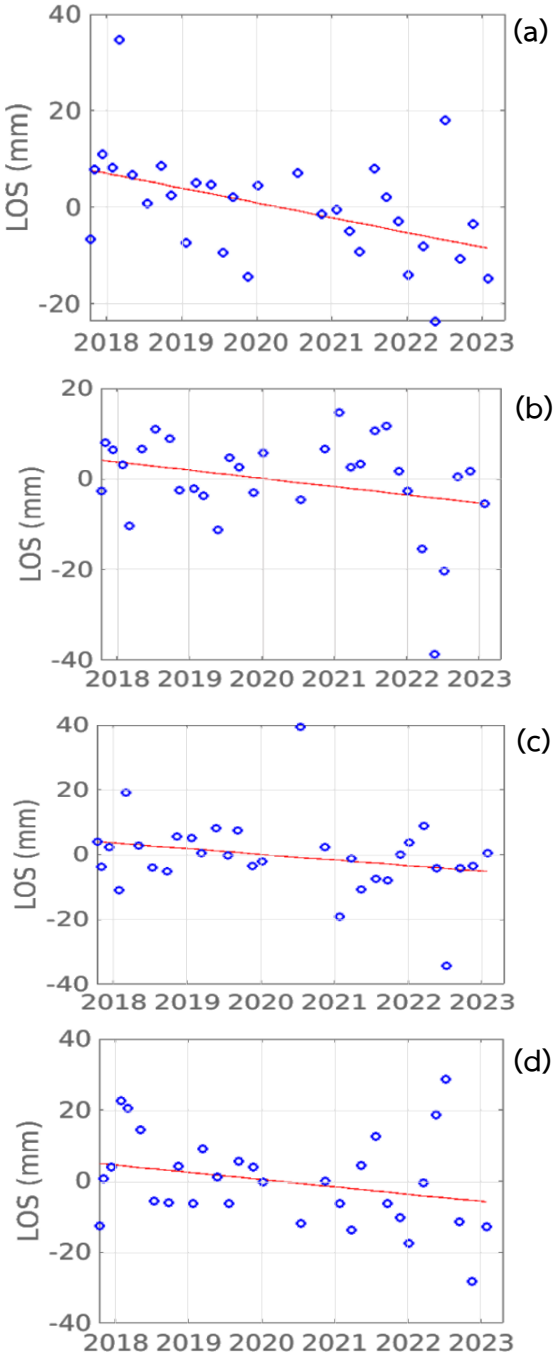
(Ascending) ทราบจำนวนจุดตรวจสอบ (PS Pixel) ถึง 260,424 จุด ที่แสดงถึงความหนาแน่นมากในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ ดังรูปที่ 9(a) ซึ่งมีค่าการทรุดของแผ่นดินอยู่ในช่วงประมาณ -5.2 (การทรุดตัว) ถึง 4.4 (การยกตัวขึ้น) มิลลิเมตรต่อปี

ทั้งนี้ ได้ทำการปรับแก้ค่าการทรุดตัวจากเดิมที่อยู่ในรูปแบบจุดตรวจสอบ (PS Pixel) ซึ่งอาจทำให้มองเห็นภาพไม่ชัดเจน โดยทำการ Interpolate ข้อมูลใหม่ให้เป็นรูปแบบราสเตอร์ (Raster) คือข้อมูลที่มีการจัดเก็บเป็นช่องตารางสี่เหลี่ยม แต่ละช่องตารางเรียกว่าพิกเซล (Pixel) ที่แสดงดังรูปที่ 9(b) ทำให้แสดงความหนาแน่นของการทรุดตัวในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ได้ดี และมองเป็นบริเวณวงกว้างของพื้นที่ชัดเจนขึ้น



รูปที่ 9 (a) แผนที่แสดงการทรุดตัวพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ (มม./ปี) (b) แผนที่ปรับแก้การทรุดตัวพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ (มม./ปี)

เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Persistent Scatterers InSAR ในระยะเวลาตั้งแต่ปี 2560 ถึง 2566 ได้ยกตัวอย่างพื้นที่บริเวณอำเภอโกรกพระ อำเภอ อำเภอเมืองนครสวรรค์ อำเภอชุมแสง และอำเภอเก้าเลี้ยว จังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการใช้น้ำบาดาลสูง และยังเป็นพื้นที่ที่มีสิ่งก่อสร้างอาคาร บ้านเรือนอยู่เป็นจำนวนมาก เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงค่าการทรุดตัวในพื้นที่นั้นได้ชัดเจนขึ้น โดยเป็นกราฟที่แสดงจุดภาพ (PS Pixel) ดังแสดงดังรูปที่ 10 ที่บอกแนวโน้มการเคลื่อนตัวสะสมของแผ่นดินจากแนววงโคจรของดาวเทียมแบบขาขึ้น (Ascending) ทำให้เห็นถึงรูปแบบเปลี่ยนแปลงของการทรุดตัวได้ชัดเจน ตลอดระยะเวลา 6 ปี



รูปที่ 10 แนวโน้มการทรุดตัวสะสม ในช่วงปี พ.ศ. 2560 ถึง พ.ศ. 2566 a) บริเวณอำเภอโกรกพระ ตำแหน่ง Lat 15.5651 Lon 100.0713 b) บริเวณอำเภอเมืองนครสวรรค์ ตำแหน่ง Lat 15.7084 Lon 100.0889 c) บริเวณอำเภอเก้าเลี้ยว ตำแหน่ง Lat 15.8380 Lon 100.0751 และ d) บริเวณอำเภอชุมแสง ตำแหน่ง Lat 15.8918 Lon 100.3048

จากการวัดการเปลี่ยนรูปด้วยเทคนิค PSI นั้น แสดงให้เห็นถึงพื้นที่แต่ละอำเภอที่มีการทรุดตัวของพื้นดินอย่างชัดเจน โดยผลการวิเคราะห์แนวโน้มการทรุดตัวสะสมในบริเวณพื้นที่ทั้ง 4 อำเภอ ได้แก่ อำเภอโกรกพระ อำเภอเมืองนครสวรรค์ อำเภอเก้าเลี้ยว และอำเภอชุมแสง ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2560

ถึง พ.ศ. 2566 เป็นระยะเวลา 7 ปี จะสังเกตได้ว่า แนวโน้มการทรุดตัวพื้นที่ทั้ง 4 อำเภอ ไปในทิศทางลบ และมีการทรุดตัวเพิ่มขึ้นในแต่ละปี

5. บทสรุป

การพัฒนาระบบวิเคราะห์เชิงพื้นที่เพื่อการตรวจสอบการทรุดตัวของจังหวัดนครสวรรค์ ด้วยเทคนิค Time Series InSAR วิธี Persistent Scatterers เป็นเทคนิคที่แสดงเป็น PS Pixel แสดงถึงจุดที่มีการทรุดตัวของแผ่นดินค่อนข้างชัดเจน และจำนวนความหนาแน่นที่เยอะ และใช้ได้ในทุกประเภทพื้นที่ในภูมิประเทศต่าง ๆ ทำให้มีความละเอียดแม่นยำมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเป็นเทคนิคที่สำคัญและเป็นที่ต้องการในปัจจุบัน

งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิค Time Series InSAR มาวิเคราะห์เพื่อหาบริเวณที่มีการทรุดตัวในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้ภาพ SAR ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึง 1 กุมภาพันธ์ 2566 จำนวนทั้งหมด 34 ภาพ โดยผลลัพธ์ที่ได้มีจำนวนจุดตรวจสอบถึง 260,424 จุด มีค่าการทรุดตัวโดยประมาณ -5.2 ถึง 4.4 มิลลิเมตรต่อปี ซึ่งค่าลบแสดงถึงการทรุดของแผ่นดิน และค่าบวกแสดงถึงการยกตัวขึ้นของแผ่นดิน ซึ่งจะสังเกตได้ว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560 ไปจนถึง พ.ศ. 2566 มีแนวโน้มการทรุดตัวสะสมที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในบางพื้นที่ที่มีค่าการทรุดตัวของแผ่นดินมากกว่าบริเวณอื่น ๆ เช่น บริเวณพื้นที่ที่มีการใช้น้ำบาดาล หรือพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดิน เป็นต้น ทั้งนี้ บริเวณพื้นที่ดังกล่าวล้วนเป็นบริเวณที่อยู่อาศัยของประชาชนรวมถึงพื้นที่ทำการเกษตร อาจจะได้รับผลกระทบจากความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สิน หากไม่ได้รับการตรวจสอบการทรุดตัวของแผ่นดิน เพราะฉะนั้น การนำเทคนิค Time - Series InSAR มาวิเคราะห์หาจุดบริเวณที่มีการทรุดตัวจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมาก อีกทั้งยังสามารถติดตามการทรุดตัวได้ตลอดเวลา และลดข้อจำกัดทางด้านสภาพบรรยากาศอีกด้วย

จากการวิจัยนี้พบว่า การทรุดตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละพื้นที่ของจังหวัดนครสวรรค์นั้น มีบางพื้นที่ที่มีค่าการทรุดตัวสูงกว่าบริเวณพื้นที่อื่น ๆ อาทิ อำเภอโกรกพระ อำเภอเมืองนครสวรรค์ อำเภอชุมแสง และอำเภอเก้าเลี้ยว แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ดังกล่าวที่มีการทรุดตัวอาจเป็นผลมาจากการใช้น้ำบาดาลในปริมาณที่ค่อนข้างมาก ซึ่งสอดคล้องกับแผนที่การใช้น้ำบาดาลของจังหวัดนครสวรรค์ นอกจากนี้การทรุดตัวที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ เมื่อมีการขยายตัวของชุมชนแหล่งค้าขาย ทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวมีรูปแบบของการใช้ที่ดินในการทำการเกษตร ก่อสร้างอาคารบ้านเรือน อาจส่งผลให้พื้นดินเกิดการรับน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ถ้าชั้นดินบริเวณนั้นไม่แข็งแรง ไม่สามารถทนต่อน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นได้ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการทรุดตัวของพื้นดิน เป็นต้น ทั้งนี้แนวโน้มของค่าการทรุดตัวที่มากขึ้นในแต่ละปีนั้นอนุมานได้ว่า เมื่อระยะเวลาผ่านไปพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์จะมีความเสี่ยงที่จะเกิดแผ่นดินทรุดตัวมากยิ่งขึ้น ทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินที่ไม่อาจประเมินค่าได้ ดังนั้น จึงควรให้ความสำคัญกับการติดตามการทรุดตัวอยู่ตลอดเวลา

กิตติกรรมประกาศ

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-1 จากโครงการ Copernicus Sentinel โดยใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2560 ถึง 1 กุมภาพันธ์ 2566 จึงขอขอบคุณ European Space Agency (ESA) จาก ASF DAAC ที่ใช้การประมวลผล Time Series InSAR รวมถึงซอฟท์แวร์ SNAP (The Sentinel Application Platform) และ StaMPS (Stanford Method for Persistent Scatterers) และขอขอบคุณซอฟท์แวร์ QGIS ที่แสดงผลลัพธ์ออกมาเป็นแผนที่แสดงรายละเอียดชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

[1] ปรเมศร์ อมาตยกุล และ เทวินทร์ โจมทา. (2558). เอกสารวิชาการอุตุนิยมวิทยาน่ารู้เพื่อการเกษตรจังหวัดนครสวรรค์ (ส่วนอุตุนิยมวิทยาเกษตร สำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา).

[2] โชคชัย เนาว์รุ่งโรจน์. (2548). *การวิเคราะห์จำแนกสถานการณ์การทรุดตัวของแผ่นดินตามสภาพการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินและน้ำบาดาล กรณีศึกษาจังหวัดสมุทรปราการ*, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

[3] กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2553). รายงานสำรวจดินเพื่อการเกษตร จังหวัดนครสวรรค์.

[4] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล (2563). แผ่นดินทรุด. สืบค้นข้อมูลจาก : URL: http://www.dgr.go.th/gwcr/th/newsAll/163/3323

[5] Aobpaet, A., et al. (2013). "InSAR time-series analysis of land subsidence in Bangkok, Thailand." *International Journal of Remote Sensing,* 34(8): pp.2969-2982.

[6] Hu, Bo, Junyu Chen, and Xingfu Zhang. 2019. Monitoring the Land Subsidence Area in a Coastal Urban Area with InSAR and GNSS, Sensors 19, no. 14: pp.3181.

[7] สรศักดิ์ ชัยทวี. (2554). การติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยเทคนิค Time-Series InSAR. วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมสำรวจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[8] Kang, Y., Zhao, C., Zhang, Q., Lu, Z., & Li, B. (2017). Application of InSAR techniques to an analysis of the Guanling landslide. *Remote Sensing*, 9(10), pp.1046.

[9] Hu, B., Chen, J., & Zhang, X. (2019). Monitoring the land subsidence area in a coastal urban area with InSAR and GNSS. Sensors, 19(14), pp.3181.

[10] Giardina, G., Milillo, P., DeJong, M. J., Perissin, D., & Milillo, G. (2019). Evaluation of InSAR monitoring data for post-tunnelling settlement damage assessment. *Structural Control and Health Monitoring*, 26(2), pp.e2285.

[11] กรมชลประทาน สำนักบริหารโครงการ. (2561). รายงานแผนแม่บทการพัฒนาลุ่มน้ำระดับจังหวัด จังหวัดนครสวรรค์.

[12] สำนักงานแรงงาน จังหวัดนครสวรรค์. ข้อมูลภูมิประเทศ จังหวัดนครสวรรค์. สืบค้นข้อมูลจาก : URL : https://nakhonsawan.mol.go.th/ข้อมูลภาพรวมจังหวัด/ภูมิประเทศ

[13] กรมพัฒนาที่ดิน สำนักสำรวจและวิจัยทรัพยากรดิน (2546). *การกำหนดลักษณะของชุดดินที่จัดตั้งในภาคเหนือและที่สูงตอนกลางของประเทศไทย.*

[14] Singtuen V. and Phajuy B. (2020) Archaeological Distribution of Geoheritage for Geotourism Development in Nakhon Sawan Province, Thailand. Quaestiones Geographical, Vol.39 (Issue 3), pp.57-68.

[15] กองสำรวจและจำแนกดิน กรมพัฒนาที่ดิน. รายงานการสำรวจดินจังหวัดนครสวรรค์, หน้า 24-26

[16] รณบรรจบ อภิรติกุล. (2559). *การวิเคราะห์การเคลื่อนที่มลพิษในน้ำบาดาลด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์*, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.

[17] จังหวัดนครสวรรค์. ข้อมูลแหล่งน้ำบาดาล จังหวัดนครสวรรค์. สืบค้นข้อมูลจาก : URL: http://123.242.166.5/webnkw/nsinfo/generaldata/index.php?tagpage=gdata13

[18] Andersen, H.-E., McGaughey, R. J., Carson, W. W., Reutebuch, S. E., Mercer, B., & Allan, J. (2003). A comparison of forest canopy models derived from LIDAR and INSAR data in a Pacific Northwest conifer forest. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 34(3), pp.211-217.

[19] Pepe, Antonio, and Fabiana Calò. (2017). *A Review of Interferometric Synthetic Aperture RADAR (InSAR) Multi-Track Approaches for the Retrieval of Earth's Surface Displacements*, Applied Sciences 7, no. 12: 1264

[20] Zhong, l., Ohig, K. and Russell, R. (2007). Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR): Its Past, Present and Future, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47, pp.217-221

[21] สรศักดิ์ ชัยทวี, อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ และอนุเผ่า อบแพทย์ (2557). การติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานคร และปริมณฑลโดยเทคนิค Time-Series InSAR. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19.*

[22] ปวัน ภิรมย์ทอง. (2558). *การตรวจหาอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในช่วงปี ค. ศ. 1996-2000 และแนวโน้มการทรุดตัวบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาอินซาร์*, วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.

[23] Korawat. N (2020). *The Persistent Scatterer Interferometry (PSI) technique for ground deformation and landslide monitoring using Sentinel-1 images time-series*, Master of Science in Geoinformatics, Burapha University.

[24] Osmanoğlu, B., Sunar, F., Wdowinski, S., & Cabral-Cano, E. (2016). Time series analysis of InSAR data: Methods and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115, pp.90-102.

[25] Liu, P., et al. (2016). Anatomy of subsidence in Tianjin from time series InSAR. *Remote Sens.* 8 (3), pp.266.

[26] Bell, J. W., Amelung, F., Ferretti, A., Bianchi, M., & Novali, F. (2008). Permanent scatterer InSAR reveals seasonal and long-term aquifer-system response to groundwater pumping and artificial recharge. *Water Resources Research*, 44(2).

[27] Yang, B., et al. (2019). An improved stanford method for persistent scatterers applied to 3D building reconstruction and monitoring. *Remote Sensing*, 11(15), pp.1807.