การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน และอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินจากเทคนิคอนุกรมเวลา InSAR

A Study of the Relationship Between Changes in Piezometric Pressure and Land Subsidence Rate from InSAR Time-Series Technique

อนิรุทธ์ ลดาวดี[1,*] อนุเผ่า อบแพทย์[2] และ สรวิศ สุภเวชย์[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

**Corresponding author; E-mail address: anirut.la@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากเทคโนโลยีอนุกรมเวลาจากอินซาร์ (Time-Series InSAR) ในการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดิน ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ให้ข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่จังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาครและเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินกับการเปลี่ยนแปลงอัตราการทรุดตัว โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม sentinel-1 ตั้งแต่วันที่ 2018-06-08 ถึง 2021-10-14 โดยการสร้าง Interferogram ด้วยโปรแกรม SNAP และการประมวลผลวิธี Persistent Scatterer โดยใช้ StaMPS และ TRAIN ในโปรแกรม MATLAB และการพล็อตข้อมูลอนุกรมเวลา ทำให้ได้จุดตรวจสอบที่มากกว่า 800,000 จุด และค่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินอยู่ในช่วงประมาณ -33.13 ถึง +32.79 มิลลิเมตรต่อปี จากสถานีวัดแรงดันน้ำใต้ดิน จังหวัดนครปฐม และจังหวัดสมุทรสาคร ภายในรัศมี 200 เมตร ได้ค่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินอยู่ในช่วงประมาณ -4.81 ถึง +0.27 มิลลิเมตรต่อปี และ -16.11 ถึง -3.27 มิลลิเมตรต่อปีตามลำดับ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบข้อมูลแรงดันน้ำใต้ดินตั้งแต่เดือนพฤษภาคมปี 2019 ถึงเดือนกันยายน 2021 ของทั้ง 2 สถานี มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินภาพรวมลดลงโดยมีค่าประมาณ 2.5 ถึง 8.4 kPa ต่อปี และ 1.8 ถึง 18.6 kPa ต่อปีตามลำดับ เมื่อพิจารณาระหว่างการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินกับค่าการทรุดตัวของแผ่นดินจากเทคนิค InSAR นั้น พบว่ามีความสอดคล้องกัน

คำสำคัญ: การทรุดตัวของแผ่นดิน, InSAR, แรงดันน้ำใต้ดิน

Abstract

To monitor land subsidence in Nakhon Pathom and Samut Sakhon Province and to study the relationship between changes in piezometric pressure and land subsidence rate, this research applied InSAR time series analysis as a tool that provides adequate spatial data. Using Sentinel-1 data from June 2018 to October 2021, we have developed the processing procedure using SNAP for interferometric handling and data preparation for Persistent Scatterer of StaMPS and TRAIN application platform and time series plots processing. We found over 800,000 observations in the study area and the land subsidence rate of the ground ranged from -33.13 to +32.79 mm. per year. From piezometric pressure data stations, such as Nakhon Pathom province station and Samut Sakhon province station, within a radius of 200 m, the land subsidence rate of the ground ranged from -4.81 to +0.27 mm. per year and -16.11 to -3.27 mm. per year, respectively. From piezometric pressure data from May 2018 to September 2021 in two locations, the trend of change in piezometric pressure declines rate ranged from 2.5 to 8.4 kPa. per year and 1.8 to 18.6 kPa. per year of the time frame of analysis. The variations between changes in groundwater pressure and land subsidence values from the InSAR technique were relatively consistent.

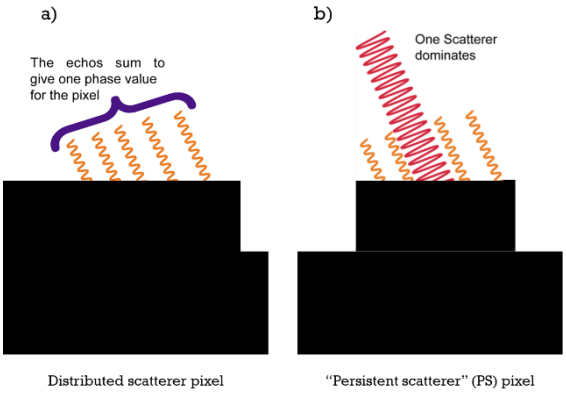
Keywords: Land Subsidence, InSAR, Piezometric Pressure

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้เทคนิคการแปลความหมายภาพถ่ายดาวเทียม การติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งเทคโนโลยีทางการสำรวจระยะไกลในช่วงคลื่นไมโครเวฟที่ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมแบบอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) ที่เรียกว่า Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) เป็นวิธีการหนึ่ง ซึ่งได้มีการค้นคว้า วิจัย และพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ในการวัดติดตาม และวิเคราะห์ การทรุดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวโลก โดยการใช้ความรู้ในเรื่องค่าต่างเฟสของคลื่นไมโครเวฟ จากภาพถ่ายดาวเทียมระบบเรดาร์ ซึ่งมีความซับซ้อนและต้องการความชำนาญเฉพาะด้านในการ

ประมวลผลและแปลสัญญาณออกมาเป็นค่าอัตราการทรุดตัว เทคโนโลยี
ทางด้านดาวเทียมเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์ (Synthetic Aperture Radar)
ได้เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างสูงในการติดตามสถานการณ์การทรุดตัวของ

เปลี่ยนแปลงตำแหน่งไม่ว่าเกิดจากสาเหตุใดก็ตามล้วนแล้วแต่ทำให้แอมพลิจูดและเสรวมของจุดภาพนั้นเปลี่ยนไป อย่างไรก็ตามหากภายในจุดภาพนั้นมีวัตถุจำนวนหนึ่งที่ทำให้เกิดการกระเจิงที่มีขนาดใหญ่กว่าวัตถุอื่น ๆ เป็นอย่างมากและตลอดช่วงเวลาที่มีการบันทึกภาพ วัตถุเหล่านี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง(วัตถุเหล่านี้เรียกว่า Persistent หรือ Permanent scatterers, PS) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับวัตถุอื่น ๆ ภายในจุดภาพเดียวกันที่ก่อให้เกิดการกระเจิงที่มีขนาดเล็กกว่าจะไม่ทำให้ผลรวมของแอมพลิจูดและเฟสของการกระเจิงของจุดภาพนั้นเปลี่ยนไป ดังรูป 2b ในบริเวณพื้นที่เมือง PS ส่วนใหญ่คือสิ่งปลูกสร้าง อาคารบ้านเรือน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของเฟสที่เกิดขึ้นในจุดภาพเหล่านี้ จึงอนุมานได้ว่าเกิดจากการเคลื่อนตัว (จากสาเหตุใดก็แล้วแต่ เช่น แผ่นดินทรุด) ของ PS ทั้งหมดนี้คือหลักการพื้นฐานของเทคนิค PS InSAR [6]



รูปที่ 2 การจำลองของเฟส a) จุดภาพที่ scatterer pixel แบบกระจาย b) Persistent Scatter pixel ของจุดภาพที่มีการ dominate สะท้อนตัวใดตัวหนึ่ง
ที่มา : Hooper, 2016

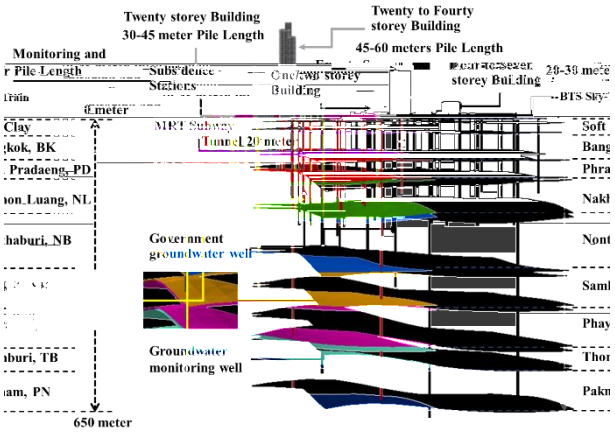
3.4 ลักษณะทางชั้นดินของจังหวัดนครปฐมและสมุทรสาคร

ข้อมูลชั้นดินบริเวณจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาครโดยทั่วไปประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อนหรือชั้นดินเหนียวกรุงเทพ (Soft Clay or Bangkok Clay) อยู่ด้านบน ด้านล่างลงไปชั้นดินเหนียวแทรกสลับกับชั้นทรายและชั้นกรวดจนเป็นถึงชั้นหินแข็ง โดยลักษณะชั้นดินในจังหวัดนครปฐม ประกอบด้วยชั้น Very soft to medium clay (Holocene epoch) มีความหนาแปรเปลี่ยนตั้งแต่ 11 - 19 เมตร ถัดลงมาจะเป็นชั้น Medium to very stiff clay , Very stiff to hard clay, Medium sand และ Dense to very dense sand (Late Pleistocene epoch) วางตัวสลับกันไปไม่แน่นอนแล้วแต่พื้นที่ บางแห่งอาจพบชั้นทรายหนา บางแห่งอาจพบชั้นทรายบาง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของ Alluvial fan ทำให้ลักษณะตะกอนดินมีความสลับซับซ้อนมากระหว่างช่วงฤดูน้ำหลากและฤดูแล้งโดยที่ตะกอนขนาดใหญ่จะตกตะกอนก่อนจากทางทิศตะวันตกสู่ทิศตะวันออก และลักษณะชั้นดินในจังหวัดสมุทรสาคร ประกอบด้วยชั้น Very soft to medium clay (Holocene epoch) มีความหนาประมาณ 13 - 17 เมตร ถัดลงมาจะเป็นชั้น Medium to very stiff clay และ very stiff to hard clay (Late Pleistocene epoch) สลับกัน หนามากกว่า 20 เมตร ในชั้นนี้อาจจะพบชั้นของ Medium หรือ Dense to very dense sand (Late Pleistocene epoch) แทรกอยู่โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณ อ.เมือง มีความหนามากถึง 10 เมตร [7]

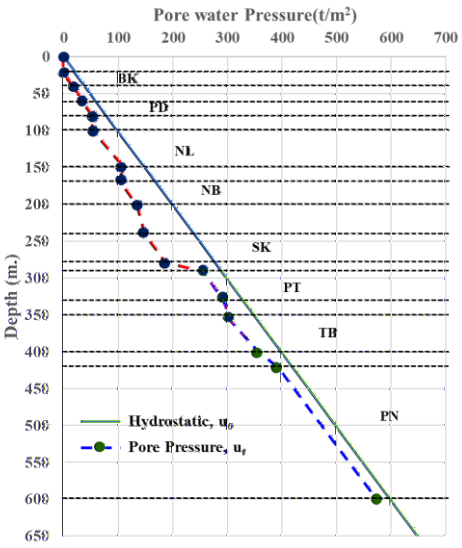
3.5 ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของจังหวัดนครปฐมและสมุทรสาคร

สำหรับชั้นน้ำบาดาลในพื้นที่ที่เป็นชั้นน้ำบาดาลแบบมีแรงดัน (confined aquifers) ซึ่งเป็นระบบชั้นน้ำบาดาลที่มีความหนาของตะกอนดินเหนียว กรวด ทราย ทับถมกันเป็นชั้น ๆ สามารถกักเก็บน้ำบาดาลหรือเป็นแหล่งน้ำบาดาลที่มีศักยภาพสูง สำหรับชั้นน้ำบาดาลที่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้ตั้งแต่ระดับผิวดินจนถึงประมาณ 650 เมตร สามารถแบ่งได้ 8 ชั้นน้ำบาดาล (รูปที่ 3) และที่ระดับลึกกว่า 650 เมตรลงไป ยังมีชั้นน้ำบาดาลอยู่อีก แต่ยังไม่มีการพัฒนาขึ้นมาใช้ สามารถสรุปชั้นน้ำบาดาลได้ดังนี้

ชั้นน้ำกรุงเทพ (BK) ความลึกประมาณ 50 เมตร ประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวและชั้นกรวดทราย ชั้นน้ำพระประแดง (PD) ความลึกประมาณ 100 เมตร เป็นชั้นน้ำที่อยู่ถัดจากชั้นน้ำกรุงเทพลงไป ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวในปริมาณที่น้อยกว่าชั้นตะกอนกรวดทราย ชั้นน้ำนครหลวง (NL) ความลึกประมาณ 150 เมตร เป็นชั้นน้ำที่อยู่ถัดจากชั้นน้ำพระประแดงลงไป ประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวในปริมาณที่มากกว่าชั้นกรวดทราย ชั้นน้ำนนทบุรี (NB) ความลึกประมาณ 200 เมตร ประกอบด้วย ชั้นดินเหนียวในปริมาณที่น้อยกว่าชั้นตะกอนกรวดทราย ชั้นน้ำสามโคก (SK) ความลึกประมาณ 300 เมตร วางตัวอยู่ใต้ชั้นนนทบุรี ระดับบนสุดของชั้นน้ำพบที่ประมาณ 240-250 เมตร ความหนาโดยเฉลี่ยประมาณ 40-80 เมตร ชั้นน้ำพญาไท (PT) ความลึกประมาณ 350 เมตร มีลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาเหมือนกับชั้นน้ำสามโคก คือ ประกอบด้วยชั้นทรายบาง ๆ หลายชั้น และมีชั้นดินเหนียวแทรกอยู่ ชั้นน้ำธนบุรี (TB) ความลึกประมาณ 450 เมตร วางตัวอยู่ใต้ชั้นน้ำพญาไท โดยมีชั้นดินเหนียวคั่นอยู่ ชั้นดินเหนียวดังกล่าวบางแห่งหนาถึง 30 เมตร แต่มีบางแห่งหนาประมาณ 1 เมตร เท่านั้นชั้นน้ำปากน้ำ (PN) ความลึกประมาณ 550 เมตร เป็นชั้นน้ำที่ลึกที่สุด ให้น้ำจืดอยู่ทุกบริเวณเป็นชั้นน้ำที่ประกอบไปด้วยชั้นทรายหนา ๆ ไม่น้อยกว่า 3 ชั้นทรายชั้นล่างสุด [5]



รูปที่ 3 ความลึกชั้นน้ำบาดาลในบริเวณกรุงเทพมหานคร
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล



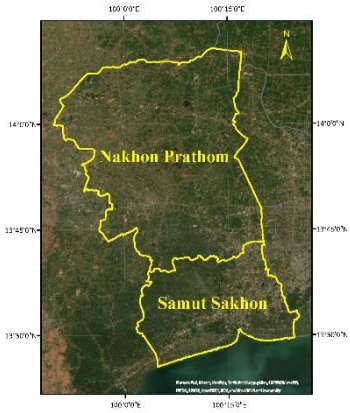
รูปที่ 4 พฤติกรรมของแรงดันน้ำใต้ดินในชั้นน้ำต่าง ๆ
ที่มา : ดัดแปลงจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล, 2547

ชั้นดินจัดแบ่งตาม Boring Log ที่เจาะสำรวจพบในสนาม ปี พ.ศ. 2547 และพิจารณาจากระดับความดันน้ำในชั้นน้ำต่าง ๆ เช่น ในบริเวณของหลุมเจาะ KE สถานีบางขุนเทียน ดังรูปที่ 4 จะมีลักษณะชั้นน้ำที่มีการลดลงจากระดับน้ำใต้ดินสถิต ในชั้นน้ำกรุงเทพที่อยู่ระดับบนสุดในบริเวณกรุงเทพมหานคร ซึ่งประกอบด้วยชั้นดินทรายระดับบนสุด (First Sand, Second Sand ฯลฯ) ระดับน้ำใต้ดินอยู่ที่ความลึกประมาณ 20 เมตร และมี Profile ของแรงดันน้ำเป็นแนวเส้นตรงประมาณขนานกับแนว Hydrostatic โดยมีแรงดันต่ำกว่า Hydrostatic Profile ของแรงดันน้ำในทุกชั้นน้ำบาดาลเป็นเช่นนี้ โดยเป็นที่สังเกตว่า แรงดันน้ำในชั้นน้ำนครหลวง นนทบุรี และสามโคก จะต่ำกว่าแรงดันน้ำในชั้นน้ำด้านบนลดหลั่นลงมาเรื่อย (ในอดีตมีการสูบน้ำบาดาลขึ้นมาใช้กันมากในชั้นน้ำนครหลวงและชั้นน้ำนนทบุรี) จนถึงชั้นน้ำพญาไทที่ระดับความลึกประมาณ 290 เมตร แรงดันน้ำจะกลับสูงขึ้น และยังเป็นที่สังเกตว่า โดยส่วนมากในชั้นทึบน้ำ (Aquitard) แรงดันน้ำจะต่ำกว่าแนวขนานกับแนว Hydrostatic [6,8,9]

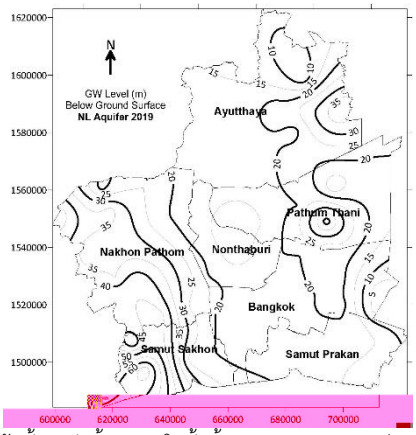
4. วิธีดำเนินการศึกษา

4.1 การเตรียมข้อมูล

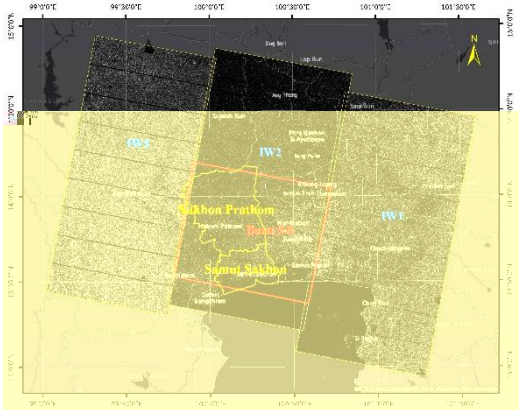
การเตรียมข้อมูลสำหรับใช้ในการประมวลผล พื้นที่ทำการศึกษาได้แก่ จังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาคร ดังรูปที่ 5 ซึ่งเกิดปัญหาอันเนื่องจากมีการทรุดตัวของแผ่นดิน และมีระดับน้ำบาดาลจากผิวดินต่ำกว่า 30 เมตร ได้แก่ นครปฐม และสมุทรสาคร ดังรูปที่ 6 โดยใช้ข้อมูลดาวเทียม sentinel-1 วางแผนการดาวโหลดภาพถ่ายในพื้นที่ศึกษา จำนวนภาพถ่ายตั้งแต่วันที่ 2018-06-08 ถึง 2021-10-14 จำนวน 100 ภาพ โดยแต่ละภาพที่เลือกจะต้องเป็นภาพที่มี path และ frame เหมือนกันทุกภาพ เนื่องจากต้องการให้ภาพแต่ละภาพซ้อนทับกันพอดีจึงจะสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้ โดยงานวิจัยครั้งนี้ใช้ Sentinel-1B ขาลง (descending orbit) path 62 frame 545 Beam mode IW (Interferometric Wide Swath) L1 Single Look Complex (SLC) IW จะเป็นโหมดการได้มาซึ่งหลักเหนือพื้นดินและเป็นไปตามข้อกำหนดการบริการส่วนใหญ่ การรับข้อมูลที่มีแนวยาว 250 กม. ที่ความละเอียดเชิงพื้นที่ 5 x 20 ม. โดย Frame จะมีด้วยการอยู่ 3 Sub-Swaths (IW1,IW2,IW3) เลือกข้อมูลที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาได้แก่ IW2 Burst ที่ 5-8 ที่อยู่ในพื้นที่จังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาครส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 5 พื้นที่ศึกษาจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาคร



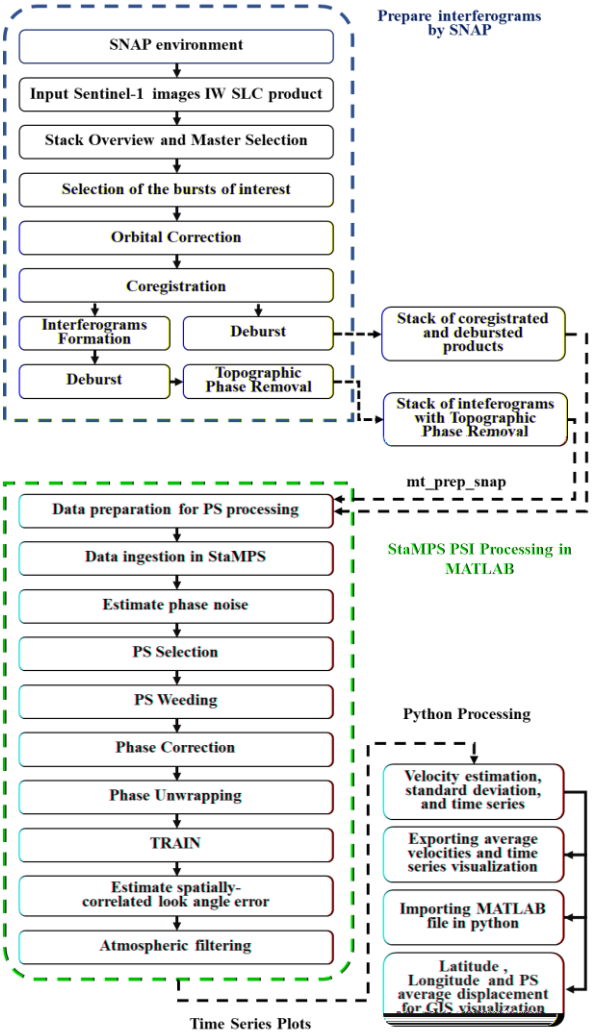
รูปที่ 6 เส้นชั้นระดับน้ำบาดาลในชั้นน้ำนครหลวงจากผิวดินปี พ.ศ. 2562
ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล



รูปที่ 7 แสดงผลิตภัณฑ์ข้อมูล Sentinel-ชนิด SLC path 62 frame 545 ภาพที่ใช้ประมวลผล

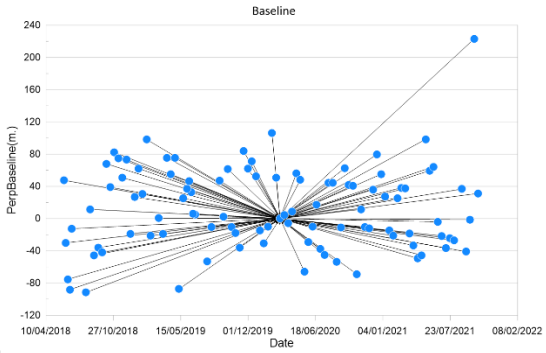
4.2 การแปลสัญญาณคลื่นเรดาร์ระยะไกล

การประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียมเรดาร์ช่องเปิดสังเคราะห์แบบอนุกรมเวลา สามารถแบ่งการทำงานได้ดังนี้ การติดตั้งซอฟต์แวร์ การดาวน์โหลดข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม Sentinel-1 การสร้าง Interferogram ด้วยซอฟต์แวร์ SNAP การเตรียมข้อมูลด้วยสคริปต์ mt_prep_snap กระบวนการประมวลผลวิธี Persistent Scatterer โดยใช้สคริปต์ StaMPS และ TRAIN ในซอฟต์แวร์ MATLAB และการพล็อตข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series Plots) ขั้นตอนการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อหาอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินสามารถแสดงเป็นแผนผังขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมได้ดังรูปที่ 8 [2,3,4,10,11]



รูปที่ 8 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมสำหรับการประมวลผลข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-1 แบบอนุกรมเวลา

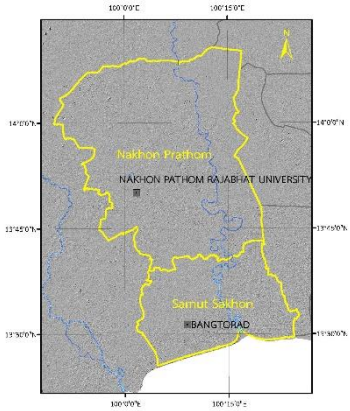
โดยช่วงแรกจะเป็นขั้นตอนการสร้างภาพ interferogram โดยใช้โปรแกรม SNAP เพื่อทำการอ่านและแปลงข้อมูลโดยวิธีการจับคู่ภาพระหว่างภาพ Master และภาพ Slave โดยกำหนดภาพ Master เป็นข้อมูลในวันที่ 5 มีนาคม 2520 และข้อมูลภาพที่เหลือจะถูกกำหนดเป็นภาพ Slave ดังแสดงในรูปที่ 9 และเมื่อได้ภาพ interferogram แล้ว ก่อนจะนำข้อมูลเข้าซอฟต์แวร์ StaMPS จะต้องมีการเตรียมของข้อมูลก่อนโดยใช้สคริปต์ mt_prep_snap ของเพื่อสร้างไฟล์ PS candidate เมื่อนำเข้ามาประมวลผลใน StaMPS ประมวลผลหาจุดภาพที่เป็น PS pixel ทำการ phase unwrapping เพื่อให้ได้ค่าเฟสที่สมบูรณ์ หลังจากนั้นใช้สคริปต์ TRAIN ปรับแก้ค่าสัญญาณรบกวนที่มีในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ด้วยวิธี linear และทำการ Time Series Plots [10] แล้วนำข้อมูลที่ได้มาแสดงผลในรูปของแผนที่ เพื่อหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการทรุดตัวและค่าการทรุดตัวสะสมในช่วงปี 2018-2021



รูปที่ 9 การจับคู่ภาพ Master เพียงภาพเดียวกับ ภาพ Slave ในโปรแกรม SNAP

4.3 หาความสัมพันธ์ของข้อมูลการเปลี่ยนแปลง

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินและการเปลี่ยนแปลงความสูงของแผ่นดิน โดยนำข้อมูลสถานีสังเกตการณ์การแรงดันน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ดังแสดงในรูปที่ 10 ที่มีการติดตั้งอยู่ 8 ระดับอยู่ในช่วงประมาณความลึกจากผิวดิน 0 ถึง 80 เมตร ได้แก่ สถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ภายในรัศมี 200 เมตร หาค่าจุดตรวจสอบร่วมกับ InSAR และสถานีบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร ภายในรัศมี 200 เมตร หาค่าจุดตรวจสอบ InSAR โดยนำข้อมูลแรงดันน้ำใต้ดินตั้งแต่เดือนพฤษภาคมปี 2019 ถึงเดือนกันยายน 2021 มาหาอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน เพื่อเปรียบเทียบค่าหาความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลง

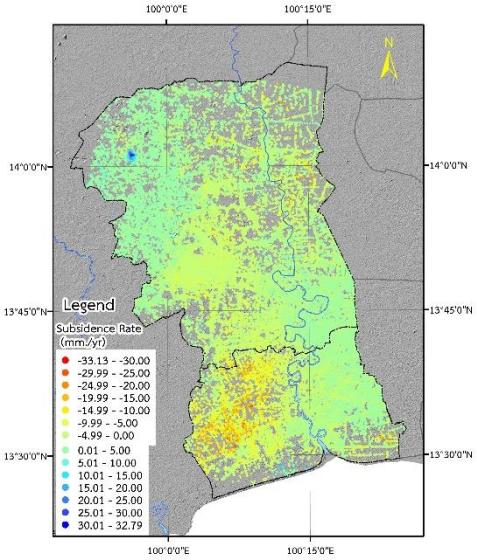


รูปที่ 10 แผนที่สถานีสังเกตการณ์การแรงดันน้ำใต้ดินมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม และ สถานีบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร

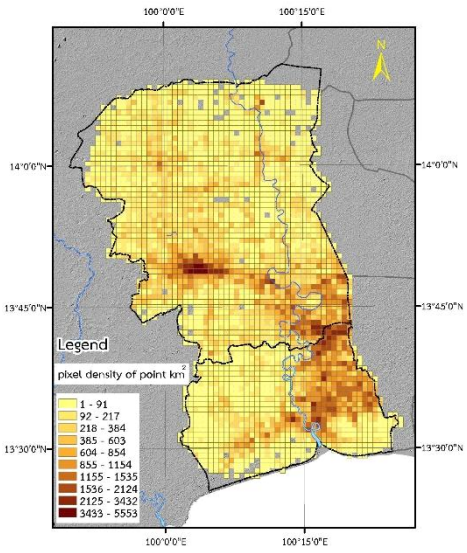
5. ผลการศึกษา

5.1 ข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินจาก InSAR

จากการประมวลผลภาพถ่ายจากดาวเทียม Sentinel-1 จำนวน 100 ภาพ ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ปี 2018 ถึงเดือนตุลาคม ปี 2021 ทำให้ได้จุดตรวจสอบที่มากกว่า 800,000 จุด ซึ่งมีความหนาแน่นและแสดงรูปแบบการทรุดตัวของพื้นที่ศึกษาในระดับกว้างได้ดี โดยมีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของ pixel อยู่ที่ 294 จุดต่อตารางกิโลเมตรและมากกว่า 500 จุดต่อตารางกิโลเมตรในตัวเมือง ดังรูปที่ 12 และมีอัตราการทรุดตัวเมื่อปรับแก้ค่าจากทิศทางตามแนวมุมมอง (Line of Sight) เป็นค่าในแนวดิ่งหรือ vertical direction แล้ว จะทำให้ได้ค่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินอยู่ในช่วงประมาณ -33.13 ถึง +32.79 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แผนที่แสดงการทรุดตัวของแผ่นดินจังหวัดนครปฐมและจังหวัดสมุทรสาครระหว่าง ปี 2018-2021 (หน่วย: มิลลิเมตรต่อปี)

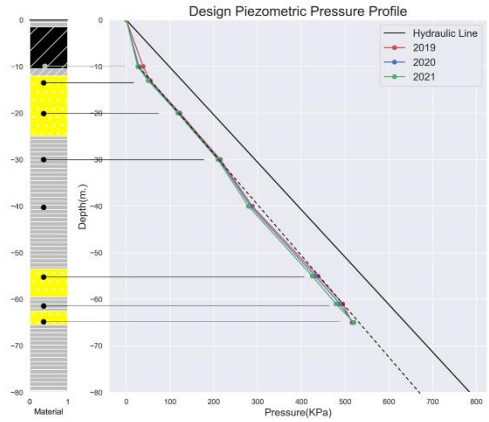


รูปที่ 12 แสดงภาพความหนาแน่นของจุดตรวจสอบ pixel ต่อตารางกิโลเมตร

5.2 ข้อมูลแรงดันน้ำใต้ดิน

จากข้อมูลพอจะสรุปเกี่ยวกับพฤติกรรมแรงดันน้ำใต้ดินของสถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ตั้งแต่ใกล้ผิวดินที่ระดับความลึกประมาณ 0 เมตร จนถึงประมาณ -10 เมตร ในชั้นดิน Soft Clay Piezometric Pressure อยู่ในสภาวะใกล้กับ Hydrostatic ต่อจากประมาณ -10 เมตร Piezometric Pressure ค่อย ๆ ลดลงเบี่ยงเบนออกจากเส้น Hydrostatic ที่ระดับประมาณ -10 ถึง -80 เมตรในชั้นดิน Upper Stiff Clay ซึ่งแนวโน้มตามความลึกของ Piezometric Pressure ในช่วงนี้อาจจะแทนที่ในเชิงง่าย (Simplified) ได้ด้วยเส้นตรง [6] ดังในรูปที่ 13

สถานีบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาครตั้งแต่ใกล้ผิวดินที่ระดับความลึกประมาณ 0 เมตร จนถึงประมาณ -35 เมตร. ในชั้นดิน Soft to Stiff Clay Piezometric Pressure อยู่ในสภาวะใกล้กับ Hydrostatic เนื่องจากชั้นดินเหนียวบริเวณนี้หนามาก และมีความลึกประมาณ 40 - 45 เมตรต่อจากประมาณ -35 เมตร Piezometric Pressure ค่อย ๆ ลดลงเบี่ยงเบนออกจากเส้น Hydrostatic ที่ระดับประมาณ -35 ถึง -80 เมตร ในชั้นดิน Upper Stiff Clay ซึ่งแนวโน้มตามความลึกของ Piezometric Pressure ในช่วงนี้อาจจะแทนที่ในเชิงง่าย (Simplified) ได้ด้วยเส้นตรง [6] ดังในรูปที่ 14



รูปที่ 13 Piezometric Pressure Profile Variation with Time สถานีสังเกตการณ์การแรงดันน้ำใต้ดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม

รูปที่ 14 Piezometric Pressure Profile Variation with Time สถานีสังเกตการณ์การแรงดันน้ำใต้ดิน บางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร

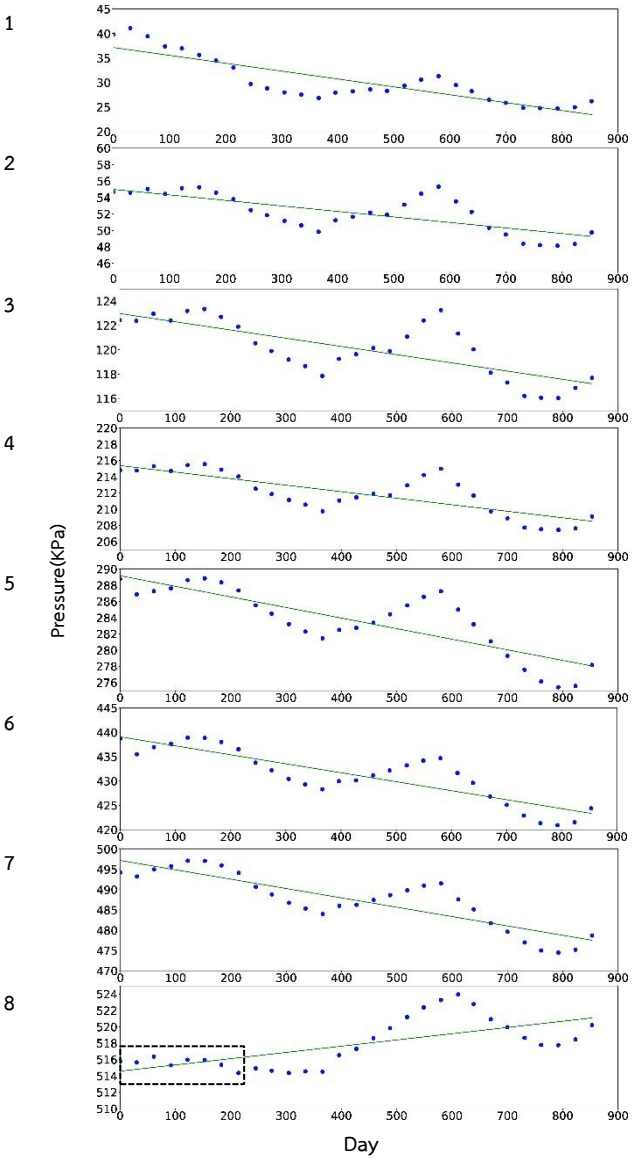
5.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำใต้ดินกับข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินจากเทคนิค InSAR

เมื่อทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากสถานีสังเกตการณ์การแรงดันน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่มีการติดตั้งอยู่ 8 ระดับอยู่ในช่วงประมาณความลึกจากผิวดิน 0 ถึง 80 เมตร ได้แก่ สถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม ภายในรัศมี 200 เมตร จะมีค่าจากจุดตรวจสอบ InSAR 114 จุด เป็นบ้านพักกับอาคารสูงประมาณ 1 ชั้นแต่สูงไม่เกิน 10 ชั้น จะมีฐานรากอยู่ที่ประมาณ 10 – 20 เมตร มีค่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินอยู่ในช่วงประมาณ -4.81 ถึง +0.27 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 15) และสถานีบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร ภายในรัศมี 200 เมตร จะมีค่าจากจุดตรวจสอบ InSAR 87 จุด เป็นบ้านพักโรงงาน กับอาคารสูงประมาณ 1 ชั้น สูงไม่เกิน 4 ชั้น จะมีฐานรากอยู่ที่ประมาณ 5 – 30 เมตร มีค่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินอยู่ในช่วงประมาณ -16.11 ถึง -3.27 มิลลิเมตรต่อปี ดังแสดงในรูปที่ 17

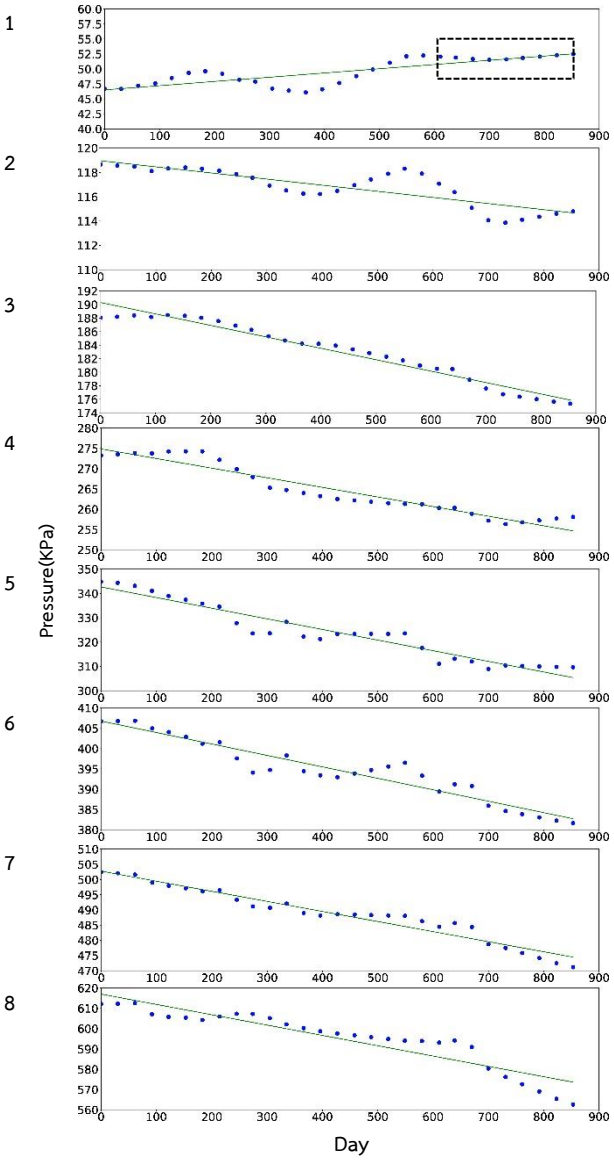
จากข้อมูลแรงดันน้ำใต้ดินตั้งแต่เดือนพฤษภาคมปี 2019 ถึงเดือนกันยายน 2021 ที่สถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินลดลงในระดับที่ 1 ถึง 7 มีค่าประมาณ 2.5 ถึง 8.4 kPa ต่อปี และมีการเพิ่มขึ้นในระดับที่ 8 ประมาณ 2.8 kPa ต่อปี ดังแสดงดังตารางที่ 1 และรูปที่ 14 นั้น และสถานีบางโทรัดมีค่าการลดลงของแรงดันน้ำใต้ดินในระดับที่ 2 ถึง 8 มีค่าประมาณ 1.8 ถึง 18.6 kPa ต่อปี และเพิ่มขึ้นในระดับที่ 1 ประมาณ 2.6 kPa ต่อปี ดังแสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 18

รูปที่ 15 สถานีสังเกตการณ์การแรงดันน้ำใต้ดิน มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐมข้อมูลการทรุดตัวของแผ่นดินรัศมี 200 เมตร

จากการตรวจส□ป ก แล ก . ล ำ ชภ



รูปที่ 17 กราฟค่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินทุกระดับ ด้วยสมการ linear ของสถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 18 กราฟค่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินทุกระดับ ด้วยสมการ linear ของสถานีบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร

ตารางที่ 2 ค่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดิน สมการ linear regression y = ax+b สถานีบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร

LEVEL	a	b	R^2	n
1	2.6	46.5	0.66	29
2	-1.8	119	0.69	29
3	-6.2	190.3	0.96	29
4	-8.7	274.9	0.92	29
5	-16	342.7	0.93	29
6	-10.3	406.8	0.92	29
7	-12.1	502.7	0.95	29
8	-18.6	617	0.86	29

6. บทสรุป

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินและอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินจากเทคนิคอนุกรมเวลา InSAR จากข้อมูลแรงดันน้ำใต้ดินของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล ได้แก่ สถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม และสถานีบางโทรัด จังหวัดสมุทรสาคร ภายในรัศมี 200 เมตร ค่าอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินอยู่ในช่วงประมาณ -4.81 ถึง +0.27 มิลลิเมตรต่อปี และ -16.11 ถึง -3.27 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ ข้อมูลแรงดันน้ำใต้ดินตั้งแต่เดือนพฤษภาคมปี 2019 ถึงเดือนกันยายน 2021 ของทั้ง 2 สถานี มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินภาพรวมลดลงโดยมีค่าประมาณ 2.5 ถึง 8.4 kPa ต่อปี และ 1.8 ถึง 18.6 kPa ต่อปีตามลำดับ เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงระหว่างการ

เปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำใต้ดินกับค่าการทรุดตัวของแผ่นดินจากเทคนิค InSAR นั้น พบว่ามีความสอดคล้องกัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ European Space Agency (ESA) สำหรับข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-1 ที่ให้บริการแบบไม่คิดมูลค่า และขอขอบคุณข้อมูลจากสำนักอนุรักษ์และฟื้นฟูทรัพยากรน้ำบาดาล กรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่ให้ข้อมูลรายละเอียดอย่างครบถ้วน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทรัพยากรน้ำบาดาล. (2562). โครงการศึกษาการใช้สัญญาณคลื่นเรดาร์ระยะไกลในการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. รายงานสำหรับฉบับสมบูรณ์ . กรุงเทพมหานคร.

[2] Delgado Blasco JM, Foumelis M, Stewart C, Hooper A. (2019). Measuring Urban Subsidence in the Rome Metropolitan Area (Italy) with Sentinel-1 SNAP-StaMPS Persistent Scatterer Interferometry. *Remote Sensing*. 2019; 11(2):129.

[3] Foumelis, Michael & Delgado Blasco, Jose Manuel & Desnos, Yves-Louis & Engdahl, Marcus & Fernandez, Diego & veci, luis & Lu, Jun & Wong, Cecilia. (2018). ESA SNAP – StaMPS Integrated Processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry., " *IGARSS 2018 - 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symp800tis*

,

น้ บ ด าล เ วิก ลการณ์ บ ด าล ละแอ2 ้า ระยาลอู าง

ก ด ก รุ ข ผ่ ใ น