InSAR

Subsidence Rate Analyzing of Bangkok Soil Profile with InSAR Data

, , ,

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

**Corresponding author; E-mail address: Chayanut_k@hotmail.com*

การสำรวจรังวัดระดับการทรุดตัวของแผ่นดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้ดำเนินการมาตั้งแต่ปี 2521 กรมทรัพยากรน้ำบาดาลได้ทำการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับดิน รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดการยุบตัว การอัดตัวและติดตามการรังวัดหาระดับความสูงจากหมุดหลักฐานในระยะเวลาต่าง ๆ ที่ดำเนินการโดยกรมแผนที่ทหาร ในการสำรวจระดับชั้นที่ 1 โดยใช้วิธีการเดินระดับเครือข่ายหมุดหลักฐานในแต่ละปี ซึ่งสถานีวัดการยุบตัวหรือการอัดตัวของชั้นดินในระดับความลึกต่าง ๆ จะตั้งอยู่ในบริเวณใกล้เคียงหมุดหลักฐาน โดยข้อมูลจากการสำรวจเหล่านี้สามารถนำมาใช้เป็นตัวแทนในการคำนวณปริมาณการเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง เพื่อแสดงค่าการทรุดตัวโดยรวมของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลได้ แต่ความหนาแน่นของตำแหน่งหมุดหลักฐานเมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ยังมีความหนาแน่นไม่มากพอที่จะนำมาใช้แสดงถึงการทรุดตัวเป็นพื้นที่ที่สอดคล้องกับลักษณะของชั้นดินที่อยู่ใต้ดิน งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการประยุกต์ใช้ข้อมูลจากเทคโนโลยีอนุกรมเวลาจากอินซาร์ (Time-Series InSAR) ซึ่งสามารถตรวจวัดอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินที่มีความหนาแน่นของจุดสำรวจเพียงพอต่อการแสดงความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ได้และยังได้เสนอวิธีการคำนวณเพื่อประมาณอัตราการทรุดตัวของแต่ละชั้นดินในระดับที่ลึกลงไป โดยวิธีการจำแนกอัตราการเคลื่อนตัวของชั้นดินจากการสกัดข้อมูล Time-Series InSAR แล้วแบ่งข้อมูลตามชนิดของความลึกฐานรากของอาคาร ซึ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลนั้นแบ่งระดับความลึกของฐานรากออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ ความลึก 20 40 และ 80 เมตร ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาที่ช่วงระดับความลึก 20 เมตร ถึง 40 เมตร ได้ผลอัตราการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งจากการศึกษาด้วยข้อมูลจากเทคนิค Time-Series InSAR เป็น 0.350 มิลลิเมตรต่อปี

คำสำคัญ : การทรุดตัวของแผ่นดิน, กรุงเทพมหานคร, เทคนิคอนุกรมเวลาอินซาร์

Abstract

The monitoring of land subsidence in Bangkok and its vicinity area has been conducted since 1978. The activities include the follow-up of the class one leveling survey technique as operated by the Royal Thai Survey Department (RTSD). The RTSD conducts surveying by using benchmarks in which the depressions or soil compression compartments at various depths located in the vicinity of the reference benchmarks. The data from these surveying techniques can serve as a substitute for calculating the amount of vertical movement to show the total subsidence of Bangkok and its vicinity area. However, the density of the observation points related to the coverage area was not dense enough to be used to indicate subsidence as an area consistent with the characteristics of the soil layer underground. This research presents a guideline for applying data from Time-Series InSAR technology. With the advantage of the technique, it can detect the rate of subsidence with the density of the observation points sufficient to display spatial relationships. We also propose a calculation method to estimate the subsidence rate of each soil layer at a deeper level by classifying the subsidence rate from the Time-Series InSAR data and dividing the data according to the type of depth of the foundation of the building. In Bangkok and its vicinity areas, we divide the depth of the foundation into three groups, which are the depths of 20, 40, and 80 meters. In this research, we study at the depth range of 20 meters to 40 meters. Finally, the final result of a vertical movement from our analysis with Time-Series InSAR data is 0.350 millimeters per year.

Keywords: Land Subsidence, Bangkok, Time-Series InSAR

1.

การทรุดตัวของแผ่นดินในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นปัญหาที่เกิดมาต่อเนื่องยาวนานหลายทศวรรษจากข้อมูลการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินของกรมแผนที่ทหาร กรมทรัพยากรน้ำบาดาลและสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (Asian Institute of Technology, AIT) ที่ดำเนินการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 การสำรวจและติดตามการทรุดตัวของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลนั้น จะทำการสำรวจโดยเทคนิคการสำรวจ

รังวัดระดับเป็นหลัก กรมแผนที่ทหารเป็นหน่วยงานที่รับผิดชอบในการสำรวจรังวัดระดับทุก ๆ ปี โดยมีหมุดระดับที่ยึดโยงเป็นโครงข่ายครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 2,000 กว่าหมุด ซึ่งในการสำรวจแต่ละครั้งนั้นจะมีค่าใช้จ่าย ทั้งในเรื่องของอัตรากำลังคนและเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานค่อนข้างมาก งานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี Time-Series InSAR ซึ่งในปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้ในการติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการสำรวจข้อมูลครอบคลุมพื้นที่กว้าง รวมไปถึงพื้นที่ที่เข้าถึงได้ยาก มีปริมาณจุดตรวจสอบมากและหนาแน่นพอที่จะแก้ปัญหาจำนวนจุดตรวจสอบน้อย มีความละเอียดในการตรวจวัดได้ถึงระดับมิลลิเมตร และมีข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมที่สามารถนำมาประมวลผลให้ใช้ได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย โดยต้องใช้ซอฟท์แวร์และฮารดแวร์ที่มีคุณสมบัติและศักยภาพสูงในการวิเคราะห์และประมวลผล

2.

เพื่อศึกษาอัตราการทรุดตัวในแต่ละชั้นดินของกรุงเทพมหานครโดยใช้ข้อมูลจากเทคนิค Time-Series InSAR

3.

3.1 Interferometic Synthetic Aperture Radar (InSAR)

ภาพ Synthetic Aperture Radar (SAR) คือภาพที่บันทึกด้วยระบบเรดาร์ซึ่งในแต่ละจุดภาพนั้นจะบันทึกค่าแอมพลิจูดและเฟส โดยค่าทั้งสองนั้นมาจากผลรวมแบบเวคเตอร์ของการสะท้อนกลับ (Backscattering) ที่เกิดจากวัตถุ (Scatterers) ต่าง ๆ ที่คลื่นไปมีปฏิสัมพันธ์ด้วย Time-Series InSAR เป็นเทคนิคที่มีหลักการวิเคราะห์ผลต่างเฟสของภาพ SAR ตั้งแต่สองภาพขึ้นไป (Phase Differential) ซึ่งภาพทั้งสองจะถูกบันทึกในตำแหน่งต่างกันเล็กน้อยและมีการบันทึกภาพ SAR อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานพอสมควร ดังเช่นตัวอย่างใน [2] ที่ใช้ภาพดาวเทียม ERS2 ทั้งหมด 16 ภาพ เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 5 ปีผลต่างเฟสนี้สามารถศึกษาถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลง (Deformation Pattern) ในลักษณะต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนโลก เทคนิค Time-Series InSAR เป็นเครื่องมือในการติดตามการเปลี่ยนแปลงที่ให้ระดับความถูกต้องถึงในระดับมิลลิเมตร และสามารถวิเคราะห์พื้นที่ที่ยากต่อการเข้าถึง เช่2า 1 ถห ตรวที่เป็น

3.2.2 *การรังวัดและการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง*

การรังวัดสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ให้ได้ความละเอียดถูกต้องสูง ต้องใช้วิธีการรังวัดสัญญาณคลื่นพาห์ (carrier phase) หลายความถี่เป็นเวลานาน ใช้ข้อมูลประกอบคุณภาพสูงและการคำนวณที่ซับซ้อน จึงจะสามารถคำนวณเป็นค่าพิกัดที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตรได้ [6]

วิธีการประมวลผลแบบจุดเดี่ยวรายละเอียดสูงมีเทคนิคการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนในการรังวัด ที่มีการใช้ค่าแก้สัญญาณนาฬิกาดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียมจากโครงข่ายสถานีอ้างอิงทั่วโลก International GNSS Service (IGS) Stations [6]

3.2.3 RINEX (Receiver Independent Exchange Format)

ข้อมูลจากการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS สำหรับใช้ในการประมวลผลแบบ post-process ซึ่งมีรูปแบบเป็นไฟล์ข้อความที่มีโครงสร้างสำหรับเป็นมาตรฐานกลาง (ไม่ขึ้นกับผู้ผลิตอุปกรณ์รังวัดสัญญาณ) ซึ่งจะมีการพัฒนากำหนดเป็นเวอร์ชั่นตามการพัฒนาของระบบ/อุปกรณ์บันทึกและระบบดาวเทียมที่พัฒนาขึ้นใหม่ [6]

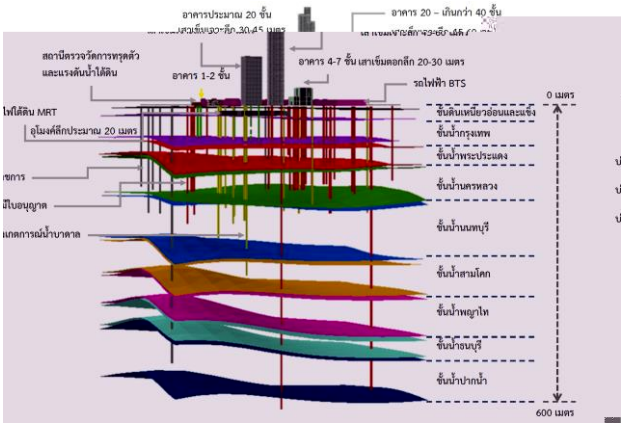
3.2.4 Australia's Online GPS Processing System (AUPOS)

เป็นระบบประมวลผลข้อมูล GPS ออนไลน์ที่ให้บริการแบบไม่มีค่าใช้จ่าย โดย Geoscience Australia

การประมวลผลออนไลน์เพียงส่งไฟล์ RINEX จากการรังวัดที่ต้องเป็นการรังวัดแบบสองความถี่ที่มีระยะเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมง[6] พร้อมกับระบุ e-mail ที่ต้องการให้ระบบส่งผลการประมวลผลกลับมาให้ ผลค่าพิกัดที่ได้จะเป็นค่าพิกัดใน 2 พื้นหลักฐาน คือ Geocentric Datum of Australia 1994 (GDA1994) และพื้นหลักฐาน ITRF (International Terrestrial Reference Frame) [7]

3.3 ลักษณะชั้นดินชั้นหินของพื้นที่กรุงเทพมหานคร

องค์ประกอบของเนื้อดินในระดับความลึกต่าง ๆ ของชั้นดินในบริเวณกรุงเทพฯและปริมณฑล ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) จากระดับพื้นดินจนถึงความลึกประมาณ 15 เมตร ต่อมาเป็นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay) จนถึงระดับความลึกประมาณ 20 เมตร ตามด้วยชั้นดินทรายชั้นแรก (First Sand Layer) ซึ่งพบได้ถึงระดับความลึกประมาณ 30 เมตร ถัดลงมาพบดินเหนียวแข็งมาก(Hard Clay) จนถึงความลึกประมาณ 45 เมตร ก็จะพบชั้นทรายชั้นที่สอง (Second Sand Layer) ลึกลงไปจนถึงระดับประมาณ 60 เมตร ต่อจากนั้นไปจะเป็นชั้นดินเหนียวสลับกับชั้นดินทรายและกรวด (Gravel) ลงไปจนกระทั่งถึงความลึกประมาณ 1,000 เมตร จึงจะถึงชั้นหินดาน (Bed Rock) โดยมีความลึกของโครงสร้างใต้ดินและชั้นน้ำบาดาล[4] ดังแสดงในรูปที่ 3



3 แสดงความลึกของโครงสร้างใต้ดินในบริเวณกรุงเทพมหานคร (ที่มา: กรมทรัพยากรน้ำบาดาล)

4.

4.1 การเคลื่อนตัวจากข้อมูลเทคนิค Time-Series InSAR

การวิจัยนี้ได้เลือกที่จะศึกษาการเคลื่อนตัวของชั้นดินด้วยข้อมูลเทคนิค Time-Series InSAR ในพื้นที่อุตสาหกรรมลาดกระบัง เนื่องจากเป็นเขตอุตสาหกรรมที่อยู่ในกรุงเทพมหานคร เป็นบริเวณที่มีอาคารรวมอยู่มาก ซึ่งจะมีผลของน้ำหนักที่กดทับชั้นดินลงไปและรวมไปถึงปริมาณการใช้น้ำบาดาลที่อาจจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในชั้นดินและโครงสร้างชั้นดินในปริมาณที่มากกว่าบริเวณอื่น ๆ

ขั้นตอนการวิเคราะห์นั้น จะเริ่มจากการสร้างโพลิกอน (polygon) พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังโดยพิจารณาจากข้อมูลนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) และข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยมีพื้นที่ 4.231 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 4)



4 สร้าง polygon พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

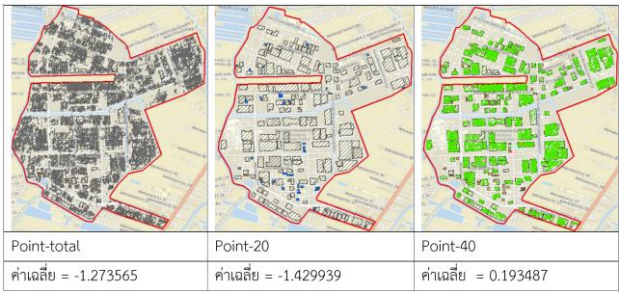
หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบข้อมูลจากการประมวลผลเทคนิค Time-Series InSAR (ps_mean_v_IW1path62frame545) ของชุดภาพดาวเทียม Sentinel-1 ระหว่างวันที่ 30/10/2561 ถึง 15/06/2562 จำนวนจุดทั้งหมด 3,901,339 จุด จากนั้นก็จะทำการศึกษาสภาพพื้นที่และอาคารภายในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ที่มีจุดสังเกต (observation point) อยู่ในพื้นที่มาก และมีความหนาแน่นสูง ดังรูปที่ 5

1 17 256

เฉียงใต้ ก็ได้มีการติดตาม (monitor) โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีแห่งเดลฟ์ ประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งสมการที่สร้างขึ้นมาจะสามารถทำให้มองปัญหาการทรุดตัวของแผ่นดินได้อย่างครบถ้วนที่สุดเท่าที่เคยมีมาในอดีต

$$S_{total} = (S_{20} - S_{40}) + \varepsilon \quad (3)$$

โดยที่ S_{total} หมายถึง ค่าเฉลี่ยรวมทั้งการทรุดตัวหรือคืนตัวทั้งหมด ส่วน $S_{20} - S_{40}$ หมายถึง ผลต่างค่าเฉลี่ยการทรุดตัวหรือคืนตัวที่ความลึก 20 เมตรกับ 40 เมตร และ ε หมายถึง ค่าการทรุดตัวหรือค่าคืนตัวอื่น ๆ ที่ยังไม่ทราบค่า โดยในรูปที่ 7 จะแสดงจุด Point-total ,Point-20 และ Point-40 ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง



7 แสดงจุด Point-total ,Point-20 และ Point-40 ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง

จากการคำนวณเฉลี่ยของแต่ point โดยได้ค่าเฉลี่ยดังต่อไปนี้

$Point(S_{total})$ มีค่าเฉลี่ย subsidence เท่ากับ -1.273565 mm/year

$Point(S_{20})$ มีค่าเฉลี่ย subsidence เท่ากับ -1.429939 mm/year

$Point(S_{40})$ มีค่าเฉลี่ย subsidence เท่ากับ 0.193487 mm/year

$$S_{20} - S_{40} = Point(S_{20}) - Point(S_{40})$$
$$= \text{-1.429939 - 0.193487}$$
$$= \text{-1.623426 mm/year}$$

สมการ $S_{total} = (S_{20} - S_{40}) + \varepsilon$ จะได้

S_{total} = -1.273565 mm/year

$S_{20} - S_{40}$ = -1.623426 mm/year

ε = (-1.273565) – (-1.623426)

= 0.349861 mm/year

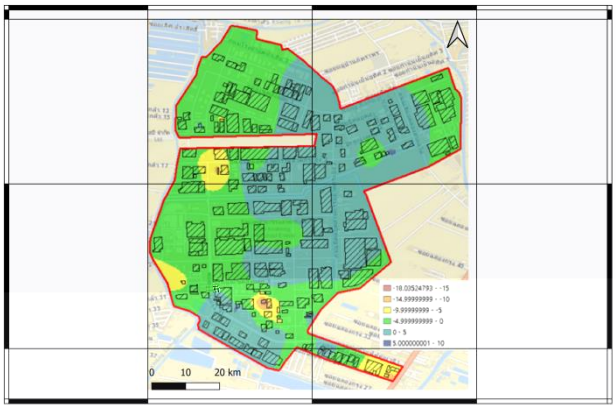
ดังนั้น สามารถสรุปค่าเฉลี่ยการทรุดตัวของแต่ละความลึกฐานราก ได้ดังต่อไปนี้

S_{total} มีค่าเฉลี่ยการทรุดตัวเท่ากับ -1.274 มิลลิเมตรต่อปี

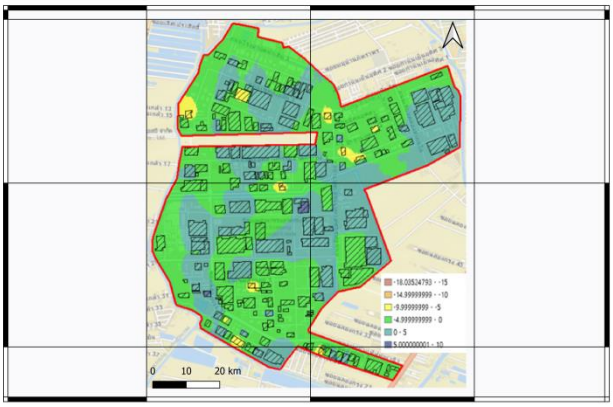
S_{20} มีค่าเฉลี่ยการทรุดตัวเท่ากับ -1.430 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 8)

S_{40} มีค่าเฉลี่ยการยกตัว (uplift) เท่ากับ 0.193 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 9)

จากการคำนวณในสมการที่ (3) ได้ค่าทรุดตัวหรือค่าคืนตัวอื่น ๆ (ε) ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังเป็น 0.350 มิลลิเมตรต่อปี



8 ค่าเฉลี่ยการทรุดตัว (subsidence) พื้นที่อาคารที่มีฐานราก 20 เมตร

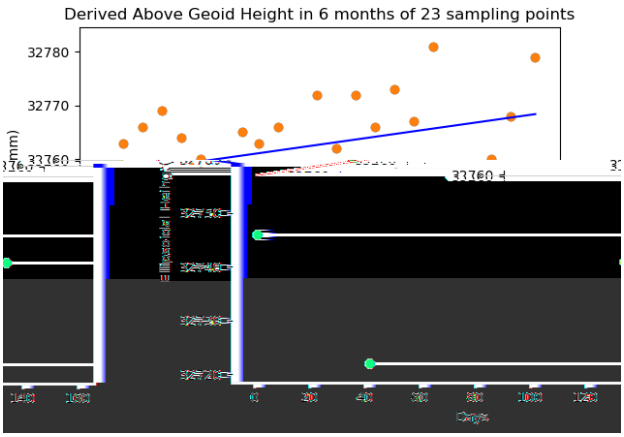


9 ค่าเฉลี่ยการทรุดตัว (subsidence) พื้นที่อาคารที่มีฐานราก 40 เมตร

5.2 การเคลื่อนตัวจากวิธีการทาง GNSS

5.2.1 *การเคลื่อนตัวในทางดิ่ง*

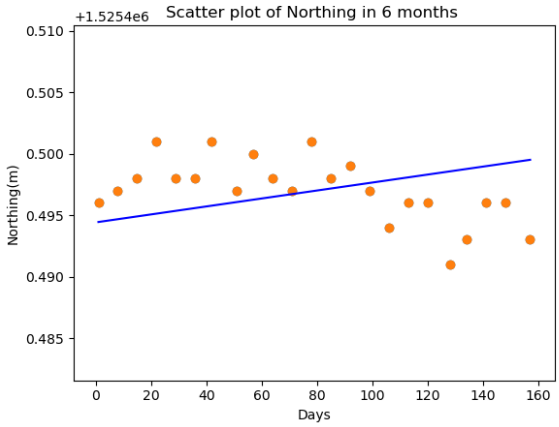
การเคลื่อนตัวในทางดิ่งของหมุดสถานี SBKK ในระยะเวลา 23 สัปดาห์ เมื่อคำนวณตามสมการที่ (3) จะได้เป็น 13.308 มิลลิเมตรต่อปี (รูปที่ 10)



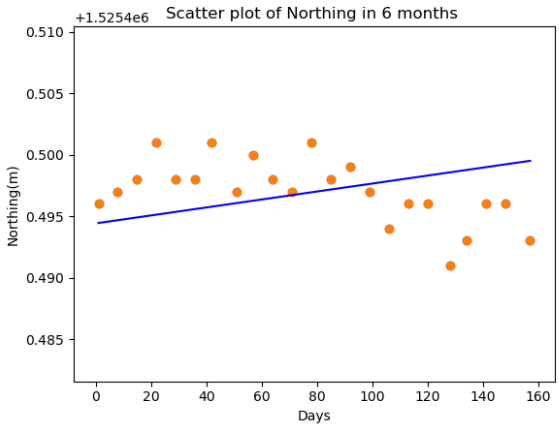
10 ค่าระดับสถานี SBKK และเส้นสมการ linear

5.2.2 *การเคลื่อนตัวในทางราบ*

การเคลื่อนตัวในทางทิศตะวันออกและทิศใต้ของหมุดสถานี SBKK ในระยะเวลา 23 สัปดาห์ เมื่อคำนวณตามสมการที่ (3) จะได้เป็น 0.022 และ 0.012 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ (รูปที่ 11 และ 12)



11 ค่าพิกัดหมุด SBKK ในแนวตะวันออก-ตะวันตกและเส้นสมการ linear



12 ค่าพิกัดหมุด SBKK ในแนวเหนือ-ใต้และเส้นสมการ linear

6.

6.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาจำแนกอัตราการทรุดตัวของชั้นดินของกรุงเทพมหานครด้วยข้อมูลจากเทคนิค Time-Series InSAR จากฐานรากของอาคารที่มีความลึก 20 เมตร ถึง 40 เมตร ได้อัตราการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งของชั้นดินในช่วงความลึก 20 เมตรถึง 40 เมตรของพื้นที่ศึกษาอยู่ที่ 0.350 มิลลิเมตรต่อปี หรือช่วงชั้นทรายชั้นแรกถึงชั้นดินเหนียวแข็งมากมีการคืนตัวขึ้นมา 0.350 มิลลิเมตรต่อปี

6.2 อภิปรายผลการวิจัย

การที่มีการเคลื่อนตัวของหมุด SBKK ณ อาคารกองคลังแผนที่ส่วนที่ 2 ของกรมแผนที่ทหารจากการรังวัดด้วยเทคนิคทาง GNSS ที่มีความถูกต้องสูง โดยมีการเคลื่อนตัวในทางดิ่ง,ทางทิศตะวันออก และทางทิศใต้ มีค่าการเคลื่อนตัว 13.308, 0.022 และ 0.012 มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ โดยพบว่าในช่วงเวลาที่นำข้อมูลมาศึกษานั้น บริเวณดังกล่าวมีการก่อสร้างและตอกเสาเข็มซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเคลื่อนตัวที่รังวัดได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

การเก็บรวบรวมข้อมูลต่อเนื่องในระยะยาวจะทำให้การติดตามและวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนขึ้น โดยใช้การจัดเก็บข้อมูลต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานและเก็บไว้เป็นระบบฐานข้อมูลเพื่อการนำมาประมวลผลวิเคราะห์และใช้งานในอนาคต

ผู้วิจัยขอขอบคุณ European Space Agency (ESA) สำหรับข้อมูลจากดาวเทียม Sentinel-1 ที่ให้บริการแบบไม่คิดมูลค่า และงานวิจัยนี้มีการปรับปรุงและดัดแก้ข้อมูล Copernicus Sentinel นอกจากนี้ขอขอบคุณกรมแผนที่ทหารสำหรับข้อมูล GNSS และข้อมูลชั้นนำบาดาลจากกรมทรัพยากรน้ำบาดาล

[1] สรศักดิ์ ชัยทวี, อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ และอนุเผ่า อบแพทย์ (2557). การติดตามการทรุดตัวของแผ่นดินในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลโดยเทคนิค Time-Series InSAR. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 19, ขอนแก่น, 14-16 พฤษภาคม 2557

[2] ปวัน ภิรมย์ทอง, อิทธิ ตริสิริสัตยวงศ์ และอนุเผ่า อบแพทย์ (2558). การตรวจหาอัตราการทรุดตัวของแผ่นดินในช่วงปี ค.ศ.1996-2000 และแนวโน้มการทรุดตัวบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑลด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาอินซาร์. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 20, ชลบุรี, 8-10 กรกฎาคม 2558

[3] ปิติภูมิ โพสาวัง, สถิตย์โชค โพธิ์สะอาด และวสันต์ ภัทรอธิคม (2560). ก้าวสู่โลกแห่งการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ: พัฒนาการในปัจจุบันและอนาคตของระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลกหลายระบบ. วารสารวิชาการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์. ปีที่ 9,ฉบับที่ 10

[4] บริษัท เซเว่น แอสโซซิเอต คอนซัลแตนส์ จำกัด.(2555). โครงการศึกษาผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินเนื่องจากการคืนตัวของแรงดันน้ำในชั้นน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. รายงานผู้บริหาร. กรมทรัพยากรน้ำบาดาล

[5] สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (2562). ระบบนำทางด้วยดาวเทียม. สืบค้นข้อมูลเมื่อ 14 พฤษภาคม 2563. https://www.hii.or.th/%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%B2/2019/10/02/%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%99%E0%B8%B3%E0%B8%97%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2%E0%B8%94%E0%B8%B2

%E0%B8%A7%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1-gnss-glob/

[6] สรวิศ สุภเวทย์. เอกสารประกอบการสอน หัวข้อ:การประมวลผลแบบจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (PPP: Precise Point Positioning). วิชา Advanced Satellite Surveying(01203563). 2563

[7] สมชาย เกรียงไกรวศิน.การประมวลผลข้อมูลจีพีเอส. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 82. ปีที่ 25. หน้า 61-68