การหาแบบจำลองปรับแก้ค่าพิกัดทางราบใช้สำหรับเทคนิคการหาตำแหน่งจุดเดี่ยวความละเอียดสูงจีเอ็นเอสเอสในกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 ของประเทศไทย

Determination of horizontal correction model for PPP/PPP-RTK GNSS mode to a new ITRF2014 in Thailand

เมธา น้อยนาค[1,*] ชัยยุทธ เจริญผล[1] กนก วีรวงศ์[1] และ เฉลิมชนม์ สถิระพจน์[1]

[1] ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
**Corresponding author; E-mail address: 6370239721@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

การเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกส่งผลกระทบโดยตรงต่อการระบุตำแหน่งด้วยค่าพิกัดและการอ้างอิงตำแหน่งบนพื้นโลกของตำแหน่งเดียวกัน เมื่อเวลาผ่านไปค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานย่อมมีค่าที่แตกต่างกัน ตามปกติองค์กรหรือหน่วยงานในระดับสากลได้มีการร่วมกันปรับปรุงระบบกรอบพิกัดอ้างอิงสากล (The International Terrestrial Reference Frame; ITRF) ให้สอดคล้องกับการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกมากยิ่งขึ้นตลอดเวลา ในการสำรวจรังวัดด้วยเทคนิค Precise Point Positioning (PPP) และ Precise Point Positioning Real-Time Kinematic (PPP-RTK) ซึ่งอ้างอิงบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากลในการระบุตำแหน่ง หากมีการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกโลกย่อมส่งผลต่อค่าพิกัดที่เปลี่ยนแปลงไปบนตำแหน่งพื้นผิวโลกด้วยสะสมตามเวลา บทความนี้นำเสนอหาแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดสำหรับ ITRF2014 ของประเทศไทยด้วยแบบจำลองค่าต่างพิกัดโดยใช้วิธีการประมาณค่า (Interpolation) ด้วยวิธี Spline ทั้งแบบ Regularized และ Tension แล้วเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบของสถานีตรวจสอบด้วยค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของค่าพิกัด ผลปรากฏว่าแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดวิธี Spline แบบ Tension ให้ความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% อยู่ที่ 0.029 ม. ดังนั้นสามารถนำแบบจำลองมาใช้ในการปรับแก้ค่าพิกัดสำหรับ ITRF2014 ให้มีความถูกต้องอยู่ในระดับ 3 ซม.ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงค่าพิกัดระหว่างหน่วยงานให้สอดคล้องกันและสามารถใช้งานค่าพิกัดร่วมกันระหว่างหน่วยงานในประเทศไทยได้

คำสำคัญ: กรอบพิกัดอ้างอิงสากล, เทคนิคจุดเดี่ยวความละเอียดสูง, การประมาณค่า, แบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด

Abstract

The movement of tectonic plates directly affects the geolocation with coordinates and reference coordinates of the same position over time. Currently, International organizations have been improving the international terrestrial reference frame (ITRF) in accordance with plate tectonics. The surveying techniques of Precise Point Positioning (PPP) and Precise Point Positioning Real-Time Kinematic (PPP-RTK) are based on this ITRF to determine the coordinates. Therefore, the movement of a tectonic plate will affect the accumulation of errors in coordinates over time. The objective of this article is to determine a coordinates correction model of the ITRF2014 in Thailand. The correction model consists of a grid coordinates difference to be interpolated using Spline method including Regularized and Tension. Accuracy of the horizontal coordinates compared to the Root Mean Square Error (RMSE). The findings indicated that the correction model of horizontal coordinates applying grid correction model of Spline Tension method give horizontal coordinates accuracy of 0.029 meter with 95% confidence. Thus, this can improve the accuracy of horizontal coordinates for the ITRF2014 in Thailand about 3 cm. This will support the future use of the ITRF2014 coordinate reference frame in Thailand.

Keywords: The International Terrestrial Reference Frame (ITRF), Precise Point Positioning (PPP), Interpolation, Correction model

1. บทนำ

ในปัจจุบันหน่วยงานต่างๆ ของประเทศไทย โดยเฉพาะกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักที่กำหนดโครงข่ายอ้างอิงของประเทศ (Zero Order Geodetic Network) ได้ปรับเปลี่ยนไปใช้พื้นหลักฐาน WGS1984 บนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล 2008 (International Terrestrial Reference Frame 2008: ITRF2008) Epoch 2013.81 ประกาศใช้งานเมื่อ พ.ศ.2557 เป็นระบบโครงข่ายสถานีรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS แบบอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการปฏิบัติงานสำรวจและการทำ

แผนที่ ซึ่งในอนาคตกรมแผนที่ทหารมีแผนที่จะปรับปรุงเป็นกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 [1] และกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2020 เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งที่เป็นปัจจุบันตามการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก นอกจากนี้กรมที่ดินได้ศึกษาการปรับปรุงพื้นหลักฐานและระบบอ้างอิงพิกัดมาอย่างต่อเนื่องเช่นกัน โดยได้ใช้ค่าพิกัดอ้างอิงที่คำนวณโยงยึดมาจากหมุดควบคุมในโครงข่ายหลักของกรมแผนที่ทหารบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2005 Epoch 2008.87 และได้ประกาศใช้ในราชการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2552 [2] ทำให้ประเทศไทยมีการใช้งานกรอบพิกัดอ้างอิงสากลของประเทศไทยที่แตกต่างกัน จึงได้มีการร่วมมือกันระหว่างกรมที่ดินกับภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดทำโครงการศึกษาการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดขั้นสูงของโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์เพื่อรองรับการปรับเปลี่ยนพื้นหลักฐานและกรอบพิกัดอ้างอิงสากล [3,4] นำไปสู่การปรับปรุงค่าพิกัดของสถานีโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ให้มีความสอดคล้องกับตำแหน่งที่เป็นปัจจุบัน สามารถใช้อ้างอิงได้กับทุกหน่วยงานได้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เมื่อประเทศไทยเริ่มใช้งานระบบกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 อย่างเป็นทางการ อาจจะเกิดค่าต่างพิกัดเนื่องจากวิธีการสำรวจรังวัดทั้งเทคนิคจุดเดี่ยวความละเอียดสูง (Precise Point Positioning; PPP) และ เทคนิคจุดเดี่ยวความละเอียดสูงแบบจลน์ Precise Point Positioning Real-Time Kinematic (PPP-RTK) ค่าต่างพิกัดที่ได้จะขยายใหญ่ขึ้นตามเวลาได้ ดังจะเห็นได้จากตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 1 ซึ่งแสดงเวกเตอร์ที่บอกขนาดและทิศทางของค่าต่างพิกัดทางราบของสถานีทั้ง 80 สถานีของกรมแผนที่ทหารด้วยเทคนิคการรังวัดจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ณ ห้วงเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าแต่ละสถานีมีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น โดยเฉลี่ยการเคลื่อนที่จะอยู่ราวประมาณ 3 เซนติเมตรต่อปี ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ผู้ใช้งานค่าพิกัดที่จากเทคนิคจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ดังกล่าวเกิดความสับสนและไม่สามารถนำค่าพิกัดไปใช้งานร่วมกันระหว่างหน่วยงานได้ โดยการอ้างอิงค่าพิกัดของตำแหน่งเดียวกันบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากลที่ต่างกันย่อมส่งผลทำให้ได้ค่าพิกัดที่แตกต่างกันด้วย เนื่องจากการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลก [5]

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการหาแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดสำหรับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 ของประเทศไทย ที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยเทคนิคจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ให้สอดคล้องกับกรอบอ้างอิงค่าพิกัดสากลของกรมแผนที่ทหาร โดยนำค่าพิกัดของจุดในโครงข่ายสถานีอ้างอิงถาวร (Continuously Operating Reference Stations; CORS)

Long Baseline Interferometry (VLBI), Lunar and Satellite Laser Ranging (LLS, SLR) และ Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS) [7]

2.3 ระบบพิกัดยูทีเอ็ม (Universal Transverse Mercator (UTM) Coordinate System)

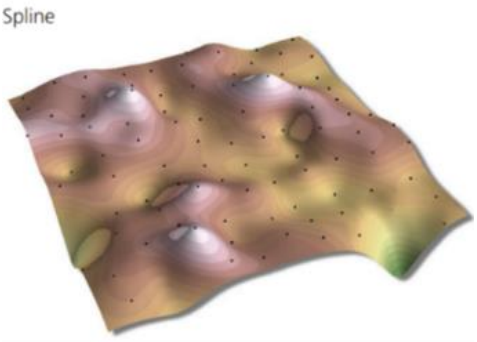
ระบบพิกัดยูทีเอ็มเป็นระบบพิกัดที่ได้จากการฉายแผนที่ ปกติจะใช้หน่วยระยะทางเป็นเมตร แบ่งตามแนวลองจิจูดออกเป็น 60 โซน ๆ ละ 6 องศา และแบ่งตามแนวละติจูดออกเป็น 20 ช่วง ๆ ละ 8 องศา โดยมีการกำหนดค่าพิกัดตะวันออกให้เส้นเมอริเดียนกลางห่างจากจุดกำเนิดสมมติ (False Easting) มีค่าเป็น 500,000 เมตร และค่าพิกัดเหนือให้เส้นระนาบศูนย์สูตรห่างจากจุดกำเนิดสมมติ (False Northing) แบ่งเป็น 2 กรณี คือ ซีกโลกเหนือมีค่าเป็น 0 เมตร ส่วนซีกโลกใต้มีค่าเป็น 10,000,000 เมตร และกำหนดค่าตัวประกอบมาตราส่วน (Scale factor) ที่เส้นเมอริเดียนกลางเท่ากับ 0.9996 [8]

2.4 การประมาณค่า (Interpolation)

การประมาณค่าเป็นการวิเคราะห์และคาดการณ์โดยอาศัยจุดข้อมูลตัวอย่างด้วยการใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์เพื่อสร้างข้อมูลพื้นผิวที่มีความต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการประมาณค่า 2 วิธีคือ (1) การประมาณค่าด้วยวิธี Spline สำหรับการสร้างพื้นผิวค่าต่างพิกัดทั้ง , และ และ (2) การประมาณค่าด้วยวิธี Bilinear สำหรับการคำนวณหาค่าปรับแก้จากแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดเพื่อทดสอบแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [3,4,9] ได้เลือกวิธีการประมาณค่าในช่วง Spline และการประมาณค่าแบบ Bilinear

2.4.1 วิธี Spline

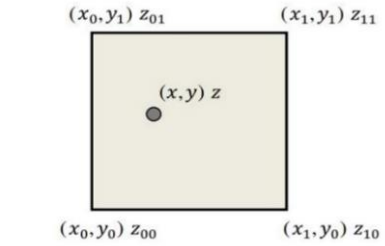
เป็นวิธีการประมาณค่าให้พอดีเป็นพื้นผิวที่มีความโค้งเว้าอย่างน้อยตามจุดข้อมูลตัวอย่างที่นำเข้ามาเหมือนกับการบิดงอของแผ่นยางให้ผ่านจุดข้อมูลตัวอย่างดังรูปที่ 2 โดยพยายามให้มีแนวโน้มสร้างสมการให้ความโค้งเข้าหาจุดข้อมูลตัวอย่าง เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างเส้นโค้งเล็ก ๆ บนระนาบหรือแผ่นแบน ๆ โดยต้องผ่านจุดข้อมูลตั้งต้นเสมอ ในงานวิจัยนี้จะแบ่งวิธีการประมาณค่าด้วย Spline ออกเป็น 2 วิธี คือ (1) Spline Regularized (2) Spline Tension



รูปที่ 2 ตัวอย่างรูปแบบพื้นผิวการประมาณค่าในช่วง Spline [10]

2.4.2 วิธี Bilinear

เป็นการประมาณค่าด้วยจุดข้อมูลตัวอย่างในลักษณะกริดจำนวน 4 ตำแหน่งที่อยู่ใกล้เคียงและล้อมรอบตำแหน่งที่ต้องการทราบค่า โดยการคำนวณตามระยะทางและให้ค่าน้ำหนักกับจุดข้อมูลตัวอย่างที่อยู่ใกล้มากกว่าจุดข้อมูลตัวอย่างที่อยู่ไกล รูปที่ 3 แสดงการประมาณค่าด้วยวิธี Bilinear



$$z = f(x) = (1-s)(1-t)z_{00} + (1-s)tz_{01} + s(1-t)z_{10} + stz_{11}$$

โดยที่ $s = \frac{x-x_0}{x_1-x_0}$

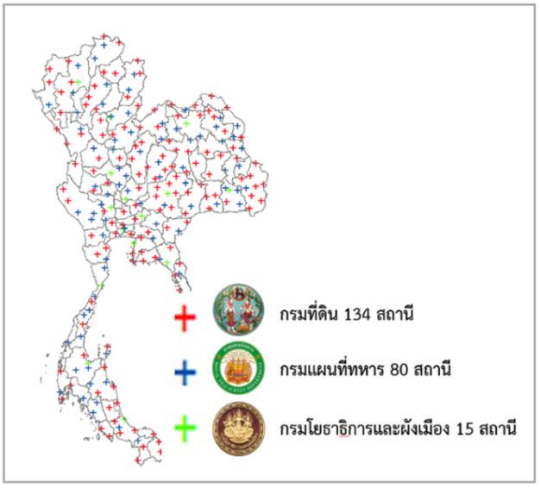
$t = \frac{y-y_0}{y_1-y_0}$

รูปที่ 3 การประมาณค่าด้วยวิธี Bilinear [11]

3. ขอบเขตการวิจัย

3.1 พื้นที่ในการศึกษา

โครงข่ายสถานีอ้างอิงถาวร 229 สถานี ประกอบด้วย สถานีของกรมที่ดิน 134 สถานี สถานีของกรมแผนที่ทหาร 80 สถานี และสถานีของกรมโยธาธิการและผังเมือง 15 สถานี กระจายตัวทั่วพื้นที่ประเทศไทยดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งสถานีอ้างอิงถาวร

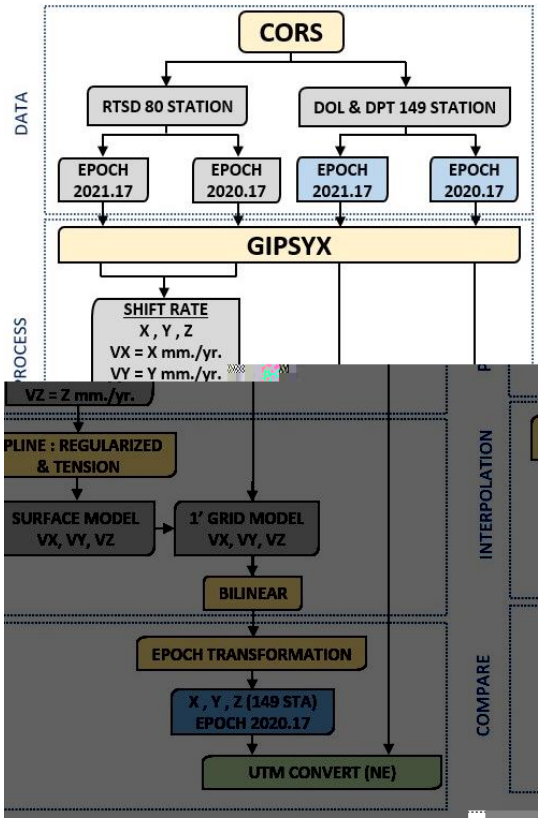
3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

ข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียมในห้วงเวลาปี พ.ศ.2563 และปี พ.ศ. 2564 โดยแต่ละปีได้เลือกช่วงเวลารังวัดสัญญาณดาวเทียมทั้งหมด 7 วัน สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย (1) ข้อมูลที่ใช้สร้างแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด ได้แก่ ข้อมูลรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ของสถานี

อ้างอิงถาวรกรมแผนที่ทหาร 80 สถานีในห้วง 29 กุมภาพันธ์ ถึง 6 มีนาคม พ.ศ.2563 และห้วง 1-7 มีนาคม พ.ศ.2564 (2) ข้อมูลที่ใช้ทดสอบแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด ได้แก่ ข้อมูลรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ของสถานีอ้างอิงถาวรกรมที่ดิน 134 สถานี และกรมโยธาธิการและผังเมือง 15 สถานี รวม 149 สถานี ในห้วง 29 กุมภาพันธ์ ถึง 6 มีนาคม พ.ศ.2563 และในห้วง 1-7 มีนาคม พ.ศ.2564

4. วิธีดำเนินการวิจัย

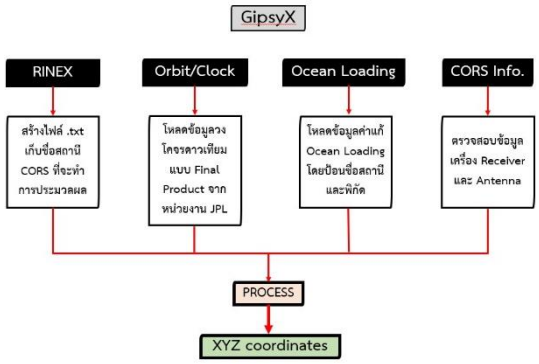
ภาพรวมของขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยตั้งแต่การเก็บข้อมูลไปจนถึงการเปรียบค่าพิกัดเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนทางราบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5 สำหรับรายละเอียดในการทำงานตั้งแต่การประมวลผลค่าพิกัดนั้นจะอธิบายในหัวข้อย่อยต่อไป



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

4.1 ประมวลผลค่าพิกัดของสถานีอ้างอิงถาวร

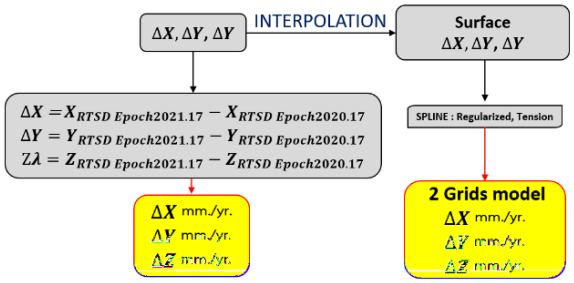
การประมวลผลค่าพิกัดของสถานีอ้างอิงถาวร 229 สถานี ประกอบด้วยกรมที่ดิน 134 สถานี กรมแผนที่ทหาร 80 สถานี และกรมโยธาธิการและผังเมือง 15 สถานี ได้จากการนำข้อมูลการสำรวจรังวัดด้วยเทคนิคจุดเดี่ยวความละเอียดสูง ที่สอดคล้องกับกรอบอ้างอิงค่าพิกัดสากล ITRF2014 มาประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เชิงวิจัย GipsyX ซึ่งมีส่วนประกอบการประมวลผลดังนี้ (1) ข้อมูล (RINEX) (2) ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมและนาฬิกาดาวเทียม (Orbit/Clock) (3) ข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ปรับแก้ค่าเคลื่อนที่เนื่องจากแรงมหาสมุทร (Ocean Loading) (4) ข้อมูลคุณสมบัติจานรับสัญญาณและสถานี CORS (CORS Information) โดยเตรียมข้อมูลดังรูปที่ 6 [12]



รูปที่ 6 ขั้นตอนการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ GipsyX

4.2 สร้างพื้นผิวค่าต่างพิกัด

ค่าพิกัดของของจุดจากสถานีกรมแผนที่ทหาร 80 สถานี ทั้งสองห้วงเวลาคือ ค่าพิกัดบนกรอบ ITRF2014 ที่ epoch2020.17 กับค่าพิกัดบนกรอบระหว่างค่าพิกัด ITRF2014 ที่ epoch2021.17 จะถูกนำมาลบกันเพื่อหาค่าต่างพิกัดใน 3 มิติ เนื่องจากค่าพิกัดทั้งสองชุดถูกรังวัดมาในห้วงเวลาที่ต่างกัน 1 ปีพอดี ทำให้ค่าต่างพิกัดที่ได้สามารถตีความได้เป็นค่าต่างพิกัดต่อปี (mm/year) จากนั้นจึงนำค่าต่างพิกัดต่อปีไปสร้างพื้นผิวค่าต่างพิกัดโดยการประมาณค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline ใช้ประเภท (Spline type) Regularized และ Tension รวมทั้งหมดเป็น 2 เงื่อนไขเพื่อการเปรียบเทียบ พื้นผิวค่าต่างพิกัดที่สร้างขึ้นมีขอบเขตอยู่ที่ 97° - 106°E และ 5° - 21°N ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั้งประเทศ [13] รูปที่ 7 แสดงขั้นตอนการหาค่าต่างพิกัด

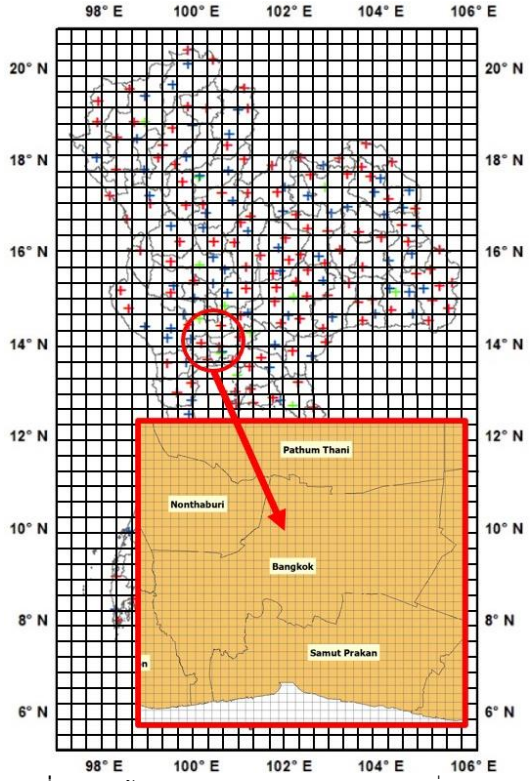


รูปที่ 7 ขั้นตอนการคำนวณค่าต่างพิกัดและการประมาณค่าในช่วง

4.3 สร้างแบบจำลองปรับแก้พิกัด

แบบจำลองปรับแก้พิกัดประกอบด้วยค่าปรับแก้พิกัดที่บันทึก ณ จุดต่างๆ ที่เรียงตัวกันในลักษณะของตารางกริดด้วยซอฟแวร์ ArcMap [14] ห่างกันเป็นระยะ 1 ลิปดา หรือประมาณ 1.85 กม.ครอบคลุมพื้นที่ 97° - 106°E และ 5° - 21°N ซึ่งเป็นพื้นที่เดียวกับพื้นผิวค่าต่างพิกัด ดังแสดงในรูปที่ 8 แบบจำลองปรับแก้พิกัดถูกสร้างขึ้นโดยการนำเอาพื้นผิวค่าต่างพิกัดจากการประมาณค่าโดยวิธี Spline ซึ่งได้พื้นผิวค่าต่างทั้ง , และ มารวมอยู่ ณ จุดตัดเส้นตรงของกริดระยะทุก 1 ลิปดา จากนั้นทำการทดสอบ

แบบจำลองปรับแก้พิกัดโดยให้ตรงตามรูปแบบของแบบจำลอง Country Specific Coordinate System (CSCS) [15] ซึ่งเป็นแบบจำลองสำหรับเก็บค่าปรับแก้ค่าพิกัด โดยกำหนดให้แบบจำลองของการปรับแก้ (Model types) เป็นระบบพิกัดภูมิศาสตร์, ใช้วิธีการประมาณค่าแก้ , และ (Interpolation Method) แบบ Bilinear, ใช้ตำแหน่งเริ่มต้นที่มุมล่างซ้าย (5° N, 97° E) และสิ้นสุดที่มุมบนขวา (21° N, 106° E) และให้มีทิศทาง (Reading direction) จากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก (W-E) และทิศใต้ขึ้นไปทิศเหนือ (S-N) ตามลำดับ



รูปที่ 8 การสร้างตารางกริดทุก 1 ลิปดาครอบคลุมทั่วประเทศ

4.4 เปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบ

หลังจากการปรับแก้พิกัดระบบพิกัดฉากคาร์ทีเซียนของสถานีทดสอบด้วยแบบจำลองปรับแก้พิกัดจากข้อ 4.3 จึงแปลงพิกัดค่าพิกัดของทั้ง 149 สถานีให้อยู่ในรูปของพิกัดยูทีเอ็มเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบความถูกต้องทางตำแหน่ง การเปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบในระบบพิกัดยูทีเอ็มระหว่างค่าพิกัดทางราบบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 ณ epoch 2021.17 ของสถานีตรวจสอบ 149 สถานี ที่ผ่านแบบจำลองปรับแก้พิกัดกับค่าพิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 ที่ epoch2020.17 โดยคำนวณหาค่าต่างทางทิศตะวันออก ( ) และทางทิศเหนือ ( ) ดังรูปที่ 5 แล้วคำนวณความคลาดเคลื่อนทางราบของสถานีตรวจสอบและค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองของแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด และเพิ่มเติมในส่วนของการทดสอบทางสถิติ t-test ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทั้ง 2 แบบ ว่ามีค่าเฉลี่ยของค่าพิกัดทางราบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบใช้สมมุติฐานกรณีนี้คือ ค่าเฉลี่ยค่าพิกัดทางราบของแบบจำลองแต่ละแบบจำลองซึ่งมีอิสระต่อกัน โดยใช้แบบจำลองการปรับแก้พิกัดแต่ละแบบจำลองทำการจับคู่ทดสอบกัน เพื่อวิเคราะห์แบบจำลองประเภทใดมีความเหมาะสมในการเลือกใช้มาเป็นแบบจำลองการปรับแก้ค่าพิกัด ให้ไปสู่พิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 Epoch 2020.17 โดยผลลัพธ์สรุปได้ว่าแบบจำลอง Spline ทั้ง Regularized และ Tension มีค่าเฉลี่ยค่าพิกัดที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถใช้วิธีการหรือแบบจำลองใดก็ได้สำหรับการหาอัตราการเคลื่อนตัวทางราบ

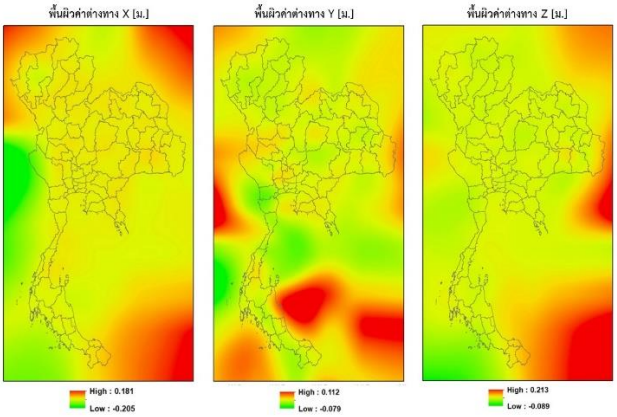
5. ผลการวิจัย

5.1 ค่าพิกัดสถานีที่ใช้ทำแบบจำลองและสถานีตรวจสอบ

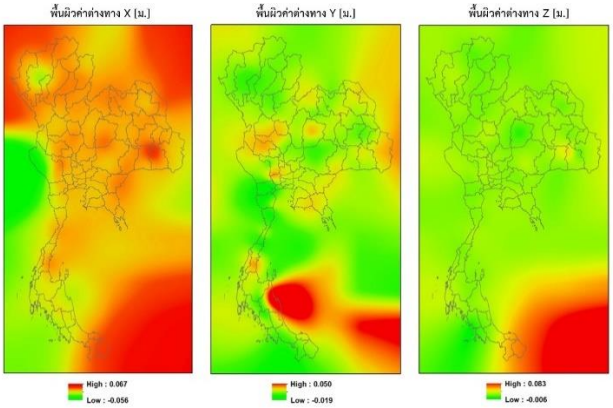
การประมวลผลค่าพิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 ของสถานีอ้างอิงรับสัญญาณดาวเทียมถาวรต่อเนื่อง (CORS) ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ประกอบด้วย (1) ค่าพิกัดที่ใช้สร้างแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด ได้แก่ ค่าพิกัดเฉลี่ยของสถานีอ้างอิงถาวรกรมแผนที่ทหาร 80 สถานี ในห้วง 29 กุมภาพันธ์ ถึง 6 มีนาคม พ.ศ.2563 และห้วง 1-7 มีนาคม พ.ศ. 2564 (2) ค่าพิกัดที่ใช้ทดสอบแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด ได้แก่ ค่าพิกัดเฉลี่ยของสถานีอ้างอิงถาวรกรมที่ดิน 134 สถานี และกรมโยธาธิการและผังเมือง 15 สถานี รวม 149 สถานี ในห้วง 29 กุมภาพันธ์ ถึง 6 มีนาคม พ.ศ. 2563 และในห้วง 1-7 มีนาคม พ.ศ.2564

5.2 พื้นผิวค่าต่างพิกัด

หาค่าต่างพิกัดของสถานีกรมแผนที่ทหาร 80 สถานี ที่ได้จากการประมวลผลค่าพิกัดบนกรอบ ITRF2014 ที่ epoch2020.17 กับค่าพิกัดบนกรอบระหว่างค่าพิกัด ITRF2014 ที่ epoch2021.17 และประมาณค่าด้วยวิธี Spline ทั้ง 2 เงื่อนไขแยกเป็นค่าพิกัดทาง , และ ซึ่งจะได้พื้นผิวค่าต่างทั้งหมด 6 พื้นผิว ดังรูปที่ 9-10 แสดงพื้นผิวค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline แบบ Regularized และ Tension ตามลำดับ พร้อมทั้งค่าทางสถิติของค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline ตามตารางที่ 1



รูปที่ 9 พื้นผิวค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline แบบ Regularized



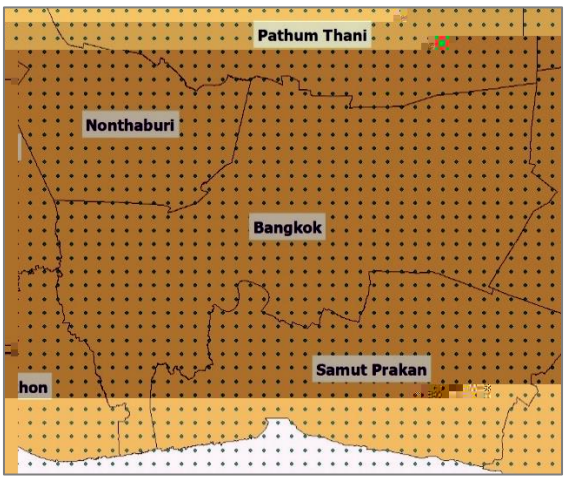
รูปที่ 10 พื้นผิวค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline แบบ Tension

ตารางที่ 1 ค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline

แบบจำลอง	ค่าต่างพิกัด (ม.)	ค่าทางสถิติ			
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD
Spline Regularized		-0.206	0.181	0.029	0.048
		-0.080	0.113	0.013	0.024
		-0.090	0.214	0.030	0.047
Spline Tension		-0.057	0.067	0.025	0.019
		-0.020	0.051	0.005	0.009
		-0.006	0.084	0.018	0.018

5.3 แบบจำลองค่าต่างและแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด

จะได้แบบจำลองค่าต่างพิกัดบนตำแหน่ง กริดที่ระยะ 1 ลิปดา หรือประมาณ 1.85 กม. โดยครอบคลุมพื้นที่ 97° - 106°E และ 5° - 21°N และจะได้ตำแหน่งกริดจำนวน 519,901 ตำแหน่งโดยแบ่งในแนวแถว (Rows) เท่ากับ 961 ตำแหน่ง และในแนวคอลัมภ์ (Column) เท่ากับ 541 ตำแหน่ง ดังตัวอย่างรูปที่ 11



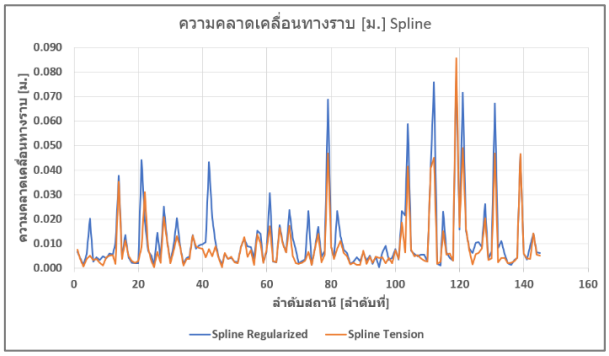
รูปที่ 11 ตัวอย่างแบบจำลองค่าต่างพิกัดบนตำแหน่งกริด ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

5.4 ความถูกต้องตำแหน่งทางราบของแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด

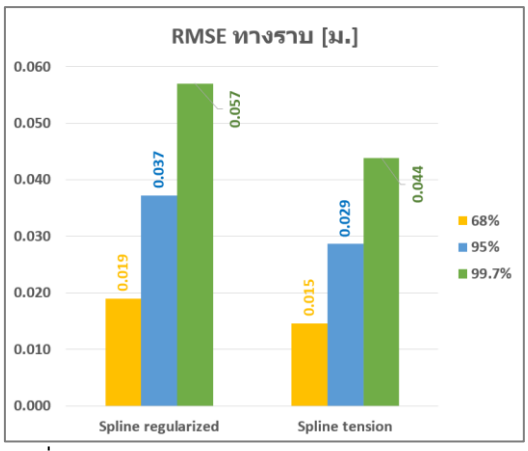
จะได้ค่าทางสถิติของของความคลาดเคลื่อนทางราบตามตารางที่ 2 และรูปที่ 12 แสดงกราฟความคลาดเคลื่อนหลังจากการทดสอบกับสถานีตรวจสอบ พร้อมทั้งรูปที่ 13 แสดงความถูกต้องทางราบของแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด (RMSE)

ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติของความคลาดเคลื่อนทางราบด้วยแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดแบบต่าง ๆ

แบบจำลอง	ความคลาดเคลื่อนทางราบ (ม.)				
	min	max	avg	SD	RMSE
Spline Regularized	0.001	0.079	0.012	0.015	0.019
Spline Tension	0.001	0.086	0.009	0.012	0.015



รูปที่ 12 กราฟความคลาดเคลื่อนทางราบของสถานีตรวจสอบ 149 สถานี



รูปที่ 13 ความถูกต้องทางราบของแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัด

6. สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการปรับแก้พิกัดของสถานีทดสอบ 149 ตำแหน่ง สำหรับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 Epoch 2020.17 ในประเทศไทยด้วยแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดจากแบบจำลองค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline แบบ

Regularized เมื่อพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบอยู่ที่ 0.037 เมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนทางราบเฉลี่ยอยู่ที่ 0.012 ± 0.015 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนทางราบสูงสุดอยู่ที่ 0.079 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนทางราบต่ำสุดอยู่ที่ 0.001 เมตร แบบจำลองค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline แบบ Tension เมื่อพิจารณาที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบอยู่ที่ 0.029 เมตร โดยมีความคลาดเคลื่อนทางราบเฉลี่ยอยู่ที่ 0.009 ± 0.012 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนทางราบสูงสุดอยู่ที่ 0.086 เมตร และมีความคลาดเคลื่อนทางราบต่ำสุดอยู่ที่ 0.001 เมตร พบว่าแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดจากแบบจำลองค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline แบบ Tension ให้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องดีกว่า แบบ Regularized ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย [3,4] ว่าด้วยแบบจำลอง Molodensky-Badek ร่วมกับวิธี Interpolation 4 วิธีได้แก่ IDW, Kriging, Natural Neighbor และ Spline สำหรับการแปลงพื้นหลักฐานสำหรับกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2005 ไปสู่ ITRF2008 ในประเทศไทย โดยงานวิจัยนี้สามารถได้แบบจำลองวิธีการ Spline แบบ Tension ที่ปรับแก้พิกัดสำหรับการปรับแก้พิกัดบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 ณ epoch 2020.17 ในประเทศไทยให้มีความถูกต้องอยู่ในระดับต่ำกว่า 3 ซม.ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการปรับแก้พิกัดสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปที่ใช้ประโยชน์จากการรังวัดจุดเดี่ยวความละเอียดสูงที่ยอมรับความถูกต้องดังกล่าว สามารถได้ค่าพิกัดที่เป็นเอกภาพและบูรณาการมากยิ่งขึ้นหลังจากการประกาศใช้งานบนกรอบพิกัดอ้างอิงสากล ITRF2014 ในประเทศไทยต่อไป

6.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

6.2.1 เนื่องจากความสมบูรณ์ของข้อมูลรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ของสถานีอ้างอิงถาวรในห้วงเวลาดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถประมวลผลค่าพิกัดร่วมกันทั้งหมด 229 สถานีได้ ทำให้จำเป็นต้องทำการตัดบางสถานีออกโดยจำแนกจากค่าพิกัดที่ประมวลผลค่าพิกัดแล้วได้ค่าพิกัดเฉลี่ยที่แกว่งเกิน 2 ซม. ซึ่งสถานีที่ทำการตัดออกไป 4 สถานี คือ 1. สถานี AUPG (สำนักงานที่ดินจังหวัดตาก อำเภอ อุ้มผาง) 2. สถานี CNBR (กรมโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดชลบุรี) 3. สถานี KPNG (สำนักงานที่ดินจังหวัดสุราษฎร์ธานี อำเภอเกาะพะงัน) และ 4. สถานี NKRM (กรมโยธาธิการและผังเมือง จังหวัดนครราชสีมา) โดยทั้ง 4 สถานีนี้เป็นสถานีทดสอบทั้งหมด ทำให้จำนวนสถานีทดสอบจะอยู่ที่ 145 ตำแหน่ง

6.2.2 เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้สร้างแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดจากการหาค่าต่างพิกัดต่อหน่วยเวลา (mm./year) โดยใช้ข้อมูลเพียง 7 วัน จากปี 2020 กับ 2021 เท่านั้น โดยแนวโน้มการเคลื่อนตัวของแผ่นเปลือกตลอดทั้งปีนั้นมีลักษณะแกว่งไปมา ซึ่งโดยมีความชัน (slope) ไม่เป็นเส้นตรง ทำให้การใช้แบบจำลองนี้มีแนวโน้มคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อนำข้อมูลทดสอบ ณ Epoch ใดๆที่ระยะเวลาห่างเกินไปเมื่อนำมาแปลงค่าพิกัดเข้าสู่ ITRF2014 Epoch 2020.17 จึงจำเป็นต้องเพิ่มการเก็บข้อมูลในทุกๆรายสัปดาห์เพื่อนำมาประมวลผลดูค่าพิกัด (weekly solution) เพื่อติดตามอัตราการเคลื่อนตัวของค่าพิกัด เพื่อศึกษาเพิ่มเติมและนำไปใช้เป็น local velocity ของประเทศไทยต่อไป

6.2.3 งานวิจัยนี้ได้ทดสอบแบบจำลองจากการประมาณค่า (Interpolation) โดยการสร้างพื้นผิวค่าต่างพิกัดด้วยวิธี Spline เพียงวิธีเดียว โดยซอฟต์แวร์ ArcMap นั้นได้มีวิธีการประมาณค่าในการสร้างพื้นผิวค่าต่างพิกัดหลากหลายรูปแบบ ซึ่งการศึกษาในอนาคตควรมีการเพิ่มวิธีการประมาณค่าในช่วงในการสร้างพื้นผิวค่าต่างเพื่อให้แบบจำลองการปรับแก้มีความถูกต้องสูงยิ่งขึ้น

6.2.4 ข้อดีของแบบจำลองนี้คือผู้ใช้สามารถคาดหวังผลลัพธ์พิกัดอ้างอิงตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงซึ่งสอดคล้องกันในทุกสถานที่ในประเทศไทยอย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ต้องใช้ข้อมูล Observation จากสถานีอ้างอิงถาวร GNSS CORS เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงพิกัดรวมถึงแบบจำลองจะทำงานได้ดีภายใต้สถานการณ์ปกติ (เฉพาะการเคลื่อนที่ของแผ่นเปลือกโลกเท่านั้น) หากเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ จำเป็นต้องมีแบบจำลองของการเคลื่อนตัวของแผ่นดินไหวร่วม (Co-seismic) และแบบจำลองของการเคลื่อนตัวหลังเกิดแผ่นดินไหว (Post-seismic) ตัวอย่างเกี่ยวกับวิธีการสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบ Co-seismic และ Post-seismic สามารถสืบค้นได้ใน [16]

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณหน่วยงานซึ่งประกอบด้วย กรมที่ดิน กรมแผนที่ทหาร และกรมโยธาธิการและผังเมือง ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรังวัดสัญญาณดาวเทียม GNSS ของโครงข่ายสถานีอ้างอิงถาวร

เอกสารอ้างอิง

[1] Altamimi, Z., Rebischung, P., Métivier, L., & Collilieux, X. (2016). ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, pp.6109-6131.

[2] กรมแผนที่ทหาร (2557). *รายงานผลการสำรวจแผนที่สนามชุดปฏิบัติงานสนามสำรวจโครงข่ายดาวเทียม GPS งานยีออเดซี่และยีออฟิสิกส์ ประจำปีงบประมาณ 2557*. กรุงเทพมหานคร: กองยีออเดซี่และยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร.

[3] กรกฎ บุตรวงษ์ (2563). การคำนวณหาแบบจำลองค่าปรับแก้พิกัดทางราบสำหรับกรอบพิกัดอ้างอิงสากลITRF2005 ไปสู่ ITRF2008 ของประเทศไทย. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26*, การประชุมรูปแบบออนไลน์, 23-25 มิถุนายน 2564, หน้า 1481-1489.

[4] Kriengkraiwasin, S., Charoenphon, C., Butwong, K., Kovitpongkajorn, V., Yomwan, P., Thongtan, T., & Satirapod, C. (2021). Unification of GNSS CORS coordinates in Thailand. *Survey Review*, pp.1-9, doi: 10.1080/00396265.2-021.1987002

[5] Satirapod, C., et al. (2013). Updating Thai reference frame to ITRF2005 using GPS: diversion between ITRF2000 and

2005 in Southeast Asia. *Survey Review*, pp.45–53, doi:10.1179/003962610 (12747001420906).

[6] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). *GNSS–global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media. pp.277-280.

[7] IGN/LAREG. (2020). *ITRF 2020 Call for participation*. Retrieved from http://itrf.ensg.ign.fr/doc_ITRF/CFP ITRF2020.pdf.

[8] วิชัย เย่ียงวีรชน. (2558). *การสำรวจรังวัด : ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 332-341.

[9] Ajvazi, B., and Czimber, K. (2019), A comparative analysis of different DEM interpolation methods in GIS: case study of Rahovec, Kosovo, *Geodesy and Cartography*, pp.43-48.

[10] Childs, C. (2004). *Interpolating surfaces in ArcGIS spatial analyst*. ESRI Education Services. Retrieved from https://community.esri.com/ccqpr47374/attachments/ccqpr47374/arcgis-spatial-analystquestions/2376/1/interpolating.pdf.

[11] Gabriele G. (2014). Use of NTv2 transformation grids in engineering applications. *Earth Science Informatics*,7(2), pp.139-145.

[12] Bertiger, W., Bar-Sever, Y., Dorsey, A., Haines, B., Harvey, N., Hemberger, D., Heflin, M., Lu, W., Miller, M., & Moore, A. W. (2020). GipsyX/RTGx, a new tool set for space geodetic operations and research. *Advances in Space Research*, pp.469-489.

[13] กรมแผนที่ทหาร และ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (2560). *รายงานฉบับสมบูรณ์: โครงการพัฒนาแบบจำลอง Geoid ความละเอียดสูงของประเทศไทย*, สืบค้นจาก https://gnss-portal.rtsd.mi.th/portal/apps/sites/#/gnss.

[14] ArcGIS Desktop 10.8. (2022). *An overview of the Interpolation toolset*. Retrieved from https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analysttoolbox/an-overview-of-the-interpolation-tools.htm.

[15] LEICA Geosystems AG. (2014). *Leica Geo Office Online Help: Leica Geo Office 8.4*. Retrieved from https://leica-geosystems.com/products/gnss-systems/software/leica-geo-office.

[16] Panumastrakul, E., Simons, W and Satirapod, C. (2012). Modeling Post-Seismic Displacements in Thai Geodetic Network due to the Sumatra-Andaman and Nias Earthquakes Using GPS Observations. *Survey Review*, Vol. 44, pp.72–77, doi:10.1179/1752270611Y.0000000017.