

การแปลงพื้นหลักฐานแผนที่สำหรับประเทศไทย

(Datum Transformation for Thailand)

ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ

และ

พ.อ. ภูษงค์ วงษ์เกิด

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

ผู้อำนวยการกองแผนและโครงการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรมแผนที่ทหาร

กรุงเทพ 10330

กรุงเทพ 10200

บทคัดย่อ

คณะทำงานร่วมกลุ่มที่ 3 ในคณะกรรมการระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ในภาคพื้นเอเชียและแปซิฟิก องค์การสหประชาชาติ ได้มอบหมายให้ประเทศไทยโดยความร่วมมือของประเทศไทยและอิหร่าน เป็นผู้เสนอแนะกลวิธีในการเปลี่ยนพื้นหลักฐานท้องถิ่นเป็นระบบร่วมของภูมิภาค ในการนี้ โครงข่ายหมุดหลักฐานของประเทศไทยถูกใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อทำข้อเสนอแนะต่อองค์การสหประชาชาติ ผลจากการศึกษาทำให้มีระบบพิกัดอ้างอิงบนพื้นหลักฐานดาวเทียมที่มีความถูกต้องสูงครอบคลุมทั่วประเทศไทย รวมทั้งมีพารามิเตอร์ชุดใหม่สำหรับการแปลงระหว่างพื้นหลักฐานดาวเทียมกับพื้นหลักฐานของประเทศ (อินเดีย พ.ศ. 2518) บทความนี้ นำเสนอผลการศึกษาและผลกระทบของการใช้ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานชุดใหม่และพารามิเตอร์การแปลงชุดใหม่

ABSTRACT

Working Group 3 of the Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific, United Nations assigned Thailand, with cooperation of Iran, to develop a transformation strategy to convert from local datums into a regional system. A control network of Thailand was used as a case study for the proposal to UN. As a result of the study, a precise reference coordinate system on the satellite datum was established and available for use over Thailand. A new set of transformation parameters between the satellite datum and the national datum (Indian 1975) was obtained as well. Summary of the study and impacts of using the new set of coordinates and the new set of transformation parameters are presented in this paper.

1. บทนำ

ประเทศไทยโดยกรมแผนที่ทหารได้รับมอบหมายภารกิจจากคณะกรรมการระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ในภาคพื้นเอเชียและแปซิฟิกขององค์การสหประชาชาติ ให้ทำการศึกษาและเสนอแนะวิธีการในการแปลงพื้นหลักฐานของแต่ละประเทศให้เป็นพื้นหลักฐานที่ใช้ร่วมกันได้ทั้งภูมิภาค ผลจากการศึกษาได้จัดทำเป็นรายงานเสนอต่อคณะทำงานร่วมกลุ่มที่ 3 ในคราวประชุมครั้งที่ 4 ณ กรุงเตหะราน สาธารณรัฐอิสลามแห่งอิหร่าน เมื่อกุมภาพันธ์ 2541 (Wichiencharoen และคณะ, 1998) ผลพลอยได้จากงานวิจัยครั้งนี้คือ พารามิเตอร์ชุดใหม่ของการแปลงพื้นหลักฐานระหว่างพื้นหลักฐานดาวเทียม GPS และพื้นหลักฐานของประเทศไทย (อินเดีย พ.ศ. 2518) รวมทั้งค่าพิกัดของหมุดดาวเทียม 177 หมุดบนพื้นหลักฐานดาวเทียมที่มีความถูกต้องสูงด้วย ในบทความนี้จะกล่าวถึง วิธีการหาพารามิเตอร์การแปลง และผลการศึกษาความแตกต่างระหว่างพารามิเตอร์ชุดที่คำนวณมาได้ใหม่กับชุดที่ใช้ยังเป็นทางการอยู่ในปัจจุบัน

2. พื้นหลักฐานดาวเทียม GPS

ในปัจจุบันดาวเทียม GPS ได้ถูกนำมาใช้ในงานรังวัดอย่างแพร่หลาย ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัด GPS จะอยู่บนพื้นหลักฐานดาวเทียม ตำแหน่งของดาวเทียมจาก broadcast ephemeris จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับ ในกรณีนี้ พิกัดตำแหน่งจะอยู่บนพื้นหลักฐานที่เรียกว่า WGS84 (World Geodetic System 1984) ระบบพิกัดของ WGS84 ถูกกำหนดด้วยค่าพิกัดของจุดที่อยู่บนพื้นผิวโลกมากกว่า 1,500 จุด ความถูกต้องของค่าพิกัดอยู่ในเกณฑ์ ± 1 ถึง ± 2 เมตร (ดู Hofman-Wellenhof และคณะ, 1997 หน้า 31) แต่ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกจำเป็นต้องมีพื้นหลักฐานร่วมที่มีความถูกต้องดีกว่า WGS84 องค์การทางอวกาศซี จึงได้เลือกใช้พื้นหลักฐานที่เรียกว่า ITRF (International Terrestrial Reference Frame) ซึ่งถูกสร้างขึ้นมาโดย IERS (International Earth Rotation Service) ระบบ ITRF ถูกกำหนดด้วยค่า

พิกัดของจุดบนผิวโลกราว 180 จุด ความถูกต้องอยู่ในระดับเซนติเมตร ในการคำนวณค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน ITRF จะต้องใช้ข้อมูลดาวเทียมระบบ GPS ที่เรียกว่า precise ephemeris ซึ่งจัดทำโดย IGS (International GPS Service for Geodynamics)

3. พื้นหลักฐานของประเทศไทย

พื้นหลักฐานแผนที่ของประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันเรียกว่า พื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 (Indian 1975) พื้นหลักฐานนี้เป็นผลจากการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานทั่วทั้งประเทศใหม่ ซึ่งแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2518 โดยมีหมุดหลักฐานจำนวน 9 หมุด ที่มีการรังวัดด้วยดาวเทียมคอปเปอร์ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างหมุดทั้งหมุดมีความถูกต้องสูงกว่าที่ได้จากวิธีการข่ายสามเหลี่ยม จึงใช้ค่าพิกัดเป็นจุดควบคุมโครงข่ายได้ ผลพลอยได้จากการใช้หมุดคอปเปอร์ควบคุมโครงข่ายอีกประการหนึ่งคือ ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 กับพื้นหลักฐานดาวเทียมในขณะนั้นคือ WGS72 (Walker, 1976) ต่อมาเมื่อพื้นหลักฐานดาวเทียมถูกเปลี่ยนมาเป็น WGS84 จึงถ่ายทอดความสัมพันธ์มาสู่พื้นหลักฐานดาวเทียมใหม่ได้ ตาราง 1 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้อย่างเป็นทางการอยู่ปัจจุบัน เพื่อแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐาน WGS84 เป็นพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 รายละเอียดวิธีการแปลงในหัวข้อ 4

ตาราง 1 พารามิเตอร์สำหรับการแปลงจากพื้นหลักฐานดาวเทียม WGS84 เป็นพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วยเมตร
ค่าเลื่อนตามแกน x	Δx	- 206
ค่าเลื่อนตามแกน y	Δy	- 837
ค่าเลื่อนตามแกน z	Δz	- 295

4. ทฤษฎีการแปลงพื้นหลักฐาน

ค่าพิกัดของจุดจุดหนึ่งบนพื้นหลักฐานที่ต่างกันมีค่าไม่เท่ากัน มีสาเหตุมาจากขนาดและรูปร่างของทรงรีที่แตกต่างกัน จุดศูนย์กลางของรูปทรงรีไม่ได้อยู่ที่เดียวกัน ทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีไม่เหมือนกัน หน่วยวัดระยะทางไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน สาเหตุเหล่านี้เพียงอย่างหนึ่งอย่างใดจะมีผลทำให้ค่าพิกัดตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไป ในการแปลงค่าจากพื้นหลักฐานหนึ่งไปยังอีกพื้นหลักฐานหนึ่ง นิยมใช้วิธีการมองว่าพื้นหลักฐานอันหนึ่งก็คือ ระบบพิกัดฉากสามมิติอันหนึ่ง ดังนั้นการแปลงค่าระหว่างพื้นหลักฐานก็คือการแปลงค่าระหว่างระบบพิกัดฉาก รูปจำลองที่นิยมใช้ในการแปลงคือ Bursa-Wolf Model ซึ่งให้ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดด้วยพารามิเตอร์ 7 ตัว ประกอบด้วย ก) ค่า

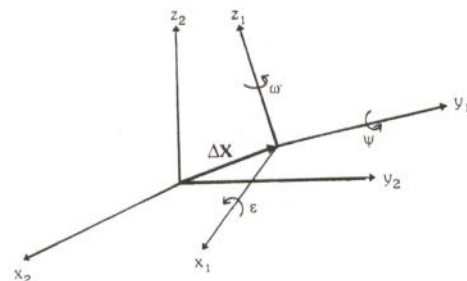
เลื่อนระหว่างจุดกำเนิดในทิศทางของแกน x, y และ z ซึ่งมีสาเหตุมาจากจุดศูนย์กลางของรูปทรงรีไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน ข) ค่ามุมหมุนรอบแกน x, y และ z อันเป็นผลจากทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีไม่เหมือนกัน และ ค) ค่าต่างมาตราส่วน ที่เป็นผลมาจากหน่วยวัดระยะทางที่ไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X_2 = \Delta X + (1 + \Delta s) R X_1 \quad (1)$$

โดยมีเวกเตอร์ X_1 และ X_2 เป็นค่าพิกัดฉากของจุดเดียวกันในระบบพิกัดฉากที่ 1 และ 2 ตามลำดับ รูปที่ 1 เวกเตอร์ ΔX เป็นค่าเลื่อนของจุดกำเนิดในระบบพิกัด X_2 ประกอบด้วย $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ Δs เป็นค่าต่างมาตราส่วน และ R เป็นเมทริกซ์การหมุนรอบแกนทั้งสามของ X_2 เขียนได้เป็น

$$R = R_3(\omega) R_2(\psi) R_1(\epsilon) \quad (2)$$

สัญลักษณ์ R_i คือการหมุนรอบแกน i ($i=1,2,3$) ในที่นี้ แกน 1, 2 และ 3 คือ แกน x, y และ z ตามลำดับ



รูป 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉาก 2 ระบบ เมื่อใช้รูปจำลอง Bursa-Wolf.

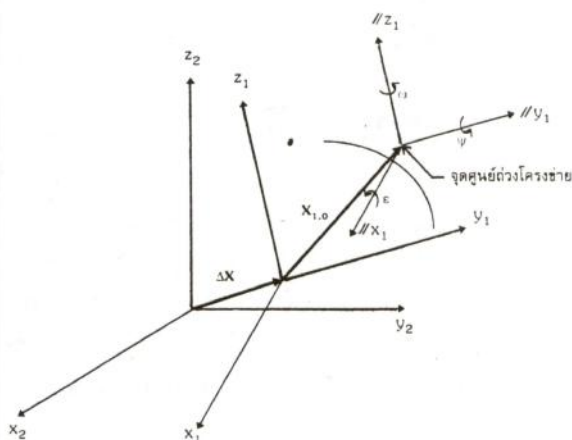
จะเห็นได้ว่า สมการ (1) ประกอบด้วยพารามิเตอร์การแปลง 7 ตัว คือ $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \epsilon, \psi, \omega$ และ Δs การหาค่าพารามิเตอร์ตามปกติ จะใช้วิธีการปรับแก้แบบลีสทิงสแควร์ ถ้ามีจุดจุดหนึ่งที่อยู่ค่าพิกัดในระบบพิกัดทั้งสอง และนำมาแทนค่าในสมการ (1) จะเขียนเป็นสมการย่อยได้ 3 สมการ โดยมีพารามิเตอร์การแปลงเป็นตัวไม่รู้ค่า โดยหลักการ จึงต้องมีจุดที่อยู่ค่าพิกัดในระบบพิกัดทั้งสองหรือที่เรียกว่า จุดร่วม อย่างน้อย 3 จุด เพื่อใช้ในการหาพารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัว อย่างไรก็ตาม การหาพารามิเตอร์ไม่จำเป็นต้องหาค่าครบทั้ง 7 ตัว ในบางกรณี การหาพารามิเตอร์

มิเตอร์อาจจะมีเพียงค่าเลื่อน 3 ตัวเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ถ้าจุดร่วมครอบคลุมพื้นที่ขนาดเล็กสลับสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อน และค่ามุมหมุนจะมีค่าสูง แสดงให้เห็นว่า ในการคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์นี้ ถ้าค่าเลื่อนมีการเปลี่ยนแปลงไปก็จะส่งผลกระทบต่อค่ามุมหมุนที่ทำได้โดยตรง ในกรณีนี้ การหาค่าพารามิเตอร์แต่เพียงค่าเลื่อนก็เป็นการเพียงพอที่จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดทั้งสอง

ในกรณีที่ค่าสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนสูง ได้มีผู้แนะนำให้เปลี่ยนมาใช้รูปจำลองที่เรียกว่า Molodensky-Badekas Model โดยวิธีการนี้ค่ามุมหมุนที่แต่เดิมหมุนรอบจุดกำเนิดของระบบพิกัด จะถูกย้ายมาอยู่ที่พื้นผิวโลกใกล้กับตำแหน่งของจุดร่วม โดยปกติจะใช้จุดศูนย์กลาง (centroid) ของจุดร่วมทั้งหมด รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดทั้งสอง เขียนได้เป็น

$$X_2 = \Delta X + X_{1,0} + (1 + \Delta s) R(X_1 - X_{1,0}) \quad (3)$$

เมื่อ $X_{1,0}$ เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของจุดหมุน โดยการใช้อุปกรณ์นี้จะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนลดน้อยลง แต่ถ้าตำแหน่ง $X_{1,0}$ ที่เลือกเปลี่ยนไป จะทำให้ค่าพารามิเตอร์ที่หาได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป



รูป 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฉาก 2 ระบบ เมื่อใช้อุปกรณ์จำลอง Molodensky-Badekas.

อนึ่ง พิกัดตำแหน่งในงานรังวัดเป็นพิกัดออร์โธเมตริกที่บอกค่าละติจูด (ϕ) ลองจิจูด (λ) และความสูงเหนือรูปทรงรี (h) ถ้าทราบขนาดและรูปร่างของรูปทรงรี เช่น ค่าครึ่งแกนยาว (a) และค่าเยื้องศูนย์กลาง (e) จะสามารถคำนวณตำแหน่งเป็นค่าพิกัดฉาก (x, y, z) ได้ และในทางกลับกัน ถ้าทราบตำแหน่งค่าพิกัดฉาก (x, y, z) ก็สามารถคำนวณหาตำแหน่ง (ϕ, λ, h) ได้ การคำนวณจากค่าพิกัดฉาก เช่น (ซูเกียริติ วิเชียรเจริญ, พ.ศ. 2537)

5. ข้อมูลสำหรับการแปลงพื้นหลักฐานของประเทศไทย

เพื่อที่จะหาพารามิเตอร์การแปลงพื้นหลักฐาน จะต้องมียุคร่วมที่รู้ค่าพิกัดในทั้งสองระบบอย่างน้อย 3 จุด ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียมได้จากการรังวัดดาวเทียม GPS ส่วนค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดียใน พ.ศ. 2518 ได้จากโครงข่ายหมุดหลักฐานของประเทศ ในอดีตที่ผ่านมาการสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานของประเทศ จะแยกเป็นโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบ และโครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่งหรือหมุดระดับ โครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบคำนวณบนพื้นผิวรูปทรงรีเอเวอเรสต์ ในขณะที่โครงข่ายหมุดหลักฐานทางดิ่ง(หมุดระดับ)อ้างอิงกับระดับทะเลปานกลางที่เกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ระดับทะเลปานกลางเป็นพื้นผิวทางปฏิบัติใช้แทนชื่อยอย (geoid) ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางกายภาพของโลกและใช้เป็นฐานทางชื่อยอยของโลก นอกจากนี้จะใช้พื้นผิวอ้างอิงต่างกันในการคำนวณค่าของหมุดหลักฐานทางราบและหมุดระดับแล้ว ตำแหน่งของหมุดหลักฐานทั้งสองประเภทยังแยกกันอยู่อีกด้วย ดังนั้น การใช้ค่าพิกัดของจุดร่วมบนพื้นหลักฐานอินเดียจึงจำเป็นต้องมีวิธีการคำนวณเพื่อถ่ายโอนค่ามาไว้ที่จุดเดียวกันให้ถูกต้องซึ่งจะได้กล่าวถึงวิธีการต่อไป

5.1 ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม

โครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบของประเทศไทยถูกสร้างและดำเนินการรังวัดโดยวิธีการภาคพื้นดิน (งานสามเหลี่ยมและงานวงรอบ) จนกระทั่งปี พ.ศ. 2534 จึงใช้วิธีการรังวัดดาวเทียม GPS แทน ซึ่งหมุดดาวเทียมบางหมุดใช้ตำแหน่งของหมุดหลักฐานทางราบ บางหมุดใช้หมุดระดับ และบางหมุดก็สร้างขึ้นใหม่ โครงข่ายของหมุดดาวเทียมประกอบด้วย หมุดรวม 500 หมุด ต่อมาในปี พ.ศ. 2539 กรมแผนที่ทหารโดยความร่วมมือกับหน่วยงานแผนที่สหรัฐ (NIMA) ได้คัดเลือกหมุดดาวเทียม จำนวน 176 หมุด และคัดเลือกเส้นฐานจากการรังวัดดาวเทียม GPS ที่ได้ดำเนินการโดยกรมแผนที่ทหารมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2534 นั้นมาประกอบกันเป็นโครงข่ายที่ให้อำนาจว่า โครงข่ายหลัก (primary network) รูป 3 จากรูปจะเห็นได้ว่าโครงข่ายหลักมีลักษณะเป็นวงรอบ 20 วงต่อเนื่องกัน ข้อมูลการรังวัดดาวเทียมของเส้นฐานที่คัดเลือกไว้ถูกนำมาประมวลผลใหม่ โดยใช้โปรแกรม WAVE ของ Trimble Navigation และใช้ precise ephemeris ของ NIMA ในการคำนวณ จากนั้น ตรวจสอบความถูกต้องโดยคำนวณการบรรจบของเส้นฐานในแต่ละวงรอบพบว่าค่าคลาดเคลื่อนบรรจบของวงรอบส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่า 0.25 ส่วนล้าน (ppm) มีเพียง 4 วงที่ค่าบรรจบเกินกว่า 0.25 ส่วนล้าน

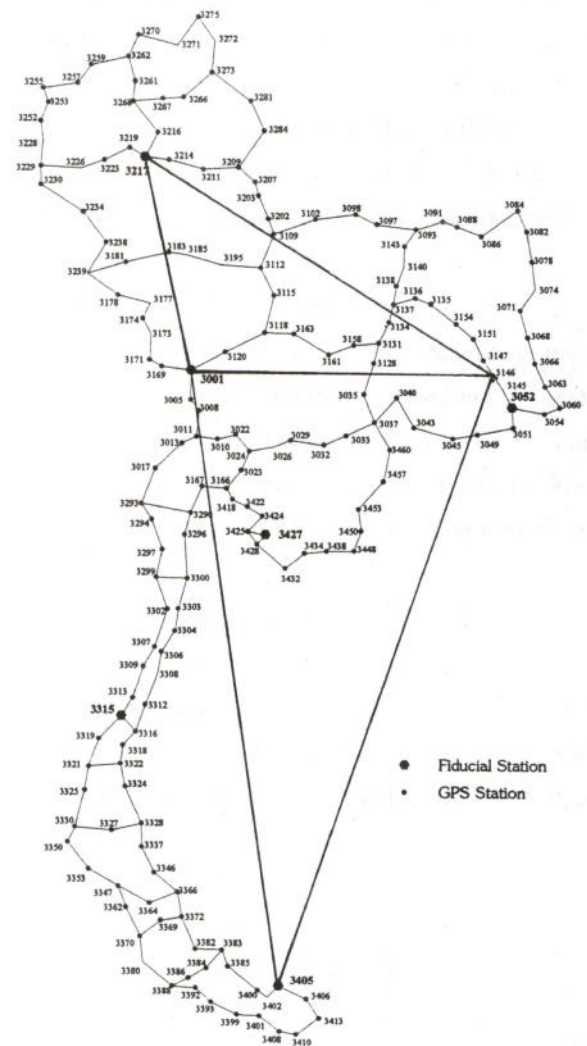
นอกจากนี้ NIMA ได้เลือกหมุดดาวเทียม 4 หมุดจากจำนวน 176 หมุด และเรียกชื่อว่า จุดยึดตรึง (fiducial station) ได้แก่ หมุดดาวเทียมที่จังหวัดลำปาง ศรีสะเกษ ปัตตานี และอุทัยธานี โดยทำการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม GPS ที่หมุดดังกล่าวอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ข้อมูลที่แต่ละหมุดนำมาคำนวณค่าพิกัดแบบสัมบูรณ์ด้วยซอฟต์แวร์

Geodetic Absolute Sequential Positioning ของ NIMA ความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์ ± 0.25 เมตร นอกจากนี้ ข้อมูลที่รับสัญญาณยังนำมาคำนวณเส้นฐานระหว่างจุดยึดตรงทั้งสี่จุด โดยการตัดแบ่งข้อมูลออกเป็นคาบการทำงานช่วงละ 4 ชั่วโมง สำหรับคาบการทำงานที่มีค่า PDOP สูงกว่า 7 จะถูกตัดทิ้งไป ในที่สุดจะได้เส้นฐานที่คำนวณค่าซ้ำถึง 15 ครั้ง โครงข่ายระหว่างจุดทั้งสี่นี้เรียกว่า โครงข่ายยึดตรง (fiducial network) ดูรายละเอียดจากรายงานการปฏิบัติงานใน NIMA (1996) เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงจะเรียกโครงข่ายหลักและโครงข่ายยึดตรงที่กรมแผนที่ทหารดำเนินการร่วมกับ NIMA ว่า โครงข่าย NIMA

ในปี ค.ศ. 1994 ประเทศไทยได้เข้าร่วมโครงการ GEODYSSSEA (GEODYnamics of the South and South East Asia) ซึ่งเป็นงานวิจัยร่วมระหว่าง EC-ASEAN เพื่อวัดสอบกระบวนการวิวัฒนาการพลวัต (geodynamics) และเพื่อประเมินความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุภัยของประเทศในกลุ่มอาเซียน ในการนี้ ได้จัดให้มีการรังวัด GPS แบบต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ กรมแผนที่ทหารโดยความร่วมมือของสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติแห่งประเทศไทย (IFAG) ได้ทำการรังวัดที่หอดูดาวเทียม จำนวน 7 หอดูดาว (แสดงไว้ในรูปที่ 3 ยกเว้นหอดูดาวที่จังหวัดภูเก็ต) ภายใต้ชื่อโครงการ THAICA94 ผลจากการดำเนินการทำให้ได้ค่าพิกัดของ 7 หอดูดาวดังกล่าว ในระบบพิกัดอ้างอิง ITRF ที่มีความถูกต้อง ± 3 เซนติเมตร ต่อมาในปี ค.ศ. 1996 ได้ดำเนินการซ้ำอีกครั้งที่หอดูดาวเทียมเดิม จำนวน 5 หอดูดาว ผลจากการวัดทั้งสองครั้ง ทำให้รู้อัตราการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก ดูรายละเอียดผลการดำเนินงานใน (Boonphakdee และคณะ, 1996)

ถ้าเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียมของจุดยึดตรงที่ได้จากการดำเนินการร่วมกับ NIMA และที่ร่วมกับ IFAG จะพบว่า ความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จาก IFAG จะอยู่ในเกณฑ์ที่คมมากกว่า พื้นหลักฐานอ้างอิงที่เป็น ITRF เองก็มีความแน่นอนมั่นคงมากกว่า WGS84 ของ NIMA ดังนั้น เพื่อให้ได้ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียมที่ดีที่สุด จึงสมควรเลือกค่าพิกัดสัมบูรณ์ของจุดยึดตรงจากผลการดำเนินงานร่วมกับ IFAG มาใช้สร้างโครงข่าย NIMA ด้วยเหตุนี้ จุดยึดตรงที่ใช้ในงานวิจัยและจะได้อ้างอิงต่อไป จึงหมายถึงจุดยึดตรงที่ได้มาจากการดำเนินงานร่วมกับ IFAG

ในจำนวนจุดยึดตรงจำนวน 7 หอดูดาวที่ดำเนินการร่วมกับ IFAG นั้น เป็นหอดูดาวที่อยู่บนหอดูดาวเทียมของโครงข่าย NIMA จำนวน 5 หอดูดาว ส่วนหอดูดาว 3427 (ชลบุรี) นั้น โยงเข้ากับโครงข่าย NIMA ด้วยเส้นฐานอีก 2 เส้น ในขณะที่หอดูดาวที่จังหวัดภูเก็ตไม่ได้นำมาโยงเข้ากับโครงข่ายและไม่ได้แสดงตำแหน่งไว้ในรูป 3 (หนึ่งจุดยึดตรงที่ศรีสะเกษของ IFAG เป็นคนละจุดกับของ NIMA) ดังนั้น จำนวนหอดูดาวเทียมในโครงข่าย NIMA เดิม 176 หอดูดาว รวมกับหอดูดาว 3427 ที่ชลบุรี จึงมีจำนวนหอดูดาวที่ใช้ในการปรับแก้ใหม่ 177 จุด จำนวนจุดยึดตรงที่มีค่าพิกัดสัมบูรณ์ในระบบพิกัด ITRF มีทั้งหมด 6 หอดูดาว



รูป 3 โครงข่าย NIMA ประกอบด้วยหอดูดาวเทียม 176 หอดูดาว โยงกันเป็น 20 วงรอบ สัญลักษณ์ • แสดงตำแหน่งจุดยึดตรงจากโครงการ THAICA94/96 (จุดยึดตรงที่จังหวัดภูเก็ตไม่ได้นำมาโยงกับโครงข่าย NIMA จึงไม่ได้แสดงตำแหน่งไว้ในรูป)

ในการปรับแก้โครงข่าย NIMA ใหม่ ได้ทดลองเปลี่ยนจำนวนจุดยึดตรงที่ใช้ในการสร้างโครงข่าย เพื่อศึกษาความแตกต่างของผลลัพธ์การปรับแก้ ในที่นี้จะนำเสนอผลการเปรียบเทียบของการสร้างโครงข่าย 3 แบบคือ

แบบ ก ใช้หอดูดาว 3001 ที่สะแกกรัง ซึ่งเป็นจุดกำเนิดของพื้นหลักฐานอินเดียเพียงจุดเดียว

แบบ ข ใช้หอดูดาว 3001 (สะแกกรัง), 3052 (ศรีสะเกษ), 3217 (ลำปาง) และ 3405 (ปัตตานี) ในการสร้างโครงข่าย การปรับแก้ครั้งนี้จะคล้ายคลึงกับการปรับแก้ของ NIMA แต่ต่างกัน ที่ใช้หอดูดาวในศรีสะเกษเป็นหอดูดาว 3052 แทนที่หอดูดาว 3146

แบบ ค ใช้จุดยึดตรงทั้ง 6 หอดูดาว

จากผลของการปรับแก้ทั้งสามแบบ นำค่าพิกัดที่ปรับแก้แล้วของ 177 หมุดมาเปรียบเทียบกันในรูปแบบค่าต่าง แล้วคำนวณค่าสถิติของค่าต่างแสดงไว้ในตาราง 2 จากตารางจะเห็นได้ว่า ในการตรึงจุดที่โครงข่ายเพียงจุดเดียวกับการตรึง 4 จุด จะให้ผลที่แตกต่างกันในระดับเป็นสิบเซนติเมตร ส่วนการเปรียบเทียบการตรึง 4 จุด และการตรึง 6 จุด ให้ค่าที่แตกต่างกันในระดับเซนติเมตรเท่านั้น ตามหลักการคำนวณปรับแก้ยังมีจำนวนหมุดตรึงมากจะยิ่งทำให้ผลการการปรับแก้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ดังนั้น ในการวิจัยนี้ จึงได้ถือผลของการปรับแก้โครงข่าย NIMA โดยการตรึงจุดยึดตรึง 6 หมุด (จากผลการทำงานร่วมกับ IFAG) เป็นค่าพิกัดที่ดีที่สุดในระดับของ ITRF

ตาราง 2 สถิติต่างที่หมุดดาวเทียม 177 หมุด โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม เมื่อตรึงโครงข่าย 1 จุดในแบบ ก 4 จุดในแบบ ข และ 6 จุดในแบบ ค (หน่วยเป็นเมตร)

ค่าสถิติ	แบบ ข - แบบ ก			แบบ ข - แบบ ค		
	ϕ	λ	h	ϕ	λ	h
ค่าเฉลี่ย	0.205	0.042	-0.016	0.007	0.001	0.051
ค่า SD	0.474	0.196	0.516	0.009	0.014	0.060
ค่า rms.	0.516	0.200	0.516	0.012	0.014	0.079

5.2 การหาตำแหน่งบนพื้นหลักฐานประเทศไทย

ตำแหน่งของจุดรวมเพื่อใช้หาพารามิเตอร์การแปลง ต้องเป็นค่าพิกัดแบบ 3 มิติ นั่นคือ มีตำแหน่งทางราบและความสูง และในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ พิกัดตำแหน่งทางราบและความสูงจะถูกคำนวณเป็นค่าพิกัดฉาก (x, y, z) ก่อน ดังนั้น ถ้าองค์ประกอบของตำแหน่งทางเรขาคณิตค่าใดค่าหนึ่งไม่ดีหรือไม่ถูกต้อง จะส่งผลกระทบต่อค่าพิกัดฉากทั้งสามองค์ประกอบ และจะส่งผลกระทบต่อค่าพารามิเตอร์อีกด้วย ดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3 ว่า ตามแบบแผนของการรังวัดควบคุมนั้น การสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานทางราบนั้น จะเป็นอิสระจากการสร้างโครงข่ายหมุดระดับ (หมุดหลักฐานทางตั้ง) ดังนั้น หมุดหลักฐานทางราบส่วนใหญ่จึงไม่มีค่าระดับที่ถูกต้อง ในขณะที่หมุดระดับเองก็จะไม่มีการหาค่าพิกัดทางราบไว้ ยิ่งไปกว่านั้น ค่าระดับเป็นความสูงที่วัดจากระดับทะเลปานกลาง (หรือชื่อย่อ) แต่ความสูงที่จะใช้ในการคำนวณเป็นค่าพิกัดฉากต้องวัดจากพื้นผิวของรูปทรงรีที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่งทางราบ ด้วยเหตุนี้ เราจึงต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นผิวของชื่อย่อและพื้นผิวของรูปทรงรี ความสัมพันธ์นี้ได้มาจากคุณสมบัติของสนามความถ่วงโลกสำหรับประเทศไทยไม่มีข้อมูลการวัดแรงถ่วงที่มากเพียงพอที่จะใช้ในการคำนวณหาความสัมพันธ์นี้ ในปัจจุบันมีรูปจำลองของสนามความถ่วงโลก ซึ่งเกิดจากความร่วมมือกันขององค์การอวกาศสหรัฐ (NASA) มหาวิทยาลัยแห่งรัฐโอไฮโอ (Ohio State University) และ

หน่วยงานแผนที่สหรัฐ (NIMA) รูปจำลองนี้มีชื่อเรียกว่า EGM96 (Earth Gravity Model 1996) ให้ไว้ในรูปแบบของสัมประสิทธิ์ฮาร์มอนิกทรงกลมถึงดีกรี 360 จากการศึกษาเปรียบเทียบความสูงชื่อย่อ (geoid undulation) ที่คำนวณจาก EGM96 และที่ได้จากงานรังวัด GPS และการทำระดับ ในพื้นที่ส่วนต่าง ๆ ของโลก พบว่า ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานอยู่เกณฑ์ ± 0.5 เมตร ดู Lemoine และคณะ (1996)

โครงข่าย NIMA ที่ประกอบด้วย หมุดดาวเทียม 176 หมุดนั้น เป็นหมุดสามเหลี่ยมชั้นหนึ่ง (OTRI) 9 หมุด หมุดวงรอบชั้นหนึ่ง (OTRV) 9 หมุด และหมุดระดับชั้นหนึ่ง (OBMP) 16 หมุด การเลือกจุดร่วมที่จะใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์การแปลง จึงควรใช้หมุดสามเหลี่ยมและหมุดวงรอบ จำนวน 18 หมุด ดังนั้น สิ่งที่ต้องกระทำคือ หาค่าความสูงเหนือรูปทรงรีเอเวอเรสต์ที่ 18 หมุดนี้ ขั้นตอนของการคำนวณสรุปได้ดังนี้

(1) หาค่าความสูงชื่อย่อ (N) ที่หมุดระดับชั้นหนึ่ง 16 หมุด โดยใช้ EGM96 นำค่า N ไปรวมกับค่าระดับ H จะได้ความสูงเหนือรูปทรงรีสากล WGS84

(2) ปรับแก้โครงข่าย NIMA ใหม่ โดยการตรึงค่าพิกัดทางราบด้วยค่าของจุดยึดตรึง (fiducial station) ทั้ง 6 สถานี ส่วนการตรึงค่าพิกัดทางตั้ง ใช้ค่าพิกัดทางตั้ง h ที่ได้จาก (1)

จากการตรวจสอบผลการปรับแก้พบว่ามีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่มากที่สุดที่หมุด 3037 ซึ่งเกิดจากตำแหน่งของหมุดระดับ (OBMP980) ไม่ได้อยู่ในตำแหน่งเดียวกับหมุดดาวเทียม 3037 ตามที่เข้าใจในตอนแรก นอกจากนี้ ยังตรวจพบเศษคงเหลือ (residual) ขนาดใหญ่ที่หมุด 3052 และ 3319 จึงได้ตัดหมุดระดับทั้งสามนี้ ออกจากการตรึงค่าพิกัดทางตั้ง

หลังจากการปรับแก้ที่ใช้หมุดระดับ 13 หมุดตรึงค่าพิกัดทางตั้ง ถือได้ว่าค่าความสูงของทุกหมุดในโครงข่ายได้ถูกปรับให้สอดคล้องกับระดับทะเลปานกลางที่เป็นมาตรฐานของประเทศไทยแล้ว ความสูงที่หมุดสามเหลี่ยมและหมุดวงรอบ 18 หมุด เป็นความสูงเหนือรูปทรงรี WGS84

(3) คำนวณความสูงเหนือรูปทรงรีเอเวอเรสต์จากการหาค่าต่างความสูงชื่อย่อ(N)ระหว่างค่าบน WGS84 และค่าบนรูปทรงรีเอเวอเรสต์ จะเห็นได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad h_{\text{WGS}} &= H + N_{\text{WGS}} \\ \text{จะได้} \quad H &= h_{\text{WGS}} - N_{\text{WGS}} \\ \text{เช่นเดียวกัน} \quad h_{\text{EVR}} &= H + N_{\text{EVR}} \\ \text{แทนค่า } H, \quad h_{\text{EVR}} &= (h_{\text{WGS}} - N_{\text{WGS}}) + N_{\text{EVR}} \\ &= h_{\text{WGS}} + (N_{\text{EVR}} - N_{\text{WGS}}) \end{aligned}$$

หมายเหตุ ความสูงชื่อย่อ(N)บน WGS84 และบนรูปทรงรีเอเวอเรสต์ คำนวณได้จากซอฟต์แวร์ SKI

ในที่สุด เราจึงได้ค่าพิกัด 3 มิติที่หมุดสามเหลี่ยมและหมุดวงรอบ จำนวน 18 หมุด ที่อ้างอิงกับพื้นหลักฐานอินเดีย 2518 ตามต้องการ

6. การหาค่าพารามิเตอร์การแปลงพื้นหลักฐาน

ซอฟต์แวร์ SKI มีรูปจำลองการแปลงพื้นหลักฐานของ Bursa-Wolf และ Molodensky-Badekas อยู่แล้ว โดยการจัดเตรียมค่าพิกัดของจุดร่วมบนพื้นหลักฐานทั้งสอง โปรแกรมจะคำนวณค่าพารามิเตอร์ตามที่กำหนด โดยวิธีการปรับแก้แบบลีสทส์แควร์

ในขั้นตอนแรกของการหาค่า พารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัวของรูปจำลอง Bursa-Wolf ที่แสดงไว้ในสมการ (1) ได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณทั้งหมด จากการตรวจสอบผลการปรับแก้ที่ใช้จุดร่วมทั้งหมด 18 จุด พบว่า มีค่าเศษคงเหลือในระดับ 10 เมตรที่จุดร่วม 4 จุด คือ 3185 3226 3228 และ 3239 เมื่อพิจารณาค่าที่ 3 จุดหลัง จะพบว่า มีสหสัมพันธ์กันสูง ซึ่งคาดว่าจะอาจเกิดจากการที่ทั้งสามจุดมีค่าพิกัดที่คำนวณมาจากวงรอบเดียวกัน ค่าเศษคงเหลือขนาดใหญ่แสดงให้เห็นว่า ค่าพิกัดของจุดเหล่านี้ไม่สอดคล้องกับค่าพิกัดของจุดร่วมอื่น ๆ จึงควรตัดจุดเหล่านี้ทิ้งไปจากการคำนวณปรับแก้

จุดร่วมที่เหลืออยู่ 14 จุด ถูกนำมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัวใหม่ ผลปรากฏว่า มีค่าเศษคงเหลือในระดับ 1 เมตร ที่ 4 หมุด คือ 3308 3380 3402 และ 3074 จากการพิจารณาผลพบว่า หมุด 3308 และ 3380 ซึ่งอยู่ในเขตภาคใต้ของประเทศ มีเศษคงเหลือขนาดใหญ่ที่มีเครื่องหมายตรงข้ามกัน แสดงให้เห็นถึงความไม่สอดคล้องกันของค่าพิกัดที่ใช้ จึงไม่สมควรนำมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์การแปลงด้วย

ผลการคำนวณปรับแก้แบบลีสทส์แควร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์การแปลงในขั้นสุดท้าย จึงใช้จุดร่วมจำนวน 12 หมุด ค่าพารามิเตอร์ 7 ตัว ของรูปจำลอง Bursa-Wolf คือ

$$\begin{aligned}\Delta x &= -208.2 \pm 4.1 \text{ m.} \\ \Delta y &= -834.6 \pm 1.7 \text{ m.} \\ \Delta z &= -294.0 \pm 1.7 \text{ m.} \\ \varepsilon &= -0.0099 \pm 0.055 \text{ arc sec.} \\ \psi &= 0.0450 \pm 0.057 \text{ arc sec.} \\ \omega &= 0.1144 \pm 0.131 \text{ arc sec.} \\ \Delta s &= -0.447 \pm 0.243 \text{ ppm.}\end{aligned}$$

ค่าที่มีเครื่องหมาย $\pm$ นำหน้า คือค่า rms (root mean square) rms ที่มีขนาดใหญ่ของค่าเลื่อนเป็นดัชนีชี้ว่า ค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนที่หาได้มีสหสัมพันธ์กันสูง

ถ้าใช้รูปจำลอง Molodensky-Badekas สำหรับการแปลงและมีจุดร่วม 12 หมุดเช่นกัน จะพบว่า จุดกำเนิดของการหมุนถูกเลื่อนไปอยู่ที่ตำแหน่ง $x = -1134026.2$ เมตร $y = 6026364.2$ เมตร และ $z = 1698663.7$ เมตร และค่าพารามิเตอร์ คือ

$$\begin{aligned}\Delta x &= -204.7 \pm 0.10 \text{ m.} \\ \Delta y &= -836.8 \pm 0.10 \text{ m.} \\ \Delta z &= -294.7 \pm 0.10 \text{ m.} \\ \varepsilon &= -0.0099 \pm 0.055 \text{ arc sec.} \\ \psi &= 0.0450 \pm 0.057 \text{ arc sec.} \\ \omega &= 0.1144 \pm 0.131 \text{ arc sec.} \\ \Delta s &= -0.447 \pm 0.243 \text{ ppm.}\end{aligned}$$

ขอให้สังเกตว่า ค่า rms ของค่าเลื่อนมีขนาดเล็กลงมาก แสดงให้เห็นว่า ค่าเลื่อนและค่ามุมหมุนไม่มีสหสัมพันธ์กัน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการพัฒนารูปจำลอง Molodensky-Badekas ขึ้นมา

ข้อสังเกตอีกประการหนึ่งคือ ค่ามุมหมุนของรูปจำลองทั้งสองมีขนาดเท่ากัน ยิ่งไปกว่านั้น จะเห็นได้ว่า ค่า rms มีขนาดที่ใหญ่กว่าค่ามุมหมุนที่คำนวณมาได้ ผลที่ได้ในลักษณะนี้ บ่งชี้ถึงความไม่น่าเชื่อถือของค่าที่คำนวณมาจากการปรับแก้ และโดยเหตุที่ค่าคาดคะเน (expected value) ของค่ามุมหมุนระหว่างพื้นหลักฐานโดยทั่วไปจะเป็นศูนย์อยู่แล้ว สำหรับการแปลงพื้นหลักฐานของประเทศไทย จึงน่าที่จะจัดให้ค่ามุมหมุนเป็นศูนย์ และในกรณีเช่นนี้ ค่าต่างมาตราส่วน Δs จะถูกจัดให้เป็นศูนย์ด้วย จึงเหลือพารามิเตอร์สำหรับการแปลงเป็นค่าเลื่อนเพียง 3 ตัวเท่านั้น

การใช้รูปจำลอง Bursa-Wolf โดยมีจุดร่วม 12 หมุด และหาค่าเลื่อนเพียง 3 ตัว ได้ผลเป็น

$$\begin{aligned}\Delta x &= -204.7 \pm 0.10 \text{ m.} \\ \Delta y &= -836.8 \pm 0.10 \text{ m.} \\ \Delta z &= -294.7 \pm 0.10 \text{ m.}\end{aligned} \quad (4)$$

ขอให้สังเกตว่า ค่าเลื่อนนี้เป็นค่าเดียวกับค่าเลื่อนเมื่อใช้รูปจำลอง Molodensky-Badekas ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ตามสมการที่ (1) และ (2)

7. ผลกระทบของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์การแปลง

ในการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐาน WGS84 เป็นพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 ใช้ค่าเลื่อนในตาราง 1 เป็นค่าทางการของกรมแผนที่ทหารที่ใช้อยู่จนถึงปัจจุบัน และจากงานวิจัยครั้งนี้ ได้ค่าเลื่อนชุดใหม่ตามสมการ (4) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนไปจากเดิม 1.3, 0.2 และ 0.3 ตามแนวแกน x, y และ z ตามลำดับ การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ย่อมมีผลกระทบต่อระบบพิกัดที่ใช้อ้างอิงอยู่ด้วย ดังนั้น เพื่อให้เห็นภาพกว้างของผลกระทบนี้ จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบค่าพิกัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่เป็นผลจากการวิจัยในครั้งนี้ แล้วแสดงสถิติของค่าต่างไว้ในตาราง 3 ถึง 6

ตาราง 3 เป็นการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม ค่าพิกัดบน WGS84 ที่กรมแผนที่ทหารใช้อู่ในปัจจุบันได้จากการทำงานรังวัด GPS โดยการกำหนดค่าพิกัดที่จุดกำเนิดสะแกกรัง จึงเปรียบเทียบผลการตรวจวัดที่หมุด 3001 เพียงจุดเดียว (เปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดแบบ ก ในหัวข้อ 5.1) ค่าพิกัดที่ใช้คือ $\phi = 15^{\circ} 23' 01''.54761$ $\lambda = 100^{\circ} 00' 47''.50649$ $h = 111.647$ เมตร สำหรับค่าที่นำมาเปรียบเทียบคือผลจากการปรับแก้โครงข่ายโดยการตรวจวัดแบบ ค ในหัวข้อ 5.1 ค่าต่างของการเปรียบเทียบ ส่วนหนึ่งจึงเป็นผลมาจากการที่ค่าพิกัดของหมุด 3001 เปลี่ยนไป และอีกส่วนหนึ่งเป็นผลของรูปแบบในการตรวจวัดที่ให้ค่าต่างในลักษณะเดียวกับตาราง 1

ตาราง 3 สถิติค่าต่างที่หมุดดาวเทียม 177 หมุด โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม เมื่อใช้ค่าที่กรมแผนที่ทหารใช้อู่ และค่าพิกัดที่เป็นจากการวิจัยที่อธิบายในหัวข้อ 5.1

ค่าสถิติ	องค์ประกอบค่าต่าง (หน่วยเมตร)		
	ϕ	λ	h
พิสัย	- 0.89 ถึง - 0.01	0.00 ถึง 1.25	- 4.39 ถึง - 2.99
ค่าเฉลี่ย	- 0.34	0.03	- 3.75
ค่า SD	0.29	0.72	0.28
ค่า rms	0.44	0.72	3.76

ตาราง 4 เป็นการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม ระหว่างค่าที่กรมแผนที่ทหารทำงานร่วมกับ NIMA และค่าที่เป็นผลจากการปรับแก้โครงข่ายโดยการตรวจวัดแบบ ค ในหัวข้อ 5.1 จากตารางจะเห็นว่า ค่าต่างพิกัดในแนวเหนือ-ใต้มีค่าอยู่ในระดับเซนติเมตร ในแนวตะวันออก-ตะวันตกและความสูงอยู่ในระดับ 25-30 เซนติเมตร

ตาราง 4 สถิติค่าต่างที่หมุดดาวเทียม 176 หมุด โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม เมื่อใช้ค่าที่กรมแผนที่ทหารทำงานร่วมกับ NIMA และค่าพิกัดที่เป็นจากการวิจัยที่อธิบายในหัวข้อ 5.1

ค่าสถิติ	องค์ประกอบค่าต่าง (หน่วยเมตร)		
	ϕ	λ	h
พิสัย	- 0.10 ถึง 0.00	0.29 ถึง 0.39	- 0.52 ถึง 0.19
ค่าเฉลี่ย	- 0.04	0.34	- 0.18
ค่า SD	0.02	0.02	0.17
ค่า rms	0.04	0.34	0.25

ตาราง 5 แสดงผลของการแปลงค่าพิกัดจากพื้นหลักฐาน WGS84 มาเป็นพื้นหลักฐานอินเดีย โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างชุดกัน

จากตารางจะพบว่า ค่าต่างสูงสุดอยู่ในตะวันออก-ตะวันตก ส่วนค่าต่างความสูงมีค่าน้อยมาก

ตาราง 5 สถิติค่าต่างที่หมุดดาวเทียม 177 หมุด โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้น หลักฐานอินเดียเมื่อใช้ค่าเลื่อนชุดที่ประกาศใช้อู่ และค่าเลื่อนที่เป็นผล จากการวิจัย

ค่าสถิติ	องค์ประกอบค่าต่าง (หน่วยเมตร)		
	ϕ	λ	h
พิสัย	-0.29 ถึง -0.23	0.00 ถึง 1.42	-0.15 ถึง 0.00
ค่าเฉลี่ย	- 0.27	0.06	- 0.06
ค่า SD	0.01	0.99	0.04
ค่า rms	0.27	0.99	0.07

ตาราง 6 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 โดยใช้ค่าพิกัดของหมุดดาวเทียมที่ใช้อู่ในปัจจุบัน และค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้โครงข่าย NIMA ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อ 5.1 แล้วทำการแปลงค่าพิกัดด้วยพารามิเตอร์การแปลงชุดใหม่ ผลกระทบที่เห็นได้ชัดเจนคือ ความสูงที่ต่างกันถึง 3.8 เมตร

ตาราง 6 สถิติค่าต่างที่หมุดดาวเทียม 177 หมุด โดยการเปรียบเทียบค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 เมื่อใช้ค่าพิกัดที่กรมแผนที่ทหารใช้อู่ในปัจจุบันและค่าพิกัดที่เป็นจากการวิจัย

ค่าสถิติ	องค์ประกอบค่าต่าง (หน่วยเมตร)		
	ϕ	λ	h
พิสัย	- 0.01 ถึง 0.62	0.00 ถึง 0.77	3.32 ถึง 4.03
ค่าเฉลี่ย	0.08	0.03	3.78
ค่า SD	0.28	0.33	0.15
ค่า rms	0.29	0.33	0.15

7. บทสรุป

ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม ITRF ที่ใช้ในการทำวิจัยนี้เป็นค่าที่ได้จากความร่วมมือระหว่างกรมแผนที่ทหารและสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (IFAG) ทำการสร้างหมุดยึดตึกระฟ้าในประเทศไทย 7 หมุด โดยมีความถูกต้องของตำแหน่งสัมบูรณ์ ± 3 เซนติเมตร ค่าพิกัดของหมุดยึดตึกระฟ้าจำนวน 6 จาก 7 หมุด ถูกนำมาใช้ในการตรวจวัดโครงข่ายหมุดดาวเทียมของโครงการร่วมมือกับหน่วยงานแผนที่สหรัฐ (NIMA) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีตำแหน่งสัมพัทธ์ระหว่างหมุดดาวเทียมที่สูงมาก ผลของการปรับแก้โครงข่ายจึงให้ค่าพิกัดตำแหน่งบนพื้นหลักฐาน ITRF ที่ช่วงเวลา 1996.3 ที่มีความถูกต้องสูงที่สุดเท่าที่มีข้อมูลการรังวัดอยู่จนถึงปัจจุบันนี้

ในงานวิจัยนี้ ได้คำนวณหาค่าความสูงที่หมุดสามเหลี่ยมและหมุดวงรอบ โดยอาศัยค่าหมุดระดับชั้นหนึ่งและรูปจำลองสนามความถ่วงโลกที่ดีที่สุดในปัจจุบันคือ EGM96 จึงทำให้ได้ค่าพิกัด 3 มิติที่หมุดสามเหลี่ยมและหมุดวงรอบบนพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 ที่มีความถูกต้องสูงมาก เมื่อใช้หมุดเหล่านี้เป็นจุดร่วมในการคำนวณพารามิเตอร์การแปลงระหว่างพื้นหลักฐานดาวเทียม ITRF และพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 จึงควรให้ค่าที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่างพื้นหลักฐานทั้งสองที่ดีที่สุดด้วย

จากการศึกษาผลกระทบที่มีต่อค่าพิกัดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันกับค่าที่เป็นผลจากงานวิจัย พบว่า มีค่าต่างมากทางด้านความสูงในระดับ 3.8 เมตร ทั้งบนพื้นหลักฐานดาวเทียม และพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 ค่าต่างขนาดใหญ่นี้เกิดจากการกำหนดค่าความสูงที่จุดกำเนิดสะแกกรังในการปรับแก้เมื่อปี พ.ศ. 2518 นั้น คลาดเคลื่อนไป

กรมแผนที่ทหารมีดำริที่จะใช้พื้นหลักฐานแผนที่ของประเทศที่เป็นสากลมากขึ้น นั่นคือ เป็นพื้นหลักฐาน WGS84 จึงเป็นโอกาสอันดีที่จะเลือกใช้ค่าพิกัด ITRF ที่เป็นผลการคำนวณจากการวิจัยนี้ พื้นหลักฐาน ITRF และ WGS84 นั้น ถือได้ว่าเป็นพื้นหลักฐานอันเดียวกัน แต่เนื่องจาก WGS84 เป็นระบบพิกัดที่ถูกนิยามไว้อย่างหลวม ๆ มีความถูกต้องในเกณฑ์ ± 1 ถึง ± 2 เมตร ไม่อาจใช้เป็นกรอบอ้างอิงในการวัดที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับเซนติเมตร อย่างเช่น ในงานตรวจสอบการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกได้ ดังนั้น นักวิชาการจึงได้นิยามพื้นหลักฐาน ITRF ที่มีความถูกต้องสูงขึ้นมาใช้ กรอบพิกัด ITRF คำนึงถึงผลการเคลื่อนตัวของ Tectonic plate ตามส่วนต่าง ๆ ของโลกไว้ด้วย ในการอ้างอิงถึงค่าพิกัด ITRF จึงต้องระบุช่วงเวลา (epoch) ที่กรอบพิกัดนั้นอ้างอิงถึงไว้ด้วย เพื่อให้การเปรียบเทียบค่าพิกัดสมบูรณ์ที่ทำการวัดที่ต่างเวลากันสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้อย่างถูกต้อง

ค่าพิกัด ITRF ที่หมุดดาวเทียม 177 หมุดจากงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นกรอบควบคุมในการคำนวณค่าของหมุดหลักฐานอื่น ๆ ทั้งที่สร้างแล้วหรือจะสร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ค่าพิกัด ITRF ที่ถูกต้อง และเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์การแปลงจากหัวข้อ 6 จะให้ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานอินเดีย พ.ศ. 2518 ที่มีความถูกต้องสูงด้วยเช่นกัน

8. บรรณานุกรม

ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ ยีออเดซี โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพมหานคร พ.ศ.2537

Boonpakdee, C., M. Beaker and P. Neumaier, "Final Results of the THAICA 94/96 GPS Campaigns", Royal Thai Survey Department, Bangkok, November, 1996.

Defense Mapping Agency, "Geodetic Survey: Thailand National Network, Survey Adjustment and Analysis", Publication: SMWD1-96-1564, September 1996.

Heiskanen, W. and H. Moritz, **Physical Geodesy**, W.H. Freeman and Co., San Francisco, 1967.

Hofman-Wellenhopf, B., H. Lichtenegger and J. Collins, **Global Positioning System: Theory and Practice**, 4th ed., Springer-Verlag, Wein, 1997.

Leica AG Limited, User Manual for SKI-Static Kinematic Software, Heerbrugg, June 1994.

Leick, A., **GPS Satellite Surveying**, 2nd ed., A Wiley-Interscience Publication, New York, 1995.

Lemoine, F.G. and the other 17 authors, "The Development of the NASA GSFC and NIMA Joint Geopotential Model", Paper presented at International Symposium on Gravity, Geoid, and Marine Geodesy, (GRAGEOMAR 1996), University of Tokyo, Tokyo, September 30-October 5, 1996.

Rapp, R.H. **Geometric Geodesy: Part I, Lecture Note**, Dept. of Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, March 1984.

Report of Working Group 3, Asia and the Pacific Regional Geodetic Networks, Executive Meeting in Kuala Lumpur, May 1996.

Trimble Navigation Limited, GPSurvey Software User's Guide, Sunnyvale, California, 1995.

Walker, J.W., "1975 Adjustment of the Primary Triangulation of Thailand", DMATC, Geodetic Memorandum No. 1692, Washington D.C., 1976.

Wichiencharoen, C., N. Ratanakarn and P. Wongkoet, "Development of a Transformation Strategy to Convert from Local Datums into a Regional System", Paper presented to 4th Meeting of the Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and Pacific, Tehran, February 28-March 4, 1998.