บทที่ 4

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย และการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้น

4.1 การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้พิจารณาเลือกข้อมูลจากโครงการต่างๆที่เป็นประโยชน์ ทั้งโครงการความร่วมมือจากต่างประเทศ และโครงการของประเทศไทย โดยกรมแผนที่ทหารเป็นผู้ดำเนินการ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลจากโครงการหลักๆ 4 โครงการดังนี้

4.1.1 ข้อมูลจากโครงการปรับแก้โครงข่าย GPS ของหน่วยงาน NIMA ประกอบด้วย

- ข้อมูลค่าพิกัดของสถานีควบคุม จำนวน 4 สถานี ซึ่งมีค่าพิกัดดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ค่าพิกัดของสถานีควบคุม จากหน่วยงาน NIMA บนพื้นหลักฐาน WGS84

สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจากทรงรี
3001 (จ.อุทัยธานี)	15 23 01.54063	100 00 47.53085	107.887
3146 (จ.ศรีสะเกษ)	15 21 00.89983	104 09 20.63304	100.855
3217 (จ.ลำปาง)	18 20 07.22970	99 22 16.34646	240.348
3405 (จ.ปัตตานี)	06 53 22.91910	101 14 40.81599	-10.247

- ข้อมูลเส้นฐานที่เป็นอิสระ (Independent Vectors) ที่เชื่อมโยงระหว่างคู่สถานี ของสถานี 3001, 3146 , 3217 และ 3405 จำนวน 45 เส้นฐานแต่ละเส้นฐานได้จากการประมวลผลข้อมูลการรังวัดจำนวน 4 ชั่วโมง

4.1.2 ข้อมูลจากโครงการ GEODYSSEA ประกอบด้วย

- ข้อมูลค่าพิกัดของสถานีควบคุม จำนวน 7 สถานี บนพื้นหลักฐาน ITRF94 ขณะเวลา 1996.3 ซึ่งมีค่าพิกัดดัง ตาราง 4.2
- ข้อมูลการรังวัด จากโครงการ GEODYSSEA98 ของสถานี 3427 , 3657 และ CHUL (สถานีบนดาดฟ้าตึกภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) อยู่ในรูปแบบของ RINEX (Receiver Independent Exchange format) จำนวน 5 คาบการทำงานๆ ละ 24 ชั่วโมง

I19473606

ตาราง 4.2 ค่าพิกัดของสถานีควบคุม ในโครงการ THAICA บนพื้นหลักฐาน ITRF ขณะเวลา 1996.3

สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจากทรงรี
GPS3001 (จ.อุทัยธานี)	15 23 01.539621	100 00 47.542029	107.7135
GPS3052 (จ.ศรีสะเกษ)	14 54 04.065394	104 24 57.384931	115.1309
GPS3217 (จ.ลำปาง)	18 20 07.228869	99 22 16.357763	240.2357
GPS3315 (จ.ชุมพร)	10 36 34.344628	99 04 32.199318	-4.4900
GPS3405 (จ.ปัตตานี)	06 53 22.917584	101 14 40.827555	-10.5602
GPS3427 (จ.ชลบุรี)	13 07 13.910077	101 02 40.954576	51.5186
GPS3657 (จ.ภูเก็ต)	07 45 32.648241	98 18 12.943076	-1.7841

4.1.3 ข้อมูลจากโครงการรังวัดขยายจุดควบคุมโครงข่าย ของกรมแผนที่ทหาร

- ข้อมูลการรังวัดของ 18 สถานี จำนวน 11 คาบการทำงานๆละ 24 ชั่วโมง

4.1.4 ข้อมูลจากโครงการเขตแดนร่วมระหว่างไทย มาเลเซีย

- ข้อมูลการรังวัดจำนวน 10 สถานี 3 คาบการทำงานๆ ละ 6 ชั่วโมง แต่การวิจัยครั้งนี้ จะเลือกเฉพาะข้อมูลที่จำเป็น เพื่อเชื่อมโยงโครงข่ายบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย เข้ากับสถานี KUAL ตั้งอยู่ในประเทศมาเลเซีย ซึ่งเป็นสถานีในโครงข่าย GEODYSSEA และมีค่าพิกัด บนพื้นหลักฐาน ITRF ขณะเวลา 1996.3 เพื่อใช้สถานีดังกล่าวเป็นจุดควบคุมโครงข่ายบริเวณภาคใต้ของประเทศไทย มีค่าพิกัด ดังตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ค่าพิกัดของสถานีควบคุม KUAL ในประเทศมาเลเซีย

สถานี	ละติจูด	ลองจิจูด	ความสูงจากทรงรี
KUAL (ประเทศมาเลเซีย)	05 19 08.003639	103 08 20.922165	55.0154

4.2 การพิจารณาเลือกใช้โปรแกรมในการประมวลผลข้อมูล

จากงานวิจัยเรื่อง การศึกษาและเปรียบเทียบความถูกต้องที่ได้รับจากฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์จีพีเอสเชิงพาณิชย์ (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์ , 2540) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการประมวลผลของซอฟต์แวร์ GPSurvey ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ กับ Bernese ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในงานทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ให้ความถูกต้องสูง แสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างของเส้นฐานที่ได้จากการประมวลผลจากทั้งสองซอฟต์แวร์ไม่มีนัยสำคัญ

หากพิจารณาถึงเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือในการรังวัด GPS เท่ากับ a+bl เมื่อ a = ค่าคงที่เกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือการรังวัด , b = ค่าตัวแปรเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือการรังวัดมีหน่วยเป็น PPM และ l = ระยะทางของเส้นฐานมีหน่วยเป็นกิโลเมตร ซึ่งโดยทั่วไปเครื่องรับสัญญาณ GPS ที่รังวัด 2 ความถี่จะมีค่าความถูกต้องประมาณ 0.5 เซนติเมตร + 1PPM หมายความว่า ถ้ารังวัดเส้นฐานที่มีความยาว 100 กิโลเมตร ความถูกต้องของเส้นฐานที่ได้จะมีค่าอยู่ในเกณฑ์เท่ากับ 0.5 เซนติเมตร + (1 PPM คูณ 100 กิโลเมตร) เท่ากับ10.5 เซนติเมตร จะพบว่าผลการประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์ GPSurvey โดยใช้ค่าวงโคจรของดาวเทียมแบบ broadcast orbit เมื่อเทียบกับ Bernese มีค่าแตกต่างไม่เกินเกณฑ์ความถูกต้องของเครื่องมือ

ข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วยข้อมูลจากหลายโครงการ มีทั้งข้อมูลที่เป็นผลลัพธ์ของเส้นฐานซึ่งผ่านการประมวลผลแล้ว และข้อมูลดิบจากการรังวัดซึ่งต้องนำมาประมวลผลใหม่ ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ รังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณ Trimble จึงได้พิจารณาเลือกใช้ซอฟต์แวร์ GPSurvey ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ของผู้ผลิตเดียวกับเครื่องรับสัญญาณ Trimble เป็นซอฟต์แวร์ในการประมวลผลโดยใช้ค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมที่ถูกต้อง และปรับแก้โครงข่ายแบบลีสท์สแควร์ในขั้นตอนสุดท้าย

4.3 การประมวลผลข้อมูล

ข้อมูลที่ได้รับจากโครงการขยายจุดควบคุมโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร , GEODYSSEA98 และโครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วมไทย-มาเลเซีย เป็นข้อมูลดิบจากการรังวัด จำเป็นต้องนำมาประมวลผลใหม่โดยใช้ค่าตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียมที่ถูกต้อง รายละเอียดในการประมวลผลเส้นฐาน แต่ละโครงการมีดังนี้

4.3.1 การประมวลผลเส้นฐานในโครงการ GEODYSSEA98 เนื่องจากมีปริมาณข้อมูลที่มากเพียงพอสำหรับการเลือก เส้นฐานอิสระ จึงทำให้ไม่มีความจำเป็นต้องแบ่งข้อมูลการรังวัดเป็นช่วงๆ เส้นฐานที่ประมวลผลได้จึงมีข้อมูลการรังวัด 24 ชั่วโมง รายละเอียดการประมวลผลตาม ผนวก ข-2

4.3.2 การประมวลผลเส้นฐานในโครงการขยายจุดควบคุมโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร ข้อมูลการรังวัดในแต่ละคาบการทำงานเป็น 24 ชั่วโมง แต่เพื่อให้สามารถประมวลผลเป็นเส้นฐานแบบอิสระและโครงข่ายมีการโยงยึดที่ดี จำเป็นต้องแบ่งข้อมูลในแต่ละคาบการทำงาน เป็น 2 ช่วงเวลาๆ ละ12 ชั่วโมง และประมวลผลเส้นฐานด้วยข้อมูลการรังวัด 12 ชั่วโมง ซึ่งการปฏิบัติในลักษณะดังกล่าวนี้ แม้ว่าเส้นฐานที่ประมวลผลได้ จะเป็นเส้นฐานอิสระ แต่หากเกิดความผิดพลาดในการวัดความสูงของจานรับสัญญาณดาวเทียมขึ้น จะไม่สามารถตรวจสอบพบได้ ผลการประมวลผล ได้เส้นฐานจำนวนทั้งสิ้น 48 เส้นฐาน รายละเอียดตามผนวก ข-3

4.3.3 การประมวลผลเส้นฐานในโครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วมไทย-มาเลเซีย ข้อมูลการรังวัดประกอบด้วย 3 คาบการทำงานๆ ละ 6 ชั่วโมง ดังนั้น จึงประมวลผลข้อมูลแต่ละเส้นฐานด้วยข้อมูลการรังวัด 6 ชั่วโมง โดยเลือกประมวลผลเฉพาะเส้นฐานที่ต้องการเชื่อมโยงจากโครงข่ายของประเทศไทยไปยังสถานี KUAL รายละเอียดการประมวลผล ตามผนวก ข-4

4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในเบื้องต้นจะตรวจสอบแยกแต่ละโครงการ ทั้งผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล และผลการปรับแก้แบบ free adjustment เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และตรวจสอบข้อมูลได้อย่างถูกต้อง สามารถสรุปเป็นขั้นตอน พอสังเขปได้ดังนี้

- ตรวจสอบชื่อสถานีและความสูงของจานรับสัญญาณ
- ตรวจสอบข้อมูลเส้นฐานเบื้องต้นเช่นค่า Ratio และค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน
- ตรวจสอบวงรอบเข้าบรรจบ (loop closure) เพื่อตรวจสอบความเข้ากันของเส้นฐานเมื่อเข้าบรรจบตัวเอง
- ตรวจสอบเส้นฐานที่รังวัดซ้ำ (repeat vector) เพื่อตรวจสอบหาเส้นฐานที่ได้รับผลกระทบจาก ความคลาดเคลื่อนเป็นระบบ (systematic error)
- ตรวจสอบ Global Closure Network เพื่อตรวจสอบภาพรวมของโครงข่าย
- ปรับแก้แบบ free adjustment โดยใช้ โปรแกรม Trimnet Plus ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุดโปรแกรม GPSurvey 2.35 เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความเข้ากันของข้อมูลการรังวัดเอง

4.5 ผลการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในแต่ละส่วนก่อนการปรับแก้

4.5.1 โครงการปรับแก้โครงข่ายของหน่วยงาน NIMA

- ชื่อของสถานีเป็นชื่อที่ตั้งเพื่อใช้ในการปรับแก้โครงข่ายของ NIMA แต่เมื่อต้องนำมาปรับแก้ร่วมกับข้อมูลในส่วนอื่นๆ จึงเปลี่ยนชื่อของสถานีให้เป็นหมายเลขสถานีทั้งหมด เพื่อให้การอ้างถึงสถานีในโครงข่าย มีความเป็นเอกภาพ
- ผลลัพธ์ของเส้นฐานที่ได้จากการประมวลผลที่หน่วยงาน NIMA ประกอบด้วยการประมวลผลทั้งแบบ fix Ionosphere และ float solution ซึ่งวิธีการแบบ fix Ionosphere นั้นเหมาะสำหรับการประมวลผลเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 30 กิโลเมตร ซึ่งเสมือนว่าไม่มีความแตกต่างของชั้นบรรยากาศ นอกจากนี้ค่าความแปรปรวน ของบางเส้นฐานยังมีค่าค่อนข้างสูงกว่าปกติ
- ผลการตรวจสอบค่าวงรอบเข้าบรรจบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.16 PPM
- ผลการตรวจสอบเส้นฐานที่รังวัดซ้ำ มีค่าต่างกันในทางแกน X สูงสุด 18.3 เซนติเมตร แกน Y สูงสุด 23.1 เซนติเมตร และแกน Z สูงสุด 9.6 เซนติเมตร
- ผลการตรวจสอบ Global Network Closure สอดคล้องไปในแนวทางเดียวกับ การตรวจสอบวงรอบเข้าบรรจบและ การตรวจสอบเส้นฐานที่มีการรังวัดซ้ำ
- การปรับแก้แบบ free adjustment ผลการปรับแก้ตามผนวก ข-1

4.5.2 โครงการ GEODYSSEA98

- ความสูงของจานรับสัญญาณและชนิดของจานรับสัญญาณที่สถานี CHUL ได้มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการรังวัด จากการตรวจสอบพบว่า ในระหว่างการรังวัด จานรับสัญญาณเกิดขัดข้อง จึงมีการเปลี่ยนจานรับสัญญาณ
- การประมวลผล ครั้งแรก ผลที่ได้ของแต่ละเส้นฐานที่เชื่อมโยงกับสถานีที่จุฬา มีค่าความแตกต่างกัน ในทางแกน Y ตามระบบพิกัดฉากสามมิติ ซึ่งหากพิจารณาแล้วจะพบว่า เป็นเรื่องความสูงของจานรับสัญญาณ ความแตกต่างที่ตรวจพบคือ ข้อมูลแยกเป็นสองกลุ่มอย่างชัดเจน ตามชนิดของจานรับสัญญาณ ที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น จากการตรวจสอบจึงพบว่า ข้อมูลการรังวัดที่อยู่ในรูปแบบของ RINEX ได้บันทึกลักษณะของการวัดจานรับสัญญาณผิด คือ ในการปฏิบัติจริงจานรับสัญญาณถูกวัดความสูงแบบความสูงตรง (true vertical) แต่ข้อมูลที่บันทึกใน RINEX เป็นการรังวัดแบบเฉียง (slope distance) หลังจากการประมวลผลใหม่โดยแก้ไขในเรื่องจานรับสัญญาณแล้ว ไม่พบสิ่งผิดปรกติ และได้ตัดข้อมูลการรังวัดของสถานี CHUL ในวันที่มีการเปลี่ยนจานรับสัญญาณออก จึงเหลือข้อมูลการรังวัดของทั้ง 3 สถานี 4 วัน ในแต่ละวันประมวลผลเส้นฐานอิสระได้ 2 เส้นฐาน ได้จำนวนเส้นฐานรวม 8 เส้นฐาน และข้อมูลการรังวัดอีก 1 วัน ของสถานี 3427 และ

3657 (วันที่ตัดข้อมูลการรังวัดของสถานี CHUL ออก) ได้จำนวนเส้นฐาน 1 เส้นฐาน รวมเป็นจำนวนเส้นฐานทั้งสิ้น 9 เส้นฐาน

- ผลการตรวจสอบค่าวงรอบเข้าบรรจบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.06 PPM
- ผลการตรวจสอบเส้นฐานที่รังวัดซ้ำ มีค่าแตกต่างกันในทางแกน X สูงสุด 5.8 เซนติเมตร แกน Y สูงสุด 3.2 เซนติเมตร และแกน Z สูงสุด 1.3 เซนติเมตร
- ผลการตรวจสอบ Global Network Closure ปรกติ
- การปรับแก้แบบ free adjustment ผลการปรับแก้ตามผนวก ข-2

4.5.3 โครงการขยายโครงข่ายควบคุมของกรมแผนที่ทหาร

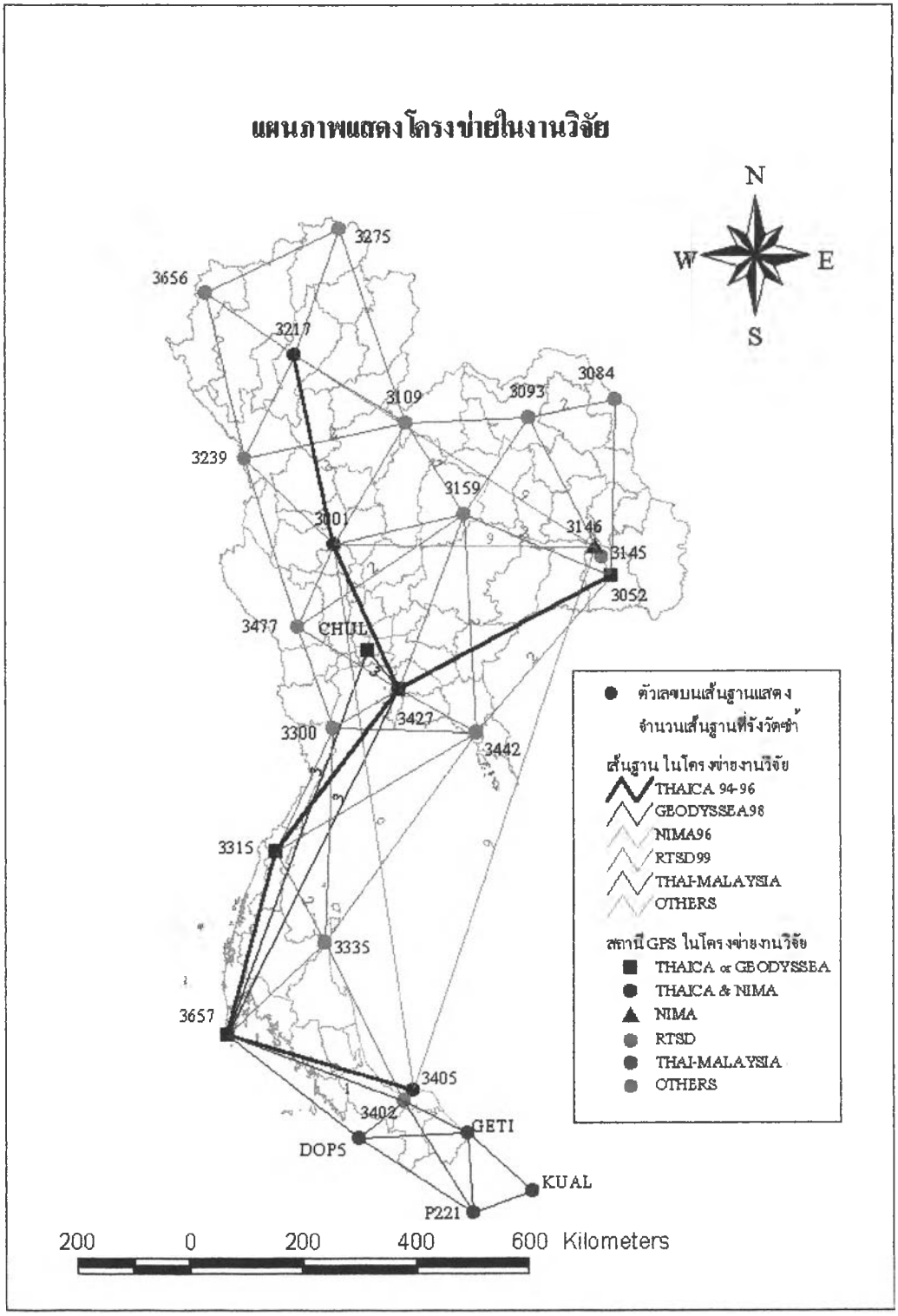
- ความสูงของจานรับสัญญาณที่สถานี 3001 บันทึกค่าไม่ถูกต้อง แต่สามารถตรวจสอบพบจากเอกสารและจากการสอบถามเจ้าหน้าที่ และมีหลายสถานีที่เจ้าหน้าที่บันทึกชนิดของจานรับสัญญาณผิด แต่สามารถตรวจสอบพบ จากเอกสารการบันทึกข้อมูลสนาม
- ผลการประมวลผลเส้นฐาน ปรกติ
- ผลการตรวจสอบค่าวงรอบเข้าบรรจบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.082 PPM
- ผลการตรวจสอบเส้นฐานที่รังวัดซ้ำ มีค่าแตกต่างกันในทางแกน X สูงสุด 3.2 เซนติเมตร แกน Y สูงสุด 2.7 เซนติเมตร และแกน Z สูงสุด 1.6 เซนติเมตร
- ผลการตรวจสอบ Global Network Closure ปรกติ
- การปรับแก้แบบ free adjustment ผลการปรับแก้ตามผนวก ข-3

4.5.4 โครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วม ไทย-มาเลเซีย

- ความสูงของจานรับสัญญาณและชื่อสถานี ปรกติ
- ผลการประมวลผลเส้นฐาน ปรกติ
- ผลการตรวจสอบค่าวงรอบเข้าบรรจบ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.15 PPM
- ไม่มีเส้นฐานที่รังวัดซ้ำ
- ผลการตรวจสอบ Global Network Closure ปรกติ
- การปรับแก้แบบ free adjustment ผลการปรับแก้ตามผนวก ข-4

4.6 การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายในงานวิจัย

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลเส้นฐานในแต่ละส่วนมาเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายเดียว แต่เนื่องจากตำแหน่งของสถานีในแต่ละโครงการไม่ได้ซ้อนทับกันทั้งหมด ดังนั้นเพื่อให้โครงข่ายมีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายที่ดี จึงจำเป็นต้องอาศัยเส้นฐานที่มีระยะทางประมาณ 30 กิโลเมตรบางเส้นฐาน ซึ่งเป็นข้อมูลจากการรังวัดในโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร มาเป็นเส้นฐานที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีในแต่ละโครงการเข้าด้วยกัน โดยเส้นฐานที่นำมาเชื่อมต่อนั้นจะทำการประมวลผลใหม่ โดยใช้ค่าวงโคจรของดาวที่มีความถูกต้อง จำนวน 3 เส้นฐาน ดังนี้ เส้นฐานที่เชื่อมระหว่างสถานี 3402 เข้ากับสถานี 3405 จำนวน 1 เส้นฐาน เส้นฐานที่เชื่อมระหว่างสถานี 3146 กับสถานี 3052 ซึ่งต้องใช้จำนวน 2 เส้นฐาน โดยเชื่อมต่อดังนี้ 3146 -3145 และจาก 3145 - 3052 (รูปที่ 4.1)



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงโครงข่ายในงานวิจัย

4.7 การตรวจสอบความถูกต้องของโครงข่ายในการวิจัย

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเบื้องต้น เช่นเดียวกับการตรวจสอบโครงข่ายย่อยๆ แต่ในขั้นตอนของการปรับแก้แบบ free adjustment เปลี่ยนเป็นการปรับแก้แบบ minimally constrained adjustment เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความเข้ากันของข้อมูลการรังวัด และเพื่อตรวจสอบคุณภาพของสถานีควบคุม ได้ผลการตรวจสอบดังนี้

- ตรวจสอบชื่อสถานีและความสูงของจานรับสัญญาณ ปรกติ
- ตรวจสอบข้อมูลเส้นฐานเบื้องต้นเช่นค่า Ratio และค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน รายละเอียดเช่นเดียวกับการตรวจสอบแยกโครงข่าย
- ตรวจสอบวงรอบเข้าบรรจบ (Loop Closure) ในสายงานวงรอบเข้าบรรจบที่ผ่านสถานี 3402 และ 3405 ซึ่งเป็นเส้นฐานที่ประมวลผลใหม่เพื่อนำมาต่อเชื่อมสถานีในโครงการของ NIMA เข้ากับ โครงข่ายขยายจุดควบคุมของกรมแผนที่ทหาร จะมีค่าวงรอบเข้าบรรจบขนาดใหญ่ และมีค่าความคลาดเคลื่อนในการเข้าบรรจบตัวเอง ค่อนข้างสูง ในเบื้องต้นพิจารณาว่า เกิดจากเส้นฐานระหว่างสถานี 3402 – 3405 ที่นำมาต่อเชื่อมมีคุณภาพไม่ดี จึงได้พยายามประมวลผลใหม่แต่ไม่สามารถให้ผลที่ดีขึ้น
- ตรวจสอบเส้นฐานที่รังวัดซ้ำ ตรวจพบว่า เส้นฐานระหว่างสถานี 3657 และ 3402 จากโครงการขยายโครงข่ายควบคุมของกรมแผนที่ทหาร และโครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วมไทย-มาเลเซีย ไม่สอดคล้องกัน คือมีความต่างทางแกน X เท่ากับ 16.5 เซนติเมตร แกน Y เท่ากับ 92.2 เซนติเมตร และ แกน Z เท่ากับ 13.4. (รายละเอียดในภาคผนวก ค-1) จึงได้พยายามประมวลผลข้อมูลที่เกี่ยวข้องใหม่แต่ไม่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น
- ตรวจสอบ Global Closure Network มีค่าความคลาดเคลื่อนทางแกน Y สูงถึง 1.4 เมตร (รายละเอียดในภาคผนวก ค-1) ในบริเวณที่เชื่อมต่อกับสถานี หมายเลข 3402 และ 3405 ซึ่งสอดคล้องกับการตรวจสอบ วงรอบเข้าบรรจบและการตรวจสอบเส้นฐานที่รังวัดซ้ำ
- ในการปรับแก้แบบ Minimally Constraint พบว่า ข้อมูลบริเวณภาคใต้ มีความขัดแย้งกันและเส้นฐานที่ต่อเชื่อมระหว่างสถานี 3402 และ 3405 ถูกขจัดออกจากการปรับแก้ และเส้นฐานอีกจำนวนหนึ่ง ของโครงการ NIMA ที่เชื่อมต่อกับสถานีดังกล่าวก็ถูกขจัดออกจากการปรับแก้เช่นกัน จึงได้ตั้งสมมติฐานว่ามีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ ที่ไม่ใช่ความคลาดเคลื่อนเป็นระบบแฝงอยู่ ที่บริเวณภาคใต้ จึงได้ย้อนกลับไปตรวจสอบข้อมูลในบริเวณที่เกิดปัญหาอีกครั้ง

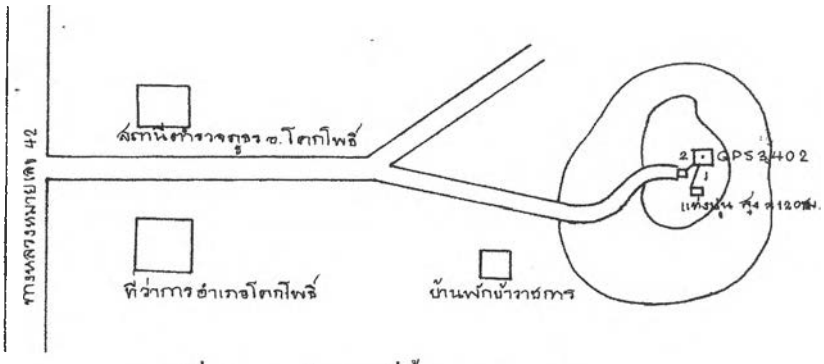
4.8 การตรวจสอบหลังการตรวจพบว่ามีความคลาดเคลื่อนในบริเวณภาคใต้

- ผลการตรวจสอบพบว่า ความสูงของจานรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานี 3402 จากโครงการขยายโครงข่ายควบคุมของกรมแผนที่ทหาร และ โครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วมไทย-มาเลเซีย ดังตาราง 4.4 มีข้อน่าสังเกต ดังนี้

ตาราง 4.4 ค่าความสูงของจานรับสัญญาณดาวเทียม ที่สถานี 3402

สถานี 3402 ในโครงการ	ความสูงจานรับสัญญาณ
โครงการขยายโครงข่ายควบคุม	2.586 เมตร
โครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วมไทย-มาเลเซีย	1.237 เมตร

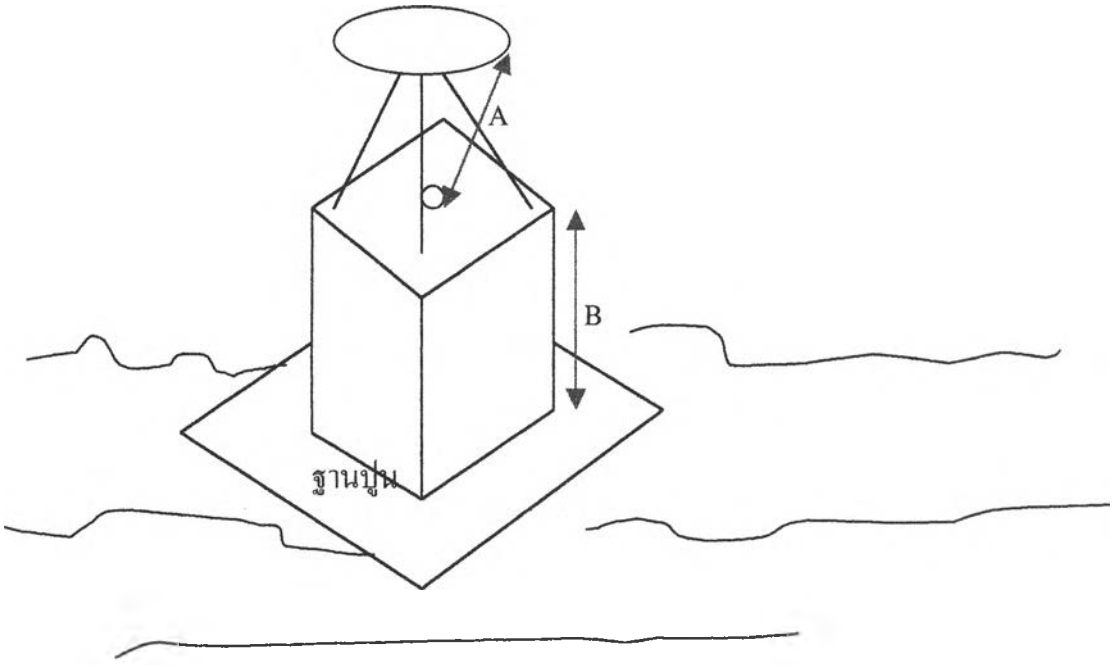
  - ความสูงที่ตั้งจานรับสัญญาณแตกต่างกันเป็นค่าที่มีขนาดใหญ่ และมีขนาดใกล้เคียงกับความ คลาดเคลื่อนที่ตรวจพบก่อนหน้า
  - ค่าความสูงของจานรับสัญญาณในโครงการขยายโครงข่ายควบคุมของกรมแผนที่ทหาร มีค่าเกินกว่าที่จะตั้งรังวัดแบบปรกติ
- ได้ตรวจสอบบริเวณพื้นที่ที่ทำการรังวัดจากแผนผังแสดงรายละเอียดบริเวณสถานีดังกล่าว ดังรูปที่ 4.2 พบว่ามีหมุดหลักฐาน 2 หมุดในบริเวณใกล้เคียงกัน จึงเป็นไปได้ว่าการรังวัดในโครงการดังกล่าวอาจจะตั้งรังวัดกันคนละหมุด หรืออาจจะมีการรังวัดค่าความสูงของจานรับสัญญาณผิดพลาด



รูปที่ 4.2 แผนผังแสดงที่ตั้งหมุด GPS3402

- จากการตรวจสอบไปยังเจ้าหน้าที่ที่มีชื่อตามเอกสารการรังวัดในแต่ละโครงการ สรุปได้ว่า การรังวัดในโครงการขยายโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร เจ้าหน้าที่ได้นำความสูงของแท่นมาบวกรวมกับความสูงของจานรับสัญญาณในลักษณะดังรูปที่ 4.3

- ความสูงที่เจ้าหน้าที่บันทึกในเครื่องรับสัญญาณ มีค่าเท่ากับความสูงระยะเฉียงของจานรับสัญญาณ (A) บวกกับความสูงของแท่น (B) รวมเท่ากับ 2.586 เมตร ดังนั้นวิธีการที่ขจัดความคลาดเคลื่อนดังกล่าวออกไปได้ คือต้องทราบค่าความสูงที่ถูกต้องของแท่นว่าเป็นเท่าไรแล้วนำมาหักออกจากความสูงที่บันทึก จากนั้นประมวลผลข้อมูลใหม่ และนำผลมาเปรียบเทียบกับเส้นฐานในโครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วมไทย-มาเลเซีย



รูปที่ 4.3 ลักษณะการเกิดความคลาดเคลื่อนจากการรังวัดความสูง ที่สถานี 3402

รูปที่ 4.4 ภาพหมุดหลักฐานGPS 3402

4.9 การขจัดความคลาดเคลื่อนที่ตรวจพบและการตรวจสอบผล

- การหาค่าความสูงที่ถูกต้องของแท่นปูน ได้รับความอนุเคราะห์จากกองสนามจัดทำหลักเขตแดนไทย-มาเลเซีย ซึ่งมี พ.อ.ชัยวัฒน์ พรมทอง เป็นแม่กองสนาม โดย พ.ท.จาตุรงค์ แสงศร และ ร.ท.จิตรกร ใบรักษา เป็นผู้ดำเนินการวัดค่าความสูงและบันทึกภาพบริเวณหมุดหลักฐาน(รูปที่ 4.4) **ค่าความสูงของแท่นที่วัดได้ เท่ากับ 93.6 เซนติเมตร**
- นำค่าความสูงที่ได้มาหักออกจากความสูงที่บันทึกของสถานี 3402 ในโครงการขยายจุดควบคุมของกรมแผนที่ทหารได้ค่าความสูงใหม่ เท่ากับ 1.650 เมตร (2.586 เมตร- 0.936 เมตร)
- ประมวลผลเส้นฐานที่เชื่อมต่อกับสถานี 3402 ในโครงการขยายโครงข่ายของกรมแผนที่ทหารใหม่ทั้งหมด จำนวนทั้งสิ้น 3 เส้นฐาน ประกอบด้วย เส้นฐาน 3657- 3402 จำนวน 2 เส้นฐาน และ 3335 – 3402 จำนวน 1 เส้นฐาน
- ตรวจสอบวงรอบเข้าบรรจบในบริเวณดังกล่าว มีค่าวงรอบเข้าบรรจบจากสถานี 3657->3335-> 3402->3657 เท่ากับ 0.008 และ 0.022 PPM
- นำเส้นฐานที่ประมวลผลใหม่ 3657 – 3402 มาเปรียบเทียบกับ เส้นฐานระหว่างคู่สถานีเดียวกันในโครงการเขตแดนไทยมาเลเซีย ผลการเปรียบเทียบดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 เปรียบเทียบผลลัพธ์การประมวลผลเส้นฐาน 3657 – 3402 หลังจากขจัดความคลาดเคลื่อน

สถานี 3402 - 3657	**ค่าต่างแกน X**	**ค่าต่างแกน Y**	**ค่าต่างแกน Z**
โครงการจัดทำหลักเขตแดนร่วมไทย-มาเลเซีย	+0.0000	+0.0000	+0.0000
โครงการขยายจุดควบคุม	-0.0241	+0.0019	-0.0069
โครงการขยายจุดควบคุม	+0.0146	+0.0041	+0.0233
หมายเหตุ : การเปรียบเทียบจะคำนวณค่าต่างในแต่ละแกนของคู่สถานี โดยกำหนดให้ค่าต่างของเส้นฐานแรกเป็นค่าอ้างอิง จากนั้นนำค่าต่างในแต่ละแกนของเส้นฐานอื่นมาเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง			

- ผลการตรวจสอบข้อมูลในส่วนอื่นๆ ปรกติ

4.10 การปรับแก้โครงข่ายด้วยวิธีลีสท์สแควร์และผลการปรับแก้โครงข่าย

4.10.1 ปรับแก้โครงข่ายแบบ minimally constrained adjustment (ผลการปรับแก้รายละเอียดตามผนวก ค-2) เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความเข้ากันของข้อมูลการรังวัด และเพื่อตรวจสอบคุณภาพของสถานีควบคุม โดยการกำหนดจุดควบคุม 1 สถานี คือที่สถานี 3427 เป็นสถานีที่อยู่บริเวณกลางโครงข่าย วิธีตรวจสอบโดยหาผลต่างของค่าพิกัดเป็นระยะเชิงเส้นของแต่ละสถานีที่ได้จากการปรับแก้แบบ minimally constrained adjustment กับค่าพิกัดที่ใช้เป็นพิกัดควบคุมโครงข่ายจากโครงการ THAICA และ GEODYSSEA เทียบอัตราส่วนค่าต่างเชิงเส้นต่อระยะทางจากจุด 3427 ไปยังสถานีที่ต้องการตรวจสอบ ผลการเปรียบเทียบดังตาราง 4.6

ตาราง 4.6 ตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดสถานีควบคุมด้วยวิธี minimally constrained adjustment

สถานี	พิกัด	ค่าพิกัดของสถานีควบคุม			ค่าปรับแก้ (")	ค่าต่าง (ม.)	ค่าต่างเป็นระยะเชิงเส้น (ม.)	ระยะทางจาก 3427	ค่าต่างเชิงเส้น : ระยะทาง
		°	'	"					
3001	ละติจูด	15	23	1.53962	1.53965	-0.001	0.027	274031.213	1 : 10,149,000
	ลองจิจูด	100	0	47.54203	47.54122	0.024			
	ความสูงจากทรงรี			107.714	107.703	0.010			
3052	ละติจูด	14	54	4.06539	4.06538	0.001	0.060	414041.778	1 : 6,900,000
	ลองจิจูด	104	24	57.38493	57.38506	-0.004			
	ความสูงจากทรงรี			115.131	115.071	0.060			
3217	ละติจูด	18	20	7.22887	7.22862	0.008	0.084	604262.797	1 : 7,193,000
	ลองจิจูด	99	22	16.35776	16.35622	0.046			
	ความสูงจากทรงรี			240.236	240.166	0.070			
3315	ละติจูด	10	36	34.34463	34.34498	-0.010	0.074	350966.259	1 : 4,742,000
	ลองจิจูด	99	4	32.19932	32.19926	0.002			
	ความสูงจากทรงรี			-4.490	-4.417	-0.073			
3405	ละติจูด	6	53	22.91758	22.91900	-0.042	0.157	689533.144	1 : 4,391,000
	ลองจิจูด	101	14	40.82756	40.82690	0.020			
	ความสูงจากทรงรี			-10.560	-10.410	-0.150			

ตาราง 4.6 (ต่อ) ตรวจสอบความถูกต้องของค่าพิกัดสถานีควบคุมด้วยวิธี minimally constrained adjustment

สถานี	พิกัด	ค่าพิกัดของสถานีควบคุม			ค่าปรับแก้ (")	ค่าต่าง (ม.)	ค่าต่างเป็นระยะเชิงเส้น (ม.)	ระยะทางจาก 3427	ค่าต่างเชิงเส้น : ระยะทาง
		°	'	"					
3657	ละติจูด	7	45	32.64824	32.64885	-0.018	0.078	664601.879	1 : 8,520,000
	ลองจิจูด	98	18	12.94308	12.94377	-0.021			
	ความสูงจากทรงรี			-1.784	-1.711	-0.073			
KUAL	ละติจูด	5	19	8.00364	8.00418	-0.016	0.018	893014.301	1 : 49,611,000
	ลองจิจูด	103	8	20.92217	20.92201	0.005			
	ความสูงจากทรงรี			55.015	55.021	-0.006			

จากตารางค่าต่างเชิงเส้นเทียบต่อระยะทาง ได้อัตราส่วนต่ำสุดเท่ากับ 1: 4,391,000 แสดงให้เห็นว่า ค่าพิกัดของสถานีควบคุมมีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องสูง สามารถใช้เป็นจุดควบคุมโครงข่ายในงานวิจัยนี้ได้

4.10.2 การปรับแก้โครงข่าย กำหนดสถานีควบคุมจำนวน 8 สถานี ซึ่งมีค่าพิกัดในระบบพิกัด ITRF ขณะเวลา 1996.3 จากโครงการ THAICA และ GEODYSSEA คือที่สถานี 3001 3052 3217 3315 3405 3427 3657 และ KUAL ผลการปรับแก้ รายละเอียดตาม ผนวก ค-3