บทที่ 2
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวความคิดและเหตุผลที่สำคัญ

เนื่องจาก หน่วยงานหลักที่จัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศ อันได้แก่ กรมแผนที่ทหาร กรมที่ดิน และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้ทำการจัดสร้างหมุดหลักฐานไว้สำหรับใช้งานเป็นจำนวนมาก โดยกรมแผนที่ทหารมีหมุดหลักฐานที่ใช้ทำงานและเปิดให้หน่วยงานอื่นๆนำไปใช้กว่า 700 หมุด กรมที่ดินกว่า 50,000 หมุดและกระทรวงเกษตรและสหกรณ์เองก็มีมากกว่า 2,800 หมุด ดังนั้น หากนำหมุดหลักฐานจากทั้ง 3 หน่วยงานนี้มาใช้งานร่วมกันได้ จึงจะทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่เนื่องจากหมุดที่จัดสร้างโดยหน่วยงานที่ต่างกันอาจจะยังมีค่าพิกัดตำแหน่งที่แตกต่างกันอยู่ ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้ในทันที จึงต้องดำเนินการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานเหล่านี้ให้สามารถใช้งานร่วมกันได้เสียก่อน

สาเหตุที่อาจทำให้ข้อมูลโครงข่ายหมุดหลักฐานของแต่ละหน่วยงานมีความแตกต่างกันนั้นมีหลายประการ เริ่มต้นจากวิธีการรังวัดดาวเทียมเพื่อสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐาน การประมวลผลข้อมูล การตรึงหมุดในการปรับแก้โครงข่าย ซึ่งสื่อถึงพื้นหลักฐานที่เป็นพื้นผิวอ้างอิงในการคำนวณค่าพิกัดตำแหน่ง ดังนั้น ในที่นี้จึงขอสรุปปัจจัยเบื้องต้นที่ทำให้ข้อมูลที่เป็นผลสืบเนื่องมาจากการทำงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสแตกต่างกัน ได้แก่

2.1.1 <u>การรังวัดในระบบดาวเทียมจีพีเอส</u>

การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส เป็นการนำเครื่องรับที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้ในการรับสัญญาณคลื่นช่วง L – band ที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียมซึ่งถูกสร้างขึ้นมาโดยเฉพาะ ดาวเทียมเหล่านี้จะโคจรอยู่เหนือพื้นผิวโลกอย่างน้อย 4 – 10 ดวง ที่ความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตรและส่งข้อมูลการนำหน (Navigation message) ออกมาตลอดเวลา ลักษณะที่สำคัญของดาวเทียมจีพีเอส คือ

- สามารถให้ความถูกต้องทางตำแหน่งได้หลายระดับ (ตั้งแต่ระดับมิลลิเมตรจนถึงระดับสิบเมตร)
- สามารถใช้ได้ทั่วโลก
- ไม่ต้องเสียค่าบริการในการใช้คลื่นสัญญาณ
- สามารถใช้ได้กับทุกสภาพอากาศ

- สามารถใช้ได้ตลอด 24 ชั่วโมง
- สามารถใช้เป็นเทคโนโลยีพื้นฐานเพื่อการพัฒนาการของเทคโนโลยีด้านอื่นๆที่ต้องการใช้ข้อมูลเชิงตำแหน่ง

ด้วยข้อได้เปรียบดังกล่าว การรังวัดด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส จึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง แต่ในการปฏิบัติงานจริงเครื่องมือที่นำมาใช้ เทคนิคและวิธีการที่แตกต่างกันก็ย่อมให้ผลลัพธ์ไม่เหมือนกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการนำไปใช้งาน และเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องที่ดีก็จำเป็นต้องมีการนำเครื่องรับแบบรังวัดมาใช้ เนื่องจากให้ค่าความถูกต้องได้ถึงระดับมิลลิเมตร หากมีปัจจัยต่างๆ เช่น การใช้ข้อมูลวงโคจรแบบ Precise ephemeris ในการประมวลผล การอ้างอิงกับหมุดเดิมที่มีค่าความถูกต้องที่ดี และมีการจัดสร้างโครงข่ายที่ดี เป็นต้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์เรื่องนี้มุ่งเน้นที่จะทำการศึกษาความแตกต่างของระบบพิกัดอ้างอิงของหน่วยงานหลักของรัฐซึ่งได้ดำเนินการสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานโดยใช้ข้อมูลจาดาวเทียมจีพีเอส ได้แก่ กรมแผนที่ทหาร กรมที่ดิน และกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เป็นต้น เพื่อที่จะปรับให้มีระบบพิกัดอ้างอิงเดียวกัน หน่วยงานเหล่านี้มีหมุดหลักฐานอ้างอิงและวิธีการในการจัดสร้างหมุดหลักฐานอ้างอิงที่ต่างกัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

1) โครงข่ายหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร

การจัดสร้างหมุดหลักฐานแผนที่ของประเทศ เป็นภารกิจหลักอย่างหนึ่งของกรมแผนที่ทหาร โดยในปัจจุบันกรมแผนที่ทหารได้จัดสร้างหมุดหลักฐานเพื่อใช้ในกิจการของหน่วยงานกรมแผนที่ทหารและให้บริการหน่วยงานอื่นๆ ได้แก่ หมุดโครงข่ายอ้างอิง หมุดโครงข่ายหลักและหมุดโครงข่ายรอง โดยมีการตรวจสอบตามรอบเวลาของโครงข่ายแต่ละชั้น กรมแผนที่ทหารได้มีการปรับปรุงโครงข่ายหมุดหลักฐานเพื่อให้มีความถูกต้องสูงขึ้นเรื่อยๆ มีผลทำให้ระบบพิกัดของประเทศสอดคล้องกับระบบพิกัดของภูมิภาคและของโลกมากยิ่งขึ้น ในอดีตกรมแผนที่ทหารได้มีการร่วมมือกับต่างประเทศในโครงการต่างๆ ได้แก่

- โครงการหาค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS84 ในประเทศไทย เมื่อปีพ.ศ. 2539 DMA (Defense Mapping Agency) ซึ่งเป็นหน่วยงานทำแผนที่ของกระทรวง กลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ตั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจำนวน 4 จุด พร้อมกันนานต่อเนื่อง 72 ชั่วโมง ประกอบด้วย หมุด 3001 เขาสะแกกรัง , หมุด 3217 ลำปาง , หมุด 3416 ศรีสะเกษและหมุด 3405 ปัตตานี ต่อมา DMA ได้เปลี่ยนชื่อเป็น NIMA

(National Imaginary and Mapping Agency) และในปัจจุบันได้เปลี่ยนชื่อเป็น NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)

- โครงการ THAICA สำหรับใช้ในโครงการตรวจสอบการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ หรือ GEODYSSEA (Wilson and Michel, 1998) ร่วมกับสถาบัน IfAG ประเทศเยอรมัน สำหรับประเทศไทยได้มีการตั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสจำนวน 7 จุด ประกอบด้วย หมุด 3001 เขาสะแกกรัง , หมุด 3217 ลำปาง , หมุด 3052 ศรีสะเกษ , หมุด 3405 ปัตตานี , หมุด 3427 ชลบุรี , หมุด 3315 ชุมพร และหมุด 3567 ภูเก็ต (Boonphakdee et al., 1996)

- โครงการศึกษาการแปลงค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานท้องถิ่นให้เป็นพื้นหลักฐานที่ใช้ร่วมกันทั้งภูมิภาค ในปีพ.ศ. 2541 Permanent Committee on GIS Infrastructure for Asia and the Pacific คณะกรรมการขององค์การสหประชาชาติ ให้กรมแผนที่ทหารทำการศึกษา โดยความร่วมมือของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในโครงการนี้ได้มีการปรับแก้โครงข่ายจากโครงการ DMA จำนวน 176 หมุด โดยตรึงด้วยค่าพิกัดของหมุดจากโครงการ THAICA จำนวน 6 หมุด (ยกเว้นหมุดภูเก็ตที่อยู่นอกโครงข่าย) และเพิ่มหมุด 3427 ชลบุรี ทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ชุดใหม่ในการแปลงระหว่างพื้นหลักฐานดาวเทียมและพื้นหลักฐานที่ใช้ในเมืองไทย คือ อินเดียน พ.ศ.2518 (Walker, 1976) โดย ค่าเลื่อนในแนวแกน x , y และ z เป็น 204.7 , 836.8 และ 294.7 เมตร ตามลำดับ (Wichiencharoen et al., 1998)

นอกจากนี้ ยังมีโครงการวิจัยที่เป็นรากฐานของการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานอันเป็นกรอบพิกัดหลักของประเทศไทย คือ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตเรื่องโครงข่ายหมุดหลักฐานจีพีเอสความถูกต้องสูง (อนุเทพ ภานุมาศตระกูล , 2543) โดยการรับสัญญาณจีพีเอสอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่หมุดหลักฐานจำนวน 18 สถานี ประมวลผลเส้นฐานโดยใช้ Precise ephemeris และตรึงด้วยค่าพิกัดจากโครงการ THAICA ร่วมกับโครงข่ายบางส่วนของประเทศมาเลเซีย แล้วนำไปใช้ในการควบคุมโครงข่ายชั้นรอง รวมทั้งหมุดหลักฐานภาคพื้นดินในโครงการจัดทำแผนที่เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ จำนวน 2808 หมุด

ในเวลาเดียวกัน กรมแผนที่ทหารได้ทำการรังวัดเพื่อขยายโครงข่ายให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศจากหมุดโครงข่ายหลัก 18 สถานี โดยเริ่มต้นรังวัดตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 เป็นต้นมา ได้หมุดโครงข่ายรอง 692 สถานี โดยได้มีการรังวัดต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ประมวลผลเส้นฐานโดยใช้ Precise ephemeris

ปี พ.ศ. 2547 กรมแผนที่ทหารก็ได้ทำการรังวัดบนหัวหมุดโครงข่ายเฉลิมพระเกียรติของกรมที่ดิน โดยใช้หมุดโครงข่ายหลัก 18 สถานีเป็นหมุดควบคุม มีการรังวัดต่อเนื่องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง และประมวลผลเส้นฐานโดยใช้ Precise ephemeris

2) โครงข่ายหมุดหลักฐานของกรมที่ดิน

กรมที่ดินเป็นหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบในงานด้านการรังวัดและทำแผนที่ ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานที่นำมาใช้มาจากการรังวัดจัดทำขึ้นเพื่อใช้ภายในกรมที่ดินเอง ซึ่งประกอบ ด้วย 2 วิธีหลักๆ คือ

- งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอส
- งานวางเส้นโครงแผนที่ โดยการทำงานวงรอบ (Traverse)

กรมที่ดินได้สร้างหมุดหลักฐานด้วยการรังวัดดาวเทียมมาใช้ตั้งแต่เริ่มโครงการพัฒนาที่ดินและเร่งรัดการออกโฉนดที่ดินทั่วประเทศ ในปีพ.ศ. 2528 โดยใช้ระบบทรานสิท (Transit) หรือ Navy Navigation Satellite System (NNSS) ของประเทศสหรัฐอเมริกาโดยเรียกชื่อหมุดที่สร้างขึ้นนี้ว่า หมุดดอปเปลอร์ เนื่องจากค่าที่ได้จากการรังวัดเป็น Integrated Doppler Count ซึ่งสัมพันธ์กับค่าต่างระยะทางเครื่องรับไปยังดาวเทียม ต่อมาในปีพ.ศ. 2533 กรมที่ดินได้จัดซื้อเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสขึ้นเป็นแห่งแรกในประเทศไทย แต่ยังคงต้องใช้การรังวัดควบคู่ไปกับการรังวัดโดยใช้ดาวเทียมระบบทรานสิท จนกระทั่งถึงปีพ.ศ. 2535 เนื่องจาก ในขณะนั้นระบบดาวเทียมจีพีเอสยังไม่สมบูรณ์จึงใช้ประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ หมุดหลักฐานต่างๆที่ใช้กำหนดระบบพิกัดอ้างอิงของกรมที่ดินในปัจจุบันนั้นมาจาก

- โครงข่ายดาวเทียมหลัก (Major Satellite Survey Control) ซึ่งกระจายครอบคลุมอยู่ทั่วประเทศจำนวน 325 หมุด ได้ทำการรังวัดในปีพ.ศ. 2538 ถูกตรึงตำแหน่งโดยค่าพิกัดอ้างอิงจำนวน 3 หมุด คือ หมุด GPS3001 อุทัยธานี , หมุด GPS3146 ศรีสะเกษ และ หมุด GPS3217 ลำปาง ซึ่งเป็นหมุดที่ดำเนินการโดย DMA โครงข่ายดาวเทียมหลักนี้ใช้ควบคุมและกระจายโครงข่ายดาวเทียมย่อย หมุดโครงงานแผนที่หลักและหมุดโครงงานแผนที่ย่อย ต่อไปตามลำดับ

- หมุดดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติ เป็นหมุดดาวเทียมคุณภาพทางกายภาพเยี่ยมที่มีทั้งความสวยงาม และ แข็งแรงทนทาน โดยทำการจัดสร้างไว้ ณ สถานที่ราชการต่างๆ เช่น วัด โรงเรียน ศาลากลางและสำนักงานที่ดิน เป็นต้น มีจำนวนถึง 4,000 หมุด ได้ทำการรังวัดในปีพ.ศ.2542 โดยการตรึงด้วยค่าพิกัดจากโครงข่ายดาวเทียมหลัก 325 หมุด และหมุดจากโครงข่ายหมุดดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติบางส่วนที่สร้างขึ้น

ในภายหลัง กรมแผนที่ทหารได้ทำการรังวัดค่าพิกัดบนหัวหมุดหลักฐานที่จัดสร้างไว้โดยหน่วยงานต่างๆ เพื่อใช้หมุดหลักฐานซึ่งถูกจัดสร้างไว้อย่างสมบูรณ์และมีสถานที่ตั้งที่เหมาะสมเป็นหมุดหลักฐานในโครงข่ายกรมแผนที่ทหาร โดยทำการรังวัดโยงยึดหมุดหลักฐานของโยธาธิการและผังเมือง และกรมที่ดินเข้ากับหมุดหลักฐานในโครงข่ายจีพีเอสหลัก (Primary Network) ของกรมแผนที่ทหาร เพื่อรังวัดผสานหมุดหลักฐานดาวเทียมจีพีเอสของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดและกิจการแผนที่ของประเทศไทยให้เข้าสู่ระบบพิกัดมาตรฐานเดียวกัน ทำการจัดสร้างหมุดหลักฐานอะซิมุทที่หมายเล็ง ในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีความเหมาะสมกับการวางโครงข่ายหมุดหลักฐานจีพีเอส และเพื่อรังวัดขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานให้มีความหนาแน่นเพียงพอ และมีค่าความละเอียดถูกต้องตามเกณฑ์มาตรฐานด้านการสำรวจทางยีออเดซี่และยีออฟิสิกส์(รายงานผลการสำรวจแผนที่สนาม, 2547)

สำหรับหมุดหลักฐานของกรมที่ดินที่กรมแผนที่ทหารได้ทำการรังวัดบนหัวหมุดในปี พ.ศ. 2547 นั้นเป็นหมุดหลักฐานจากโครงข่ายหมุดดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติ ซึ่งได้ทำการรังวัดในปีพ.ศ. 2543 -2546 ด้วยวิธี static หมุดหลักฐานจากโครงข่ายหมุดดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติที่ใช้เป็นหมุดร่วมระหว่างกรมแผนที่ทหารและกรมที่ดินนี้ถูกตรึงด้วยค่าพิกัดจากโครงข่ายหมุดดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติบางส่วน ซึ่งได้โยงยึดมาจากโครงข่ายหมุดดาวเทียมเฉลิมพระเกียรติอีกชั้นหนึ่ง หมุดหลักฐานเหล่านี้จึงอาจมีความผิดพลาดสะสมที่เกิดจากการออกหมุดซ้อนหมุดในโครงข่ายระดับเดียวกันถึง 3 ชั้น และไม่ได้ทำการปรับแก้ร่วมกันทั้งหมด

3) โครงข่ายหมุดหลักฐานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการจัดสร้างหมุดหลักฐานขึ้นจำนวนกว่า 2,800 หมุด ในโครงการจัดทำแผนที่เพื่อการบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพย์สินของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ทำการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานโดยวิธีการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสและโยงยึดเข้ากับหมุดโครงข่ายรองของกรมแผนที่ทหาร เพื่อใช้เป็นหมุดควบคุมทางราบ และใช้หมุดควบคุมทางดิ่งหรือหมุดระดับเป็นตัวควบคุมทางดิ่ง มีการรับสัญญาณเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง และทำการปรับแก้โครงข่ายทั่วประเทศ หมุดที่ได้มีค่าพิกัดอยู่ในระบบพิกัดยูทีเอ็ม บนพื้นหลักฐานอินเดียน พ.ศ.2518 และ WGS84 โดยได้ติดตั้งหมุดหลักฐานซึ่งเป็นหัวหมุดสเตนเลสสตีลฝังในแท่นคอนกรีต ณ สถานที่ราชการ เช่น โรงเรียน วัด เป็นต้น กระจายในทุกภูมิภาคทั่วประเทศ จากรายงานผลการตรวจสอบคุณภาพงานสำรวจวางหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียมจีพีเอส โดยกองยีออเดซี่และ

ยีออฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร ปี พ.ศ.2546 ซึ่งได้ทำการตรวจสอบหมุดหลักฐานในภูมิประเทศ จำนวนทั้งสิ้น 279 หมุด พบว่า โครงข่ายหมุดหลักฐานที่ได้จัดสร้างขึ้นนี้ ถือเป็นหมุดหลักฐานที่มีความถูกต้องทางราบอยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องเดียวกันกับโครงข่ายหมุดหลักฐานรองของกรมแผนที่ทหาร

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นได้ว่าแต่ละหน่วยงานได้ทำการรังวัดโดยการใช้หมุดควบคุมโครงข่ายที่แตกต่างกัน และได้ทำการจัดสร้างหมุดโครงข่ายเพื่อใช้ในหน่วยงานต่อไปโดยมิได้นำมาปรับแก้โครงข่ายร่วมกันอีก ยกเว้น หมุดของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ได้โยงยึดหมุดกับโครงข่ายรองของกรมแผนที่ทหารมาแต่ต้น และยังไม่ได้ออกหมุดโครงข่ายต่อไป

2.1.2 วิธีการหาตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส

วิธีการที่ใช้ในการรังวัดเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระดับความถูกต้องของผลลัพธ์ ซึ่งในการทำงานภาคสนามจะมีวิธีการหาตำแหน่ง 2 วิธี คือ

1) วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์

เป็นการหาตำแหน่งของจุดเดี่ยว (Single Point Positioning : SPP) โดยการนำเครื่องรับไปวาง ณ จุดที่ต้องการทราบตำแหน่ง โดยเครื่องรับจะสร้างรหัส PRN ซึ่งใช้ในดาวเทียมขึ้นมาเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้จากการรับสัญญาณ ทำให้ได้ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสอง หรือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนั่นเอง และเมื่อมีจำนวนดาวเทียมครบ 4 ดวงก็จะสามารถหาตำแหน่งของจุดที่รับสัญญาณได้โดยการคูณเวลาที่ได้ด้วยความเร็วของคลื่นวิทยุ จะได้ระยะทางจากซูโดเรนจ์ (Pseudorange) ดังสมการ (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2538)

$$PR = R + cdt_u + cdt_a + cdt_s + \varepsilon_R \qquad (1)$$

เมื่อ

PR = Pseudorange (เมตร)

R = ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ (เมตร)

cdt_s = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาดาวเทียม (เมตร)

cdt_u = ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกาเครื่องรับ (เมตร)

cdt_a = เวลาประวิงของการแพร่กระจายคลื่นในบรรยากาศ (เมตร)

ε_R = ความคลาดเคลื่อนของการวัด ได้แก่ multipath, noise และ residual biases (เมตร)

โดยทั่วไปวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ ให้ค่าความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 20 เมตร (เฉลิมชนม์ สถิระพจน์, 2546)

ในการปรับแก้โครงข่ายของกรมที่ดินในปี พ.ศ. 2541 ได้ใช้หมุดของ DMA มาตรึงโครงข่าย ค่าพิกัดของหมุด DMA คำนวณโดยวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ ซึ่งมีความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับประมาณ 0.30 เมตร (Boonphakdee et al., 1996) ทั้งนี้เนื่องจากมีการรังวัดติดต่อกันเป็นระยะเวลานานถึง 3 วัน ประมวลผลด้วยซอฟท์แวร์ GASP ซึ่งเป็น Scientific Software รวมทั้งมีการใช้ Precise Ephemeris ในการประมวลผลด้วย

2) วิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์

เป็นวิธีการหาตำแหน่งแบบเปรียบเทียบกันระหว่างจุด 2 จุด จะให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งสูงกว่าวิธีหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic error) เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจร ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนนาฬิกาดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนนาฬิกาเครื่องรับ เป็นต้น ถูกกำจัดออกไป จากการหักล้างกันระหว่างข้อมูลของสองจุด โดยมีวิธีการ คือ นำเครื่องรับเครื่องหนึ่งวาง ณ จุดที่รู้ค่าพิกัด และนำเครื่องรับอื่นๆไปวาง ณ จุดที่ต้องการทราบค่า สามารถรู้ค่าพิกัดได้ทันทีในขณะรังวัดหรืออาจนำมาประมวลผล (Post processing) ภายหลังได้ โดยมีค่าความถูกต้องสูงถึงระดับมิลลิเมตร

การประมวลผลโดยการหาค่าต่างครั้งที่ 2 เพื่อคำนวณเส้นฐานระหว่างจุด 2 จุด ที่ทำการรังวัดเฟสของคลื่นส่งมา มีสมการ ดังนี้ (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2538)

$$\nabla\Delta\Phi = \nabla\Delta R + \nabla\Delta cdt_a + \lambda\nabla\Delta N + \varepsilon_\Phi \qquad (2)$$

เมื่อ

$\nabla\Delta\Phi$ = ค่าต่างครั้งที่ 2 (เมตร)

$\nabla\Delta R$ = ค่าต่างระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ (เมตร)

$\nabla\Delta cdt_a$ = เวลาประวิงของการแพร่กระจายคลื่นในบรรยากาศ (เมตร)

λ = ความยาวคลื่น (เมตร)

$\nabla\Delta N$ = ค่าต่างเลขปริศนา เป็นเลขจำนวนเต็ม (ลูกคลื่น)

ε_Φ = ความคลาดเคลื่อน (เมตร)

โดยทั่วไปวิธีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ให้ค่าความถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ประมาณ 0.005 – 0.050 เมตร หรือ ±(5mm + 1ppm) สำหรับเครื่องรับแบบสองความถี่ที่ใช้งานในโหมด static GPS (Leica, 2000)

ค่าพิกัดโครงข่ายหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารในปัจจุบัน ได้มาจากการใช้หมุดตรึงที่ทำการหาตำแหน่งโดยวิธีสัมพัทธ์ จากโครงการ THAICA ซึ่งให้ความถูกต้องในระดับ ± 3 เซนติเมตร (Boonphakdee et al., 1996) ที่มีการรังวัดติดต่อกันเป็นระยะเวลานานถึง 5 วัน ใช้ Precise Ephemeris ในการประมวลผล และอ้างอิงอยู่บนพื้นหลักฐาน ITRF ต่อเนื่องมาจนถึงโครงข่ายหมุดความถูกต้องสูง จำนวน 18 หมุด (อนุเทพ ภาณุมาศตระกูล, 2543) เป็นหลักในการออกโครงข่ายชั้นรองและหมุดควบคุมอื่นๆ ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องสูงกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการรังวัดของกรมที่ดิน

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ก็ทำการหาตำแหน่งโดยวิธีสัมพัทธ์เช่นกัน โดยโยงยึดกับหมุดของกรมแผนที่ทหาร และผลการตรวจสอบความถูกต้อง พบว่า ค่าพิกัดที่ได้มีความถูกต้องในระดับเดียวกับหมุดโครงข่ายรองของกรมแผนที่ทหาร

ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากรมที่ดินและกรมแผนที่ทหาร มีหมุดที่ใช้ตรึงที่มีวิธีการหาตำแหน่งที่แตกต่างกัน ทำให้มีระดับความถูกต้องของหมุดโครงข่ายที่แตกต่างกัน แต่กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้ใช้หมุดควบคุมที่ได้ใช้วิธีการหาตำแหน่งแบบเดียวกับกรมแผนที่ทหาร เนื่องจากใช้หมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารเป็นกรอบ ทำให้ได้พิกัดระบบเดียวกันและมีความถูกต้องในระดับเดียวกัน

2.1.3 <u>พื้นหลักฐานแผนที่</u>

พื้นหลักฐานอ้างอิง (reference datum) ใช้เป็นระบบอ้างอิงในการหาตำแหน่ง (reference system) โดยจะถูกกำหนดและนำมาใช้โดยผ่านทางหมุดหลักฐาน ในประเทศไทยได้มีการกำหนดพื้นหลักฐานที่ใช้การทำงานสำรวจรังวัด คือ พื้นหลักฐาน Indian 1975 หรือ อินเดียน พ.ศ.2518 ซึ่งได้มาจากการปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร ที่ได้มาจากการรังวัดด้วยวิธีการทำงานข่ายสามเหลี่ยมและงานวงรอบทั่วประเทศ จำนวน 426 หมุด ด้วยการนำค่าพิกัดที่ได้จากงานรังวัดดาวเทียม ดอปเปลอร์ จำนวน 9 หมุด มาตรึงโครงข่ายไว้ เป็นการตรึงตำแหน่งของหมุดบางหมุดและตรึงทิศทางของเส้นบางเส้น โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจาก หน่วยงานแผนที่ในกระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกา ชื่อ Defense Mapping Agency Hydrographic / Topographic Center หรือ DMAHTC โดยมีศูนย์กำเนิดของพื้นหลักฐานอยู่ที่เขาสะแกกรัง จ.อุทัยธานี

ค่าพิกัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลกที่ได้จากการรังวัดจะอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน ซึ่งการเลือกใช้ระบบอ้างอิงที่มีความถูกต้องสูงย่อมเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลให้การหาตำแหน่งพิกัดมีความถูกต้องสูงด้วย

1) พื้นหลักฐาน WGS84

พื้นหลักฐาน WGS84 หรือ World Geodetic System 1984 (NIMA., 2000) เป็นระบบอ้างอิงที่ได้รับการยอมรับจากนานาประเทศว่ามีความถูกต้องและมีความเป็นสากล ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ใน DMA ซึ่งต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น NIMA (National Imagery and Mapping Agency) หรือที่เรียกในปัจจุบันว่า NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) มีจุดศูนย์กลางอยู่ที่จุดศูนย์กลางมวลของโลก การรังวัดด้วยจีพีเอสจะให้ค่าพิกัดที่อิงอยู่บนพื้นหลักฐาน WGS84 โดยตรง

ในอดีตพื้นหลักฐาน WGS84 ให้ค่าความถูกต้องอยู่ในระดับ 1 – 2 เมตรสำหรับ 1-σ (NIMA, 2000) ต่อมาได้มีการปรับเปลี่ยนค่าพิกัดให้สอดคล้องกับค่าของพื้นหลักฐาน ITRF เป็นระยะๆ โดยในปัจจุบันมีความถูกต้อง 2 – 3 เซนติเมตร (Geoscience Australia, 2005)

กรมที่ดินได้ใช้พื้นหลักฐาน WGS84 เป็นกรอบอ้างอิงหมุดหลักฐาน ในโครงการที่สร้างหมุดหลักฐานโดย DMA จะให้ค่าพิกัดทางยีออเดซีบนพื้นหลักฐาน WGS84 ที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับ 0.30 เมตร (Boonphakdee et al., 1996) สำหรับกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ก็ได้อ้างอิงหมุดหลักฐานบนทั้งพื้นหลักฐานอินเดียน 1975 และพื้นหลักฐาน WGS84 เช่นเดียวกับหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหาร

2) พื้นหลักฐาน ITRF

ITRF (International Terrestrial Reference Frame) เป็นพื้นหลักฐานที่คำนวณโดย International Earth Rotation Service(IERS) ใช้สำหรับการทำงานที่ต้องการค่าความถูกต้องสูง เช่น GPS, VLBI และ satellite laser ranging ให้ค่าความถูกต้อง 2 – 3 เซนติเมตรหรือดีกว่านั้น จากการคำนวณจากสถานีฐานกว่า 2000 สถานี ใหม่ทุกปี โดยรวมค่าแก้เนื่องจากการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกเข้าไปด้วย

สำหรับการทำงานที่ต้องการความถูกต้องทางตำแหน่งสูงในปัจจุบัน หลายๆ ประเทศทั่วโลกได้เปลี่ยนมาใช้ระบบพิกัดอ้างอิงบนพื้นหลักฐาน ITRF และขยายโครงข่ายให้ครอบคลุมประเทศด้วยเทคนิคการรังวัด GPS ดังเช่น ประเทศญี่ปุ่น จีน ออสเตรเลีย และประเทศในแถบภาคพื้นทวีปยุโรป เป็นต้น

ในประเทศไทยได้มีการนำพื้นหลักฐาน ITRF มาใช้ในหน่วยงานราชการ คือ กรมแผนที่ทหารซึ่งใช้ในการอ้างอิงหมุดหลักฐานในโครงการ THAICA ที่ให้ความถูกต้องของหมุดหลักฐาน ± 3 เซนติเมตร และได้อ้างอิงหมุดหลักฐานทุกชั้นงานด้วยพื้นหลักฐาน ITRF

การอ้างอิงค่าพิกัด ITRF ขึ้นอยู่กับเวลา เพราะเปลือกโลกมีการเคลื่อนตัว ดังนั้นค่าพิกัด ITRF ที่ขณะเวลาต่างกันของจุดจุดเดียวกันก็จะมีค่าต่างกันด้วย

จากการที่ทั้งสองหน่วยงานอ้างอิงหมุดหลักฐานบนพื้นหลักฐานที่อ้างอิงค่าพิกัดต่างเวลากัน มีความถูกต้องต่างกัน ก็ย่อมทำให้ค่าพิกัดของหมุดหลักฐานของทั้งสองหน่วยงานมีความน่าเชื่อถือแตกต่างกันด้วย

2.1.4 <u>ทฤษฎีการแปลงพื้นหลักฐาน</u>

รูปทรงรีอ้างอิง เป็นสิ่งที่ใช้กำหนดพื้นหลักฐานอ้างอิงสำหรับใช้ในการคำนวณงานรังวัด ซึ่งรูปทรงรีอ้างอิงแต่ละอันมีจุดศูนย์กลางคนละที่ ทิศทางการวางตัวไม่เหมือนกัน ขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน รวมทั้งหน่วยวัดระยะทางเป็นคนละมาตรฐานกัน ทำให้ค่าพิกัดที่ได้แตกต่างกัน เพราะเพียงปัจจัยข้อใดข้อหนึ่งก็ส่งผลให้ค่าพิกัดที่ได้ไม่เท่ากันแล้ว การที่จะนำค่าพิกัดมาใช้ร่วมกันเราจึงต้องแปลงให้อยู่ในระบบเดียวกันเสียก่อน

การแปลงค่าระหว่างพื้นหลักฐาน คือ การแปลงค่าระหว่างระบบพิกัด จากระบบพิกัดหนึ่งไปสู่ระบบที่ต้องการ โดยวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ Bursa – Wolf Model (Rapp, 1984) ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ 7 ตัว คือ

- ค่าเลื่อนระหว่างจุดกำเนิด เนื่องจากจุดศูนย์กลางทรงรีไม่ได้อยู่ที่เดียวกัน จุดกำเนิดเป็นตัวกำหนดทิศทางการวางตัวของแกน x , y , z
- ค่ามุมหมุนรอบแกน x , y , z เนื่องจากทิศทางการวางตัวของรูปทรงรีไม่เหมือนกัน
- ค่าต่างมาตราส่วน เป็นผลมาจากหน่วยวัดระยะทางไม่เป็นมาตรฐานเดียวกัน

จึงสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัด ได้ดังสมการ (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2538)

$$X_2 = \Delta X(1 + \Delta s)RX_1 \qquad (3)$$

โดยมี

- เวคเตอร์ X_1 และ X_2 เป็นค่าพิกัดฉากของจุดเดียวกันในระบบพิกัดฉากที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

- เวคเตอร์ ΔX เป็นค่าเลื่อนในระบบพิกัด X_2 ประกอบด้วย $\Delta x, \Delta y, \Delta z$
- Δs เป็นค่าต่างมาตราส่วน
- R เป็นเมทริกซ์การหมุนรอบแกนทั้งสามของ X_2

จึงเขียนได้เป็น

$$R = R_3(\omega)R_2(\psi)R_1(\varepsilon) \qquad (4)$$

โดย

Ri คือการหมุนรอบแกน i ในที่นี้แกน i คือ แกน 1, 2 และ 3 คือแกน x, y, z ตามลำดับ

$\varepsilon, \psi, \omega$ คือมุมหมุนรอบแกน x, y, z ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า สมการ (3) ประกอบด้วยพารามิเตอร์การแปลงจำนวน 7 ตัว คือ Δx, Δy, Δz, ω, ψ, ε และ Δs การหาค่าพารามิเตอร์ตามปกติ จะใช้วิธีการคำนวณปรับแก้แบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุด นั่นคือ ถ้ารู้พิกัดจุดใดจุดหนึ่งในทั้งสองระบบพิกัด จากสมการ (3) จะเขียนย่อยได้ 3 สมการโดยมีพารามิเตอร์การแปลงเป็นตัวไม่รู้ค่า และมีจุดร่วม ซึ่งเป็นจุดที่รู้พิกัดในทั้งสองระบบพิกัด อย่างน้อย 3 จุด เพื่อใช้หาค่าพารามิเตอร์ทั้ง 7 ตัว

การแปลงพื้นหลักฐานของประเทศไทย

อย่างไรก็ดี เราไม่จำเป็นต้องใช้ค่าพารามิเตอร์การแปลงครบทั้ง 7 ตัว ในบางกรณีอาจต้องการพารามิเตอร์เพียง 3 ตัวเท่านั้น คือ ค่าเลื่อน $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ เนื่องจากค่าเลื่อนมีสหสัมพันธ์กับค่ามุมหมุนสูง เมื่อค่าเลื่อนมีการเปลี่ยนแปลง ค่ามุมหมุนก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย ตัวอย่างเช่น กรณีที่จุดร่วมครอบคลุมพื้นที่มีขนาดเล็ก เช่น การรังวัดในประเทศไทย ใช้พารามิเตอร์คือ ค่าเลื่อน เพียง 3 ตัวก็สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดทั้ง 2 ได้แล้ว

สำหรับหน่วยงานหลักที่ทำการจัดสร้างโครงข่ายหมุดหลักฐานของประเทศไทยทั้ง 3 หน่วยงานนี้ก็มีการอ้างอิงข้อมูลบนพื้นหลักฐานที่แตกต่างกัน ซึ่งการคำนวณค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานที่ต่างกันหรืออ้างอิงที่ขณะเวลาต่างกัน ย่อมทำให้มีระบบพิกัดอ้างอิงที่ต่างกัน ดังนั้น จำเป็นต้องทำการคำนวณปรับแก้เสียก่อน จึงจะสามารถนำมาใช้งานร่วมกันได้

2.1.5 Ephemeris

Ephemeris คือ ข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมบนท้องฟ้าเทียบกับ ตำแหน่งบนพื้นโลก เป็นเครื่องมือสำคัญในการให้ตำแหน่งในการเคลื่อนที่ที่ถูกต้องของวงโคจร ประกอบด้วย

1) Broadcast Ephemeris

Broadcast Ephemeris ใช้ทำนายตำแหน่งปัจจุบันของดาวเทียม ซึ่งหาได้จาก Master Control Station ที่ส่งขึ้นไปจากหน่วยงานที่ทำการควบคุมดาวเทียมจีพีเอสทุกวัน และส่งต่อไปยังผู้รับทาง Data Message Broadcast Ephemeris จะประกอบด้วยข้อมูล Keplerian Orbital Elements เพื่อใช้ในการคำนวณพิกัด Earth-Centred-Earth-Fixed (ECEF) อิงกับพื้นหลักฐาน WGS84 (Martin, 2003)

กรมที่ดินและกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการประมวลผลโดยใช้ Broadcast Ephemeris

2) Precise ephemeris

Precise ephemeris เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณในภายหลัง สามารถดาวน์โหลดได้จากทางอินเตอร์เน็ทประมาณ 2 สัปดาห์หลังการคำนวณ โดย Precise ephemeris จะมีระบบพิกัด ECEF ที่อิงอยู่กับพื้นหลักฐาน ITRF และรวมค่าแก้นาฬิกาเข้าไปด้วย ซึ่งจะแตกต่างกันไปในดาวเทียมแต่ละดวง ข้อมูลจากการรังวัด ณ สถานีต่างๆทั่วโลกจะถูกนำมาทำการคำนวณโดย IGS (International GPS Service) ทำให้ได้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่าการใช้ Broadcast Ephemeris (Martin, 2003) โดยกรมแผนที่ทหารได้มีการประมวลผลโดยใช้ Precise Ephemeris

เนื่องจาก ทั้ง 3 หน่วยงานทำการประมวลผลโดยใช้ข้อมูลวงโคจรที่แตกต่างกัน จึงมีโอกาสที่จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแตกต่างกัน

จากการศึกษาทบทวนปัจจัยเบื้องต้น พบว่าความแตกต่างของระบบพิกัดตำแหน่งของโครงข่ายที่จัดสร้างขึ้นนั้นเป็นผลมาจากวิธีการรังวัดดาวเทียมที่ใช้กำหนดค่าพิกัดของหมุดตรึง นั่นคือ การหาตำแหน่งแบบจุดเดี่ยวและการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ซึ่งทำให้มีความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต่างกัน การประมวลผลค่าพิกัดของจุดตรึงที่ต่างกันอันนำมาซึ่งระบบพิกัดอ้างอิงในการ

คำนวณที่ต่างกัน การศึกษาแนวทางการปรับโครงข่ายหมุดหลักฐานให้มีระบบพิกัดที่เป็นเอกภาพ จึงจำเป็นต้องทำการคำนวณปรับแก้ ซึ่งใช้วิธีการต่างๆ ได้แก่ วิธีการคำนวณแบบเต็มรูปแบบตามวิธี Bursa-Wolf Model , วิธีการอย่างง่ายๆเช่น การใช้ค่าเลื่อนเฉลี่ยเฉพาะพื้นที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่จะได้มีการตรวจสอบจากการศึกษาในครั้งนี้ต่อไป