



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)

ปริญญา

การจัดการทรัพยากรป่าไม้

การจัดการป่าไม้

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง อิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

Influence of Crown Cover on Precision Values of Global Positioning System

นามผู้วิจัย ร้อยโท วราวุฒ บัญชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์วีระภาส คุณรัตนศิริ, Dr.rer.nat.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วันชัย อรุณประภารัตน์, D.Agr.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สันติ สุขสอาด, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

Influence of Crown Cover on Precision Values of Global Positioning System

โดย

ร้อยโท วราวุธ บุญชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้)

พ.ศ. 2552

วราวุฒ บัญชัย, ร้อยโท 2552: อิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการทรัพยากรป่าไม้) สาขาการจัดการทรัพยากรป่าไม้ ภาควิชาการจัดการป่าไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์วีระภาส คุณรัตนศิริ, Dr.rer.nat. 47 หน้า

การศึกษาอิทธิพลการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก บริเวณสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์ห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหนาแน่นของการปกคลุมเรือนยอดที่มีผลต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิด 2 ความถี่ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS ภายใต้การปกคลุมเรือนยอดที่แตกต่างกัน ขั้นตอนการดำเนินงานได้ทำการโยกค่าหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ของกรมแผนที่ทหาร ไปยังหมุดรังวัดใหม่ทั้งสิ้น 7 หมุด โดยใช้เกณฑ์การประมวลผลเส้นฐานดังต่อไปนี้ ค่า Position Dilution of Precision (PDOP) ต่ำกว่า 6, ค่า Ratio มากกว่า 1.5, ค่า Reference Variance อยู่ระหว่าง 1 ถึง 10 และค่า Route Mean Square (RMS) ต่ำกว่า 0.03 เมตร

ผลการศึกษาพบว่า ตำแหน่งจุดรังวัดที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ 0.87 และจุดรังวัดในพื้นที่เปิดโล่งซึ่งไม่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติที่กำหนด ทั้งการรังวัดแบบสถิต (Static) และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Fast Static) ในส่วนจุดรังวัดที่เหลือจำนวน 5 จุด ที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เท่ากับ 2.25, 1.86, 2.12, 2.03 และ 1.73 การประมวลผลเส้นฐานไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ ผลการศึกษานี้สรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีพื้นที่ผิวใบที่มากกว่า 0.87 เป็นปัจจัยสำคัญต่อค่าความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งบนโลก

Warayu Boonchai, Lieutenant 2009: Influence of Crown Cover on Precision Values of Global Positioning System. Master of Science (Forest Resource Management), Major Field: Forest Resource Management, Department of Forest Management. Thesis Advisor: Mr. Weeraphart Khunrattanasiri, Dr.rer.nat. 47 pages.

The Influence study of crown cover on precision values of Global Positioning System (GPS) at Forestry Student Field Station in Lampang aimed to study firstly the relationship of crown cover density on the precision value derived from dual frequency GPS receiver and secondly to investigate the factors which act on the GPS satellite signal in different crown cover. Leaf Area Index (LAI) was chosen to describe the tree coverage in the forest area. Two horizontal control points of Royal Thai Survey Department were used to translate the high precise position value of seven control points in the study area. The statistical acceptance criteria for baseline computation was set as follow; Position Dilution Of Precision (PDOP) less than 6, Ratio value more than 1.5, Reference variance between 1 to 10 and Root Mean Square (RMS) less than 0.03 meters.

The results of the study showed that one station with 0.867 LAI and a coverless station researched the statistical acceptance criteria to compute baseline both static and fast static. The rest five stations did not pass the criteria. It can strongly concluded that LAI higher than 0.87 causes the position precision when GPS is used in the forest.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

กระผมขอกราบขอบพระคุณ ดร.วิระภาส คุณรัตนสิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันชัย อรุณประภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษา และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และทำให้วิทยานิพนธ์มีเนื้อหาสาระที่เป็นประโยชน์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ ภัทรธรรม ประธานการสอบปากเปล่าขั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร.สุระ พัฒนเกียรติ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก และคณาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณกองยืมเอกสารและยืมออดิโอไฟล์ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในด้านอุปกรณ์ และกำลังพลในการปฏิบัติงาน จึงทำให้งานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์

และขอกราบขอบพระคุณพี่ๆ กองยืมเอกสารและยืมออดิโอไฟล์ทุกท่าน ได้แก่ พ.อ.จรรุทศน์ จันทนิมะ, พ.อ.ชัยวัฒน์ พรหมทอง, พ.ท.ศรายุทธ อยู่สำราญ, เพื่อนๆ และน้องๆ ผู้ซึ่งมีส่วนร่วมอีกหลายท่านที่มีได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จตามที่ตั้งใจไว้

สุดท้ายนี้ขอกราบเท้า พ่อ และแม่ ที่เป็นกำลังใจจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วง น้องชายซึ่งเสียสละเวลาเรียนเพื่อพี่ และน้องคาผู้ที่คอยเป็นกำลังใจตลอดมา พร้อมกันนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสามารถนำมาพัฒนางานด้านต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และเป็นประโยชน์ต่อประเทศชาติต่อไป

วราวุฒ บัญชัย
พฤษภาคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	20
ผลและวิจารณ์	26
สรุปและข้อเสนอแนะ	35
สรุป	35
ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	38
ภาคผนวก	40
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	47

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของจุดตัวอย่าง	27
2	การประมวลผลเส้นฐานหมุด KUFF00	28
3	ค่าหมุด KUFF00 ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ บริเวณสถานีฝักนิตวนศาสตร์ ห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง	28
4	การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดแบบ Static	29
5	การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดแบบ Fast Static	30
6	ค่าความแม่นยำของตำแหน่ง 3 มิติ (PDOP)	32

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	องค์ประกอบของระบบ GPS	4
2	การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning)	6
3	การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)	7
4	ภาพถ่ายแบบ Hemispherical Photography	17
5	การวางแปลนตัวอย่าง	20
6	หมุดรังวัดดาวเทียม GPS 3217 และ GPS 3220 ของกรมแผนที่ทหาร	22
7	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิด 2 ความถี่ รุ่น Trimble 5700 R7	23
8	ตำแหน่งจุดตัวอย่างรอบสถานีฝึกวนศาสตร์ห้วยทาก (แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน)	24
9	โปรแกรม Trimble Geomatics Office Wave Baseline Processing	26
ภาพผนวกที่		
1	แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ GPS 3217 ของกรมแผนที่ทหาร	41
2	แบบบันทึกหมุดหลักฐานทางราบ GPS 3220 ของกรมแผนที่ทหาร	42
3	ตัวอย่างการสร้างหมุดหลักฐานการแผนที่แบบ ข ของกรมแผนที่ทหาร	43
4	หมุดหลักฐานการแผนที่แบบ ข ภายในสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์ห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง	44
5	การวางแปลนตัวอย่าง และการหาค่าการปกคลุมเรื่อนยอด	45
6	การรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS	46

อิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

Influence of Crown Cover on Precision Values of Global Positioning System

คำนำ

พื้นที่ป่าในแต่ละท้องที่ประกอบด้วยพรรณไม้หลากหลายชนิด มีจำนวนชั้น และการปกคลุมเรือนยอดแตกต่างกัน หากพิจารณาโครงสร้างของป่าจะพบว่าป่าแต่ละแห่งประกอบด้วยต้นไม้ที่มีชั้นอายุแตกต่างกัน ลักษณะเรือนยอด ความหนาแน่นของเรือนยอด และรูปทรงของเรือนยอดต้นไม้ เป็นอีกปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นไม้ โครงสร้างของเรือนยอดที่แน่นทึบในพื้นที่ป่าธรรมชาติ เป็นอุปสรรคที่สำคัญประการหนึ่งในการสำรวจทรัพยากรป่าไม้ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจุบันได้มีการนำระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) มาใช้ นำทางสำหรับให้ผู้ปฏิบัติงานภาคสนามเดินทางเข้าสู่แปลงตัวอย่างสำรวจทรัพยากรป่าไม้ ตำแหน่งของแปลงตัวอย่างที่ถูกบันทึกด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System: GIS) เพื่อศึกษาข้อมูลเชิงพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่การใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนผิวโลกภายใต้พื้นที่ป่าซึ่งมีการปกคลุมเรือนยอดของต้นไม้แน่นทึบ มีผลให้การรับสัญญาณดาวเทียม GPS ของเครื่องรับ เกิดปัญหาเนื่องจากการบดบังสัญญาณดาวเทียม GPS ผลกระทบดังกล่าวจะทำให้การกำหนดตำแหน่งด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS เกิดความผิดพลาด

การศึกษาอิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกจะทำให้ทราบถึงความแม่นยำของการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ภายใต้สภาพการปกคลุมเรือนยอดที่แตกต่างกัน อันจะมีความสำคัญต่อผู้ที่ปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการสำรวจทรัพยากรป่าไม้หรืองานที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานกำหนดตำแหน่งบนโลกในพื้นที่ป่า โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่ต้องการรับสัญญาณดาวเทียม GPS เพื่อกำหนดตำแหน่งในการปฏิบัติงานที่ต้องการความแม่นยำสูง โดยเฉพาะบริเวณที่เป็นพื้นที่ป่า หากไม่สามารถหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีการปกคลุมเรือนยอดได้ จะส่งผลกระทบต่อค่าความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งของจุดนั้น ค่าที่ได้จะมีความแม่นยำต่ำ อันจะทำให้ตำแหน่งบริเวณนั้นคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ดังนั้นควรเลือกตำแหน่งในการรับสัญญาณดาวเทียม GPS ภายใต้การปกคลุมเรือนยอดที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบน โลกภายใต้อิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอด
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบค่าความแม่นยำที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว

การตรวจเอกสาร

การศึกษาอิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ได้ทำการตรวจเอกสาร เพื่อให้ครอบคลุมประเด็นที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

1. ความเป็นมาของระบบดาวเทียม GPS

ธนัช (2543) กล่าวว่า ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกหรือดาวเทียมระบบ GPS เป็นระบบดาวเทียมที่พัฒนาต่อเนื่องมาจากดาวเทียมระบบทรานสิต (Transit) หรือระบบดอปเปลอร์ (Doppler) การรังวัดดาวเทียมระบบ GPS เป็นการสำรวจด้วยเทคโนโลยีใหม่ ซึ่งไม่จำเป็นต้องรังวัดระหว่างหมุดบนพื้นดินด้วยกัน แต่เป็นการรังวัดระหว่างหมุดบนพื้นดินกับดาวเทียม GPS ทำให้หมุดบนพื้นดินที่ทำการรังวัดไม่จำเป็นต้องมองเห็นซึ่งกันและกัน การรังวัดจึงเป็นอิสระ ไม่ขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศ สามารถวางหมุดที่ต้องการทราบค่าไว้ในที่ต่างๆ ที่ทำการรังวัดด้วยดาวเทียม

2. องค์ประกอบของระบบ GPS

วิวัธน์ (2549) ได้แบ่งองค์ประกอบของระบบ GPS ออกเป็น 3 ส่วน (ดังภาพที่ 1)

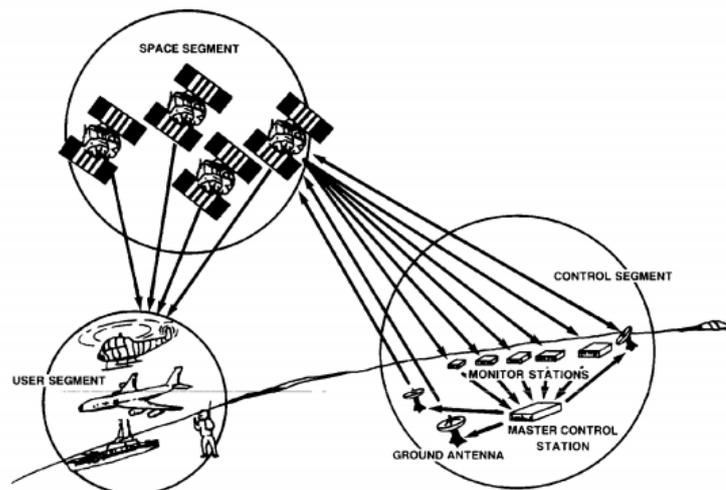
2.1 ส่วนอวกาศ (Space Segment) ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โคจรรอบโลกที่ความสูง 20,200 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง ดาวเทียมมีการเรียงตัวใน 6 ระนาบวงโคจร ซึ่งลักษณะเช่นนี้ทำให้ผู้ใช้งานสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS ได้คราวละมากกว่า 5 ดวงในเวลาเดียวกัน

2.2 ส่วนผู้ใช้ (User Segment) มีหน้าที่ปรับปรุงเครื่องรับสัญญาณให้มีความทันสมัยมากขึ้น และให้ค่าความแม่นยำสูง ในการทำงานของเครื่องรับสัญญาณ เมื่อเครื่องรับสัญญาณได้รับสัญญาณจากดาวเทียม GPS เครื่องรับสัญญาณจะคำนวณตำแหน่งปัจจุบัน และแสดงผลเป็นค่าพิกัด ณ ตำแหน่งนั้น เพื่อให้ผู้ใช้ทราบตำแหน่งที่ตนเองอยู่

2.3 ส่วนควบคุม (Control Segment) สถานีควบคุมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ

2.3.1 สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station) ตั้งอยู่ที่ Falcon AFB Colorado Springs ประเทศสหรัฐอเมริกา ทำหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการทั่วไป และให้บริการแก่สถานีติดตามตรวจสอบ เป็นศูนย์กลางที่ให้การสนับสนุนการปฏิบัติงานด้วยดาวเทียม GPS โดยสถานีควบคุมหลักจะทำหน้าที่คำนวณตำแหน่ง และเวลา ความคลาดเคลื่อนของดาวเทียม GPS แต่ละดวง และส่งคำสั่งแก้ไขกลับไปยังสถานีติดตามตรวจสอบเพื่อส่งไปยังดาวเทียมแต่ละดวง

2.3.2 สถานีติดตามตรวจสอบ (Monitor Station) มีทั้งหมด 4 สถานี ตั้งอยู่ที่ Hawaii, Ascension Island, Diego Garcia และ Kwajalein โดยทำการตรวจสอบความสูง ตำแหน่ง ความเร็ว และวงโคจรทั่วไปของดาวเทียม GPS สถานีติดตามตรวจสอบ ดำเนินการตรวจสอบดาวเทียมได้ครั้งละ 11 ดวง



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของระบบ GPS

ที่มา: Navstar GPS User Equipment Introduction (1996)

3. สัญญาณดาวเทียม GPS

คลื่นสัญญาณจากดาวเทียม GPS (GPS Signal) เป็นคลื่นวิทยุ ประเภท 2 ความถี่ประกอบด้วย คลื่นพาห์ L1 และคลื่นพาห์ L2 คลื่นวิทยุดังกล่าวจะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulate) ด้วยรหัส และข้อมูลดาวเทียม รหัสที่ใช้ในการกล้ำสัญญาณมี 2 ชนิดคือ C/A Code (Clear Access หรือ Coarse Acquisition) และ P Code (Precise Code หรือ Private Code) โดย C/A Code พลเรือนสามารถใช้งานได้ ส่วน P Code จะสงวนไว้ใช้เฉพาะกิจการทหาร และบางหน่วยงานของรัฐบาลสหรัฐอเมริกา

คลื่นพาห์ L1 จะถูกกล้ำสัญญาณด้วยรหัสทั้งสองชนิด แต่ในคลื่นพาห์ L2 จะถูกกล้ำสัญญาณเพียงรหัส P ส่วนข้อมูลดาวเทียมจะมีทั้งในคลื่นพาห์ L1 และคลื่นพาห์ L2 โดยข้อมูลดาวเทียมจะประกอบด้วย อีพีเมอร์สของดาวเทียมระบบ GPS, เวลาของนาฬิกาของดาวเทียมระบบ GPS, พฤติกรรมของนาฬิกาบนดาวเทียม และสถานภาพของระบบดาวเทียม

ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS จะแสดงอยู่ในระบบพิกัดจีออเดติก (Geodetic) ซึ่งจะบอกค่าพิกัดเป็น ละติจูด (Latitude), ลองจิจูด (Longitude) และความสูงเหนือรูปทรงรี (Height) ในบางครั้งมีการแปลงค่าพิกัดให้อยู่ในระบบพิกัดฉากยูทีเอ็ม (UTM: Universal Transverse Mercator) ซึ่งจะบอกค่าพิกัดเป็นเมตร ในทิศเหนือ-ใต้ และทิศตะวันออก-ตะวันตก ส่วนค่าความสูงเหนือทรงรีนั้นจะอ้างอิงเหนือรูปทรงรี WGS1984 (กาญจนดิษฐ์, 2546)

4. ค่าที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม GPS

ชูเกียรติ (2538) ได้กล่าวถึง หลักการของค่าที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียม GPS ที่นำมาใช้ในการกำหนดตำแหน่งมี 2 ชนิดคือ

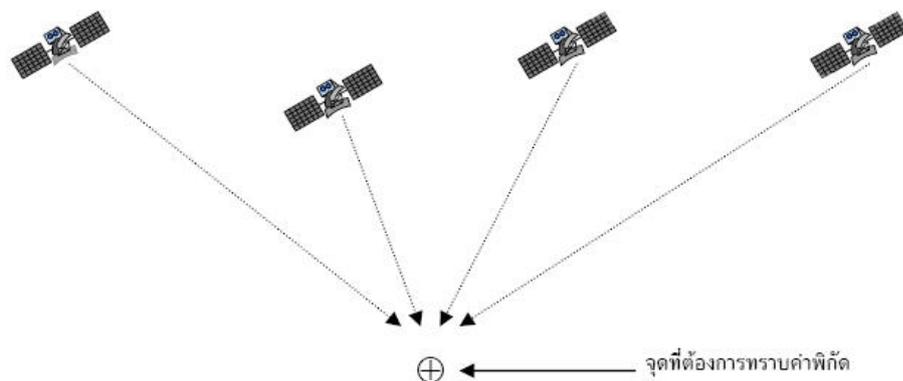
4.1 พิสัยเทียม (Pseudo Range) หรือ การหาค่าพิกัดโดยใช้รหัส (Code Phase) เป็นการวัดระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียม โดยเปรียบเทียบรหัสที่เครื่องรับสัญญาณได้รับจากดาวเทียม GPS ทำให้ทราบระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้เดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จากนั้นนำค่าความแตกต่างของเวลาดังกล่าวคูณกับความเร็วที่คลื่นวิทยุใช้เดินทาง ทำให้ทราบระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมได้ การรับสัญญาณดาวเทียม GPS ในรูปแบบนี้ใช้ได้ทั้งรหัส C/A Code และ P Code โดยส่วนมากใช้กับงานที่ต้องการค่าความแม่นยำต่ำ

4.2 เฟสของคลื่นพาห์ (Carrier Phase) เป็นการวัดเฟสของคลื่นพาห์ที่เครื่องรับสัญญาณได้รับจากดาวเทียม หรือคำนวณผลต่างร่วมกับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้นมาเอง ทั้งนี้จะทราบเฉพาะส่วนที่ไม่เต็มลูกของคลื่นพาห์หรือเฟส ส่วนจำนวนเต็มลูกคลื่นนั้นจะได้อาจจากการคำนวณภายหลัง และเรียกจำนวนเต็มลูกคลื่นนี้ว่า เลขปริศนา (Ambiguity) หลังจากที่ทราบค่าเลขปริศนานี้ก็จะนำไปรวมกับส่วนที่ไม่เต็มลูกของคลื่น คู่กับความยาวคลื่นก็จะได้ระยะทางจากเครื่องรับไปยังดาวเทียม สามารถได้ระยะทางที่ละเอียดกว่าการวัดแบบพิสัยเทียม โดยส่วนมากใช้กับงานที่ต้องการค่าความแม่นยำสูง

5. วิธีกำหนดตำแหน่ง

ชูเกียรติ (2538) อธิบายวิธีการกำหนดตำแหน่งไว้ 2 วิธี ได้แก่

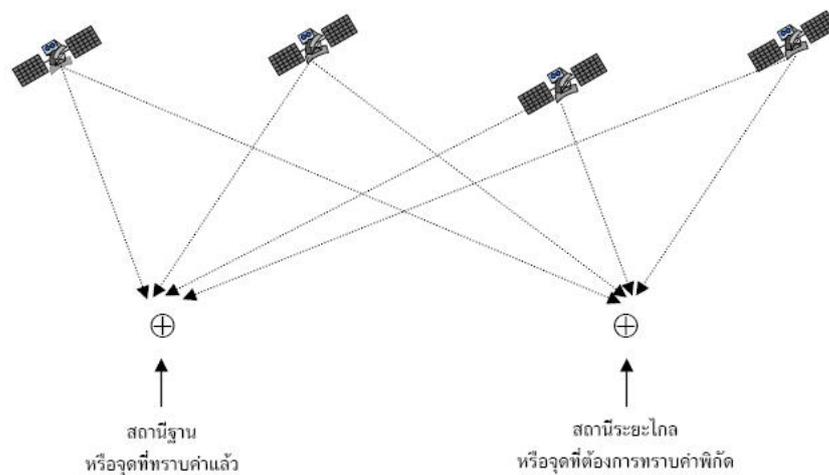
5.1 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning) เป็นการบอกตำแหน่งโดยใช้เครื่องรับเพียงเครื่องเดียว ดังนั้นค่าที่ได้จะมีค่าความแม่นยำต่ำ โดยปกติจะใช้วิธีวัดแบบพิสัยเทียม ในการหาตำแหน่งแบบนี้จะต้องใช้ดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อหาค่าพิกัดทางราบ และค่าความสูงเหนือทรงรี (X, Y, Z) ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากนาฬิกา (T) โดยค่าความถูกต้องจะมีมากขึ้นเมื่อใช้รหัส C/A Code



ภาพที่ 2 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning)

ที่มา: Sickle (1996)

5.2 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) เป็นการบอกตำแหน่งโดยใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อย 2 เครื่อง เครื่องหนึ่งจะตั้งอยู่ที่สถานีฐาน (Base Station) หรือหมุดที่ทราบค่า และอีกเครื่องหนึ่งคือสถานีระยะไกล (Remote Station) หรือจุดที่ต้องการทราบค่า โดยเครื่องรับที่สถานีฐาน และสถานีระยะไกลต้องรับวัดไปยังดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน โดยเหตุที่ความคลาดเคลื่อนเป็นระบบ (Systematic Error) เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจร, ความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศ เป็นต้น มีผลต่อพิสัยเทียบ และการคำนวณตำแหน่งในลักษณะที่คล้ายกัน และมีขนาดเท่ากัน เมื่อคำนวณค่าต่างของตำแหน่งทั้งสอง ความคลาดเคลื่อนเหล่านั้นจึงหักล้างกันไปจนเกือบหมด ดังนั้นค่าที่ได้จึงมีค่าความแม่นยำสูง



ภาพที่ 3 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

ที่มา: Sickle (1996)

6. ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการรับสัญญาณดาวเทียม GPS

การหาค่าพิกัดจากดาวเทียม GPS ให้ความสะดวกรวดเร็ว และมีความถูกต้องของค่าพิกัด โดยอาศัยเทคโนโลยีที่ทันสมัยในปัจจุบัน แต่ค่าพิกัดที่ได้ยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่ เนื่องมาจากข้อจำกัดต่อไปนี้ (Trimble Navigation Ltd, 1996)

6.1 การปล่อยสัญญาณแบบเลือกปฏิบัติ (Selective Availability: SA) เป็นการปล่อยสัญญาณเพื่อรบกวนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ทุกประเภทยกเว้น เครื่องรับสัญญาณที่ใช้งานในหน่วยงานทางทหาร และในหน่วยงานที่ได้รับอนุญาตจากกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อให้ค่าพิกัดมีความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนนี้ ในปัจจุบันการปล่อยสัญญาณแบบเลือกปฏิบัติได้ยกเลิกไปเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2543

6.2 สภาพทางเรขาคณิตของดาวเทียม (Dilution of Precision: DOP) ดาวเทียมระบบ GPS มีความสูงจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร คุณภาพของสัญญาณที่ได้จากดาวเทียม และเรขาคณิตของดาวเทียมจะมีผลต่อการกำหนดตำแหน่ง ค่าเรขาคณิตของดาวเทียมจะบอกด้วยค่า DOP ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ขณะรับวัดมีค่าความน่าเชื่อถือทางเรขาคณิตมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า DOP มีมาก ค่าความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้จะมีน้อย แต่ถ้าค่า DOP ต่ำ หมายความว่าค่าพิกัดที่ได้มีความน่าเชื่อถือมาก เกลิมชนม์ (2546) กล่าวว่า ค่าความถูกต้องที่ได้ขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของดาวเทียม โดยการกระจายตัวของดาวเทียมมีผลต่อค่าความถูกต้องที่ได้รับจากการเล็งสัดขยอน ถ้าดาวเทียมมีการกระจายตัวในท้องฟ้าดี การกระจายตัวในลักษณะนี้เรียกว่า Geometric Dilution of Precision หรือ GDOP ค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของดาวเทียม ในความเป็นจริงแล้วค่า DOP ซึ่งใช้ในการวัดค่าความถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งมีดังนี้

6.2.1 PDOP (Position Dilution of Precision) ความแม่นยำของตำแหน่งสามมิติ

6.2.2 HDOP (Horizontal Dilution of Precision) ความแม่นยำของตำแหน่งทางราบ

6.2.3 VDOP (Vertical Dilution of Precision) ความแม่นยำของตำแหน่งทางตั้ง

6.2.4 TDOP (Time Dilution of Precision) ความแม่นยำของเวลา

ค่า DOP เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของเรขาคณิตดาวเทียม และใช้วัดความถูกต้องของตำแหน่ง ค่า DOP ที่สำคัญคือ PDOP หรือ Position Dilution of Precision ซึ่งบอกความแม่นยำของตำแหน่งสามมิติ เป็นค่าที่นิยมใช้ในการบอกความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้จากดาวเทียมมากที่สุด หากค่า PDOP สูง ค่าพิกัดที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งสูง และค่า PDOP ที่แนะนำจากบริษัท Trimble ผู้ผลิตเครื่องรับสัญญาณที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ไม่ควรมากกว่า 6.0 (Trimble Navigation Ltd, 1996)

ในการคำนวณ DOP เป็นอัตราส่วนระหว่างความถูกต้องของตำแหน่งกับความถูกต้องของการวัดระยะ (ดังสมการที่ 1)

$$\sigma = DOP\sigma_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ σ คือความถูกต้องของตำแหน่ง

σ_0 คือความถูกต้องของการวัดระยะ

ตัวอย่างเช่น เรขาคณิตดาวเทียมมีค่า DOP เท่ากับ 2 ระยะทาง 10 เมตร ค่าความถูกต้องของตำแหน่งที่คำนวณได้จะเป็น 20 เมตร แต่ถ้าเรขาคณิตดาวเทียมมีค่า DOP เท่ากับ 5 ในระยะทางที่เท่ากัน ค่าความถูกต้องของตำแหน่งที่คำนวณได้จะเป็น 50 เมตร ดังนั้นค่า DOP สูงจึงไม่เหมาะที่จะทำงานรังวัดดาวเทียม (กองยื่อเดซีและยื่อฟิสิกส์, 2546)

7. ความคลาดเคลื่อนของค่ารังวัด

กนก (ม.ป.ป.) แบ่งความคลาดเคลื่อนของการรังวัดออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

7.1 ความคลาดเคลื่อนจากความประมาท (Gross Error) หรือค่าคลาดเคลื่อนที่สามารถมองเห็นได้ ตัวอย่างเช่น ผู้ปฏิบัติเล็งเป้าหมายผิด อ่านค่าจากเครื่องมือผิด ขาดความระมัดระวัง การป้องกันมิให้เกิดความผิดพลาดในการรังวัดขึ้นนี้มีความสำคัญมาก และถ้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นจะต้องแน่ใจว่าตรวจพบ และขจัดออกไปก่อนที่จะนำค่าไปใช้ ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้สามารถกำจัดออกไปได้หากผู้ปฏิบัติมีความระมัดระวัง

7.2 ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ (Systematic Error) ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้เกิดขึ้นจากระบบบางอย่าง เช่น แสง อุณหภูมิ หากทราบลักษณะของระบบนั้นก็แสดงออกมาในรูปของความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆในระบบได้ ในรูปของสมการหรือฟังก์ชัน การรังวัดภายใต้สภาพใดๆที่มี Systematic Error เกิดขึ้นถ้ามีการรังวัดซ้ำภายใต้สภาพเดิมก็จะเกิด Systematic Error ขึ้นมาอีก การรังวัดทุกอย่างเราจำเป็นต้องหาความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบนี้แล้วกำจัดความคลาดเคลื่อนนี้ออกไปเพื่อให้มีความถูกต้อง และความละเอียด ของผลการรังวัดได้ดีขึ้น

7.3 ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) ความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ไม่สามารถทราบลักษณะของความคลาดเคลื่อนนั้นได้ เพราะไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆได้ ค่ารังวัดจัดเป็นตัวแปรทางคณิตศาสตร์ชนิดหนึ่ง เป็นตัวแปรสุ่ม (Random Variable) ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้มีพฤติกรรมแบบสุ่ม

8. การประมวลผลพื้นฐานการรังวัดดาวเทียม GPS

การตรวจสอบความถูกต้องของเส้นฐานขึ้นอยู่กับขบวนการที่เรียกว่า "Ambiguity Resolution" ซึ่งเป็นการเปลี่ยนข้อมูลเฟสของคลื่นส่งให้เป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียม GPS ที่มีความละเอียดถูกต้องถึงระดับมิลลิเมตร ซึ่งเลือกประมวลผลเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกัน (Independent Baselines) โดยแต่ละช่วงของการรับสัญญาณจะมีจำนวนเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันต่อกันทั้งหมด $N-1$ เส้น (N คือ จำนวนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้ในการรับสัญญาณในช่วงเวลาการรับสัญญาณนั้น) (กองขี้อเดซี และขี้อพีลีสส์, 2549)

8.1 Solution Type คือ วิธีการคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียม GPS โดยปกติการคำนวณหาระยะทางจะแบ่งตามความยาวเส้นฐาน โดยกำหนดให้ L1 Fixed คือ เส้นฐานที่มีระยะทางสั้นกว่า 5 กิโลเมตร Iono-free fixed คือ เส้นฐานที่มีระยะทางระหว่าง 5 - 30 กิโลเมตร Iono-free float คือ เส้นฐานที่มีระยะทางยาวกว่า 30 กิโลเมตร และควรเลือกจุดรับสัญญาณดาวเทียมที่มีความยาวเส้นฐานใกล้เคียงกัน หรืออยู่ใน Solution Type เดียวกัน

8.2 ค่า Ratio คือ สัดส่วนของความแปรปรวนของการประมวลผลเส้นฐานในแต่ละ Solution หากมีค่ามากแสดงถึงความเชื่อมั่นของระยะเส้นฐาน โดยปกติค่า Ratio กำหนดให้ ไม่น้อยกว่า 1.5 หากเส้นฐานใดมีค่า Ratio น้อยกว่า 1.5 แล้ว ควรพิจารณาเลือกเส้นฐานใหม่

8.3 ค่า Reference Variance คือ สัดส่วนของความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ใน Solution กับความคลาดเคลื่อนที่ประมาณไว้ล่วงหน้า เป็นการบอกความเข้ากันได้ของข้อมูลการรังวัด (Observation Data) กับการหาระยะเส้นฐาน (Baseline Solution) ตามรายงานผลการสำรวจแผนที่สนาม ชุดปฏิบัติงานรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS ควรเท่ากับ 1 และไม่มากกว่า 10

8.4 ค่ากำลังสองของความคลาดเคลื่อน (Root Mean Square: RMS) โดยรวมในแต่ละสมการค่าสังเกต ซึ่งเป็นการบอกถึงความละเอียดของระยะเส้นฐานที่คำนวณได้ โดยปกติไม่ควรมากกว่า 0.03 เมตร

8.5 ค่า Position Dilution of Precision (PDOP) แสดงถึงลักษณะการวางตัวของดาวเทียมหรือเรขาคณิตของดาวเทียม ทางตำแหน่ง 3 มิติ ค่า PDOP ที่ดีควรอยู่ระหว่าง 1-6

9. การตรวจสอบการเข้าบรรจบของเส้นฐาน

การตรวจสอบการเข้าบรรจบของเส้นฐาน (Loop Closure) มีเพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นก่อนที่จะนำเส้นฐานไปเป็นข้อมูลในการปรับแก้โครงข่าย (Network Adjustment) โดยการบรรจบของเส้นฐานในการสำรวจมีเกณฑ์การยอมรับค่าคลาดบรรจบ (Misclosure) ที่แตกต่างกันตามเกณฑ์ของงานรังวัด (กองยี่ห้อเดซี่ และยี่ห้อฟิสกส์, 2549)

10. การปรับแก้โครงข่าย GPS

การปรับแก้โครงข่าย GPS เพื่อหาค่าพิกัด ทั้งทางราบและทางตั้ง แบบ Least Square เป็นวิธีการของสมการค่าสังเกต ซึ่งสามารถทำได้ง่ายกว่าวิธีการของสมการเงื่อนไขที่ต้องมีการคิด และตรวจสอบไม่ให้เงื่อนไขที่สร้างขึ้นมีความซ้ำซ้อน ข้อด้อยของวิธีสมการค่าสังเกต คือ จะทำให้เกิดระบบสมการสำหรับการคำนวณที่มีขนาดใหญ่ แต่ปัญหาดังกล่าวแทบจะไม่มีผลกระทบต่อ การปรับแก้โครงข่าย GPS เพราะทรัพยากรทางด้านหน่วยความจำ และระบบการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว สมการค่าสังเกตสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าที่ปรับแก้แล้วได้ดังนี้ (กองยี่ห้อเดซี่และยี่ห้อฟิสกส์, 2546)

$$La = F(Xa) \quad \dots\dots\dots (2)$$

เมื่อ La คือค่าสังเกตของเส้นฐาน
 Xa คือตัวแปรของค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้

การปรับแก้โครงข่ายโดยวิธีการปรับแก้แบบ Least Square ด้วยโปรแกรม Network Adjustment ซึ่งใช้วิธีสมการค่าสังเกต (ดังสมการที่ 2) แต่การแสดงผลในส่วนของผลลัพธ์ จะถูก

เปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้เกิดความง่ายในการทำ ความเข้าใจ และวิเคราะห์ผลการปรับแก้ ในการปรับแก้โครงข่ายแบบ Least square จะดำเนินการปรับแก้ใน 2 ลักษณะ ได้แก่

10.1 การปรับแก้โครงข่ายแบบ Minimally Constrained Adjustment หรือ Free Adjustment ใช้เพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความเข้ากัน ในโครงข่าย GPS ของข้อมูลรังวัดและ เพื่อตรวจสอบคุณภาพ ความน่าเชื่อถือ ความถูกต้องของค่าพิกัดสถานีที่จะใช้เป็นจุดควบคุมของ โครงข่าย

10.2 การปรับแก้โครงข่ายแบบ Fully Constrained Adjustment ใช้เพื่อยึดตรึงเข้ากับระบบ พิกัดของประเทศ โดยจะทำการกำหนดจุดควบคุมในโครงข่าย GPS ในการกำหนดจุดควบคุม เพื่อให้การปรับแก้โครงข่าย GPS เป็นไปอย่างสมบูรณ์

11. การวิเคราะห์ค่าทางสถิติภายหลังการปรับแก้โครงข่าย GPS

เงื่อนไขสำคัญของการปรับแก้โครงข่าย GPS แบบ Least Square ประกอบด้วย

11.1 ความสมบูรณ์ของโครงข่ายทั้งในเชิงคณิตศาสตร์ และเชิงเรขาคณิต

11.2 ค่าผลรวมของเศษยกกำลังสอง มีค่าน้อยที่สุด ด้วยเงื่อนไขดังกล่าว จะเป็นหนทางที่ทำให้โครงข่ายมีความถูกต้องมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ สิ่งที่จะสามารถยืนยันความสมบูรณ์ของการปรับแก้ คือผลลัพธ์ที่เป็นค่าทางสถิติต่างๆ และการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ ผลที่ได้จากการปรับแก้ควรได้รับการพินิจ และวิเคราะห์อย่างถี่ถ้วน ดังนี้

1) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Error: σ) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีความสำคัญ ในการปรับแก้แบบ Least Square เพราะเป็นตัวที่ใช้ในการประมาณค่าผลรวมของเศษยกกำลังสองของค่าสังเกตในโครงข่ายการปรับแก้ เพื่อที่จะรวมหาค่าน้ำหนักของค่าสังเกต รวมถึงการ ประมาณค่าความคลาดเคลื่อนต่างๆของโครงข่ายในการปรับแก้ (ดังสมการที่ 3)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

เมื่อ $\sum v^2$ คือผลรวมของค่าเศษคงเหลือยกกำลังสอง
 n คือจำนวนค่าสังเกต

2) ค่าความแปรปรวน (Variance: σ^2) ค่าความคลาดเคลื่อนในโครงข่ายถูกสะสมมากขึ้นเป็นผลมาจากผลรวมของค่าความแปรปรวน เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลรวมระยะทางสองระยะ

3) ค่าน้ำหนักของค่าสังเกต (Weighted: P) มีค่าเท่ากับส่วนผกผันของความแปรปรวน ค่าน้ำหนักมีความจำเป็นในการปรับแก้โครงข่าย GPS เนื่องมาจากความไม่เท่าเทียมกันของการรังวัด หากการรังวัดค่าสังเกตในโครงข่ายมีมาตรฐานเดียวกันทั้งหมด ก็ไม่มีความจำเป็นต้องกำหนดค่าน้ำหนักให้กับค่าสังเกต (ดังสมการที่ 4)

$$p = \frac{1}{\sigma^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

4) ค่าเศษคงเหลือ (Residuals: v) เพื่อดูว่าค่าสังเกตใดมีปริมาณค่าเศษคงเหลือมาก ซึ่งอาจเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของค่าสังเกต

5) Reference Factor (Standard Error of Unit Weight) เป็นค่าสถิติที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบว่าปริมาณค่าเศษคงเหลือทั้งหมดในโครงข่าย มีค่าตามเกณฑ์ หรืออยู่ในขอบเขตของค่าคลาดเคลื่อนของเครื่องมือที่ใช้รังวัดหรือไม่ ถ้าค่าคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตเท่ากับค่าที่ประมาณไว้ จะทำให้ค่า Reference Factor มีค่าเท่ากับ 1.0 (ดังสมการที่ 5)

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum wv^2}{r}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

เมื่อ $\sum wv^2$ คือ Sum of the weighted squares of the residuals for independent observation
 r คือ องศาความเป็นอิสระ

6) การทดสอบ Chi square เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองปริมาณความคลาดเคลื่อนที่มีอยู่มีความเหมาะสมหรือไม่ที่ระดับนัยสำคัญหรือที่ความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ในบางครั้งแม้ว่าค่า Reference Factor มีค่ามากกว่า 1 ก็มิได้หมายความว่าโครงข่ายที่ทำการปรับแก้ในครั้งนั้นใช้ไม่ได้ เพื่อที่จะตรวจสอบว่าโครงข่ายนั้นมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ วิธีการตรวจสอบสมมติฐานยอมรับค่าความคลาดเคลื่อน โดยใช้วิธี Chi square จึงเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ทดสอบ

7) Tau Criterion and Standard Error of the Residual ในการทดสอบสถิติในการปรับแก้แบบ Least square ถูกออกแบบให้ช่วยในการขจัดค่าสังเกตที่มีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่ แฝงอยู่ แต่ละค่าสังเกตจะถูกคำนวณค่าเพื่อทดสอบขึ้นมาใหม่ โดยการหารค่าเศษเหลือที่คำนวณได้กับค่าเศษเหลือที่มีผลจากการแพร่ความคลาดเคลื่อน ถ้าค่าที่ได้มีขนาดมากกว่าค่า The Criterion Tau Value เป็นสิ่งที่บอกเหตุว่าค่าสังเกตนั้นมีค่าความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ และควรพิจารณาขจัดออกจากการปรับแก้

8) Histogram of Standardized Residuals เป็นการแสดงภาพรวมของความน่าจะเป็นจากการทดสอบทางสถิติต่างๆ ว่ามีการกระจายตัวหรือเข้าใกล้ค่าที่คาดการณไว้อย่างไร

9) Coordinate Error Ellipses รูปร่างวงรีที่ใกล้เคียงวงกลม และมีขนาดเล็ก แสดงถึงภาวะที่ดีของการออกแบบโครงข่าย รูปร่างที่ไม่แน่นอน และมีขนาดใหญ่ชี้ให้เห็นถึงปัญหาของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากค่าสังเกตที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนในทิศทางนั้นๆ

การปกคลุมเรือนยอด

เรือนยอดของต้นไม้เป็นองค์ประกอบของโครงสร้างที่มีความสำคัญ และทำให้ต้นไม้เจริญเติบโตได้ ป่าที่ประกอบด้วยพรรณไม้นานาชนิดจะประกอบด้วยเรือนยอดที่มีความหลากหลาย โครงสร้างของเรือนยอดจึงมีความแตกต่างกัน โครงสร้างเรือนยอดทางด้านตั้ง (Stratification) เป็นลักษณะการจับกลุ่มเป็นชั้นๆ ของเรือนยอด ปริมาณของชั้นเรือนยอดในแต่ละสังคมพืชแตกต่างกันไปตามลักษณะของสังคมนั้นๆ ชั้นเรือนยอดของสังคมที่อยู่ในขั้นการทดแทนมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ แต่ในสังคมที่เป็นสังคมถาวรส่วนมากมีสภาพคงที่

การหาค่าการปกคลุมเรือนยอดกระทำได้หลายวิธี การถ่ายภาพเรือนยอดเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้น โดยใช้ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ (Leaf Area Index: LAI) และสภาพแสงภายใต้เรือน

ยอด โดยการถ่ายภาพจากพื้นดินไปหาเรือนยอด ใช้กล้องติดกับเลนส์ที่มีมุมกว้าง 180 องศา (Fish Eye Lens) ภาพที่ได้เป็นภาพถ่ายแบบ Hemispherical Photography ที่สามารถรองรับแสงจากดวงอาทิตย์ได้ในทุกทิศทาง ดังนั้นช่วงเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพคือช่วงเช้า และเย็นที่ท้องฟ้าโปร่งใส และแสงแดดไม่จัด เพื่อลดการสะท้อนของแสงในภาพเรือนยอดที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการจำแนกส่วนของท้องฟ้าที่มองเห็น และส่วนที่ถูกบดบังด้วยเรือนยอดของหมู่ไม้ในโปรแกรมวิเคราะห์ภาพถ่ายเรือนยอด

1. การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายแบบ Hemisphere

การถ่ายภาพแบบ Hemisphere เป็นการบันทึกภาพของท้องฟ้าโดยรูปภาพ อาจได้มาโดยฟิล์มจากกล้องถ่ายรูปธรรมดา หรือกล้องถ่ายรูปดิจิทัลเลนส์ตาปลา (Fish Eye Lens) ที่ถ่ายขึ้นไปบนท้องฟ้า ผลของภาพถ่ายสามารถวิเคราะห์ส่วนต่างๆ ของท้องฟ้าที่มองเห็น และส่วนที่บดบังท้องฟ้า เช่น เรือนยอด หรือโครงสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น หลักการของการใช้ภาพถ่ายดังกล่าว อาศัยความชัดเจนของท้องฟ้า และสิ่งที่ยบดบังท้องฟ้า ภาพถ่ายแบบ Hemisphere สามารถใช้ในการคำนวณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และลักษณะเรือนยอดของพืช เช่น คำนวณพื้นที่ผิวใบ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะให้รายละเอียดเกี่ยวกับการกระจายของแสงบริเวณภายใต้เรือนยอดของพืช หรือต้นไม้ ซึ่งในการคำนวณการกระจายของแสงจากภาพถ่ายเรือนยอดของป่า โดยใช้เลนส์ตาปลาจะให้ปริมาณความเข้มแสงที่กระจายทั่วไปจากท้องฟ้าเป็น Diffuse Light โดยการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยคอมพิวเตอร์ และเทคนิคการวิเคราะห์รูปภาพดิจิทัล ทำให้ผลของการวิเคราะห์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ภาพถ่ายแบบ Hemisphere แสดงเป็นรูปภาพในแนวราบ แต่ละตำแหน่งของรูปภาพมีความสัมพันธ์ตรงกันกับทิศทางของท้องฟ้า และทิศทางของท้องฟ้าจะเป็นความสัมพันธ์ของมุม 2 มุม คือมุมจุดที่ตรงศีรษะบนท้องฟ้า (Zenith) และมุมที่ทำกับทิศเหนือ (Azimuth) ระยะเวลาในภาพถ่าย Hemispherical เป็นระยะที่มีความสัมพันธ์กับมุม ไม่ใช่ระยะเวลาตามความเป็นจริง ภายในภาพถ่ายนั้นส่วนประกอบของรัศมีของระยะเวลา คือ สัดส่วนของมุม Zenith จุดที่ตรงศีรษะบนท้องฟ้า และระยะในส่วน โค้งที่ติดกับรัศมี คือ สัดส่วนของมุม Azimuth ซึ่ง เรือนยอดไม้ที่มีความสูงแตกต่างกันอาจสามารถอยู่ในมุมเดียวกันได้ซึ่งจะปรากฏในภาพแบบ Hemisphere (คูริยะ, 2547)

2. ขั้นตอนพื้นฐานของการถ่ายภาพ Hemispherical

คูริยะ (2547) กล่าวถึงขั้นตอนพื้นฐานของการถ่ายภาพ และการวิเคราะห์รูปภาพแบบ Hemisphere มีดังนี้

2.1 การถ่ายภาพแบบ Hemisphere ใช้วิธีการถ่ายด้วยกล้องที่ติดตั้งตาปลาถ่ายขึ้นไปบนท้องฟ้าจากตำแหน่งที่ศึกษา (เช่น จากข้างใต้เรือนยอดไม้) หรือในปัจจุบันสามารถถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลโดยตรง

2.2 การแปลงภาพเป็นระบบดิจิทัล (Digitization) การแปลงภาพถ่ายฟิล์มเป็นรูปภาพเชิงเลข โดยการกวาดภาพ ด้วยเครื่องกวาดภาพ ซึ่งหากถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัลสามารถข้ามขั้นตอนนี้ได้

2.3 การวิเคราะห์ภาพถ่าย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

2.3.1 การจำแนกภาพถ่าย เพื่อบอกลักษณะของท้องฟ้าและส่วนที่บดบัง เช่น ส่วนของเรือนยอด หรือใบ

2.3.2 การคำนวณความชัดเจนของท้องฟ้าและสิ่งกีดขวาง

2.3.3 การคำนวณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ และภายใต้เรือนยอด

2.3.4 การแสดงผลลัพธ์

3. ลักษณะของความคลาดเคลื่อนของการถ่ายภาพ Hemispherical

คูริยะ (2547) กล่าวว่า สำหรับการถ่ายภาพแบบ Hemisphere มีข้อผิดพลาดที่สามารถเกิดขึ้นได้หลายขั้นตอนทั้งในขั้นตอนการถ่ายภาพ การแปลงภาพเข้าสู่ระบบดิจิทัล และการวิเคราะห์ภาพถ่าย เพราะสุดท้ายขั้นตอนทั้งหมดจะนำไปสู่การได้มาซึ่งข้อมูล ข้อผิดพลาดที่สะสมมาจากขั้นตอนต่างๆ ทำให้ผลของการวิเคราะห์ภาพถ่ายมีความคลาดเคลื่อน สาเหตุของข้อผิดพลาดในการถ่ายภาพแบบ Hemisphere ได้แก่

3.1 ตำแหน่งของกล้องถ่ายรูป (Camera Position)

3.2 การเปิดหน้ากล้อง (Exposure)

3.3 คุณภาพของรูปภาพ (Image Quality) ความละเอียดของภาพ (Resolution) และ การเก็บข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล (Digitization)

3.4 การตั้งพิกัด (Alignment with Co-ordinate)

3.5 การวิเคราะห์รูปภาพการแยกส่วนของท้องฟ้าที่มองเห็น ได้ออกจากสิ่งขวางกั้น

3.6 การแก้ไขหรือการตกแต่งภาพ และการคำนวณ

การถ่ายภาพเรื่อนยอดจะมีขั้นตอนในการปฏิบัติ เพื่อให้ได้ภาพถ่ายแบบ Hemispherical แล้วนำภาพที่ได้มาคำนวณด้วยโปรแกรม Hemi view 2.1 เพื่อวิเคราะห์ภาพ โดยแปลงภาพจากภาพสีจริง (True Color) ให้เป็นภาพสีเทา (Gray Color) แล้วเลือกรูปแบบหรือวิธีการจำแนก (Classified) โดยตั้งค่า Threshold เพื่อปรับภาพให้มีความใกล้เคียงกับรูปที่นำเข้า (ดังภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ภาพถ่ายแบบ Hemispherical Photography

4. ชั้นเรื่อนยอดทางด้านตั้ง (Stratification)

อุทิส (2542) ได้กล่าวถึงลักษณะที่สำคัญของสังคมพืชประการหนึ่ง คือ โครงสร้างทางด้านตั้งของสังคม เป็นลักษณะการจับกลุ่มเป็นชั้นๆ ของเรื่อนยอด ปริมาณของชั้นเรื่อนยอดในแต่ละสังคมพืชแตกต่างกันไปตามลักษณะของสังคมนั้นๆ ชั้นเรื่อนยอดของสังคมพืชที่อยู่ในชั้นการ

ทดแทนมีการเปลี่ยนแปลงได้แต่ในสังคมที่เป็นสังคมถาวรมักมีสภาพคงที่ ในพื้นที่ขนาดใหญ่อาจประกอบด้วยชั้นเรือนยอดตั้งแต่ 5 ถึง 7 ชั้น การจำแนกชั้นโดยทั่วไปอาจแบ่งได้ดังนี้

4.1 ชั้นเรือนยอดป่า (Emergent or Super Canopy) เป็นชั้นไม้ที่มีความสูงเป็นพิเศษโผล่เหนือเรือนยอดไม้อื่นอยู่ห่างๆ

4.2 ชั้นเรือนยอดบนสุด (Top Canopy or Upper Story or Layer) เป็นไม้ที่ประกอบเป็นเรือนยอดชั้นบนของสังคม มีเรือนยอดในระดับเดียวกันและต่อเนื่องกันไป อาจมีช่องว่างเกิดขึ้นในบางตอน

4.3 ชั้นเรือนยอดชั้นรอง (Secondary Canopy or Story or Layer) เป็นไม้ที่มีขีดจำกัดความโตขนาดกลาง ต้องการแสงน้อยกว่าชนิดไม้ที่อยู่ชั้นบน

4.4 เรือนยอดชั้นล่าง (Lower Canopy or Story or Layer) เป็นไม้ขนาดเล็กที่มีความทนมร่วมสูง

4.5 ชั้นเรือนยอดของไม้พุ่มเตี้ย (Lower Shrub Layer) เป็นชั้นของไม้พุ่มเตี้ย มีความสูงไม่เกิน 2 เมตร

4.6 ชั้นของหญ้าและพืชล้มลุก (Grass and Herb Layer)

4.7 ชั้นผิวดิน (Ground Surface Cover)

4.8 ชั้นใต้ดิน (Subterranean Layer)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ภาพถ่ายทางอากาศตัดแก้สี่เชิงเลข (Digital Orthophoto) ของกระทรวงเกษตร และ สหกรณ์ มาตรฐาน 1:25000 ถ่ายทำเมื่อวันที่ 18 มกราคม 2545 บริเวณสถานีฝึคนิติวิศวกรรมศาสตร์ ห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง
2. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS รุ่น Trimble 5700 R7
3. กล้องดูภาพสามมิติชนิดพกพา (Pocket Stereoscope)
4. กล้องถ่ายรูป Nikon Cool Pix 4500 และ Fish Eye Lens
5. หัวหมุดทองเหลือง และอุปกรณ์จัดสร้างหมุดหลักฐานการแผนที่ตามแบบของ กรมแผนที่ทหาร
6. เทปวัดระยะ 50 เมตร
7. เข็มทิศ
8. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา
9. เครื่องพิมพ์
10. อุปกรณ์เครื่องเขียน

วิธีการ

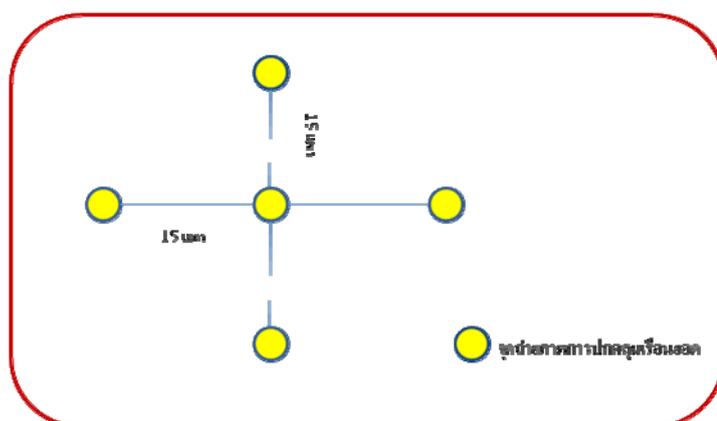
ในงานศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนการปฏิบัติงานออกเป็น 7 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. การแปลภาพถ่ายทางอากาศตัดแก้สีเชิงเลขด้วยสายตา

ทำการแปลภาพถ่ายทางอากาศตัดแก้สีเชิงเลขครอบคลุมพื้นที่สถานีฝึกรวมศาสตร์ห้วยทาก อำเภองาว จังหวัดลำปาง ด้วยสายตา (Visual Interpretation) และจำแนกการปกคลุมเรือนยอด ออกเป็นช่วงชั้น โดยกำหนดให้ตำแหน่งแปลงตัวอย่างกระจายตามความหนาแน่นเรือนยอดหมู่ไม้ที่ จำแนกช่วงชั้น เนื่องจากความสามารถของสายตาที่ใช้จำแนกความแตกต่างของเรือนยอดในแต่ละบุคคลมีความสามารถแตกต่างกัน จึงทำให้การจำแนกความหนาแน่นของเรือนยอดในแต่ละบุคคลแตกต่างกัน

2. การวางแปลงตัวอย่าง

ทำการวางแปลงตัวอย่าง โดยกำหนดจุดกึ่งกลางแปลง แล้ววัดระยะตามแนวทิศเหนือ ได้ ตะวันออก และตะวันตก ห่างจากจุดกึ่งกลางแปลงเป็นระยะทาง 15 เมตร (ดังภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 การวางแปลงตัวอย่าง

3. การสุ่มตัวอย่าง (Random Sampling)

ในแต่ละแปลงตัวอย่างจะประกอบด้วยจุดตัวอย่างจำนวน 5 จุดตัวอย่าง (ดังภาพที่ 5) เพื่อลดอคติในการเลือกจุดภายในแปลงตัวอย่าง ทำการสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) เพื่อหาจุดตัวอย่างเพียง 1 จุด ภายในแปลงตัวอย่างแต่ละแปลงสำหรับใช้เป็นตัวแทนค่าความหนาแน่นของเรือนยอดในการรับสัญญาณดาวเทียม GPS

4. การถ่ายภาพแบบ Hemispherical

ถ่ายภาพการปกคลุมเรือนยอดของจุดตัวอย่างที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบง่ายทั้งหมด โดยปฏิบัติตามขั้นตอนพื้นฐานของการถ่ายภาพแบบ Hemispherical และเลือกช่วงเวลาถ่ายภาพระหว่าง 06.00-08.30 น. เพื่อหลีกเลี่ยงปริมาณแสงที่สะท้อนมากเกินไป คำนวณค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของภาพถ่ายภาพการปกคลุมเรือนยอด โดยใช้โปรแกรม Hemi view 2.1

5. การเลือกหมุดอ้างอิง และสร้างหมุดอ้างอิง

การพิจารณาเลือกหมุดดาวเทียม GPS ที่ใช้อ้างอิงตำแหน่งพิกัดทางราบ โดยต้องเป็นหมุดที่มีสภาพสมบูรณ์ ไม่ถูกทำลายหรือเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งที่ระบุไว้ในแบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ (Description) มีการสำรวจจริงวัดค่าพิกัดซ้ำอย่างต่อเนื่อง และระยะทางระหว่างหมุดที่ใช้ในการอ้างอิงควรมีระยะทางที่ใกล้เคียงกัน ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยทำการเลือกหมุดดาวเทียม GPS ของกรมแผนที่ทหาร เป็นหมุดอ้างอิง จำนวน 2 หมุด ได้แก่ หมุดหมายเลข GPS 3217 จัดทำที่หมู่บ้านสถานี ตำบลห้วยฉัตร อำเภอห้วยฉัตร จังหวัดลำปาง (ดังภาพผนวกที่ 1) ระยะทางห่างจากสถานีฝัก 67.7 กิโลเมตร และหมุดหมายเลข GPS 3220 จัดทำที่โรงเรียนบ้านศาลา ตำบลคอนแก้ว อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ (ดังภาพผนวกที่ 2) ระยะทางห่างจากสถานีฝัก 100.6 กิโลเมตร

หมุดอ้างอิงหรือหมุดดาวเทียมที่สร้างใหม่ ณ บริเวณสถานีฝักนิสิตวนศาสตร์ห้วยทาก จะใช้มาตรฐานตามระเบียบกรมแผนที่ทหารว่าด้วย ลักษณะหมุดหลักฐานการแผนที่ พ.ศ.2538 รูปแบบหมุดหลักฐานการแผนที่ แบบ ข (ดังภาพผนวกที่ 3) โดยกำหนดชื่อหมุดที่สร้างใหม่ ณ บริเวณสถานีฝักนิสิตวนศาสตร์ห้วยทาก คือ KUFF00 ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้หมุดหมายเลข GPS

3217 และ GPS 3220 เป็นจุดอ้างอิงในการรังวัดแบบสถิต (ดังภาพที่ 6) และจุด KUFF00 เป็นจุดอ้างอิงในการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 6 หมุดรังวัดดาวเทียม GPS 3217 และ GPS 3220 ของกรมแผนที่ทหาร

6. การรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS

การรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิด 2 ความถี่ รุ่น Trimble 5700 R7 (ดังภาพที่ 7) โดยการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจะใช้วิธีการรังวัดทั้งหมด 2 วิธี คือ

6.1 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) ด้วยวิธีการแบบสถิต (Static) จะใช้เวลาในการรังวัด 120 นาทีต่อคาบการรังวัด โดยมีจำนวนจุดรังวัดที่ใช้ต่อการรังวัดในแต่ละครั้ง 3 จุด คือ หมุดอ้างอิงของกรมแผนที่ทหาร 2 หมุด (ดังภาพที่ 6) และจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด 1 จุด จะใช้เวลาในการรังวัดทั้งหมด 2 คาบการรังวัด

6.2 การกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) ด้วยวิธีการแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Fast Static) จะใช้เวลาในการรังวัด 25 นาทีต่อคาบการรังวัด โดยมีจำนวนจุดรังวัดที่ใช้ต่อการรังวัดในแต่ละครั้ง 2 จุด คือหมุด KUUFF00 ใช้เป็นหมุดอ้างอิง และจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด 1 จุด จะใช้เวลาในการรังวัดทั้งหมด 2 คาบ

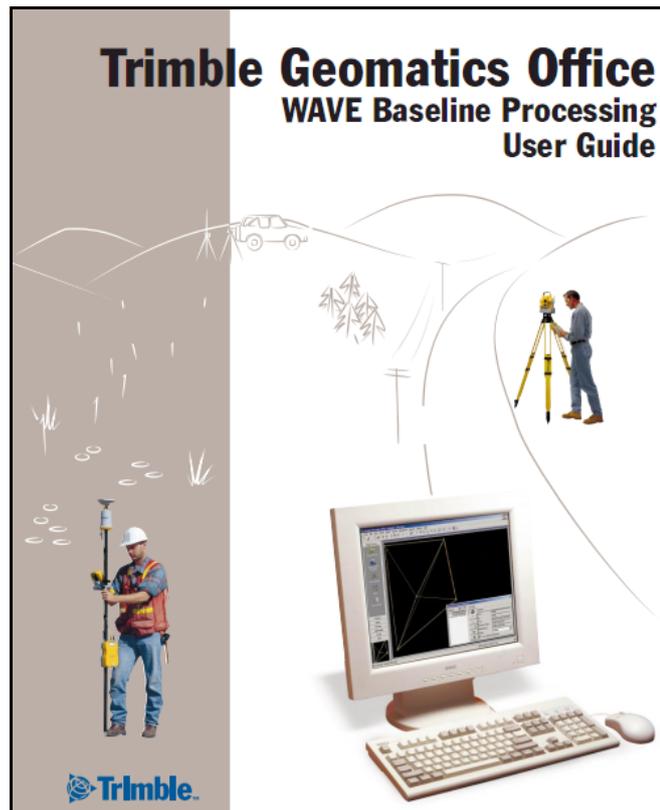


ภาพที่ 7 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิด 2 ความถี่ รุ่น Trimble 5700 R7

7. การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดดาวเทียม GPS

การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดทั้งแบบสถิต และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว ใช้หลักเกณฑ์เบื้องต้นในการประมวลผล และกำหนดความละเอียดถูกต้องของการกำหนดตำแหน่งด้วยวิธีการ

รังวัดดาวเทียมระบบ GPS แบบสัมพัทธ์ และการประมวลผลด้วยโปรแกรม Wave Baseline Processing ใน Trimble Geomatics Office 1.6 (ดังภาพที่ 8) จะมีเกณฑ์การยอมรับทางสถิติจากการประมวลผลเส้นฐานซึ่งกำหนดไว้ในโปรแกรมสำหรับการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิด 2 ความถี่ ดังต่อไปนี้ ค่า Ratio ไม่น้อยกว่า 1.5 ค่า Reference Variance ควรเท่ากับ 1 แต่ไม่มากกว่า 10 ค่า RMS ไม่ควรมากกว่า 0.03 เมตร และค่า PDOP ไม่มากกว่า 6



ภาพที่ 8 โปรแกรม Trimble Geomatics Office Wave Baseline Processing

ที่มา: Trimble Navigation Ltd. (1996)

7. การตรวจสอบการเข้าบรรจบ

การตรวจสอบการเข้าบรรจบของโครงข่ายภายหลังจากการประมวลผลเส้นฐานกำหนดให้เกณฑ์การยอมรับค่าคลาดบรรจบ ไม่มากกว่า 10 ppm. (1:100,000) ในการตรวจสอบการบรรจบของเส้นฐานจะมีการตรวจสอบการบรรจบของเส้นฐานเฉพาะจุดรังวัดที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับทาง

สถิติจากการประมวลผลเส้นฐานด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิติเท่านั้น ส่วนวิธีการรังวัดแบบสถิติอย่างเร็วจะทำการรังวัดเพียง 2 จุดการรังวัด จึงไม่มีตรวจสอบการเข้าบรรจบของเส้นฐาน

8. การวิเคราะห์ และปรับแก้โครงข่าย

การวิเคราะห์ และปรับแก้ข้อมูล (Analysis and Adjustment) จะปรับแก้ผลการรังวัดข้อมูลแบบสัมพัทธ์ของโครงข่ายดาวเทียมระบบ GPS ในทางปฏิบัติ นำเส้นฐานที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติจากการประมวลผลเส้นฐาน และผ่านเกณฑ์การตรวจสอบการเข้าบรรจบ มาทำการปรับแก้โครงข่ายด้วยโปรแกรม Trimble Geomatics Office 1.6 โดยกำหนดให้ค่า Chi Square Test ที่ α เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

9. ค่าทางสถิติที่บ่งบอกถึงค่าความแม่นยำของจุดรังวัด

ในขั้นตอนการประมวลผลเส้นฐานด้วยโปรแกรม Wave Baseline Processing ใน Trimble Geomatics Office 1.6 จะมีค่าทางสถิติ 3 ค่า คือ ค่า Ratio Reference ค่า Variance และ ค่า RMS โดยค่าทางสถิติดังกล่าวจะเป็นค่าที่ใช้ตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเส้นฐานที่ได้จากการรังวัดระหว่างจุดรังวัด 2 จุด หากเส้นฐานใดไม่สามารถผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติของการประมวลผลเส้นฐานได้ จะไม่สามารถนำเส้นฐานนั้นมาใช้งาน เนื่องจากไม่มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลการรังวัด และจะทำให้โครงข่ายที่ใช้เส้นฐานร่วมกันมีความบิดเบี้ยว หรือมีค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ใช้รังวัด โดยเส้นฐานที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติหรือไม่น่าเชื่อถือเกิดจากค่าความคลาดเคลื่อนจากการรังวัด เช่น ความคลาดเคลื่อนแบบเป็นระบบ เป็นต้น

ภายหลังการวิเคราะห์ และปรับแก้โครงข่าย จะได้ค่าพิสัยในระบบภูมิศาสตร์ของจุดรังวัดนั้น และแสดงค่าความคลาดเคลื่อนทางเหนือ (N error) และค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก (E error) ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวบ่งบอกถึง ความแม่นยำของตำแหน่งจุดรังวัด โดยค่าความคลาดเคลื่อนของแต่ละจุดรังวัดกำหนดให้เท่ากับ รัศมีของหัวหมุดทองเหลืองของกรมแผนที่ทหารเท่ากับ 5 เซนติเมตร ดังนั้นจุดรังวัดที่มีค่า ค่าความคลาดเคลื่อนทางเหนือ และค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก มากกว่า 5 เซนติเมตร จะให้ค่าความแม่นยำของจุดนั้นต่ำกว่าที่กำหนด

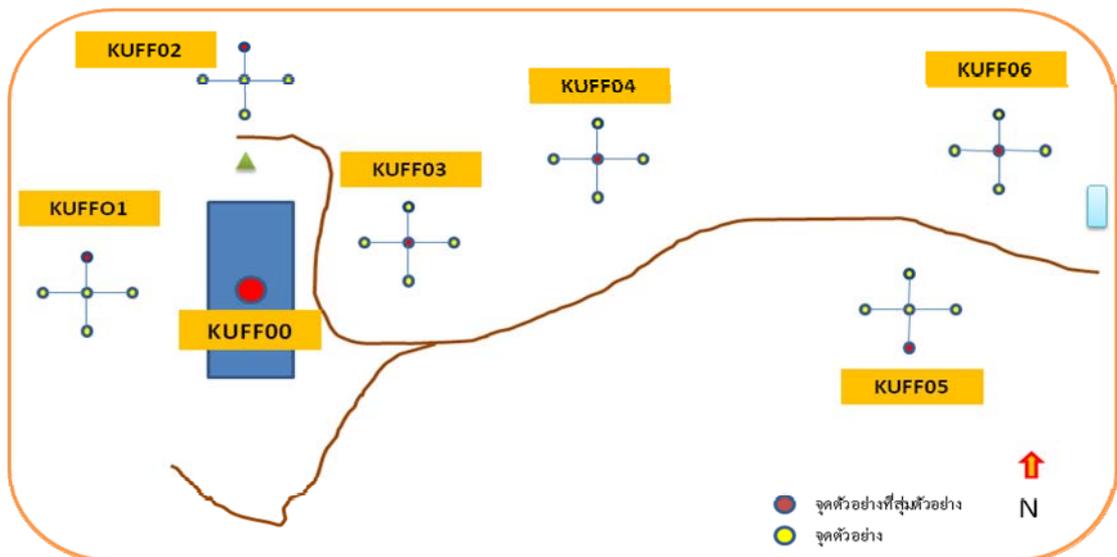
ผลและวิจารณ์

ผล

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ภายใต้การปกคลุมเรือนยอดที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน และเสนอแนะเทคนิค และวิธีการที่เหมาะสม ในการใช้งานระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกภายใต้การปกคลุมเรือนยอดในรูปแบบต่างๆ จากผลการศึกษาวิจัยสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. การแปลภาพถ่ายทางอากาศตัดแก้สี่เชิงเลขด้วยสายตา

จากการแปลภาพถ่ายทางอากาศตัดแก้สี่เชิงเลขครอบคลุมพื้นที่สถานีฝึควิศวศาสตร์ห้วยทาก อำเภอท่าว จังหวัดลำปาง ด้วยสายตา สามารถจำแนกช่วงชั้นของการปกคลุมเรือนยอดที่มีระดับความหนาแน่นแตกต่างกันได้จำนวน 6 ชั้นเรือนยอด โดยวางแผนตัวอย่างกระจายตามความหนาแน่นของการปกคลุมเรือนยอดห่มไม้จำนวน 6 ช่วงชั้นข้างต้น และได้จุดตัวอย่างทั้งหมด 30 จุด (ดังภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 ตำแหน่งจุดตัวอย่างรอบสถานีฝึควิศวศาสตร์ห้วยทาก (แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน)

2. การสุ่มตัวอย่าง

ทำการสุ่มตัวอย่างจากจุดตัวอย่างทั้งหมด 30 จุด ให้เหลือเพียง 6 จุด และตั้งชื่อจุดตัวอย่างแต่ละจุด ได้แก่ KUFF01 KUFF02 KUFF03 KUFF04 KUFF05 และ KUFF06 ตามลำดับแปลงตัวอย่าง โดยสร้างจุดรังวัดใหม่ตามมาตรฐานของกรมแผนที่ทหาร 1 จุด คือ KUFF00 บริเวณพื้นที่โล่งกลางสนามฟุตบอล รวมทั้งหมด 7 จุด (ดังภาพที่ 9)

3. การวิเคราะห์ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ

ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบทั้ง 7 จุดที่สามารถหาได้จากการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูป Nikon Cool Pix 4500 และ Fish Eye Lens นำภาพที่ได้คำนวณด้วยโปรแกรม Hemi View 2.1 (ดังตารางที่ 1) พบว่า ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.87 - 2.25 ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบมากที่สุดเท่ากับ 2.25 และน้อยที่สุดเท่ากับ 0.87 สำหรับจุดรังวัดบริเวณกลางสนามฟุตบอลภายในสถานีฝึควิศวศศาสตร์ห้วยทาก (KUFF00) มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเท่ากับ 0 เนื่องจากไม่มีการปกคลุมเรือนยอด

ตารางที่ 1 ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบของจุดตัวอย่าง

รายชื่อจุดตัวอย่าง	ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ
KUFF00	0
KUFF01	0.87
KUFF02	2.25
KUFF03	1.86
KUFF04	2.12
KUFF05	2.03
KUFF06	1.73

3. ผลการโยงค่าพิกัดหมุด KUFF00

การโยงค่าพิกัดหมุด KUFF00 เพื่อให้เป็นหมุดที่ทราบค่า ดำเนินการโดยโยงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จากหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ที่ทราบค่าพิกัดแล้ว 2 หมุด คือ หมุด GPS 3220 และหมุด GPS 3217 ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิตเป็นเวลา 2 คาบ คาบการรังวัดละ 120 นาที และผ่าน

ขั้นตอนการประมวลผลเส้นฐาน (ดังตารางที่ 2) การตรวจสอบการเข้าบรรจบ และการปรับแก้
โครงข่าย (ดังตารางที่ 3) ซึ่งหมุด GPS 3220 และหมุด GPS 3217 เป็นหมุดในการรังวัดด้วย
ดาวเทียม GPS ของกรมแผนที่ทหาร โดยที่หมุด GPS 3217 เป็นหมุดโครงข่ายหลักซึ่งใช้ในการยึด
โยงโครงข่ายของประเทศไทย

ตารางที่ 2 การประมวลผลเส้นฐานหมุด KUFF00

จุดที่	จาก	ถึง	ความยาวเส้น ฐาน (ม.)	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS (ม.)
0	3217	KUFF00	64,614.11	Iono free fixed	3.2	1.32	0.01
	3217	3220	72,270.59	Iono free fixed	4.8	1.01	0.01
	3220	KUFF00	101,587.53	Iono free fixed	2.8	1.68	0.01

การตรวจสอบการเข้าบรรจบของหมุด KUFF00 โดยมีค่า Δ Horizontal เท่ากับ 0.1
เซนติเมตร ค่า Δ Vertical เท่ากับ -0.6 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบ เท่ากับ 0.03
ppm.

ตารางที่ 3 ค่าหมุด KUFF00 ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ บริเวณสถานีฝึคนิสิตวทศศาสตร์ห้วยทาก
อำเภอวัง จังหวัดลำปาง

ชื่อหมุด	ละติจูด	ค่าความคลาด เคลื่อนทาง เหนือ (ซม.)	ลองจิจูด	ค่าความคลาด เคลื่อนทาง ตะวันออก (ซม.)	ระดับ สูง (ม.)	ค่าความ คลาดเคลื่อน ระดับสูง (ซม.)	ตำแหน่งที่ อยู่
3217	18°20'07.22"N	0.00	99°22'16.37"E	0.00	240.19	0.00	Lat Long h
3220	18°51'40.12"N	0.00	98°57'55.03"E	0.00	279.83	0.00	Lat Long h
KUFF00	18°37'55.15"N	0.02	99°53'53.19"E	0.02	297.99	0.10	

ค่าพิกัดหมุด KUFF00 ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ ที่มีค่าละติจูด (Latitude) เท่ากับ
18°37'55.15"N, ค่าลองจิจูด (Longitude) เท่ากับ 99°53'53.19"E โดยค่าความคลาดเคลื่อนทางเหนือ

(N error) เท่ากับ 0.2 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก (E error) เท่ากับ 0.2 เซนติเมตร

4. การประมวลผลเส้นฐาน (Baseline Processing)

การประมวลผลเส้นฐานจุดตัวอย่างภายใต้การปกคลุมเรือนยอด ทั้ง 6 จุด แบ่งการประมวลผลเส้นฐานเป็นการรังวัดแบบสถิต และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว โดยการประมวลผลเส้นฐานจะมีเกณฑ์การยอมรับทางสถิติตามรูปแบบของกรมแผนที่ทหาร กล่าวคือ ค่า Ratio ไม่น้อยกว่า 1.5 ค่า Reference Variance ควรเท่ากับ 1 แต่ไม่มากกว่า 10 ค่า RMS ไม่ควรมากกว่า 0.03 เมตร และค่า PDOP ไม่มากกว่า 6 การประมวลผลเส้นฐานด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิตด้วยโปรแกรม Trimble Geomatic Office 1.6 ภายหลังการประมวลผลเส้นฐานการรังวัดของจุดตัวอย่างทั้ง 6 จุด ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต จะมีเส้นฐานทั้งหมด 18 เส้นฐาน (ดังตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดแบบ Static

จุดที่	จาก	ถึง	ความยาว เส้นฐาน (ม.)	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS (m)
1	3217	KUFF01	64,542.69	iono free float	7.1	9.57	0.02*
	3217	3220	72,270.59	iono free fixed	4.8	1.01	0.01*
	3220	KUFF01	101,552.45	iono free float	10.1	9.18	0.02*
2	3217	KUFF02	64,543.85	iono free float	3.3	18.72	0.03
	3217	3220	72,270.59	iono free fixed	4.8	1.01	0.01*
	3220	KUFF02	101,461.59	iono free float	0.0	128.65	0.09
3	3217	KUFF03	60,866.24	iono free float	0.0	279951392.00	150.39
	3217	3220	72,270.59	iono free fixed	9.5	1.68	0.01*
	3220	KUFF03	101,757.95	iono free float	0.0	93.89	0.09
4	3217	KUFF04	65,735.88	iono free float	0.0	115.89	0.09
	3217	3220	72,270.59	iono free float	5.7	0.85	0.01*
	3220	KUFF04	102,646.89	iono free float	0.0	91.11	0.08
5	3217	KUFF05	65,885.77	iono free float	4.7	33.02	0.05
	3217	3220	72,270.59	iono free fixed	9.5	1.68	0.01*
	3220	KUFF05	102,810.64	iono free float	2.8	34.56	0.05

ตารางที่ 4 (ต่อ)

6	3217	KUFF06	65,806.03	iono free float	3.0	43.66	0.06
	3217	3220	72,270.59	iono free fixed	9.5	1.68	0.01*
	3220	KUFF06	102,785.36	iono free float	1.5	44.49	0.06

หมายเหตุ * หมายถึง เส้นฐานที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติ

การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วด้วยโปรแกรม Trimble Geomatic Office 1.6 ภายหลังจากประมวลผลเส้นฐานการรังวัดของจุดตัวอย่าง จะใช้เกณฑ์การยอมรับทางสถิติตามรูปแบบของกรมแผนที่ทหาร จะมีจำนวนเส้นฐานทั้งหมด 12 เส้นฐาน (ดังตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดแบบ Fast Static

จุด	จาก	ถึง	ความยาว เส้นฐาน (ม.)	Solution Type	Ratio	Reference Variance	RMS (m)
1	KUFF00	KUFF01	74.65	L1 fixed	10.6	15.73	0.01*
	KUFF00	KUFF01	74.66	L1 fixed	4.1	18.82	0.01*
2	KUFF00	KUFF02	129.36	L1 fixed	2.1	81.22	0.03
	KUFF00	KUFF02	129.34	L1 fixed	3.5	52.97	0.02
3	KUFF00	KUFF03	320.91	L1 fixed	1.8	250.12	0.04
	KUFF00	KUFF03	320.91	L1 fixed	2.7	54.15	0.02
4	KUFF00	KUFF04	1,182.18	L1 fixed	2.3	79.89	0.02
	KUFF00	KUFF04	1,182.18	L1 fixed	3.9	66.27	0.02
5	KUFF00	KUFF05	1,350.53	L1 fixed	2.2	68.98	0.02
	KUFF00	KUFF05	1,350.56	L1 fixed	2.9	26.80	0.01
6	KUFF00	KUFF06	1,292.19	L1 fixed	2.3	111.12	0.02
	KUFF00	KUFF06	1,292.20	L1 fixed	3.6	70.74	0.02

หมายเหตุ * หมายถึง เส้นฐานที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติ

6. การตรวจสอบการบรรจบของเส้นฐาน

การตรวจสอบการบรรจบของเส้นฐาน (Loop closure) เพื่อตรวจหาความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นก่อนที่จะใช้เส้นฐานที่ได้ไปเป็นข้อมูลในขั้นตอนการปรับแก้โครงข่าย (Network Adjustment) โดยที่การบรรจบของเส้นฐานในการสำรวจครั้งนี้ มีเกณฑ์การยอมรับค่าคลาดบรรจบไม่มากกว่า 10 ppm (1:100,000) โดยจุดรังวัด KUFF01 ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติจากการประมวลผลเส้นฐาน ทั้งวิธีการรังวัดแบบสถิต และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว แต่การตรวจสอบการบรรจบของเส้นฐาน จะใช้เส้นฐานมากกว่า 2 เส้น การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็วไม่สามารถหาการบรรจบของเส้นฐานได้ เนื่องจากมีเส้นฐานเพียงเส้นเดียว ดังนั้น การรังวัดแบบสถิตจะมีค่าคลาดบรรจบดังนี้ ค่า Δ Horizontal เท่ากับ 0.9 เซนติเมตร ค่า Δ Vertical เท่ากับ 0.1 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบ เท่ากับ 0.054 ppm

7. การปรับแก้โครงข่าย

การปรับแก้โครงข่ายของจุดรังวัด KUFF01 ที่ใช้วิธีการรังวัดแบบสถิต จะใช้ค่า Chi Square Test ที่ α เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยการปรับแก้โครงข่ายของจุดรังวัด KUFF01 ผ่านการยอมรับที่ค่าความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียม GPS มีความน่าเชื่อถือและความเข้ากันได้ภายในโครงข่ายว่า ไม่มีเส้นฐานใดที่ขัดแย้งกันในโครงข่าย และเพื่อตรวจสอบคุณภาพ ความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดหมุดหลักฐานที่จะใช้เป็นจุดยึดตรึงโครงข่าย

8. ค่าพิกัดหมุดหลักฐาน

การรังวัดแบบสถิต ค่าพิกัดหมุด KUFF01 ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ จะมีค่าละติจูด (Latitude) เท่ากับ $18^{\circ}37'53.37''N$ และค่าลองจิจูด (Longitude) เท่ากับ $99^{\circ}53'51.46''E$ ค่าความคลาดเคลื่อนทางเหนือ (N error) เท่ากับ 1.4 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก (E error) 1.6 เซนติเมตร

การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว ค่าพิกัดหมุด KUFF01 ในระบบพิกัดภูมิศาสตร์ จะมีค่าละติจูด (Latitude) เท่ากับ $18^{\circ}37'53.37''N$ และค่าลองจิจูด (Longitude) เท่ากับ $99^{\circ}53'51.46''E$ ค่าความคลาดเคลื่อนทางเหนือ (N error) เท่ากับ 0.3 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก (E error) เท่ากับ 0.4 เซนติเมตร

9. ความแม่นยำของตำแหน่ง 3 มิติ (PDOP)

ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง 3 มิติ จากการรับสัญญาณดาวเทียม GPS จะมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมที่โคจรผ่านบริเวณนั้นขณะปฏิบัติงาน และการปกคลุมเรือนยอดที่บดบังสัญญาณดาวเทียมที่ส่งมา สัญญาณจากดาวเทียม GPS ที่ส่งมาจะเกิดการตกกระทบกับวัตถุทำให้สัญญาณที่ส่งมาเกิดความล่าช้าในเรื่องของเวลา และความยาวช่วงคลื่นที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นตำแหน่งรังวัดแต่ละจุดจะมีค่าความแม่นยำของตำแหน่ง 3 มิติ แตกต่างกัน (ดังตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่าความแม่นยำของตำแหน่ง 3 มิติ

รายชื่อจุดตัวอย่าง	ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ	ค่าความแม่นยำของตำแหน่ง 3 มิติ
KUFF01	0.87	2.88
KUFF02	2.25	2.38
KUFF03	1.86	2.49
KUFF04	2.12	2.54
KUFF05	2.03	2.53
KUFF06	1.73	2.18

10. ค่าความแม่นยำของจุดรังวัด

ภายหลังการประมวลผลเส้นฐานของจุดตัวอย่างทั้ง 6 จุด พบว่าจุด KUFF01 สามารถผ่านการประมวลผลเส้นฐานทั้งการรังวัดแบบสถิต และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว โดยมีค่า Ratio มากกว่า 1.5 ค่า Reference Variance น้อยกว่า 10 และค่า RMS น้อยกว่า 0.03 ของทุกเส้นฐานภายในโครงข่ายเดียวกัน ดังนั้น จุด KUFF01 จึงมีเส้นฐานที่มีความน่าเชื่อถือ และในการปรับแก้โครงข่ายของจุดรังวัด KUFF01 ด้วยการรังวัดแบบสถิต และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว มีค่าความคลาดเคลื่อนทางเหนือเท่ากับ และค่าความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก น้อยกว่า 5 เซนติเมตร

วิจารณ์

การแปลตีความภาพถ่ายทางอากาศด้วยสายตาเป็นขั้นตอนที่ใช้สำหรับหาตำแหน่งในการวางแปลตัวอย่าง ความสามารถของผู้ทำการแปลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อจำแนกการปกคลุมเรือนยอดจะมีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และความเชี่ยวชาญของผู้แปลภาพ ทำให้การแบ่งช่วงชั้นของการปกคลุมเรือนยอดจะได้ปริมาณช่วงชั้นที่แตกต่างกัน

ในการปฏิบัติงานภาคสนามพบว่า การแปลตีความภาพถ่ายทางอากาศในเบื้องต้นไม่สามารถจำแนกความแตกต่างของการปกคลุมเรือนยอดได้อย่างชัดเจน เนื่องจาก ภาพถ่ายทางอากาศที่นำมาใช้เป็นภาพที่ถ่ายทำเมื่อปี พ.ศ. 2545 ซึ่งผ่านมาเป็นระยะเวลา 6 ปี สภาพการเปลี่ยนแปลงในพื้นที่จึงทำให้การแปลตีความภาพถ่ายทางอากาศมีค่าผิดไปจากความเป็นจริง และไม่สามารถกำหนดค่าการปกคลุมเรือนยอดเพื่อเป็นตัวแทนได้ตามต้องการ และการเลือกจุดตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple Random Sampling) ทำให้ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จากการสุ่มมีความใกล้เคียงกัน มีเพียงจุดที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เท่ากับ 0.87 ที่มีความแตกต่างชัดเจน

การหาค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบซึ่งเป็นตัวแทนการปกคลุมเรือนยอด ในการวิเคราะห์ภาพถ่ายด้วยโปรแกรม Hemi View 2.1 จะประกอบ ด้วยขั้นตอนการกำหนดค่า Threshold (0-255) เพื่อให้ภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับภาพจริงที่ถ่ายได้ ณ เวลานั้น จึงเป็นการยากที่จะกำหนด Threshold เท่ากันสำหรับทุกภาพ เมื่อเปลี่ยนผู้ที่วิเคราะห์ภาพ ค่า Threshold ที่ได้จะแตกต่างกันออกไป จึงไม่สามารถกำหนดค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่แน่นอนได้ แต่ค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบที่ได้จะมีความใกล้เคียงกัน หรือในบางกรณีอาจได้ค่าเท่ากัน

การโยงค่าพิกัดจุด KUFF00 เพื่อให้เป็นหมุดที่ทราบค่า โดยโยงค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์จากหมุดหลักฐานดาวเทียม GPS ที่ทราบค่าพิกัดแล้ว 2 หมุด คือ หมุด GPS 3220 และหมุด GPS 3217 ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิติเป็นเวลา 2 คาบ คาบการรังวัดละ 120 นาที จะได้ค่าพิกัดที่มีความแม่นยำในระดับมิลลิเมตร และสามารถใช้เป็นจุดอ้างอิงในการปฏิบัติงานภาคสนามต่อไปได้ แสดงว่าจุด KUFF00 สามารถนำมาใช้ในการรังวัดดาวเทียม GPS โดยมีความน่าเชื่อถือ และความถูกต้องเทียบเท่ากับ งานรังวัดของกรมแผนที่ทหาร

การประมวลผลเส้นฐานการรังวัดของจุดตัวอย่าง 6 จุด มีเกณฑ์การยอมรับทางสถิติ 3 ค่า คือ ค่า Ratio ค่า Reference Variance และค่า RMS โดยจุด KUFF01 เป็นจุดรังวัดเพียงจุดเดียวที่ผ่าน

เกณฑ์การยอมรับทางสถิติ โดยมีค่า Ratio มากกว่า 1.5 ค่า Reference Variance น้อยกว่า 10 และค่า RMS น้อยกว่า 0.03 จากตารางแสดงการประมวลผลเส้นฐานการรังวัดแบบสถิติ พบว่าจุด KUFF03 มีค่า Reference Variance และค่า RMS มากผิดปกติ โดยค่าที่มากผิดปกติดังกล่าวอาจเกิดจากสาเหตุค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัด เช่น ขณะรังวัด ตำแหน่งของดาวเทียมที่โคจรอยู่บนท้องฟ้า มีตำแหน่งการโคจรของดาวเทียม GPS ตรงกับการปกคลุมเรือนยอดจึงทำให้สัญญาณจากดาวเทียม GPS ที่ส่งมาเกิดการตกกระทบกับวัตถุ จึงทำให้ข้อมูลเวลาดาวเทียมที่ส่งมายังเครื่องรับผิดไป หรือที่เรียกว่า Multipath

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษาเรื่องอิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกต่อค่าการปกคลุมเรือนยอดที่แตกต่างกัน

จุดที่สามารถผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติ และมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 5 เซนติเมตร คือ จุด KUFF00 ที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เท่ากับ 0 โดยจุดรังวัด KUFF00 เป็นจุดรังวัดที่ไม่มีการปกคลุมเรือนยอด หรือ เสมือนจุดรังวัดที่ใช้ในการรังวัดของกรมแผนที่ทหาร โดยให้ค่าความแม่นยำสูง จึงสามารถนำมาใช้เป็นจุดรังวัดที่เหมาะสมในการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS และจุด KUFF01 ที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบ เท่ากับ 0.87 เป็นจุดรังวัดที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบน้อยที่สุด สามารถนำมาใช้เป็นจุดรังวัดที่เหมาะสมในการกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียม GPS ได้ เช่นเดียวกัน ดังนั้นจุดที่สามารถนำมาใช้ในการรังวัด และให้ค่าความแม่นยำสูงภายใต้อิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดจะต้องมีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.87

จุดที่ไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติ สามารถนำมาใช้งานได้โดยกำหนดเกณฑ์การยอมรับทางสถิติใหม่ เช่น กำหนดค่า Reference Variance ให้มากกว่า 10 จะได้จุดที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับทางสถิติเพิ่มขึ้น แต่ค่าความแม่นยำจะลดลงตามไปด้วย

2. การเปรียบเทียบค่าความแม่นยำที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต (Static) และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Fast Static)

การหาค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งบนผิวโลก สามารถกระทำได้หลายวิธีการกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต และแบบสถิตอย่างรวดเร็ว เป็นวิธีการที่กรมแผนที่ทหารใช้ในการปฏิบัติงานรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เพราะเป็นวิธีการรังวัดที่ให้ค่าความแม่นยำสูง และเหมาะสมกับงานรังวัดที่ต้องการค่าความแม่นยำสูง เช่น งานด้านการแผนที่ การตรวจสอบการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก การปรับแก้โครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติ

การศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิติ และแบบสถิติอย่างเร็วภายใต้อิทธิพลของการปกคลุมเรือนยอดในรูปแบบต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

การรังวัดแบบสถิติ และแบบสถิติอย่างเร็วมีความแตกต่างกันในส่วนของค่าความคลาดเคลื่อนทางเหนือ และทางตะวันออก โดยการรังวัดแบบสถิติอย่างเร็วมีค่าความคลาดเคลื่อนทั้ง 2 ชนิด น้อยกว่าการรังวัดแบบสถิติ และปริมาณข้อมูลที่ได้จากการรังวัดขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้รังวัด แต่มิได้หมายความว่า การรังวัดแบบสถิติอย่างเร็วจะเป็นการรังวัดที่ดีที่สุด เนื่องจากในการรังวัดทั่วไปจะปฏิบัติงานในที่ที่ไม่มีการบดบังสัญญาณ ข้อมูลที่ได้รับจึงมีค่าความคลาดเคลื่อนขึ้นอยู่กับปริมาณข้อมูลที่ได้ หากมีการรังวัดที่ใช้เวลานาน ปริมาณข้อมูลจะมีมาก ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมจะมีมากตามไปด้วย การเลือกใช้ข้อมูลที่มีคุณภาพดี โดยตัดข้อมูลที่ไม่ต้องการออก จะสามารถช่วยให้การรังวัดมีค่าความแม่นยำมากขึ้น แต่การรังวัดแบบสถิติอย่างเร็วจะทำการรังวัดโดยใช้ระยะเวลาสั้นกว่า มีปริมาณข้อมูลน้อยกว่า จึงมีค่าความคลาดเคลื่อนสะสมน้อยกว่า การเลือกใช้ข้อมูลจึงทำได้ยาก แต่ การรังวัดภายใต้การปกคลุมเรือนยอด จะมีความแม่นยำสูงกว่า เนื่องจากความคลาดเคลื่อนสะสมน้อยกว่า การรังวัดแบบสถิติ แสดงว่าการรังวัดแบบสถิติอย่างเร็วเหมาะสมในการปฏิบัติงานภายใต้การปกคลุมเรือนยอดที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบน้อยกว่า 0.87

ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาครั้งต่อไปควรใช้ภาพถ่ายทางอากาศตัดแก้สีเชิงเลขที่มีความทันสมัยหรือใช้ภาพถ่ายดาวเทียมความละเอียดสูงช่วยในการตัดสินใจจำแนกความหนาแน่นของการปกคลุมเรือนยอดออกเป็นช่วงชั้น เนื่องจากภาพถ่ายทางอากาศที่นำมาใช้ถ่ายทำเมื่อปี พ.ศ. 2545 จึงทำให้การจำแนกการปกคลุมเรือนยอดที่ได้จากภาพแตกต่างจากที่ปรากฏในพื้นที่จริง

การจำแนกการปกคลุมเรือนยอดควรมีตัวแทนของการปกคลุมเรือนยอดที่แตกต่างอย่างเด่นชัด สามารถแบ่งช่วงชั้นได้อย่างชัดเจน เช่น ชั้นของการปกคลุมเรือนยอดที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบอยู่ระหว่าง 1-10 11-20 และ 21-30 เป็นตัวแทนในแต่ละกลุ่ม เพื่อที่จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบกำหนดตำแหน่งได้ถูกต้องมากขึ้น

การกำหนดเกณฑ์งานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ก่อนการปฏิบัติงาน จะทำให้การวางแผนการรังวัดเป็นไปได้ง่าย และเกณฑ์งานรังวัดที่ต้องการค่าความแม่นยำต่างกันย่อมมีการปฏิบัติงานที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของงานรังวัดนั้น เช่น งานชั้น A (Very high precision) เป็น

งานที่ต้องการค่าความแม่นยำสูงมากจะใช้งานโครงข่ายหมุดหลักฐานนานาชาติ ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในภูมิภาค และท้องถิ่น งานชั้น C (Terrestrial based survey) ใช้งานขยายหมุดหลักฐาน กำหนดจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ การรังวัดแบ่งแปลงที่ดิน และงานรังวัดด้านวิศวกรรมทั่วไป เกณฑ์งานรังวัดในแต่ละชั้นจะกำหนดขั้นตอนในการปฏิบัติเพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำสูง และผ่านการยอมรับในงานรังวัดชั้นนั้น

ควรใช้เครื่องมือรังวัดที่มีความหลากหลาย เช่น เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมชนิดความถี่เดียว หรือ เครื่องหาค่าพิกัดแบบพกพา เพื่อเปรียบเทียบค่าความแม่นยำที่ได้เมื่อทำการรังวัดภายใต้การปกคลุมเรื้อนยอดที่มีค่าดัชนีพื้นที่ผิวใบเท่ากัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมแผนที่ทหาร. 2538. ระเบียบกรมแผนที่ทหารว่าด้วยลักษณะหมวดหลักฐานการแผนที่.
กรมแผนที่ทหาร, กองบัญชาการทหารสูงสุด. (อัครา)
- _____. ม.ป.ป. สัมภาษณ์ อังกุส – ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กองพิมพ์, กรมแผนที่ทหาร
กองบัญชาการทหารสูงสุด.
- กนก วีรวงศ์. ม.ป.ป. เอกสารประกอบการสอนวิชาการคำนวณและปรับแก้. กรมแผนที่ทหาร,
กรุงเทพฯ. (อัครา)
- กาญจนะดิษฐ์ ไยเกตุ. 2546. การประยุกต์ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดนำหนในการ
สร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ เพื่อการวางแผนการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์: กรณีศึกษา องค์การบริหาร
ส่วนตำบลคลองสี่ จังหวัดประทุมธานี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- กองอำนวยการและข้อมูลทางสถิติ. 2546. รายงานผลการสำรวจแผนที่สนาม. โครงการศึกษาและ
ประเมินคุณสมบัติของภาพถ่ายดาวเทียม IKONOS. กรมแผนที่ทหาร, กองบัญชาการทหาร
สูงสุด. (อัครา)
- _____. 2549. รายงานผลการสำรวจแผนที่สนาม. ชุดปฏิบัติงานรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS.
กรมแผนที่ทหาร, กองบัญชาการทหารสูงสุด. (อัครา)
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. 2546. การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม GPS เบื้องต้น. จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. (อัครา)
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. 2538. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการสำรวจด้วยดาวเทียมระบบ GPS.
ม.ป.ท. (อัครา).

คูริยะ สถาพร. 2547. ความผันแปรของฤดูกาลของดัชนีพื้นที่เรือนยอด และอัตราการสังเคราะห์แสงของพรรณไม้เด่นในป่าดิบแล้ง จังหวัดนครราชสีมา และป่าเบญจพรรณ จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธนัช สุขวิมลเสรี. 2543. ระบบดาวเทียมในการรังวัด. วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 13 (39)

วิวัฒน์ ชังดี. 2549. การเขียนโปรแกรมติดต่อกับเครื่องบอกตำแหน่งระบบดาวเทียม GPS. วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 34, 3

อุทิศ กุญอินทร์. 2542. นิเวศวิทยาพื้นฐานเพื่อการป่าไม้. ภาควิชาชีววิทยาป่าไม้ คณะวนศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1

Anonymous. 1996. **Navstar GPS User Equipment Introduction**. United States Coast Guard. Available Source: <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>, July 17 2008.

Sickle, V.J. 1996. **GPS for Land Surveyors**. Michigan: Ann Arbor Press.

Trimble Navigation Ltd. 1996. **GPS Mapping System General Reference**. Sunnyvale: Trimble Navigation Mapping & GIS Division.

ภาคผนวก



แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 3217	สถานที่ตั้ง บ้านสถานี ศ.ท่าช้างนคร	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น AA
ชื่อหมุด OTRI147	อ.ท่าช้างนคร จ. ลำปาง	แบบของหมุดหลักฐาน หมุดสามเหลี่ยม

โครงการ อีโอดีและอีโอดีสิคส์ ปี 2550 กองสนาม กองสำรวจทางหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS

ค่าที่คำนวณพื้นที่หลักฐาน WGSS4

ลองจิจูด(Longitude): 99° 22' 16.56697 E	ละติจูด(Latitude): 18° 20' 07.52532 N	ความสูงเหนือทรงรี(m): 240.193 M.
ค่าตะวันออก(Easting): 539222.859 M.	ค่าเหนือ(Northing): 2027326.913 M.	Zone 47Q

การแปลงค่าที่คำนวณพื้นที่หลักฐาน : WGSS4 เป็น Indian1975

$$(X, Y, Z)_{\text{Indian1975}} = (X, Y, Z)_{\text{WGSS4}} - (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$$

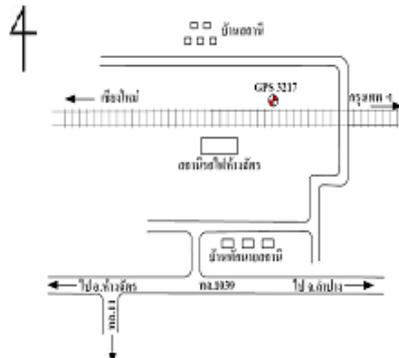
$\Delta X = 204.4798$ เมตร; $\Delta Y = 837.8940$ เมตร; $\Delta Z = 294.7765$ เมตร

ค่าที่คำนวณพื้นที่หลักฐาน Indian1975

ลองจิจูด(Longitude): 99° 22' 27.585857 E	ละติจูด(Latitude): 18° 20' 02.682285 N	ความสูงเหนือทรงรี(m): 236.8628 M.
ค่าตะวันออก(Easting): 539555.7842 M.	ค่าเหนือ(Northing): 2027024.0417 M.	Zone 47Q

ความสูงเหนือระนาบทะเลปานกลาง(M): 278.0257 M.	ความสูงชื่อยอด(N=h-H): M	ความถ่วงที่ถ่วง:
งานระดับชั้นที่ 1	แผนที่ชุด L7018	หมายเลขระวาง 4845-I

แผนภาพหมุดหลักฐาน



ทางไปหมุด:
 เดินทางจาก จ. ลำปาง ไป อ. ลำพูน ตามถล. หมายเลข 11 ถึง กม. 12-700 เลี้ยวขวาไปตามถนนระยะทาง 1 กม. ถึง อ. ท่าช้างนครพบสามแยก เลี้ยวขวาตาม ถล. 103 ระยะทาง 1-2 กม. จะพบทางเข้าสถานีรถไฟท่าช้างนครทางซ้ายมือเข้าไปจะพบสามแยกให้เลี้ยวขวาพบสามแยกเลี้ยวซ้ายตามถนน
 จะพบหมุดหมายเลข GPS. 3217 อยู่ทางซ้ายมือข้างทางรถไฟ

แผนที่ภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน



ลักษณะหมุด: หมุดหัวทองเหลืองของกรมแผนที่ทหาร (เดิมเป็นสถานีรังวัดปลายเส้นฐานตะวันออกหรือ สถานี)

หมายเหตุ:

สำรวจโดย _____	ผู้ตรวจสอบโดย _____
(_____)	(_____)

จัดทำ โดย กองอีโอดีและอีโอดีสิคส์ กรมแผนที่ทหาร โทร. 0 2222 3045 E-mail: geodesyrsd@yahoo.com

ภาพผนวกที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ GPS 3217 ของกรมแผนที่ทหาร



แบบบันทึกข้อมูลหมุดหลักฐานทางราบ

หมายเลขหมุด GPS 3220	สถานที่ตั้ง รร.บ้านศาลา ด.คอนแก่น	งานรังวัดดาวเทียม GPS ชั้น A	
ชื่อหมุด BANSALA	อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่	แบบของหมุดหลักฐาน แบบ ก	

โครงการ อีอีอีและอีไอที ปี 2549 กองสนาม กองสำรวจวางหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS

ค่าที่กักบนพื้นหลักฐาน WGS84

ลองจิจูด(Longitude): 98° 57' 55" 0326 E	ละติจูด(Latitude): 18° 51' 40" 11957 N.	ความสูงเหนือทรงรี(ม): 279.832 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 496343.442 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 2085463.850 ม.	Zone 47Q

การแปลงค่าที่กักบนพื้นหลักฐาน : WGS84 เป็น Indian1975

$$(X, Y, Z)_{\text{Indian1975}} = (X, Y, Z)_{\text{WGS84}} - (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$$

$\Delta X = 204.4798$ เมตร; $\Delta Y = 837.8940$ เมตร; $\Delta Z = 294.7765$ เมตร

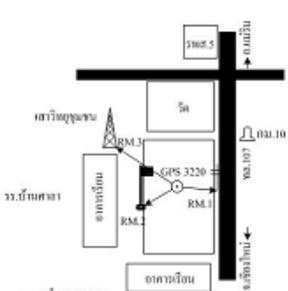
ค่าที่กักบนพื้นหลักฐาน Indian1975

ลองจิจูด(Longitude): 98° 58' 06" 395159 E	ละติจูด(Latitude): 18° 51' 35" 67027 N.	ความสูงเหนือทรงรี(ม): 272.9945 ม.
ค่าตะวันออก(Easting): 496676.3288 ม.	ค่าเหนือ(Northing): 2085161.0376 ม.	Zone 47Q

ความสูงเหนือระดับทะเลปานกลาง(M):	ม. ความสูงซีออยด์(N=H-M):	ม.	ความช่วงที่เกา:
งานระดับชั้นที่	แผนที่ชุด L7018		หมายเลขระวาง 4746-I

แผนภาพหมุดหลักฐาน

4



RM.1 (กว้าง) = 93 / 100.00 ม.
 RM.2 (ยาว) = 250 / 95.00 ม.
 RM.3 (กว้างชุมชน) = 344 / 110.00 ม.

ทางไปหมุด:
ใช้ทล.หมายเลข 107 จาก อ.แม่ริม เชียงใหม่ ไป
ถึง อ.แม่ริม ประมาณ กม.10 จะพบ รร.บ้าน
ศาลาอยู่ทางซ้าย หมุดอยู่กลางสนามฟุตบอลที่
กว้างประมาณ 5 ชม.

แผนภาพนี้ไม่ตรงตามพหุรชาส่วน



ลักษณะหมุด: หมุดหัวทองเหลืองของกรมแผนที่ทหาร ต่ำกว่าพื้นดินประมาณ 10 ซม.

หมายเหตุ:

สำรวจโดย _____

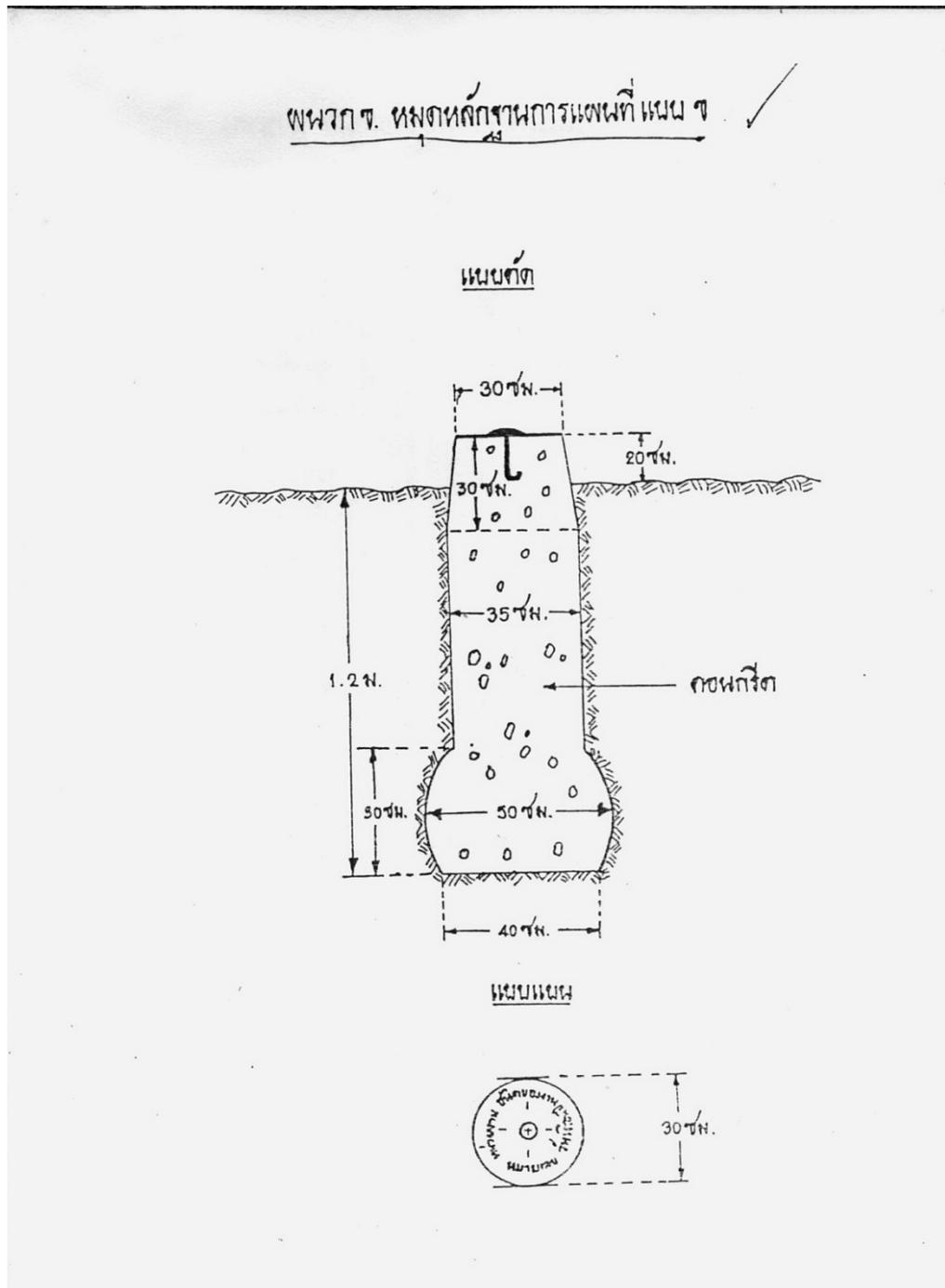
(_____)

ผู้ตรวจสอบโดย _____

(_____)

จัดทำ โดย กองอีอีอีและอีไอที กรมแผนที่ทหาร
โทร. 0 2222 3045 E-mail: geodesyrttd@yahoo.com

ภาพผนวกที่ 2 แบบบันทึกหมุดหลักฐานทางราบ GPS 3220 ของกรมแผนที่ทหาร



ภาพผนวกที่ 3 ตัวอย่างการสร้างหมุดหลักฐานการแผนที่แบบ ข ของกรมแผนที่ทหาร



ภาพผนวกที่ 4 หมุดหลักฐานการแผนที่แบบ ข ภายในสถานีฝึกนิสิตวนศาสตร์ห้วยทาก อ.งาว
จ.ลำปาง



ภาพผนวกที่ 5 การวางแปลงตัวอย่าง และการหาค่าการปกคลุมเรือนยอด



ภาพผนวกที่ 6 การรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	ร้อยโท วราวุธ บุญชัย
วัน เดือน ปี ที่เกิด	3 กรกฎาคม พ.ศ. 2522
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (สำรวจ) โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (พ.ศ.2547)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ประจำแผนกยี่ห้อฟิลิกส์ กองยี่ห้อเดซี่ และยี่ห้อฟิลิกส์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการทหารสูงสุด
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	รางวัลผู้นำเสนอบทความประเภทชมเชย เรื่อง อิทธิพล ของการปกคลุมเรือนยอดต่อค่าความแม่นยำของระบบ กำหนดตำแหน่งบน โลก ในการประชุมวิชาการ เทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2551