บทที่ 2
หลักการ และ ทฤษฎีของการรังวัด

2.1) หลักการและทฤษฎีของการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS

2.1.1) กล่าวนำ

ในปี ค.ศ. 1967 ได้มีระบบดาวเทียมเพื่องานรังวัด ที่มีชื่อว่า ระบบ TRANSIT เกิดขึ้นระบบ TRANSIT เป็นระบบนำวิถีด้วยดาวเทียมของกองทัพเรือ แห่งสหรัฐอเมริกา พัฒนาโดยศูนย์ปฏิบัติการฟิสิกส์ประยุกต์แห่งมหาวิทยาลัยจอห์นฮอปกินส์ ระบบประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 6 ดวง อยู่สูงจากผิวโลกประมาณ 1,075 กิโลเมตร ปฏิบัติการได้ทุกสภาพอากาศ แต่ไม่ตลอด 24 ชั่วโมง สามารถรังวัดกำหนดตำแหน่งได้แบบอิสระ โดยไม่ต้องโยงยึดกับหมุดที่ทราบค่าแล้ว หรือที่เรียกว่า การกำหนดตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ จึงทำให้ลดขั้นตอนในการปฏิบัติงานลง สามารถดำเนินงานได้อย่างรวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย ถึงแม้เครื่องมือจะมีราคาค่อนข้างแพง แต่คุ้มค่ากับการลงทุนเมื่อพิจารณาจากผลงานที่ได้รับ อย่างไรก็ตาม ระบบ TRANSIT ก็ได้สิ้นสุดการปฏิบัติงานลงเมื่อประมาณปี ค.ศ. 1995 และระบบใหม่ที่เข้ามาแทนที่ก็คือ ระบบ Global Positioning System (GPS)

2.1.2) ดาวเทียมระบบ GPS

ระบบ GPS เป็นระบบนำวิถีที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งจากการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ ซึ่งได้พัฒนาต่อเนื่องมาจากดาวเทียมระบบ TRANSIT โดยหน่วยงานทางทหารของสหรัฐอเมริกา

หลักการรังวัดเพื่อหาพิกัดตำแหน่ง คือมีสถานีภาคพื้นดินคอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ทราบวงโคจรหรือตำแหน่งของดาวเทียมที่ขณะเวลาต่างๆ ข้อมูลการรังวัดของสถานีติดตามดาวเทียม จะนำไปพยากรณ์วงโคจรล่วงหน้า จากนั้นจึงส่งไปเก็บบันทึกไว้ในดาวเทียม เพื่อที่จะส่งกระจายลงมาพร้อมกับคลื่นวิทยุความถี่สูง ถ้าต้องการทราบพิกัดตำแหน่งของจุดใดก็นำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปตั้งวาง ณ จุดนั้นแล้วนำข้อมูลที่รังวัดได้มาประมวลผล เพื่อหาตำแหน่งของจุดที่เครื่องรับวางอยู่ต่อไป

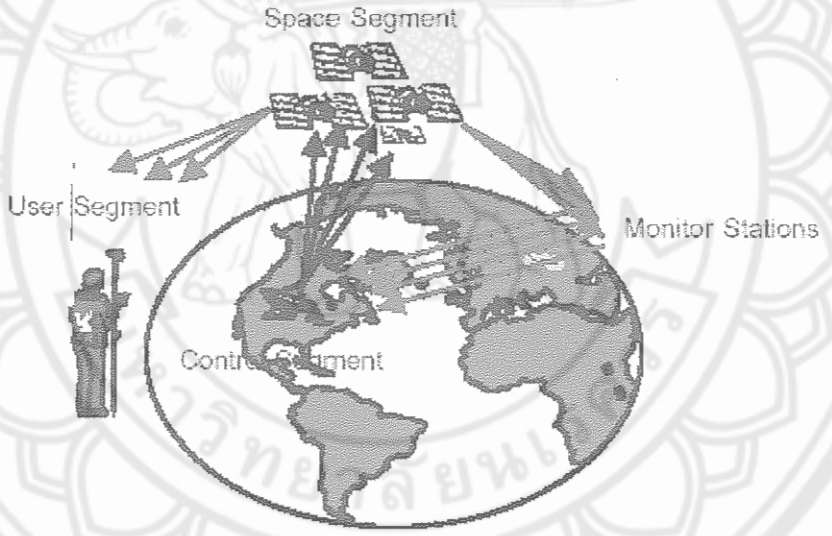
ระบบ GPS มีข้อดีเมื่อเทียบกับระบบ TRANSIT คือ ประการแรก ระบบ GPS ใช้ประโยชน์ในการกำหนดตำแหน่งได้ตลอด 24 ชั่วโมง ณ ทุกจุดบนผิวโลก และประการที่สอง ใช้เวลาในการรังวัดน้อยกว่า และให้ความถูกต้องทางตำแหน่งของระบบ TRANSIT ประมาณ 2 – 3 เมตร แต่จากการ

ปฏิบัติงานระบบ GPS ในปัจจุบัน จะมีความถูกต้องทางตำแหน่งอยู่ในระดับเซนติเมตร หรือต่ำกว่าเท่านั้น

GPS เป็นระบบดาวเทียมที่ใช้ในการรังวัดเพื่อกำหนดตำแหน่งด้วยสัญญาณคลื่นวิทยุ การกำหนดทำได้ทุกสภาพอากาศ มีขีดความสามารถที่เป็นประโยชน์อย่างสูงต่อผู้ใช้ ด้วยมีผู้ใช้อย่างไม่จำกัดจำนวนที่สามารถใช้ระบบนี้ได้โดยพร้อมกันและใช้ได้อย่างเสรี ค่าพิกัดที่ได้จะอ้างอิงกับระบบสากลซึ่งใช้กันทั่วโลก คือ World Geodetic System 1984 (WGS84)

2.1.3) องค์ประกอบของระบบ GPS

ระบบ GPS มีองค์ประกอบ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุม ส่วนอวกาศและส่วนผู้ใช้ ความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้งสาม แสดงดังภาพที่ 1 มีรายละเอียดของส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

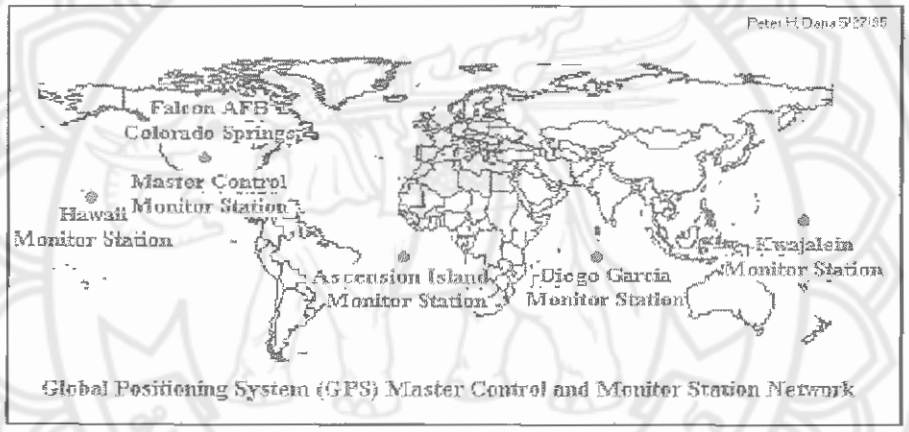


ภาพที่ 1 องค์ประกอบของระบบ GPS

ก) ส่วนควบคุม (Control Segment)

มีหน้าที่รับผิดชอบในการปฏิบัติงานของระบบทั้งหมด ประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก (Master Control Station; MCS) ซึ่งตั้งอยู่ ณ ฐานทัพอากาศฟอลคอน(Falcon Air Force Base) มลรัฐโคโลราโดสปริงส์ (Colorado Springs) ประเทศสหรัฐอเมริกา สถานีติดตามดาวเทียม (Monitor Station; MS) จำนวน 5 แห่ง ซึ่งกระจายอยู่รอบโลก ดังแสดงในภาพที่ 2 ได้แก่ ที่หมู่เกาะควาจาเลียน (Kwajalein Island) ของฟิลิปปินส์ หมู่เกาะดิเอโกการ์เซีย (Diego Garcia Island) ในมหาสมุทรอินเดีย

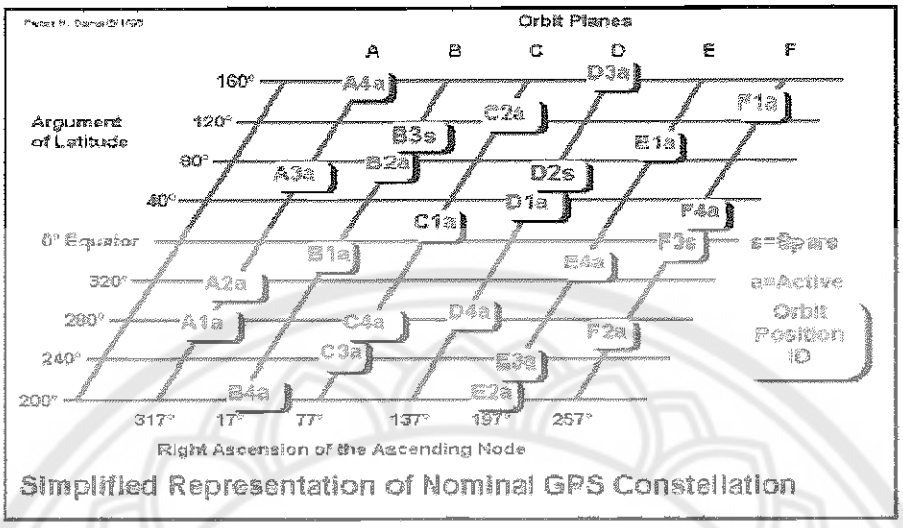
หมู่เกาะแอสเซนชัน (Ascension Island) ในมหาสมุทรแอตแลนติก หมู่เกาะฮาวาย (Hawaii Island) ในมหาสมุทรแปซิฟิก ทั้งนี้รวมถึงสถานีควบคุมหลัก ซึ่งตั้งอยู่ ณ มลรัฐโคโลราโดสปริงส์ด้วย ข้อมูลที่รังวัดได้จากสถานีติดตามดาวเทียมจะถูกส่งผ่านมายังสถานีควบคุมหลัก เพื่อทำการประมวลผลวงโคจรของดาวเทียมดวงต่างๆ และทำการพยากรณ์ตำแหน่งของดาวเทียมล่วงหน้า หลังจากนั้นก็จะทำการส่งข้อมูลที่ได้ปรับปรุงให้ทันสมัยแล้ว พร้อมกับข้อมูลเวลา และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาไปยังสถานีรับส่งสัญญาณ ซึ่งได้ติดตั้งเสาอากาศรับสัญญาณภาคพื้นดินจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ สถานีซึ่งตั้งอยู่ ณ หมู่เกาะควาจาเลียน หมู่เกาะดิเอโกการ์เซียและหมู่เกาะแอสเซนชัน เพื่อส่งขึ้นไปเก็บบันทึกไว้บนดาวเทียมต่อไป



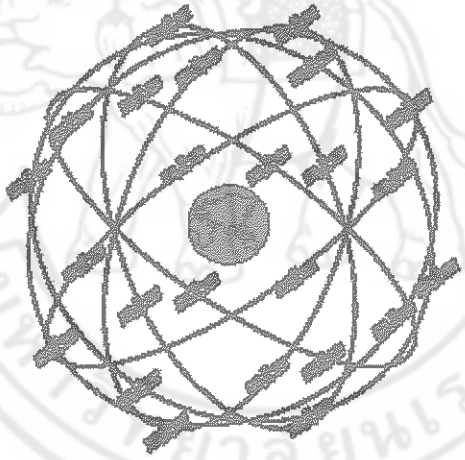
ภาพที่ 2 ตำแหน่งของสถานีควบคุมหลักและสถานีติดตามดาวเทียม

ข) ส่วนอวกาศ (Space Segment)

ประกอบด้วยดาวเทียม NAVSTAR จำนวน 24 ดวง (ในจำนวนนี้ จะมีดาวเทียมสำรอง 3 ดวง เพื่อทดแทนการปฏิบัติงานของดาวเทียมดวงที่เกิดขัดข้องได้ทันที) จัดเป็นวงโคจรอยู่ใน 6 ระนาบๆ ละ 4 ดวง โดยแต่ละระนาบเอียงทำมุม 55° กับระนาบศูนย์สูตร และทำมุมระหว่างกัน 60° ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 ดาวเทียมเหล่านี้อยู่สูงจากผิวโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร ใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง และมีเวลาอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละสถานที่ราว 5 ชั่วโมง ด้วยการออกแบบกลุ่มดาวเทียมในลักษณะนี้ จึงทำให้มีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง อยู่เหนือทุกๆ จุดบนพื้นผิวโลกตลอดเวลา



ภาพที่ 3 ระนาบของวงโคจรของดาวเทียมระบบ GPS



ภาพที่ 4 วงโคจรและกลุ่มดาวเทียม GPS

ค) ส่วนผู้ใช้ (User Segment)

ประกอบด้วยผู้ใช้ในส่วนของพลเรือน และทหาร รวมถึงการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมซึ่งติดตั้งอยู่บนพื้นดิน บนยานพาหนะเช่นรถยนต์ เรือ หรือเครื่องบิน เป็นต้น อาจรวมถึงฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งจะครอบคลุมไปถึงวิธีการคำนวณ และปรับแก้ข้อมูลต่างๆ ด้วย

แนวคิดในส่วนของผู้ใช้ เพื่อให้บรรลุถึงความละเอียดถูกต้องสูงสำหรับงานรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส คือ ความพยายามที่จะลดขนาดและปริมาณของความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัด

ลง ซึ่งได้แก่ ความคลาดเคลื่อนในข้อมูลดาวเทียม (Ephemeris) ความคลาดเคลื่อนของเวลาทั้งในส่วนของนาฬิกาดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องจากการหักเหของคลื่นในชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึงสาเหตุ รวมถึงวิธีการลดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ ด้วยการพัฒนาเครื่องมือ วิธีการรังวัด และการประมวลผล เป็นต้น

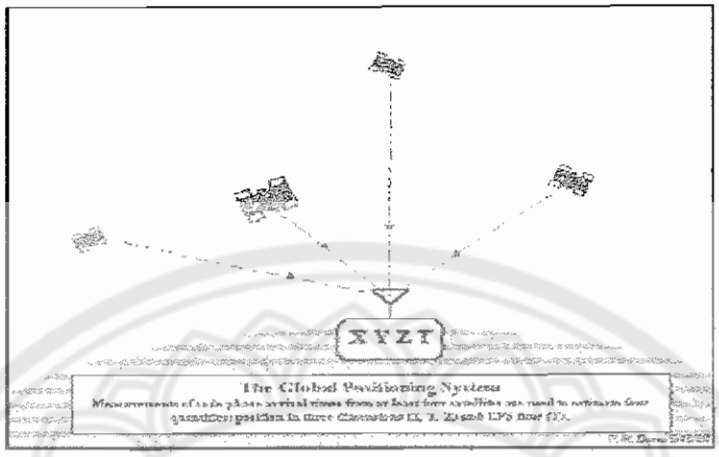
2.1.4) วิธีการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS

วิธีการรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ที่นิยมใช้มี 2 วิธี ได้แก่

ก) วิธีการวัดซูโดเรนจ์ (Pseudo Ranges)

ซูโดเรนจ์ คือ ระยะทางซึ่งวัดจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ ในการวัดระยะทางนี้เครื่องรับจะสร้างรหัสขึ้นมาเปรียบเทียบกับรหัสที่ได้จากการรับสัญญาณ ทำให้ทราบระยะเวลาที่คลื่นวิทยุเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ เมื่อนำความเร็วของคลื่นส่งวิทยุคูณกับเวลา จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับ โดยเหตุที่รหัสที่ส่งจากดาวเทียมได้มาจากนาฬิกาของดาวเทียม ในขณะที่รหัสที่สร้างขึ้นในเครื่องรับ ก็ได้มาจากนาฬิกาของเครื่องรับ ดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนของเวลา อันเนื่องมาจากความแตกต่างของนาฬิกาทั้งสองไม่ได้ ซูโดเรนจ์ที่วัดได้จึงมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริง

ระยะทางจริง (True Range) จากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ เกิดจากการรวมค่าซูโดเรนจ์และค่าระยะทาง อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเข้าด้วยกัน ในทางปฏิบัติต้องการทราบค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ ซึ่งจะมีตัวไม่ทราบค่า จำนวน 3 ค่า คือ X, Y และ Z นอกจากนี้ ยังมีค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวในสมการ ดังนั้นจึงต้องทำการรังวัดระยะทางเพิ่มขึ้นจาก 3 เส้น เป็น 4 เส้น ทำให้สามารถคำนวณเพื่อหาตำแหน่งของเครื่องรับได้ถูกต้องมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5 วิธีนี้เหมาะสำหรับงานที่ไม่ต้องการความละเอียดสูง



ภาพที่ 5 การวัดระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องที่รับ

ข) วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phases)

การวัดเฟสของคลื่นส่ง เป็นการเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา คลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานี้แยกออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของคลื่นที่เป็นจำนวนเต็มรอบ (เต็มลูกคลื่น) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (เฟส) ในการรับสัญญาณนั้น เครื่องรับไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นที่ส่งลงมาได้ จำนวนเต็มรอบนี้เรียกว่า เลขปริศนา (Ambiguity) ซึ่งสามารถหาค่าได้จากการคำนานในภายหลัง วิธีนี้จะให้ค่าที่ละเอียดถูกต้องมากกว่าวิธีการวัดซูโดเรนจ์

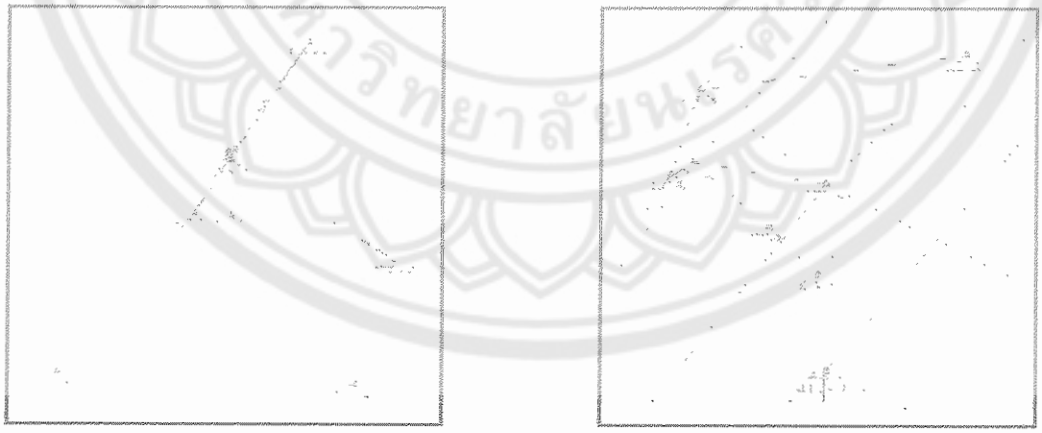
2.1.5) การประยุกต์ใช้งานรังวัดดาวเทียมระบบ GPS

GPS เป็นระบบการกำหนดตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพสูง เมื่อเทียบกับระบบการรังวัดแบบเดิม (Conventional Surveying) อาทิเช่นให้ความถูกต้องทางตำแหน่งในระบบสามมิติ สามารถทำงานได้ทุกสภาพอากาศ และตำแหน่งของหมุดที่ใช้ในการรังวัด ไม่จำเป็นต้องมองเห็นกัน เป็นต้น จึงเหมาะแก่การประยุกต์ใช้ในงานรังวัดชั้นสูง เพื่อสร้างหมุดหลักฐานสำหรับประเทศหรือภูมิภาค ดังแสดงในภาพที่ 6 และ 7 การประยุกต์ใช้ในการเก็บรายละเอียดเพื่อการทำแผนที่ภูมิประเทศ ดังแสดงในภาพที่ 8 การประยุกต์ใช้ในการสร้างจุดควบคุมสำหรับงานทำแผนที่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ดังแสดงในภาพที่ 9 และการประยุกต์ใช้ในงานด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมแขนงต่างๆ เช่นในสาขาธรณีวิทยา อาจใช้เพื่อศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลก หรือในสาขาวิศวกรรมโยธา ดังตัวอย่างของโครงการก่อสร้างถนนอาจใช้วิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ โดยการถ่ายภาพเป็นแนวยาวต่อเนื่องกันไปตาม

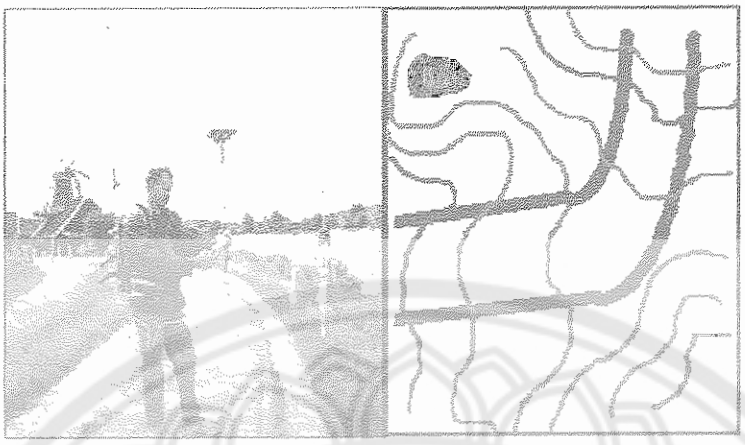
เส้นทางที่เลือกไว้ แล้วก็หมดตำแหน่งของจุดควบคุมในงานดังกล่าว ด้วยการรับสัญญาณจากดาวเทียม เป็นต้น นอกจากนี้ระบบ GPS ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการกำหนดตำแหน่งของข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่มีความถูกต้อง เพื่อเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System หรือ GIS) ได้อีกด้วย

ในปัจจุบัน ช่างรังวัดและวิศวกรได้ให้ความสนใจในการนำดาวเทียมระบบ GPS มาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความสูงออร์โทเมตริก (Orthometric Height) หรืออีกนัยหนึ่งคือ ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง (Mean Sea Level) ซึ่งจะนำมาแทนที่วิธีการถ่ายระดับด้วยกล้องระดับ (Differential Leveling) อีกทั้งยังเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการปฏิบัติงานลง

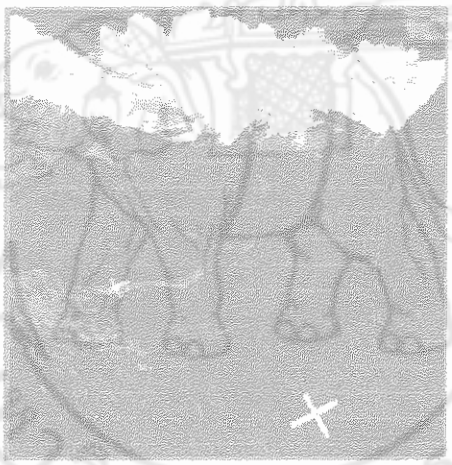
ภาพที่ 6 หมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS



ภาพที่ 7 การประยุกต์ใช้งานรังวัดดาวเทียมระบบ GPS ในงานรังวัดชั้นสูง



ภาพที่ 8 การประยุกต์ใช้ในการเก็บรายละเอียดเพื่อการทำแผนที่ภูมิประเทศ



ภาพที่ 9 การประยุกต์ใช้ในการสร้างจุดควบคุมสำหรับงานทำแผนที่ด้วยภาพถ่ายทางอากาศ

2.2) หลักการและทฤษฎีของการทำวงรอบ (TRAVERSE)

วงรอบประกอบด้วยเส้นตรงหลายเส้นต่อเนื่องกันไปวัดระยะทางของแต่ละแนว และวัดมุมที่จุดเปลี่ยนแนว แนววงรอบมักจะเริ่มออกและไปบรรจบที่หมุดหรือสถานี (Station) ที่รู้ตำแหน่งแน่นอน

2.2.1) หลักการของวงรอบ

ก) กำหนดตำแหน่งหมุดควบคุมของโครงข่ายวงรอบ ให้ครอบคลุมพื้นที่สำรวจให้แต่ละหมุดมองเห็นหมุดก่อนหน้า (BS) และหมุดถัดไป (FS) ของโครงข่ายอาจใช้วิธีถางแนวเล็งหรือขยับตำแหน่ง เมื่อเล็งเห็นกันดีแล้วจึงตอกหมุดและทำเครื่องหมายที่หมุด และทำหมุดอ้างอิง (Reference) กำหนดตำแหน่งหมุดเท่าที่จำเป็น ระยะระหว่างหมุดไม่เกินระยะไกลสุดของกล้อง

TC500 สภาพอากาศ	ระยะไกลสุด
แย่ (แดดจัด , หมอกหนา, ลมแรง)	400 ม.
ปานกลาง (มีหมอก , ไอแดดบ้าง)	700 ม.
ดี	900 ม.

ข) เริ่มรังวัดออกจากหมุดหลักฐานที่ทราบพิกัดและแนวอะซิมุท (Azimuth) หากไม่มีให้โยงพิกัดและแนวอะซิมุทจากหมุดหลักฐานของหน่วยงาน

ค) วัดมุมและระยะทางจาก BS – FS (หน้ากล้องซ้าย / ขวา) เช็ค Error จากข้อมูลทำซ้ำจนครบวงรอบ

ง) เก็บรายละเอียดในพื้นที่ โดยอิงแนววงรอบหลัก อาจซอยหมุดวงรอบย่อยเข้าไปเก็บรายละเอียดเพิ่ม

จ) คำนวณ Error ของผลรวมมุมในวงรอบหลักหากค่า Error เกินมาตรฐานที่ยอมให้ต้องกลับไปซ่อมงาน

ฉ) คำนวณปรับแก้มุมในวงรอบหลัก

ช) คำนวณถ่ายแนวอะซิมุทจากหมุดหลักฐานไปยังแนวในวงรอบ

2.2.2) การปรับแก้มุมในวงรอบ

กรณีเป็นวงรอบปิด

ผลรวมของมุมภายใน = $(N - 2) * 180$

มาตรฐานงานวงรอบชั้นที่ 3 จะยอมให้ Error ได้ไม่เกิน 30 N หรือ 75 N

ถ้า Error เกิน ต้องเช็คข้อมูลใหม่หรือทำใหม่

การปรับแก้ ให้นำ Error ไปเฉลี่ยปรับแก้ในแต่ละมุม

Correction = - Error / N

กรณีเป็นวงรอบเปิดแบบมุมวนขวา

ให้ดูหมุดที่เข้าบรรจบว่า

ถ้า Azimuth FS < Azimuth BS; Azimuth บรรจบ = Azimuth เริ่มต้น + ผลรวมมุม – (N* 180)

ถ้า Azimuth FS > Azimuth BS; Azimuth บรรจบ = Azimuth เริ่มต้น + ผลรวมมุม – ((N – 2)* 180)

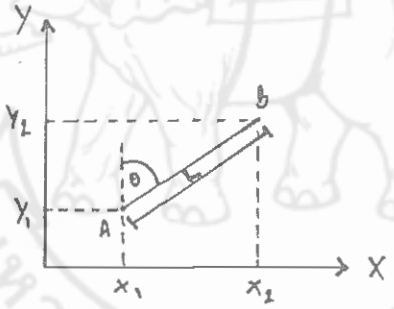
2.2.3) คำนวณทิศทางของแนวเส้นวงรอบ

Azimuth ของ FS = Azimuth ของ BS + มุม

ถ้าบวกแล้วค่าที่ได้น้อยกว่า 180° ให้บวกด้วย 180°

ถ้าบวกแล้วค่าที่ได้มากกว่า 180° ให้ลบด้วย 180°

2.2.4) ระบบพิกัดฉาก (Coordinate System)



ภาพที่ 10 แสดงระยะทางและมุมในการหาค่าพิกัดหมุด

1) รู้ L , Θ รู้พิกัดจุด A ($y_1 < x_1$) ต้องการหาพิกัดจุด B

$y_2 - y_1 = L \cos \Theta$

$x_2 - x_1 = L \sin \Theta$

2) รู้พิกัดจุด A (y_1, x_1) และจุด B (y_2, x_2) ต้องการหา L , Θ

$$L = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$$

$$\Theta = \tan^{-1} (x_2 - x_1) / (y_2 - y_1)$$

ระยะ $y_2 - y_1$ เรียกว่า Latitude (Lat)

ระยะ $x_2 - x_1$ เรียกว่า Departure (Dep)

2.2.5) การคำนวณวงรอบด้วยระบบพิกัดฉาก

กรณีวงรอบปิด

ปรับแก้มุมภายในวงรอบปิด	;	**ผลรวมมุมภายในเท่ากับ (N – 2) * 180**
เช็คมาตรฐานชั้นงาน	;	**Error > ๓๐″$\sqrt{N}$**
คำนวณทิศทางแต่ละแนวเส้น	;	แบบ Azimuth
คำนวณ Lat, Dep	;	Lat = L cos Θ , Dep = L sin Θ
ปรับแก้ Lat, Dep	;	จาก ผลรวม Lat = 0
		และ ผลรวม Dep = 0
		$Error = \sqrt{(\sum Lat)^2 + (\sum Dep)^2}$
		Accuracy = Error / ∑ L

คำนวณพิกัดแต่ละหมุด จากค่า Lat , Dep ที่ปรับแก้แล้ว

1. ถ้าความละเอียดมุม = ความละเอียดระยะทาง	2. ถ้าความละเอียดมุม > ความละเอียดระยะทาง
$Corr.Lat. = -\frac{Lat. \times L}{\sum L}$	$Corr.Lat. = -\frac{Lat. \times L}{\sum Lat.}$
$Corr.Dep. = -\frac{Dep. \times L}{\sum L}$	$Corr.Dep. = -\frac{Dep. \times L}{\sum Dep.}$

ตารางที่ 1 แสดงสูตรความสัมพันธ์ในการหาค่าพิกัด

กรณีวงรอบเปิด

คำนวณที่ปรับแก้พิกัด เหมือนกับวงจรปิด แต่คำนวณปรับแก้ผลรวม Lat กับผลรวม Dep ให้เท่ากับผลต่างและพิกัดหมุดสุดท้าย กับหมุดแรกที่รังวัดมุม

$$Lat = Yn - Y_1$$

$$Dep = Xn - X_1$$

2.3) หลักการและทฤษฎีของการทำงานระดับ (Leveling)

เป็นการหาความสัมพันธ์ของความสูงหรือค่าระดับของจุดต่าง ๆ หรือวัตถุใด ๆ บนพื้นโลกในระนาบดิ่ง

2.3.1) วิธีการทำระดับ

1) Direct หรือ Spirit Levelling: การทำระดับโดยตรงในทางดิ่ง โดยใช้กล้องระดับให้ความละเอียดมากกว่าวิธีอื่น

2) Indirect Levelling: การทำระดับโดยอ้อมอาศัยตรีโกณ โดยใช้กล้อง Theodolite วัดมุมสูง และวัดระยะราบด้วยเทป เรียกว่า Trigonometric Levelling

3)Barometric Levelling : ใช้หลักการความกดดันอากาศที่แตกต่างระหว่างจุด 2 จุด โดยใช้ Barometer

2.3.2) เครื่องมือที่ใช้ทำระดับ

1) กล้องระดับ

2) ไม้ระดับ (Staff) - ชนิดธรรมดา

-Invar Staff

2.3.3) ความต่างของระดับ (Differential Levelling)

ก) นิยามต่าง ๆ

Back Sight (BS) : ค่า Staff ที่ส่องได้ครั้งแรกหลังจากตั้งกล้องเสร็จ ส่วนมากจะตั้งบนหมุด Bench Mark (BM) หรือจุดที่ทราบค่าระดับแล้ว

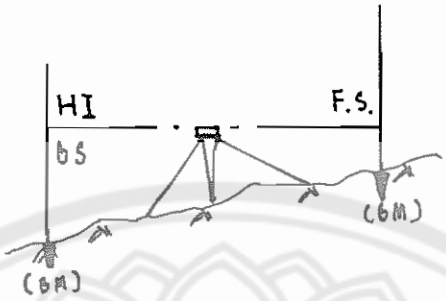
Fore Sight (FS) : ค่า Staff ที่ส่องได้ครั้งสุดท้ายที่จะย้ายกล้อง ส่วนมาก Staff ตั้งบนจุดที่มั่นคงที่ต้องการทราบค่าระดับ

Height of Instrument (HI): ค่าระดับของแนวแกนกล้อง

Difference in Elevation : ค่าต่างระดับระหว่างจุด 2 จุดได้จาก BS-FS หรือ BS- FS

Temporary BM (TBM) : BM ที่สร้างขึ้นมาชั่วคราว กรณีที่ต้องการระดับไปใช้กับงานอื่นหรือเมื่องานสิ้นสุดลงแต่ละวัน

ข) หลักการทำระดับ



ภาพที่ 11 แสดงการหาค่าระดับ

จากภาพที่ 11 ถ้าต้องการทราบค่าต่างระดับระหว่าง A และ B ทำได้โดยตั้งกล่องที่ M ตั้ง Staff ที่ จุด A และ B ตั้งระดับกล้องและปรับสายใยให้อ่านได้ชัดเจน

ค่าต่างระดับ = BS – FS

HI = ค่าระดับ BM + BS

ค่าระดับ B = HI – FS

สรุปเป็นสูตร

Elv. B = BM + (BS – FS)

Elv. B = HI – FS

ค) การคำนวณค่าต่างระดับ

ค.1) HI Method

Elevation = HI - FS

Check

$\sum$ BS –$\sum$ FS = Last Elv. – First Elv.

ค.2) Rise – Fall Method

ค่า BS – FS เป็นบวก เรียกว่า Rise

ค่า BS – FS เป็นบวก เรียกว่า Fall

Check

$\sum$ BS –$\sum$ FS = $\sum$Rise + $\sum$Fall

ง) ความโค้งของโลกและการหักเหของแสง (Curvature & Refraction)

ง.1) ความโค้งของโลก(Curvature; Cc)

เนื่องจาก Level line จะโค้งตามผิวโลกถ้าจุดตั้งกล้องและ Staff อยู่ใกล้กันมาก Level Line และ Horizontal Line จะเป็นเส้นเดียวกัน แต่ถ้าอยู่ไกลกันมาก Level Line และ Horizontal Line จะไม่เป็นระยะห่างระหว่างเส้นทั้งสองเรียกว่า Curvature

$$Cc = 0.07863D^2 \quad m.$$

เมื่อ D = ระยะระหว่างกล้องกับ Staff (km.)

ง.2) การหักเหของแสง (Refracetion ;Cr)

รังสีของแสงเมื่อผ่านชั้นต่างๆ ของบรรยากาศที่มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน จะทำให้แสงหักเหหรือเบนลง ดังนั้นค่าที่อ่านจาก Staff จะมีค่าน้อย จึงต้องเอาค่าการหักเหไปบวก

$$Cr = 0.011233D^2 \quad m.$$

เมื่อ D = ระยะระหว่างกล้องกับ Staff (km.)

ง.3) ผลรวม Curvature & Refraction (Ccr)

$$Ccr = 0.06762\ D^2 \quad m.$$

จ) การทำระดับแบบสวนกลับ (Reciprocal Levelling)

การทำระดับแบบสวนกลับ ใช้ในกรณีที่มีอุปสรรคขวางกั้น เช่น การทำระดับข้ามแม่น้ำ หุบเขา ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากไม่สามารถตั้งกล้องที่กึ่งกลางได้ การทำระดับแบบสวนกลับสามารถขจัด Error ที่เกิดจาก

- Curvature & Refraction
- แนวเล็งของกล้องเอียง (Collimation Error)

ฉ) การถ่ายระดับ

ฉ.1) การถ่ายระดับแบบไปกลับ (Forward – Backward Run)

ถ่ายระดับออกจากหมุดหนึ่งเข้าอีกหมุด เรียกว่า F – Run เสร็จแล้วถ่ายกลับเรียกว่า B – Run โดยอ่าน Staff สายใยเดียว

ฉ.2) การใช้ TP 2 ชุด (Double Rod Run)

ทำโดยใช้กล้องหนึ่งตัว Staff 2 ตัว การจดจะจดแบบไปกลับ หรือ BS รวมกับ FS ก็ได้

ฉ.3) การใช้กล้องสองตัว Staff สองตัว (Double Instrument)

มีข้อดีคือส่องเสร็จในเวลาเดียวกัน ทำให้ค่าคลาดเคลื่อนจากธรรมชาติเหมือนกันและเท่ากัน

ฉ.4) การทำระดับ 3 สายใย (Three Wire Levelling)

สามารถขจัด Ccr และ Collimation Error ได้โดยการทำให้ระยะ BS และ FS เท่ากัน ผลต่างของ Upper Intercept กับ Lower Intercept ไม่เกิน 2 มม.

ช) การปรับแก้

การปรับแก้จากค่า Bench Mark (BM)

สูตร

$$\text{ค่าปรับแก้} = \frac{\text{ค่าแก้ทั้งหมด} * \text{ระยะสะสม}}{\text{ระยะทั้งหมด}}$$