

ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

THE HORIZONTAL POSITION ACCURACY OF THE SATELLITE IMAGE
THROUGH INTERNET SERVICE

วรณารถ ศิริสวัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

มิถุนายน 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

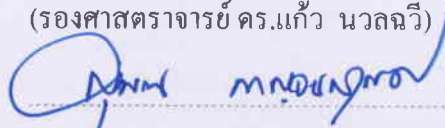
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ วรณารด ศิริสหวัดน์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



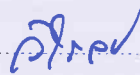
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

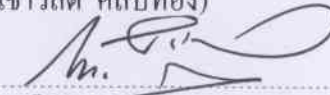
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



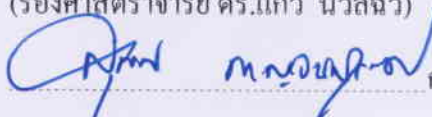
ประธาน

(ดร.เชาวลิต ศิลปทอง)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี)



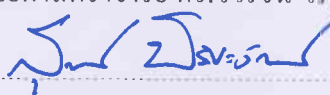
กรรมการ

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)



กรรมการ

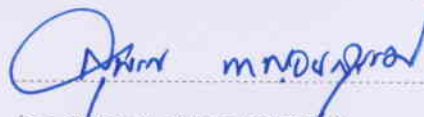
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเมศวร์ พิริยะวัฒน์)

คณะภูมิสารสนเทศศาสตร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีภูมิศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา



คณบดีคณะภูมิสารสนเทศศาสตร์

(ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม)

วันที่ 6 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2556

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.แก้ว นวลฉวี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ อัมชา ก.บัวเกษร ดร.สุพรรณ กาญจนสุธรรม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ เรืองประเทืองสุข อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อผิดพลาดต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบใจน้องๆ จากกรมแผนที่ทหาร กองบัญชาการกองทัพไทย ร้อยเอก วิชัย พระวิบูลย์ และ ร้อยโท ปริชญ์ ทวีวัฒน์ ที่ร่วมงานสำรวจภาคสนามและจัดเก็บข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส และให้ความช่วยเหลือในการประมวลผลโครงข่ายจีพีเอสในการวิจัยครั้งนี้ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นกตัญญูคุณเวทิตาแด่ บพภารี บุรพาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษาและประสบความสำเร็จมาตราบนานเท่านานนี้

วรณารถ ศิริสหัสวัฒน์

50925174 : สาขาวิชา : เทคโนโลยีภูมิศาสตร์ ; วท.ม. (เทคโนโลยีภูมิศาสตร์)

คำสำคัญ : ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ / แผนที่ / ภาพถ่ายจากดาวเทียม

วรรณารถ ศิริสหวัดน์ : ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต (THE HORIZONTAL POSITION ACCURACY OF THE SATELLITE IMAGE THROUGH INTERNET SERVICE)

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ : แก้ว นวลฉวี, Ph.D., สุพรรณ กาญจนสุธรรม, D.Tech.Sc., วิโรจน์ เรื่องประเทืองสุข, Ph.D., 111 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต และศึกษาความเหมาะสมในการนำแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตไปใช้ในการปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในมาตราส่วนต่าง ๆ

การทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตนี้เป็นไปตามตามเกณฑ์ของ FGDC 1998 โดยมีจุดทดสอบจำนวน 28 จุด และเมื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน (Quadrant) ในแต่ละส่วนมีจุดทดสอบไม่น้อยกว่า 6 จุด (ร้อยละ 20 ของ 28 จุด) แต่ละจุดต้องมีการกระจายตัวของตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอ โดยต้องมีระยะห่างระหว่างจุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของระยะตามแนวเส้นทแยงมุม (d) ของพื้นที่ทดสอบ (27 กม. × 27 กม.) การรังวัดค่าพิกัดทางราบของจุดทดสอบกระทำโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสแบบชนิดสองความถี่ ทำการรังวัดด้วยวิธีสถิตอย่างรวดเร็วแล้วนำมาประมวลผลภายหลังด้วยโปรแกรม TGO (Trimble Geomatic Office) ตามเกณฑ์งานชั้น C ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนบรรจบไม่เกิน 10 ppm (part per million) ค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจะถือเป็นค่าอ้างอิงเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่อ่านได้บนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตเพื่อคำนวณหาความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบโดยใช้หลักเกณฑ์ค่าสถิติ RMSE (Root Mean Square Error) ตามมาตรฐานของ NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) ประเทศสหรัฐอเมริกา

ผลการวิจัยพบว่าแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต มีความคลาดเคลื่อนตามทิศตะวันออก 1.88 เมตร มีความคลาดเคลื่อนตามทิศเหนือ 1.80 เมตร มีความคลาดเคลื่อนทางราบ 2.60 เมตร และมีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบ 4.50 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่ มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1 : 22,500 หรือเล็กกว่า และมี

ความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ตามข้อกำหนดของกองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร ในมาตราส่วน 1 : 10,000 Class II ซึ่งต้องการค่าความถูกต้องที่ 5.0 เมตร หรือมาตราส่วนที่เล็กกว่า และสำหรับงานสำรวจทางสมุทรศาสตร์มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในงานชั้น Order 1 ซึ่งต้องการความถูกต้องทางราบ 5 เมตร + 5% ของความลึก และหากพิจารณาตามมาตรฐานของ United States National Map Accuracy Standards จะมีความเหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1 : 5,316 หรือเล็กกว่า

50925174: MAJOR: GEOGRAPHICAL TECHNOLOGY; M.Sc.(GEOGRAPHICAL TECHNOLOGY)

KEYWORDS: HORIZONTAL POSITION ACCURACY/ MAP/SATELLITE IMAGE

WORANART SIRISAHAWAT: THE HORIZONTAL POSITION ACCURACY OF THE SATELLITE IMAGE THROUGH INTERNET SERVICE

ADVISORY COMMITTEE: KAEW NUALCHAWEE, Ph.D., SUPAN KARNCHANASUTHAM, D.Tech.Sc, WIROGANA RUENGPHRATHUENGSAKA, Ph.D., 111 P. 2013.

This research aim is to study the horizontal position accuracy of the maps through internet service and to conduct the feasibility of application of satellite through internet service, to update the maps in multi scales.

Testing of the position accuracy is based on standards of Federal Geodetic Data Committee 1998 (FGDC 1998). In the testing, 28 horizontal control points is tested and the testing area is divided into four sections, quadrant. Each quadrant consists of less than 6 points of 20 percent of all 28 points. Those point location are required to distribute regularly. Distance between points is not less than 10 percent of the distance along the diagonal line (d) of the test area with 27 by 27 square km. Positioning of the horizontal coordinates of the points is by fast static technique with two frequency GPS receivers. Later, post processing is conducted on TGO (Trimble Geomatic Office) under C-class order standard of GPS position surveying with 10 part per million or ppm. The coordinates of the test point by the GPS surveying as the reference are compared to the coordinates of the points displayed on the internet. This comparison is to calculate the horizontal accuracy by statistics techniques, Root Mean Square Error (RMSE) following National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSA), USA

The results indicated that the map through Internet Service has east wad 1.88 meter and northward 1.80 meter standard deviation as well as 4.5 meter horizontal accuracy with 95 percent confidence level. Also In terms of application of map updating, the figure of accuracy from the testing shows the map on the internet would be suitable for map updating and revision at 1:22500 map scale or smaller because the accuracy from the testing is satisfied with the specification of map revision with 1:10000 scale, Class II. This specification endorsed by the Mapping Division, Royal Thai Survey Department requires 5 meter accuracy for 1:10000 scale or smaller . For oceanographic surveying the testing result shows the map would be suitable for map information updating and revision at 1st Order Class with 5 meter +5 % of water depth. Also it would be applicable for map updating and revision at 1:5316 map scales or smaller with satisfaction of the standard United States National Map Accuracy Standards.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์	2
กรอบแนวคิดการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย	4
ขอบเขตการวิจัย	4
ข้อจำกัดการวิจัย	5
นิยามศัพท์เฉพาะ	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
Map Server	6
หลักการทำงาน Map Server	7
The Open Geospatial Consortium (OGC)	8
มาตรฐานในด้านระบบภูมิสารสนเทศ	10
Web Mapping Service (WMS)	10
การประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่	19
การกำหนดตำแหน่งพื้นผิวโลกด้วยดาวเทียม	22
เทคนิคการรังวัดของระบบจีพีเอส	33
เส้นฐานอิสระในการรังวัดแบบสัมพัทธ์ (Independent baselines)	35
ระยะเวลาในการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (Observation Times)	37
องค์ประกอบของระบบจีพีเอส	38
จำแนกประเภทของงานรังวัดด้วยดาวเทียม	42

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ประเภทของความถูกต้องเชิงตำแหน่ง	42
การทดสอบความถูกต้อง (Accuracy Test)	43
ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่เหมาะสมกับแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ	43
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	52
ข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล	52
เครื่องมือและสิ่งอุปกรณ์	52
วิธีและขั้นตอนดำเนินการวิจัย	53
การเลือกจุดทดสอบและอ่านค่าพิกัดด้วยโปรแกรม Google Earth	54
การรังวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS	55
การถ่ายทอดข้อมูลการรังวัด	57
การประมวลผลเส้นฐาน	57
การตรวจสอบเส้นฐาน	57
การบันทึกเส้นฐาน	58
การตรวจสอบโครงข่าย	58
การปรับแก้โครงข่าย	58
การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง	60
การกำหนดมาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสม	61
บทที่ 4 ผลการวิจัย	62
การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและการสร้างจุดทดสอบ	62
ค่าพิกัดของจุดทดสอบซึ่งอ่านได้จากโปรแกรม Google Earth	63
โครงข่ายของจุดทดสอบที่ทำการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS	65
ผลการประมวลผลเส้นฐาน	65
การตรวจสอบวงบรรจบ	66
ค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ได้จากการปรับแก้โครงข่าย	67
การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง	69
มาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 อภิปรายและสรุปผล	74
อภิปรายผลการวิจัย	74
สรุปผลการวิจัย	77
ข้อเสนอแนะ	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	83
ประวัติย่อผู้วิจัย	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงคุณลักษณะดาวเทียม QuickBird	13
2	แสดงระบบตรวจจับของดาวเทียม QuickBird	14
3	มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่	45
4	ค่าพิสัยของจุดทดสอบที่อ่านได้จากโปรแกรม Google Earth	64
5	ค่าพิสัยของจุดทดสอบหลังการปรับแก้	68
6	ผลการคำนวณค่าต่างทางราบและทางตั้งของจุดทดสอบทั้ง 27 จุด	70
7	ข้อพิจารณามาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้	78

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	กรอบแนวคิดการวิจัย	3
2	โปรแกรม Google Earth	12
3	โปรแกรม NASA World Wind	16
4	โปรแกรม NOSTRA Map Service	17
5	โปรแกรม Longdo Map	19
6	ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 1 ดวง	23
7	ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 2 ดวง	23
8	ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 3 ดวง	24
9	ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 4 ดวง	24
10	การรังวัดเวลาที่ถูกต้องจากดาวเทียม 2 ดวง	27
11	การรังวัดเวลาที่ผิดพลาดจากดาวเทียม 2 ดวง	28
12	การรังวัดเวลาที่ผิดพลาดจากดาวเทียม 3 ดวง	28
13	วงโคจรดาวเทียมระบบจีพีเอส	30
14	ความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากสภาพชั้นบรรยากาศของโลก	31
15	การสะท้อนของสัญญาณจีพีเอสเมื่อตกกระทบกับอาคาร สิ่งก่อสร้าง	31
16	รอยตัดที่เกิดจากการรังวัดที่มีเรขาคณิตไม่ดี	32
17	รอยตัดที่เกิดจากการรังวัดที่มีเรขาคณิตดี	32
18	การรังวัดแบบ Single Difference	34
19	การรังวัดแบบ Double Difference	34
20	การรังวัดแบบ Triple Difference	35
21	จำนวนเส้นฐานอิสระ	36
22	การออกแบบโครงข่ายที่ดี	37
23	ระยะเส้นฐาน จำนวนดาวเทียม และระยะเวลาในการรังวัด	38
24	องค์ประกอบของระบบจีพีเอส	39
25	ที่ตั้งสถานีควบคุมภาคพื้นดิน	39
26	ลักษณะของการกล้ำสัญญาณ	41
27	แผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัย	53
28	ตัวอย่างจุดทดสอบที่ทำการสกัดบนพื้นผิวแอสฟัลต์	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
29	การรังวัดค่าพิกัดจุดทดสอบด้วยเครื่อง Trimble รุ่น 5700 R7	56
30	ตำแหน่งที่ตั้งของจุดทดสอบบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม	63
31	โครงข่ายของจุดทดสอบที่ทำการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS	66
32	ค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบของโครงข่ายที่ใช้ในการวิจัย	67
33	แสดงวิธีการและผลที่ได้จากการวิจัย	73

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันหลายหน่วยงานในประเทศไทยทั้งภาครัฐและเอกชนได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographical Information Systems: GIS) เข้ามาใช้ประโยชน์ในการจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นในหน่วยงานหรือพื้นที่ที่สนใจอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น การวางผังเมือง การวางโครงข่ายชลประทาน การวิเคราะห์หาพื้นที่เสี่ยงต่อการเกิดพิบัติภัย การวางเครือข่ายไฟฟ้า ประปา และโทรศัพท์ เป็นต้น ข้อมูลที่สำคัญของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์คือ แผนที่ในมาตราส่วนต่าง ๆ ทั้งที่เป็นแผนที่กระดาษ แผนที่ดิจิทัล รวมถึงแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมซึ่งถือเป็นข้อมูลชั้นต้นในการจัดทำแผนที่อื่น ๆ (ชัยวัฒน์ พรหมทอง, 2551)

ข้อมูลด้าน GIS ที่กล่าวถึงในขั้นต้นสามารถเข้าถึงได้ง่ายโดยการเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทางโปรแกรมประยุกต์ หรือเว็บเบราว์เซอร์ เพื่อทำการเรียกค้นข้อมูลที่ต้องการจากทางผู้ให้บริการหรือเครื่องแม่ข่ายซึ่งจะทำการแสดงผลข้อมูลตามที่ใช้ร้องขอ การให้บริการข้อมูล GIS ผ่านอินเทอร์เน็ตนี้มีทั้งแบบที่เสียค่าบริการและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย (ธงชัย โพธิ์ทองและ ธีระลาภิชชยางกุล, 2552) ในปัจจุบันการใช้งานระบบ GIS จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็วจากที่เคยใช้งานในรูปแบบหนึ่งผู้ใช้หนึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งฐานข้อมูล เป็นการใช้อินเทอร์เน็ตกลางร่วมกันแล้วแยกวิเคราะห์ตามความต้องการของผู้ใช้หลาย ๆ คน เมื่อประกอบกับความก้าวหน้าและแพร่หลายอย่างรวดเร็วของการใช้งานระบบอินเทอร์เน็ตทำให้มีการนำเทคโนโลยีสารสนเทศซึ่งมีความสำคัญในการวางแผนและการจัดการในด้านต่าง ๆ โดยเน้นการนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่เผยแพร่ผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยเรียกว่า Web Based GIS ปัญหาของการใช้งานระบบเทคโนโลยีสารสนเทศผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต คือ ความถูกต้องของข้อมูลทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) ได้แก่ ข้อมูลในรูปแบบภาพ (Raster) ข้อมูลแบบเส้น (Vector) ข้อมูลแบบรูปหลายเหลี่ยม (Polygon) ข้อมูลแบบจุด (Point) และข้อมูลเชิงอรรถธิบาย (Attribute data) เนื่องจากข้อมูลที่มีการเผยแพร่ นั้นมีหลากหลายที่มา ทำให้เกิดความสับสนของผู้ใช้ในการค้นหาข้อมูล (ชัยภัทร เนื่องคำมา, 2554)

สำหรับข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมผู้ใช้สามารถเรียกค้นได้จากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทางโปรแกรมประยุกต์เช่น Google Earth และ Point Asia นอกจากนี้ยังเรียกใช้ผ่านทางเว็บ Google Map ได้อีกด้วย แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมแสดงข้อมูลรายละเอียดบนพื้นผิว

บางอย่างได้ดีกว่าแผนที่ชนิดอื่น เช่น ลักษณะทางกายภาพและสีของสิ่งปลูกสร้าง เนื่องจากเป็นการแสดงข้อมูลด้วยภาพจริงไม่ใช่การแสดงโดยใช้สัญลักษณ์เช่นแผนที่ลายเส้นทั่วไป อีกทั้งข้อมูลแผนที่ลายเส้นที่ใช้งานทั่วไปก็ได้มาจากการเขียนถ่ายทอรายละเอียดและแปลความหมายจากแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมทั้งสิ้น

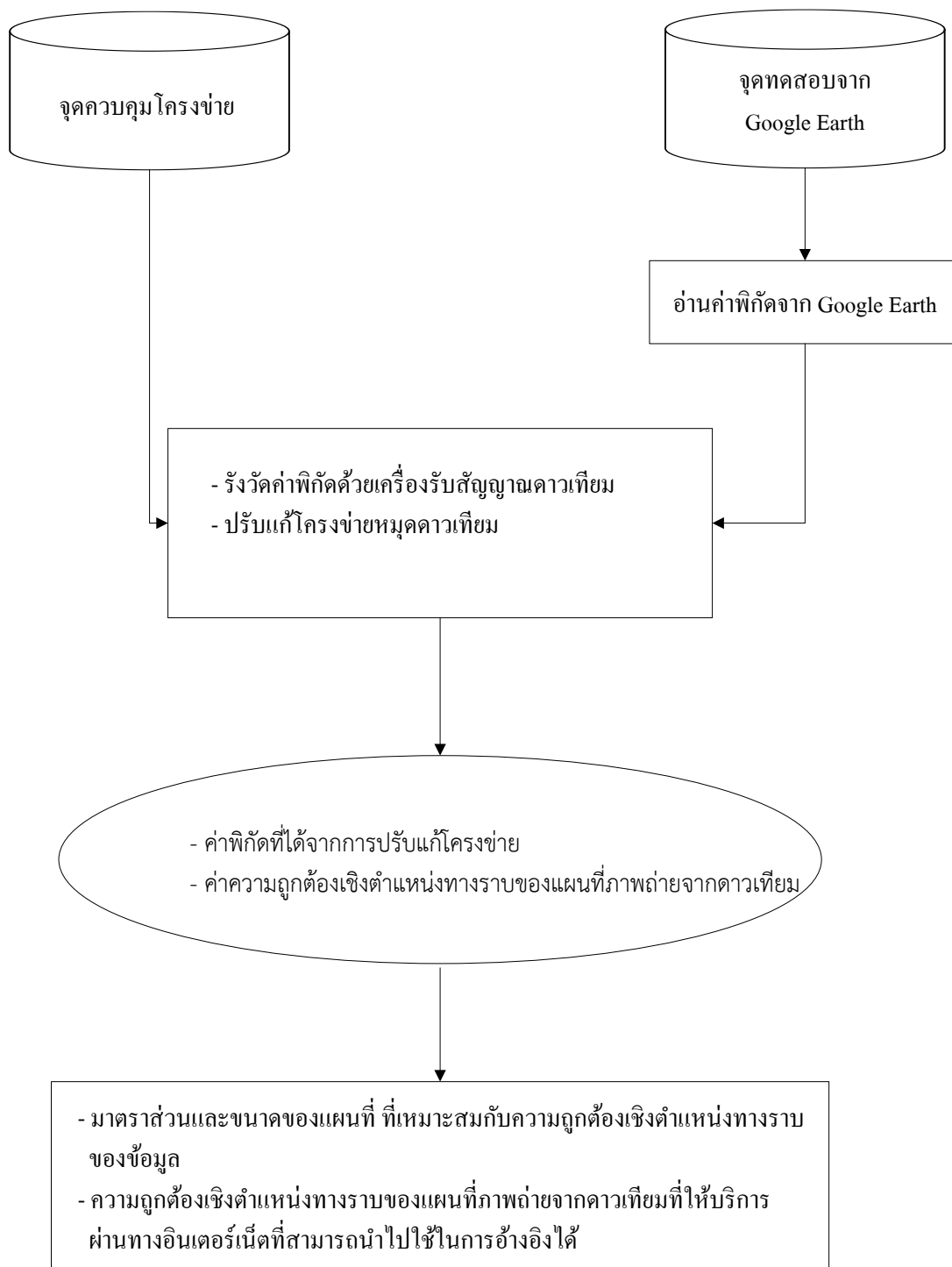
แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลายเช่น การสร้างแผนที่และปรับปรุงข้อมูลแผนที่ผ่านทางเครื่องมือเสริมของโปรแกรม การวางแผนการเดินทาง การให้บริการช่วยเหลือทางการแพทย์ หรืออุบัติเหตุ การให้ข้อมูลส่งเสริมการขายผ่านทาง การเชื่อมโยงด้วยเว็บเบราว์เซอร์ เป็นต้น อย่างไรก็ตามความต้องการเชิงตำแหน่งของข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตนั้นยังไม่มีการรับรองความถูกต้องจากทางผู้ให้บริการ จึงเป็นความรับผิดชอบของผู้ใช้งานเองที่จะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลดังกล่าวว่ามีความถูกต้องเพียงพอต่อความต้องการหรือไม่ (Google Terms of Service, 2007)

การนำภาพถ่ายจากดาวเทียมไปจัดทำแผนที่มาตราส่วนใหญ่ก็จำเป็นจะต้องมีการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายเพื่อตรวจสอบว่าภาพถ่ายจากดาวเทียมนั้นมีความเหมาะสมต่อการทำแผนที่ในมาตราส่วนใด เนื่องจากแผนที่ในแต่ละมาตราส่วนนั้นต้องการความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ไม่เท่ากัน (ชัยวัฒน์ พรหมทอง, 2551) แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยบริษัท Google ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ก็เช่นกัน ก่อนจะนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ควรมีการทดสอบเพื่อประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งเสียก่อน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดเกณฑ์หรือมาตรฐานของงานที่จะนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการประเมินค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดย Google
2. เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการนำแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดย Google ไปใช้ในการปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในมาตราส่วนต่าง ๆ

กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. ทำให้สามารถประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตด้วยวิธีการที่เหมาะสมได้
2. ทำให้ทราบมาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงข้อมูลแผนที่โดยใช้แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต
3. ทำให้ทราบวิธีการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ใช้ในการวิจัยนี้และสามารถนำไปใช้สำหรับประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของข้อมูลอื่นๆในระบบ GIS ได้

ขอบเขตการวิจัย

1. เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการ โดยทดสอบความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ด้วยการเปรียบเทียบค่าพิกัดเฉลี่ยที่อ่านได้บนแผนที่โดยผู้วิจัย และผู้ช่วยวิจัยจำนวน 2 คน ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการสำรวจและการทำแผนที่จากกรมแผนที่ทหาร กับค่าพิกัดอ้างอิงที่สำรวจในสนามด้วยเครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียม GPS (Global Positioning Systems) ชนิดสองความถี่ ทำการประมวลผลเส้นฐาน (Baseline Processing) และปรับแก้เป็นโครงข่าย (Network) จำนวน 28 จุด
2. พื้นที่ศึกษา จังหวัดชลบุรี ครอบคลุมพื้นที่ในแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ระวัง 5235 IV อำเภอพนัสนิคม สาเหตุที่ทำการกำหนดพื้นที่วิจัยโดยใช้ระวางแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 เนื่องจากเป็นแผนที่ฐาน (Base Map) ของประเทศไทยที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในภาครัฐและเอกชน อีกทั้งยังสามารถอ่านค่าพิกัดจุดทดสอบเบื้องต้นจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่รังวัดได้ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS เพื่อป้องกันปัญหาการเข้ารังวัดค่าพิกัดผิดพลาดได้
3. แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลที่ให้บริการผ่านโปรแกรม Google Earth โดยบริษัท Google เนื่องจากข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมของผู้ให้บริการรายนี้สามารถแสดงข้อมูลค่าพิกัดของจุดภาพให้ผู้ใช้สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึงระดับเซนติเมตร
4. การรังวัดและประมวลผลข้อมูลในการรังวัดค่าพิกัดของจุดทดสอบซึ่งรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดสองความถี่ดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจากกรมแผนที่ทหาร

ข้อจำกัดการวิจัย

เนื่องจาก Google Earth ซึ่งเป็นผู้ให้บริการแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต มีการใช้ข้อมูลภาพถ่ายจากหลายที่มาในแต่ละพื้นที่ ดังนั้นผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้จึงเป็นผลสรุปที่ผู้ใช้ได้เฉพาะในพื้นที่และช่วงเวลาที่ทำกรวิจัยเท่านั้น สำหรับช่วงเวลาและพื้นที่อื่นๆ ที่ต้องการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมสามารถใช้วิธีการเดียวกันกับการวิจัยครั้งนี้เพื่อทดสอบได้

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม หมายถึง แผนที่ซึ่งเกิดจากการนำภาพถ่ายจากดาวเทียมมาทำการระบุตำแหน่งพิกัด ใต้สัญลักษณ์ หรือลายเส้นแสดงข้อมูลเพิ่มเติมตามแต่ความต้องการในการใช้ สามารถจัดทำได้รวดเร็วแต่ผู้ใช้ต้องมีความชำนาญในการอ่านและใช้

2. GPS (Global Positioning Systems) หมายถึง ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง เคลื่อนที่บน 6 ชั้นวงโคจร ชั้นวงโคจรละ 4 ดวง แต่ละชั้นวงโคจรทำมุม 55 องศากับระนาบอีควเอเตอร์ ดาวเทียมโคจรด้วยความสูง 20,200 กิโลเมตร แต่ละรอบวงโคจรใช้เวลา 12 ชั่วโมง

3. การประมวลผลเส้นฐาน (Baseline Processing) หมายถึง การนำข้อมูลการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจากเครื่องรับซึ่งเปิดรังวัดในห้วงเวลาเดียวกันมาทำการคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสองเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือและความเข้ากันได้ของข้อมูลที่ได้จากการรังวัด และหาตำแหน่งของเครื่องรับที่มีความถูกต้องแม่นยำ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้สามารถทำความเข้าใจในเรื่องความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตเป็นไปได้โดยง่าย ควรเริ่มศึกษาจากความเป็นมาของการให้บริการภาพถ่ายจากดาวเทียมผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดย Google Earth ว่ามีที่มาของข้อมูลอย่างไร รวมทั้งรูปแบบและนโยบายในการให้บริการ จากนั้นจึงทำความเข้าใจในเรื่องของรูปแบบและวิธีการในการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสากล

เมื่อมีความรู้ในเรื่องการให้บริการแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตและการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่แล้ว ต่อไปจึงทำการศึกษาทฤษฎีและวิธีการรังวัดค่าพิกัดของจุดทดสอบด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียม GPS หลังจากนั้นจึงนำความรู้ในเรื่องมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่เหมาะสมกับแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ มาใช้ในการวิเคราะห์ผลการวิจัย

ในท้ายที่สุดคือการค้นคว้าหาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ทั้งจากเอกสารงานวิจัยภายในประเทศและต่างประเทศทั้งนี้เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการออกแบบวิธีดำเนินการวิจัย และใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง

Map Server

ปัจจุบันการให้บริการข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์เป็นที่แพร่หลายมากทำให้มีการพัฒนาการให้บริการขึ้นมาหลายรูปแบบ รวมทั้งรูปแบบความต้องการใช้ข้อมูลก็มีมากขึ้นด้วย เช่น ต้องการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความแตกต่างกันทาง ด้านสถาปัตยกรรม และระบบจัดการ หรือต้องการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกระทรวงที่มีรูปแบบการเก็บข้อมูลแตกต่างกัน (เช่น กรมควบคุมโรคระบาดต้องการแลกเปลี่ยนข้อมูล กับกรมแผนที่ทหาร) อีกทั้งการแลกเปลี่ยนที่มีเงื่อนไขการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อน เช่น ต้องการข้อมูลทั้งหมดของอำเภอมก๋อย แต่ไม่ต้องการข้อมูลที่ละเอียดกว่าระดับตำบล เป็นต้น นอกจากนี้ ยังมีความต้องการการบริการข้อมูลแผนที่ผ่านเครื่องพีดีเอหรือโทรศัพท์เคลื่อนที่ การให้บริการข้อมูลแผนที่ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตมีสองแบบ ได้แก่ แม่ข่ายแผนที่แบบเวกเตอร์ มีข้อดีคือ เมื่อโหลดข้อมูลแล้ว การทำงานบนแผนที่จะรวดเร็ว เนื่องจากมีข้อมูลบางส่วนถูกโหลดมาอยู่บนเครื่องลูกข่าย แต่ข้อเสียคือช้าขณะโหลดข้อมูล

ในตอนแรก อีกแบบคือแม่ข่ายแผนที่แบบราสเตอร์ ข้อดีคือแม่ข่ายแผนที่แบบนี้ เป็นแม่ข่ายที่สร้างเป็นแผนที่ภาพส่งไปให้ผู้ใช้งานเห็นเป็นภาพๆ หนึ่ง แต่ไม่ใช่เป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ หากมีการแก้ไขข้อมูล เมื่อผู้ใช้เรียกภาพต่อไปก็ได้ข้อมูลใหม่ไปทันทีที่เหมาะสมสำหรับ เครือข่ายที่มีแบนด์วิดท์ (Bandwidth) ไม่มาก เนื่องจากความเร็วในการเรียกแผนที่ค่อนข้างคงที่ ตัวอย่างของ Map Server ที่ใช้ในปัจจุบัน คือ Minnesota Map Server โดยเครื่องลูกข่ายจะร้องขอข้อมูลแบบ CGI (Common Gateway Interfaces) ผ่านเครือข่ายไปยังเครื่องแม่ข่าย เครื่องแม่ข่ายประมวลผลและจัดสร้างเป็นแผนที่ภาพ (Bitmap) ส่งไปยังเครื่องลูกข่าย (พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โภกนุทาภรณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554)

หลักการทำงาน Map Server

เมื่อผู้ใช้ส่งคำขอมาในรูปแบบ CGI ที่ Map Server เข้าใจ Map Server มี CGI command options กว่า 30 options ที่ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนแปลงขอบเขตภูมิศาสตร์ในการเรียกดูแผนที่ การสืบค้นคืน และการฉายแผนที่แบบ on-the-fly และอื่นๆ เมื่อ Map Server ได้รับคำสั่งผ่านกลไก CGI Map Server จะอ่าน Map file เข้ามา หน้าที่หลักของ Map file คือ การกำหนดว่าจะต้องมีการอ่านข้อมูลภูมิสารสนเทศใดบ้าง อ่านอย่างไรและแสดงผลอย่างไร Map file ประกอบด้วยชุดคำสั่งที่ออกแบบเป็นเชิงวัตถุ 12 Classes สำหรับตอบสนองความต้องการเบื้องต้นและขั้นสูงในการเรียกใช้ภูมิสารสนเทศผ่านเว็บตัวอย่าง มีคำสั่งในการกำหนดคุณลักษณะของวัตถุ เช่น การกำหนดชั้นข้อมูลแต่ละชั้นอยู่ในแฟ้มข้อมูลใด จะแสดงผลด้วยคุณลักษณะทางแผนที่ด้วยสัญลักษณ์อย่างไร จะตอบสนองการสืบค้นของผู้ใช้อย่างไร เป็นต้น จากนั้น Map Server ก็จะส่งภาพ bitmap ให้กับผู้ใช้ปลายทางคืน bitmap ผลลัพธ์สำหรับ Minnesota Map Server สามารถติดตั้งและรับการร้องขอได้หลายรูปแบบได้แก่ GIF, TIFF, PNG และ WBMP นอกจากนี้หากใน Map file มีการระบุ Template file ที่เป็น HTML และมี Template variable ที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลกับ Map Server ด้วยหลักการนี้ ผู้ใช้สามารถใช้เครื่องมือในการพัฒนาเว็บเพจทั่วไปในการพัฒนารูปแบบของโปรแกรมประยุกต์ได้ เมื่อมีการส่งข้อมูล bitmap มายังผู้ใช้ ก็จะมีการนำ Template มาใช้ในการแสดงผลพร้อมกับแผนที่ที่เรียกดูได้ (พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โภกนุทาภรณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554)

นอกจากนั้นการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ Minnesota Map Server ยังสามารถทำได้ด้วยภาษาเกือบทุกภาษาที่แพร่หลายในการเขียนเว็บเพจ เช่น Java , Java Script เป็นต้น Minnesota Map Server ยังมี API ที่รองรับการเชื่อมต่อกับภาษาขั้นสูงที่เรียกว่า Map Script ทำให้ผู้ใช้สามารถพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ทั่วไปและผ่านเครือข่ายด้วยภาษาขั้น สูงเช่น Perl, PHP, Tk/Tcl หรือ Python ได้ ซึ่งทำให้ Map Server มีทางผ่านไปยัง API อื่นๆ ที่มีอยู่ในภาษาขั้นสูงนี้อีกเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลแบบสัมพันธ์อื่นๆ ที่เป็นเชิงพาณิชย์ เช่น MS-SQL

ODBC Oracle Informix หรือซอฟต์แวร์เปิดรหัสอย่าง My SQL หรือ Postgre SQL ดังนั้นไม่ว่าเครื่องแม่ข่ายจะมีข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์มากน้อยเท่าใดก็ตาม ข้อมูลที่ส่งผ่านเครือข่ายก็จะเป็นเพียง bitmap ที่มีขนาดที่เล็กกว่าจอภาพมอนิเตอร์โดยทั่วไปและมีขนาดที่คงที่ ในการแสดงผลแผนที่ Map Server สามารถที่จะใช้สัญลักษณ์ที่ผู้ใช้สามารถออกแบบเองได้สามารถทำสัญลักษณ์จาก bitmap ก็ได้ การแสดงตัวอักษรสามารถเรียกใช้ True Type Font ซึ่งทำให้ผู้ใช้มีความสะดวกในการเลือกใช้แบบอักษรที่มีให้เลือกคายคืน รวมทั้งสามารถใช้แสดงผลภาษาไทยได้อย่างสวยงามอีกด้วย Minnesota Map Server สามารถอ่านข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ที่เป็นมาตรฐานและแพร่หลายได้เป็นจำนวน มากทั้งราสเตอร์และเวกเตอร์ Map Server อ่านข้อมูลหลายรูปแบบเข้าโดยตรงและไม่จำเป็นต้องแปลงรูปแบบการจัดเก็บเสีย ก่อน ทำให้ข้อมูลมีความเป็นเอกภาพ ประหยัดเนื้อที่ในการจัดเก็บ เวลาในการแปลงและไม่มีความคิดพึ่ยนในระหว่างการแปลงรูปแบบการจัดเก็บ Minnesota Map Server มีไลบรารีที่อ่านรูปแบบการจัดเก็บต่างเป็นของตนเอง (Native Library) ส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งอาศัยไลบรารี Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) ที่มีความสามารถในการอ่านข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ได้หลากหลายทั้งราสเตอร์ และเวกเตอร์รวมแล้วกว่า 20 แบบ (พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โภกนุทาภรณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554)

The Open Geospatial Consortium (OGC)

เป็นองค์กรที่เกิดจากการรวมกลุ่มของบริษัทต่างๆในภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนหน่วยงานของรัฐและเอกชน เพื่อกำหนดมาตรฐานในการทำงานร่วมกัน ก่อให้เกิดการทำงานแบบ Interoperability สำหรับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับสารสนเทศเชิงพื้นที่และเชิงตำแหน่ง รวมไปถึงการสนับสนุน ส่งเสริมการแบ่งปันข้อมูลปริภูมิในรูปแบบการบริการข้อมูลปริภูมิ เพื่อให้การใช้ข้อมูลปริภูมิอย่างเกิดประโยชน์สูงสุด โดยได้นำช่องทางอินเทอร์เน็ตมาใช้ในการบริการข้อมูลปริภูมิอย่างมีมาตรฐาน ช่วยก่อให้เกิดความสะดวกในการเรียกดูและเรียกใช้ข้อมูลปริภูมิได้จากทุกๆ แหล่งข้อมูลบนโลกที่อยู่เชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต ก่อให้เกิดการแบ่งปันข้อมูลปริภูมิไปยังผู้ใช้ข้อมูลในระดับต่างๆ โดย OGC ได้พัฒนาข้อกำหนดมาตรฐานหลัก ที่นิยมกันใช้กันอย่างแพร่หลายได้แก่ Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service(WCS), Style Layer Descriptor (SLD), Filter Encoding (FE), Web Map Context (WMC), Geography Markup Language(GML) โดยมาตรฐานจะเน้นเกี่ยวกับการแสดงผลข้อมูล (Data Visualization) ,การค้นหาค้นหาข้อมูล(Discovery) ,การเข้าถึงและการรับข้อมูล(Access) , การเรียกสืบค้นข้อมูล (Query) , การเข้ารหัสข้อมูล(Encoding) (พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โภกนุทาภรณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554)

ในด้านเทคนิค Interoperability (การทำงานร่วมกัน) หมายถึงความสามารถในการสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูล หรือใช้งาน โปรแกรมระหว่างระบบหรือส่วนต่างๆ การทำงานร่วมกัน ประกอบด้วย ชั้น โพรโทคอลสำหรับการสื่อสาร ถึงชั้นฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และการเข้ากันได้ของข้อมูล ซึ่งมีลักษณะการทำงานตามวากยสัมพันธ์ โดยแต่ละระบบหรือส่วนของระบบ สามารถเข้าใจซึ่งกันและกันเกี่ยวกับความสามารถของส่วนอื่นๆ สำหรับ Open GIS การทำงานร่วมกัน หมายความว่าระบบโปรแกรมต่างๆ ทำงานด้วยกันได้ เพื่อแก้ไขความซ้ำซ้อนของงานในการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูล อุปสรรคในการนำเข้าและส่งออกข้อมูล และสิ่งกีดกันระหว่างระบบ และฐานข้อมูลต่างๆ ที่ใช้บนระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน ในการจัดการข้อมูลภูมิสารสนเทศ Interoperability แสดงความสามารถของระบบดิจิทัลสองลักษณะ (พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โกลนุกาภรณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554) ดังนี้

- การแลกเปลี่ยนข้อมูลภูมิสารสนเทศทุกประเภทอย่างอิสระ
- การใช้ซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้ข้อมูลที่แตกต่างกัน ร่วมกันได้ผ่านเครือข่ายโดยการร่วมมือกัน ซึ่งไม่ขึ้นอยู่กับยี่ห้อ รูปแบบ และระบบปฏิบัติการ เป็นต้น

ระบบที่มีความสามารถในการร่วมการทำงานมีประโยชน์อย่างยิ่ง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานภายในองค์กร และสร้างความเชื่อถือและความซื่อสัตย์ของผู้ใช้บริการ ในการปฏิบัติงาน การใช้ระบบที่สามารถทำงานร่วมกัน โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้ OGC WMS (Web Mapping Service) สามารถนำข้อมูลที่แตกต่างกันจากแหล่งต่างๆ มาใช้ร่วมกัน สามารถให้บริการข้อมูลตามมาตรฐานอุตสาหกรรมผ่านระบบ Web ได้ง่าย เพิ่มประสิทธิภาพในการนำข้อมูลมาใช้ใหม่ ตัดขั้นตอนการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูล ซึ่งเสียเวลาอย่างมาก และลดความยุ่งยากในการทำระบบให้เข้าหากัน และลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น ผลประโยชน์ที่ได้ทำให้สามารถลดบุคลากรที่ต้องการ ความชำนาญเฉพาะด้านในการเปลี่ยนรูปแบบของข้อมูล ลดความต้องการทรัพยากรด้านวิศวกรรม เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและประสบการณ์ทั้งภายในและภายนอก นอกจากนี้ การพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานและการประยุกต์การใช้งานที่มีมาตรฐาน สร้างความพร้อมในการให้บริการข้อมูล ลดระยะเวลาในการวางแผนและการผลิต และส่งเสริมการตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ (พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โกลนุกาภรณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554)

สำหรับผู้ใช้บริการ จะมีทางเลือกมากขึ้น ด้วยระบบมาตรฐาน ผู้ใช้ไม่ต้องกังวลสิ่งที่ได้ลงทุนไป ไม่ต้องยึดติดกับระบบที่มีอยู่ ผู้ใช้สามารถพัฒนาและขยายระบบโดยสามารถเลือกใช้บริการใหม่ที่ดีกว่าตามวัตถุประสงค์และความต้องการได้เสมอ โดยสรุปการใช้ระบบที่มีความสามารถการทำงาน (Interoperability) ได้ด้วยมาตรฐานอุตสาหกรรม มีประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

- การใช้บริการข้อมูลได้ทันทีและอย่างง่าย
- ลดความยุ่งยากในการปรับปรุงรักษาระบบ
- เพิ่มความทันสมัยของข้อมูล
- ลดการจับเก็บข้อมูลด้วยตนเอง
- ส่งเสริมการพัฒนาทางธุรกิจด้วยการให้บริการข้อมูลข่าวสาร Online

มาตรฐานในด้านระบบภูมิสารสนเทศ

ตามที่ The Open GIS Consortium (OGC) ผลักดันมาตรฐาน โพรโตคอลการเรียกดูแผนที่ผ่านเว็บที่เรียกว่า The Open GIS Web Map Server interface Specification (WMS) เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเรียกข้อมูลแผนที่จากเครื่องแม่ข่ายแผนที่หลายเครื่องพร้อมกัน และเครื่องแม่ข่ายแผนที่เป็นระบบใดก็ได้ที่ปฏิบัติตาม โพรโตคอลมาตรฐานของ OGC มาตรฐานเดียวกันนี้ เพื่อสร้างเครือข่ายแม่ข่ายแผนที่ชนิด Interoperable จากการริเริ่มของ OGC ก็กำลังได้รับการร่างให้เป็นมาตรฐานหนึ่งของ ISO ภายใต้ Working Item 19128 Minnesota Map นอกจากนี้จะมีโพรโตคอลที่เป็นของตนเองแล้ว ยังมีขีดความสามารถในการรับ โพรโตคอลตามมาตรฐาน OGC WMS 1.0.0 ถึง WMS 1.1.0 อีกด้วย โดยสามารถที่จะรับการร้องขอ REQUEST = Get Capabilities ที่จะให้ผลลัพธ์เป็น XML ที่สามารถนำไปใช้ในโปรแกรมประยุกต์โดยเฉพาะ Map Browser ที่สามารถเจรจากับแม่ข่ายแผนที่ได้ และเมื่อผู้ใช้งานร้องขอ REQUEST = Get Map ตามด้วยพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเฉพาะขอบเขตภูมิศาสตร์ที่ต้องการเรียกดูชนิดของข้อมูลที่ต้องการรับที่เป็นราสเตอร์ เช่น GIF PNG JPEG WBMP หรือแม้แต่เวกเตอร์ในรูปแบบ GML (พหุพหุ มิตรกิจการค้า, ดวงกลม โลกนุทการณณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554)

Web Mapping Service (WMS)

WMS คือ ส่วนที่ให้บริการข้อมูลในส่วนของคุณภาพ อันได้แก่ภาพถ่ายจากดาวเทียม ภาพถ่ายทางอากาศ หรือการให้บริการข้อมูลภูมิสารสนเทศศาสตร์ ทั้งในรูปแบบ vector และ raster ในรูปแบบของภาพแบบ JPEG หรือ PNG ฯลฯ แล้วจึงนำออก Web ตัวอย่าง เช่น UMN Map Server หรือ Google Maps ฯลฯ ล้วนแต่แสดงภาพข้อมูลแผนที่ออกมาในลักษณะ WMS

Web Mapping Service หรือ WMS เป็นระบบให้บริการข้อมูล GIS ผ่านเครือข่าย Internet/Intranet ซึ่งมีมาตรฐานกำหนดและสร้างขึ้น โดย Open GIS Consortium (OGC) ที่ได้กำหนดการบริการข้อมูลภูมิสารสนเทศใน Format ต่าง ๆ ประกอบด้วย PNG, GIF หรือ JPEG และ

มีมาตรฐานในการรองรับการร้องขอบริการจากผู้ใช้งาน โดยมีรายละเอียดใน 3 ลักษณะดังนี้ (พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โภกนุทธารณ์ และ รัชดา บุญลาภ, 2554)

- Get Capabilities จะส่งค่าการให้บริการ ในส่วนของ Metadata ซึ่งเป็นตัวอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของ ข้อมูลที่ให้บริการและการยอมรับค่าตัวแปรต่าง ๆ
- Get Map จะเป็นการส่งภาพแผนที่ซึ่งสามารถระบุชั้นข้อมูล ขนาดของภาพแผนที่และลักษณะของภาพแผนที่ได้ ซึ่งรูปแผนที่แสดงภาพในรูปแบบ PNG, GIF หรือ JPEG
- Get Feature Info มาตรฐานตัวนี้จะ เป็น Option ในการร้องขอข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของข้อมูลในแผนที่

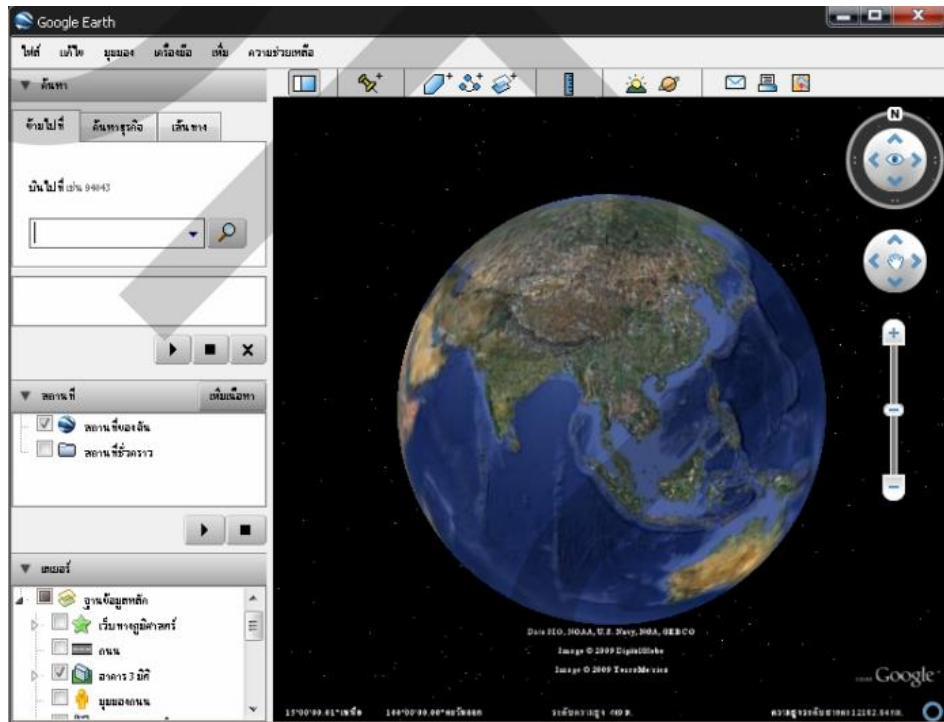
ประโยชน์ของ WMS คือ ความสามารถในการทำงานร่วมกันของระบบ ซึ่งมีการ Implement technology ที่ต่างกัน ทำให้สามารถทำงานร่วมกันได้บนโปรโตคอลมาตรฐาน ซึ่งปัจจุบันผู้ผลิตซอฟต์แวร์เกือบทุกค่ายก็จะมีโหมดการทำงานบนโปรโตคอลมาตรฐานของ OGC ประโยชน์สำหรับผู้ใช้งานคือ สามารถดึงข้อมูลจากแม่ข่ายที่ให้บริการข้อมูลบนโปรโตคอล WMS มาใช้ได้ ด้วยโปรแกรม GIS Desktop ทั่วไปเช่น ARCGIS, MAPINFO เป็นต้น โดยสามารถนำข้อมูลมาซ้อนทับกับชั้นข้อมูลปกติได้ ตัวอย่างโปรแกรม

1. แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดย Google Earth

กูเกิล เอิร์ธ (Google Earth) เป็นซอฟต์แวร์ที่พัฒนาโดยบริษัทกูเกิล สำหรับการใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล หรือในโทรศัพท์มือถือ โดยโปรแกรมจะทำการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ตสำหรับการเรียกดูภาพถ่ายจากดาวเทียมพร้อมทั้งแผนที่เส้นทาง และผังเมืองซ้อนทับลงบนแผนที่ รวมทั้งการแสดงผลข้อมูลผ่านระบบ GIS ในรูปแบบ 3 มิติ โปรแกรม Google Earth แบ่งประเภทการให้บริการได้ 3 แบบคือ (wikipedia, 2011)

1.1 Google Earth รุ่นธรรมดา เป็นรุ่นที่แจกฟรี ข้อมูล ณ วันที่ 23 พฤศจิกายน 2553 เปิดให้บริการดาวน์โหลดได้ถึงรุ่น 6.0.0.1735 สามารถรังวัดระยะทาง ความสูง ลากเส้นและวาดรูปหลายเหลี่ยมบนแผนที่ภาพถ่ายได้โดยตรง ลักษณะของโปรแกรมแสดงในภาพที่ 2

1.2 Google Earth Pro ราคา 399 เหรียญสหรัฐฯ เพิ่มรูปแบบการทำงานในเชิงพาณิชย์ คือ สามารถคำนวณหาพื้นที่ และความสูงในรูปแบบ 3 มิติ สามารถบันทึกข้อมูลในรูปแบบวิดีโอได้ อีกทั้งยังสามารถสั่งพิมพ์ภาพคุณภาพสูงสำหรับการนำเสนอได้



ภาพที่ 2 โปรแกรม Google Earth (ทิพย์วรรณ สุภาควัฒน์, 2554)

1.3 Google Earth Mobile เป็นรุ่นที่ออกแบบมาให้ใช้งานบนโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยการย่อขนาดของข้อมูลลงเพื่อให้เหมาะสมกับความสามารถในการประมวลผลของโทรศัพท์รองรับระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์ (Android) และระบบปฏิบัติการ ไอโอเอส (IOS)

ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ที่ใช้ใน โปรแกรม Google Earth คือ Geographic coordinate (lat-long) บนพื้นหลักฐาน คือ WGS84 และใช้ Earth Gravity Model คือ EGM96 ข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมประกอบด้วย ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat 7 ขนาดความละเอียดจุดภาพ 30 เมตร ภาพถ่ายจากดาวเทียม IKONOS ขนาดความละเอียดจุดภาพ 1 เมตร และภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird ขนาดความละเอียดจุดภาพ 0.61 เมตร ข้อมูลความสูงภูมิประเทศ (DEM) เป็นข้อมูล SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) รายละเอียดของจุดภาพเท่ากับ 30 เมตร ความละเอียดถูกต้องแนวตั้งประมาณ 20-30 เมตร โดยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมเป็นภาพที่ถ่ายในช่วง 1-3 ปี (ทิพย์วรรณ สุภาควัฒน์, 2554)

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ ใช้พื้นที่ศึกษา จังหวัดชลบุรี ครอบคลุมพื้นที่ในแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ระวาง 5235 IV อำเภอพนัสนิคม ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในพื้นที่ศึกษา คือ ภาพถ่ายจากดาวเทียม QuickBird ซึ่งที่มาของภาพถ่ายลำดับได้ดังนี้ ในปี □□ค.ศ.

1993 กระทรวงพาณิชย์ □ ของสหรัฐ ได้ □ ออกใบอนุญาตให้ บริษัท □ □ World View Imaging Corporation

ทำการถ่ายภาพดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงเพื่อการค้าโดยออกแบบดาวเทียม EarlyBird1 ที่มี resolution 3 เมตร ในปี □ ค.ศ.1995 Earth Watch Incorporation ได้ควบคุมกิจการแทนและมอบหมายให้บริษัท Ball Aerospace ออกแบบสร้างดาวเทียม QuickBird ของ Earth Watch ในเดือนธันวาคม 1997 ดาวเทียม EarlyBird1 ที่ปล่อยจากฐานประเทศรัสเซีย สามารถขึ้นสู่วงโคจรสำเร็จได้เพียง 4 วัน และก็ตกลงมาเนื่องจากปัญหาเกี่ยวกับระบบ Onboard Power ต่อมาในปี ค.ศ. 2000 ดาวเทียม QuickBird ถูกปล่อยจากฐานของประเทศรัสเซีย แต่ไม่สามารถเข้าวงโคจรได้ □ ปี ค.ศ. 2001 Earth Watch ได้เปลี่ยนชื่อเป็น DigitalGlobe และได้สร้าง □ □ QuickBird2 ร่วมกับบริษัท Eastman Kodak และ Fokker B.V ดาวเทียม QuickBird2 เป็นดาวเทียมทางการพาณิชย์ของ DigitalGlobe ที่สามารถถ่ายภาพได้ละเอียดสูงสุด โดยถูกปล่อยขึ้นสู่อวกาศในเดือนตุลาคม 2001 จากฐานทัพอากาศ Vandenberg รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา (จรัณธร บุญญานุภาพ, 2556) รายละเอียดของคุณลักษณะดาวเทียมและระบบตรวจจับแสดงดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะดาวเทียม QuickBird (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2556)

คุณลักษณะดาวเทียม	
น้ำหนัก	1,018 กิโลกรัม
ความสูงของการโคจร	450 กิโลเมตร
ลักษณะการโคจร	สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์โดยผ่านขั้วโลก
เอียงทำมุมกับแกนโลก	98 องศา
เวลาท้องถิ่นในการบันทึกข้อมูล	10:30 น.
เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบ	93.4 นาที
จำนวนรอบของการโคจรใน 1 วัน	14.5 รอบ
บันทึกข้อมูลซ้ำที่เดิม	1 - 3.5 วัน ขึ้นอยู่กับเส้นรุ้ง
ระบบบันทึกข้อมูล	Multispectral และ Panchromatic
รายละเอียดภาพ	Pan: 61 เซนติเมตร (nadir) to 72 เซนติเมตร (25° off-nadir) MS: 2.44 เมตร (nadir) to 2.88 เมตร (25° off-nadir)
ความกว้างของภาพ	16.5 กิโลเมตร

อายุการทำงานที่คาดหวัง	5 ปี
------------------------	------

ตารางที่ 2 แสดงระบบตรวจจับของดาวเทียม QuickBird (ธีระ ลาภิศขยางกูล, 2549)

ระบบ system	ช่วงคลื่น class	ความยาวคลื่น Wavelength (mm.)	ความละเอียด resolution (m.)
MSS	สีน้ำเงิน	0.45-0.52	2.44
	สีเขียว	0.52-0.60	2.44
	สีแดง	0.63-0.69	2.44
	อินฟราเรดใกล้	0.76-0.90	2.44
PAN	สีน้ำเงิน, สีเขียว, สีแดง, อินฟราเรดใกล้	0.45-0.90	0.61

การแสดงผลข้อมูลเวกเตอร์บน โปรแกรม Google Earth จะแสดงด้วยภาษา KML (Keyhole Markup Language) ปัจจุบัน KML เป็นเวอร์ชัน 2.0 ซึ่งใช้งานกับ Google Earth client version 3 โดย KML เป็นโครงสร้างภาษา XML (Extensible Markup Language) รูปแบบหนึ่งที่ใช้สำหรับการแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่บน โปรแกรม Google Earth บนฝั่งไคลเอนต์ หรือฝั่งผู้ใช้

XML เป็นภาษาที่ใช้กำหนดรูปแบบของคำสั่งภาษา HTML หรือที่เรียกว่า Meta Data ซึ่งจะใช้สำหรับกำหนดรูปแบบของคำสั่ง Markup ต่าง ๆ แต่มีข้อแตกต่างกับ HTML ที่เป็น Markup Language โดยที่ XML นั้นได้ถูกพัฒนามาจาก SGML (Standard Generalized Markup Language) ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับการกำหนดการแสดงผลเอกสาร สำหรับการแสดงผลบนอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ ซึ่ง HTML นั้นก็เป็นส่วนหนึ่งของ SGML และคำสั่งหรือแท็กที่ใช้ในเอกสารจะถูกกำหนดมาตรฐาน DTD (Document Type Definition) ซึ่งเป็นภาษาที่ใช้สำหรับกำหนดคุณสมบัติต่าง ๆ ของแท็กได้ เช่น พารามิเตอร์ของแท็ก เป็นต้น การใช้งาน XML นั้น จำเป็นต้องใช้ร่วมกับ Style Sheet หรือมาตรฐานอื่น ๆ เพราะ XML เพียงแต่กำหนดรูปแบบของแท็กแต่ไม่ได้กำหนดว่าแท็กใดจะแสดงผลแบบใด เพราะเมื่อเอาข้อมูลในรูปแบบ XML ไปแสดงผลในอุปกรณ์ชนิดใดจะต้องใช้วิธีแสดงผลของอุปกรณ์นั้น เช่น ใช้มาตรฐาน SMIL สำหรับข้อมูลมัลติมีเดีย หรือใช้ Style Sheet XSL สำหรับการแสดงผลในบราวเซอร์ นอกจากนี้ XML ยังสนับสนุนตัวอักษรภาษานานาชาติ โดยใช้มาตรฐาน ISO 10646 โดยจุดมุ่งหมายของภาษา XML นั้นก็คือ ภาษาเรียบง่าย มีคำสั่งน้อยที่สุด และ

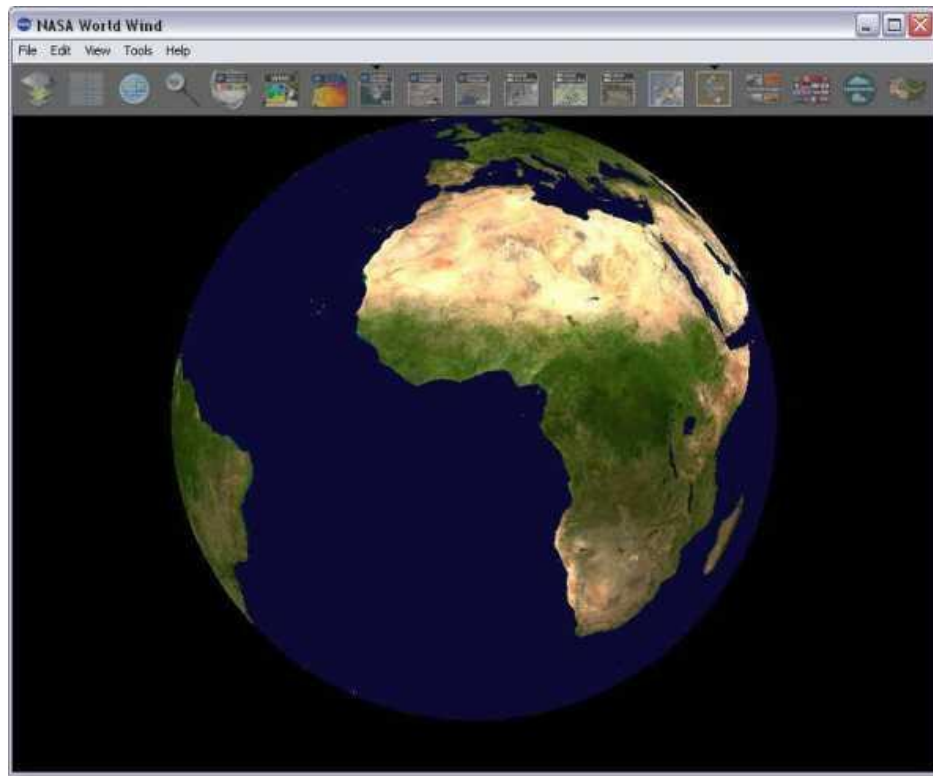
สามารถเขียนได้ด้วยโปรแกรมแก้ไขข้อความ (Text Editor) ได้ และสนับสนุนแอปพลิเคชันหลายชนิด ในปัจจุบันนี้ได้เริ่มมีการพัฒนาภาษา Markup ตามข้อกำหนดของ XML แล้ว เช่น SMIL สำหรับควบคุมข้อมูลมัลติมีเดีย (ซัชชัย หนูเจริญ, 2551)

2. แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดย NASA World Wind

NASA World Wind เป็นโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ ที่ออกแบบและพัฒนาโดย องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) และสมาคมนักพัฒนาโปรแกรมอิสระ ใช้งานกับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเป็น โปรแกรมระบบเปิด (Open Source) ซึ่งบุคคลทั่วไปสามารถนำไปพัฒนาต่อได้ โปรแกรมรุ่นเก่าทำงานบนระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์วินโดวส์ (Microsoft Windows) แต่ในปัจจุบันสามารถทำงานบนโปรแกรมจาวา (JAVA) ภายใต้อินเตอร์เน็ตชื่อ World Wind JAVA

NASA World Wind เป็นโปรแกรมที่มีคุณลักษณะคล้ายกับ Google Maps หรือ Google Earth แต่ NASA World Wind เป็น โปรแกรมฟรีและรหัสเปิด มีขีดความสามารถและมีข้อมูลเชิงวิทยาศาสตร์ประยุกต์มากกว่า ลักษณะโปรแกรม NASA World Wind แสดงดังภาพที่ 3

NASA World Wind ถูกพัฒนาและนำมาใช้ครั้งแรกเมื่อ ปี ค.ศ. 2004 โดยองค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA) ปัจจุบันพัฒนาเป็นรุ่นที่ 1.4 (World Wind 1.4) สามารถแสดงพื้นที่ส่วนต่างๆบนโลกแบบ 3 มิติ ข้อมูลแผนที่ที่มีทั้งระบบข้อมูลกายภาพ สิ่งแวดล้อม ลมฟ้าอากาศ ข้อมูลจากระบบเตือนภัยพิบัติภัยในอดีตจวบจนถึงเวลาปัจจุบัน รวมทั้งแสดงพื้นที่บนดวงจันทร์ ดาวอังคาร ดาวเสาร์ และอื่น ๆ ซึ่งสามารถเลือกได้จากเมนูในโปรแกรม ผู้ใช้งานสามารถที่จะทำงานกับโปรแกรมโดยการหมุน เอียง ย่อขยาย พื้นที่บนลูกโลก แสดงชื่อสถานที่ตั้งประมาณ 5 ล้านชื่อ ขอบเขตภูมิประเทศ เส้นละติจูด ลองจิจูด และข้อมูลอื่น ๆ NASA World Wind มีความสามารถที่จะค้นหาข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์จากเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (การประยุกต์ ใช้โปรแกรม NASA World Wind กับงานชลประทาน, ม.ป.ป.)



ภาพที่ 3 โปรแกรม NASA World Wind (NASA World Wind, n.d.)

ในระบบ Internet โดยใช้เครื่องมือ OGC (Open Geospatial Consortium) และ WMS (Web Map Service) NASA World Wind 1.4 สามารถใช้ WFS (Web Feature Service) สำหรับดาวน์โหลดชื่อสถานที่ตั้ง นำเข้าไฟล์ข้อมูลแบบ ESRI บันทึกไฟล์และไฟล์ข้อมูลแบบ kml/kmz ซึ่งเป็นตัวอย่างเบื้องต้นที่ NASA World Wind สามารถทำได้

คุณลักษณะอีกแบบหนึ่งของ NASA World Wind สนับสนุน .X ระบบโครงข่าย DirectX 3D สามารถจำลองปรากฏการณ์ท้องฟ้า (scattering) และแสงเงา (sun shading) จากดวงอาทิตย์แบบโลกเสมือนจริง ความละเอียดของภาพถ่ายจากดาวเทียมพื้นที่บริเวณประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นภาพถ่ายจากดาวเทียมความละเอียดสูง สามารถแสดงอาคาร บ้านเรือน รถยนต์ (USGS Digital Ortho Layer) ความละเอียดของภาพนอกประเทศสหรัฐอเมริกา 15 ตารางเมตร/พิกเซล และไมโครซอฟท์อนุญาตให้ NASA World Wind สามารถนำภาพถ่ายจากดาวเทียมความละเอียดสูง (Virtual Earth) มาใช้งานร่วมกันโดยไม่คิดค่าใช้จ่าย (การประยุกต์ใช้โปรแกรม NASA World Wind กับงานชลประทาน, ม.ป.ป.)

NASA World Wind ใช้ข้อมูล DEM (Digital Elevation Model) คือไฟล์ที่ประกอบด้วยตารางของความสูงของพื้นที่เหนือระดับของพื้นหลักฐาน (Datum Plain) เก็บข้อมูลความสูงของพื้นที่

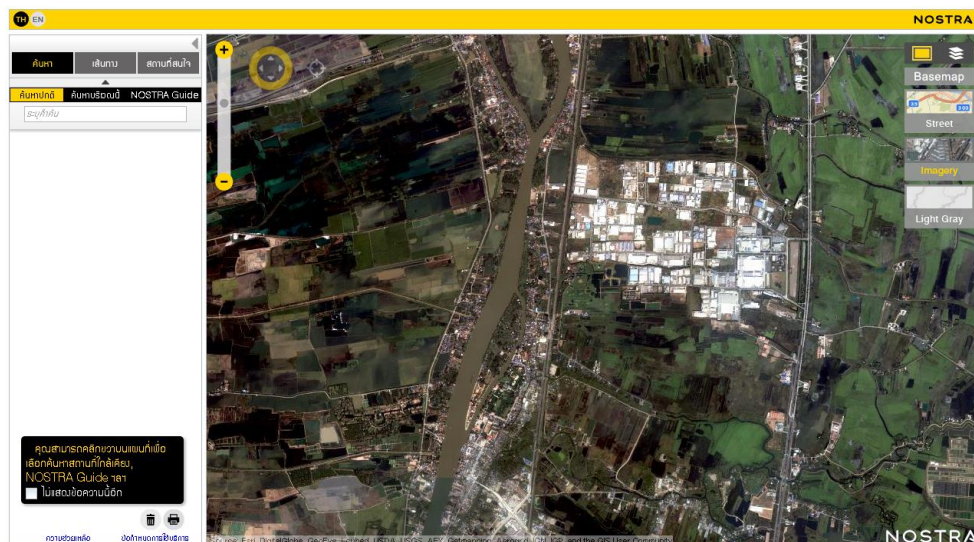
โดยใช้คลื่นเรดาร์จากดาวเทียม ซึ่งสามารถที่จะแสดงพื้นที่ สภาพภูมิประเทศ ตัวอย่าง เช่น Grand Canyon หรือ Mount Everest แบบ 3 มิติรวมทั้งสภาพพื้นผิวท้องทะเลแบบ 3 มิติ

ผู้ใช้ สามารถเพิ่ม โปรแกรมประยุกต์ เพื่อนำเข้ามาใช้งานร่วมกับ NASA World Wind ได้จาก แหล่งข้อมูลหลาย ๆ แหล่ง ตัวอย่างเช่น World Wind Central หรือ blogs mentioned ภาพถ่ายหรือภาพยนตร์ที่ถูกสร้างใช้งานร่วมกับ NASA World Wind เช่น ภาพแผนที่โลก ภาพแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม Landsat ภาพถ่ายพื้นที่ภูมิประเทศประเทศสหรัฐอเมริกา สามารถที่จะปรับแก้ ส่ต่อ หรือแสดงไว้ในเว็บไซต์ โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายนอกเหนือจากวัสดุประสงค์เพื่อการค้า

3. แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดย NOSTRA Map

Service

NOSTRA Map Service บริการข้อมูลแผนที่บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เป็นบริการข้อมูลแผนที่ฐาน (Base map) เพื่อการอ้างอิงพิกัดตำแหน่ง ด้วย Web Map API ของ NOSTRA ผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้บริการข้อมูลแผนที่ออนไลน์ NOSTRA Map Service บนแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นเอง หรือสามารถใช้บริการเสริมในการพัฒนาแอปพลิเคชันจากบริษัท โกลบเทค (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 โปรแกรม NOSTRA Map Service (NOSTRA, n.d.)

นอกจากนี้ โกลบเทคยังให้บริการแอปพลิเคชันแผนที่สำเร็จ Web Map Application เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับธุรกิจขนาดกลางหรือขนาดเล็ก ที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลแผนที่ออนไลน์ได้โดยสะดวกเพียงใช้ User name และ Password ผ่าน Web Browser โดยแอปพลิเคชันนี้จะมีเครื่องมือการใช้งานมาตรฐานครบถ้วน เช่น การย่อ-ขยายแผนที่

การเลื่อนภาพแผนที่ การค้นหาสถานที่ การค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด การจำลองขอบเขตพื้นที่ให้บริการ เป็นต้น (NOSTRA, n.d.)

และหากคุณต้องการใช้งานระบบแผนที่ออนไลน์เฉพาะภายในองค์กรของคุณ ก็สามารถใช้บริการแผนที่ออนไลน์แบบ Private Map Cloud Service ที่สนับสนุนความสามารถในการทำงานได้เต็มที่ เช่น การเพิ่มขึ้นข้อมูลพิเศษเฉพาะของธุรกิจและการรักษาความปลอดภัยสำหรับฐานข้อมูลที่ต้องการดูแลเป็นพิเศษ

4. แผนที่ที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดย Longdo Map

บริษัท เมตามิเดียเทคโนโลยี จำกัด ผู้ให้บริการ Longdo Map แผนที่อัจฉริยะสัญชาติไทย ให้บริการเว็บไซต์แผนที่ออนไลน์ของประเทศไทยและโลก ร่วมกับ บริษัท นูแมพ จำกัด ผู้ให้บริการสำรวจและทำแผนที่ในประเทศไทย เปิดพื้นที่ให้หน่วยงานภาคธุรกิจเข้ามาปักหมุดเพื่อต่อ ยอดทางธุรกิจ สร้างมูลค่าจากการบอกตำแหน่งที่ตั้งโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ มีความละเอียดแม่นยำ รวดเร็วตอบสนองความต้องการ ทั้งเว็บไซต์และแอปพลิเคชัน Longdo Map แผนที่อัจฉริยะสามารถดูแผนที่ ค้นหาสถานที่กว่า 500,000 แห่ง วัดระยะทาง คำนวณพื้นที่ และรายงานการจราจรแบบ real - time รวมถึงเปิดพื้นที่ในการสร้าง Thailand Community Online Network ที่สำคัญสามารถนำเทคโนโลยีของแผนที่ไปต่อยอดประยุกต์ใช้กับภาคธุรกิจต่างๆ ได้ การพัฒนาด้วยฝีมือคนไทยให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่าสากลซึ่งสามารถให้รายละเอียดได้ถูกต้อง แม่นยำ และครบถ้วนภายใต้รูปแบบการใช้งานที่มีความเหมาะสมกับคนไทย สามารถสนองความต้องการและได้รับการตอบรับที่ดีจากผู้ใช้บริการทุกภาคส่วน การให้บริการของ Longdo Map แสดงดังภาพที่ 5

Longdo Map แผนที่อัจฉริยะสัญชาติไทย คือ ซอฟต์แวร์ API (Application Programming Interface) ซึ่งพัฒนาภายใต้ฝีมือของคนไทยที่สามารถโชว์ศักยภาพเทียบเท่าต่างชาติ ด้วยคุณสมบัติใหม่ que เพิ่มเข้ามาเพื่อรองรับการใช้งานได้ดียิ่งขึ้น (แผนที่อัจฉริยะสัญชาติไทย 2013, 2555) เช่น

3.1 รวดเร็วและไหลลื่นด้วยเทคโนโลยี HTML5 ทำให้การลากเลื่อนแผนที่ ชูม เข้าออก รวมถึงการแสดงผลข้อมูลทับซ้อนบนแผนที่จำนวนมาก ดำเนินการได้อย่างรวดเร็วและไหลลื่น พร้อมให้ความรู้สึกตอบสนองที่ดีในการใช้งาน

3.2 ข้อมูลจราจรคุณภาพสูงแบบ real - time มีความแม่นยำ บอกเส้นทางและรายละเอียดแต่ละพื้นที่ได้ว่าในบริเวณไหนมีปริมาณรถหนาแน่น พร้อมรายงานการจราจรด้วยการแสดงผลตามเส้นถนนบนภาพแผนที่

3.3 เกาะติดสถานการณ์ รายงานความเคลื่อนไหวผ่านแผนที่ไม่ว่าจะเป็นการรายงานอุบัติเหตุ ฝนตก น้ำท่วม การปิดเส้นทางจราจร ดำเนินตรวจ ทางลัด หรือแม้กระทั่งจุดชุมนุม

1.3 จุดพิกัดที่ใช้ ตรวจสอบจะต้องมีไม่น้อยกว่า 20 จุดและจะต้องกระจายกันครอบคลุมเป็นลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้า ในบริเวณที่ซึ่งคาดไว้ ว่าจะมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งแบบสม่ำเสมอ จุดที่ใช้ตรวจเช็คจะต้องกระจาย ดังนั้นจะต้องห่างกันอย่างน้อยร้อยละ 10 และ จะต้องอยู่ 1 ใน 4 ของแผนที่อย่างน้อยร้อยละ 20

1.4 จุดพิกัดที่ใช้ตรวจสอบจะต้องกระจายอยู่ หนาแน่นบริเวณใกล้เคียงกับจุดที่มีลักษณะเด่นชัด สำคัญ และอยู่เบาบางบริเวณที่ไม่ มีสิ่งใดน่าสนใจเมื่อข้อมูลมีน้อยก็ต้องจำกัดพื้นที่ที่จะทดสอบ หรือเมื่อการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อนน่าจะเป็นไปได้ว่าจะไม่เป็นแบบไม่ สุ่ม จึงควรจะต้องหาจุดตรวจสอบเพื่อให้มีการกระจายที่เหมือนกัน

1.5 จุดเห็นเด่นชัดคือจุดเด่นที่สามารถระบุชี้ชัดได้อย่างถูกต้อง สำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่สามารถเลือกได้จากทางแยกของทางเดิน ทางแยกของถนน ฝาบ่อพักของท่อ พุ่มไม้ที่อยู่โดดๆ ก้อนหินเด่น มุมอาคาร มุมรั้วเสาไฟฟ้า เป็นต้น การเลือกจุดนี้จะต้องระมัดระวังและแน่ใจว่าจุดนั้นจะไม่อยู่ภายในเงา

1.6 จุดตรวจสอบทางดิ่งไม่ จำเป็นจะต้องเด่นชัดเหมือนทางราบ จุดที่เลือกควรต้องมีความเด่นชัดทางดิ่งที่เหมาะสมที่สุด คือ พื้นที่ราบเล็กๆ หรือพื้นที่เนิน พื้นที่เล็กๆ นี้ควรมีสิ่งในธรรมชาติที่เด่นชัดอยู่ใกล้ๆ เช่น ต้นไม้หรือก้อนหิน ซึ่งจะช่วยให้การรับรู้ความลึกได้ ถ้าเป็นไปได้ ควรหลีกเลี่ยงพื้นที่เปิดกว้าง เช่น ทุ่งหญ้าเนินเขาหรือทุ่งเปิดโล่งเพราะการรับรู้ ความลึกจะยากขึ้น

การเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดค่าพิกัดของจุดทดสอบต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ดีกว่าความละเอียดถูกต้องของแผนที่ที่ทำการทดสอบนั้น ๆ

2. การรายงานค่าความละเอียดถูกต้อง

ค่าความละเอียดถูกต้องรายงานเป็นค่าระยะทางราบและทางดิ่ง ใช้หน่วยวัดในมาตราเมตรก็มีหน่วยเป็นเมตร จำนวนทศนิยมของค่าความละเอียดถูกต้องใช้เท่ากับจำนวนทศนิยมของค่าพิกัดในชุดข้อมูล โดยรายงานความละเอียดถูกต้องที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ดังนี้

ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบ.....เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง.....เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าความละเอียดถูกต้องทั้งทางราบและทางดิ่งที่ใช้ในการทดสอบใช้หลักเกณฑ์

ค่าสถิติ RMSE (Root Mean Square Error) ดังนี้

ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบ

$$RMSE_E = \sqrt{[\sum(E_{data\ i} - E_{check\ i})^2/n]}$$

$$RMSE_N = \sqrt{[\sum(N_{data\ i} - N_{check\ i})^2/n]}$$

เมื่อ

$RMSE_E$ คือ ค่า Root Mean Square Error ทางตะวันออก

$RMSE_N$ คือ ค่า Root Mean Square Error ทางเหนือ

Sqrt คือ ค่า Square Root

$E_{data\ i}$, $N_{data\ i}$ เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ในชุดข้อมูล

$E_{check\ i}$, $N_{check\ i}$ เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ที่ใช้เป็นค่าอ้างอิงที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า

n คือ จำนวนจุดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

i คือ จุดทดสอบเริ่มจาก 1 ถึง n

ความคลาดเคลื่อนทางราบของจุดที่ i คือ

$$\text{sqrt} [\sum (E_{data\ i} - E_{check\ i})^2 + (N_{data\ i} - N_{check\ i})^2]$$

$RMSE_r$ ทางราบ คือ

$$\begin{aligned} RMSE_r &= \text{sqrt} [\sum ((E_{data\ i} - E_{check\ i})^2 + (N_{data\ i} - N_{check\ i})^2) / n] \\ &= \text{sqrt} [RMSE_E^2 + RMSE_N^2] \end{aligned}$$

สมมติให้ $RMSE_E = RMSE_N$

$$\begin{aligned} RMSE_r &= \text{sqrt} [2 * RMSE_E^2] = \text{sqrt} [2 * RMSE_N^2] \\ &= 1.4142 * RMSE_E = 1.4142 * RMSE_N \end{aligned}$$

สมมติว่าได้จัดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบออกไปแล้ว ถ้าความคลาดเคลื่อนยังคงมีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระต่อกันในทางตะวันออก (E) และทางเหนือ (N) จะใช้ค่าแฟคเตอร์ 2.477 มาคำนวณความคลาดเคลื่อนทางราบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (FGDC, 1998: 3-11) ดังนั้น ความละเอียดถูกต้องทางราบ ($Accuracy_r$) ตามมาตรฐาน NSSDA คำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\begin{aligned} Accuracy_r &= 2.477 * RMSE_E = 2.477 * RMSE_N \\ &= 2.477 * [RMSE_r / 1.4142] \end{aligned}$$

$$Accuracy_r = 1.7308 * RMSE_r$$

ค่าความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง

$$RMSE_H = \text{sqrt} [\sum (H_{data\ i} - H_{check\ i})^2 / n]$$

เมื่อ

$RMSE_H$ คือ ค่า Root Mean Square Error ทางดิ่ง

Sqrt	คือ ค่า Square Root
$H_{data\ i}$	เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ในชุดข้อมูล
$H_{check\ i}$	เป็นค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ที่ใช้เป็นค่าอ้างอิงที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า
n	คือ จำนวนจุดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด
i	คือ จุดทดสอบเริ่มจาก 1 ถึง n

สมมติว่าได้ขจัดความคลาดเคลื่อนที่เป็นระบบออกไปแล้ว ถ้าความคลาดเคลื่อนทางดิ่งยังคงมีการกระจายแบบปกติจะใช้ค่าแฟคเตอร์ 1.96 มาคำนวณความคลาดเคลื่อนเชิงเส้นที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (FGDC, 1998: 3-11) ดังนั้น ความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง ($Accuracy_z$) ตามมาตรฐาน NSSDA กำหนดโดยใช้สูตร ดังนี้

$$Accuracy_z = 1.9600 \times RMSE_H$$

การกำหนดตำแหน่งพื้นผิวโลกด้วยดาวเทียม

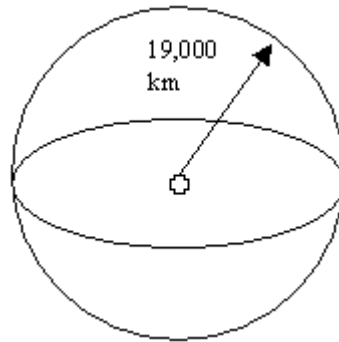
การกำหนดตำแหน่งพื้นผิวโลกด้วยดาวเทียม มีหลักการแบ่งเป็น 5 ขั้นตอน (Trimble Navigation Limited, 1996) คือ

1. หลักการของสามเหลี่ยมดาวเทียม

แนวความคิดทั้งหมดของระบบกำหนดตำแหน่งของโลก ด้วยระบบจีพีเอสโดยใช้ดาวเทียมในอวกาศเป็นจุดอ้างอิงเพื่อกำหนดตำแหน่งบนโลกดูแล้วอาจจะเป็นไปได้ แต่ด้วยการรังวัดระยะที่ถูกต้องจากดาวเทียมหลายดวง ซึ่งทำให้เราสามารถสร้างเป็นรูปสามเหลี่ยมที่มีตำแหน่งของเรบบนโลกเป็นจุดตัดของรูปสามเหลี่ยม จึงทำให้เราสามารถทราบค่าพิกัดของเราได้

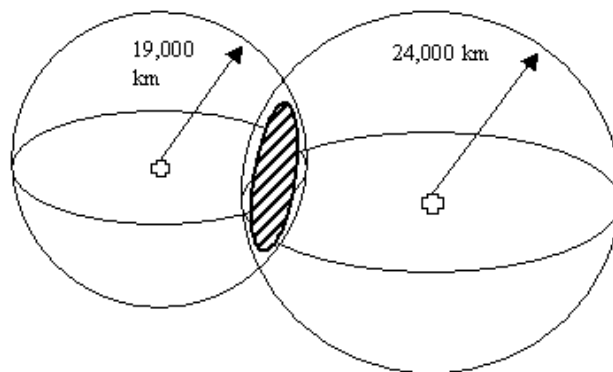
หลักทางคณิตศาสตร์ของวิธีการหาค่าพิกัดบนโลก โดยการรังวัดดาวเทียมในอวกาศจำนวน 3 ดวง คือ

1.1 สมมติว่าเราได้ทำการรังวัดระยะไปยังดาวเทียมดวงที่หนึ่งได้ระยะทาง 19,000 กิโลเมตร นั่นคือเราจะอยู่ห่างจากดาวเทียมดวงนั้น เป็นระยะทาง 19,000 กิโลเมตร และตำแหน่งที่จะเป็นไปได้ก็คือ ทุกจุดในอวกาศที่อยู่บนพื้นผิวทรงกลมที่มีดาวเทียมดวงที่หนึ่งเป็นจุดศูนย์กลาง และมีรัศมี 19,000 กิโลเมตร ดังภาพที่ 6



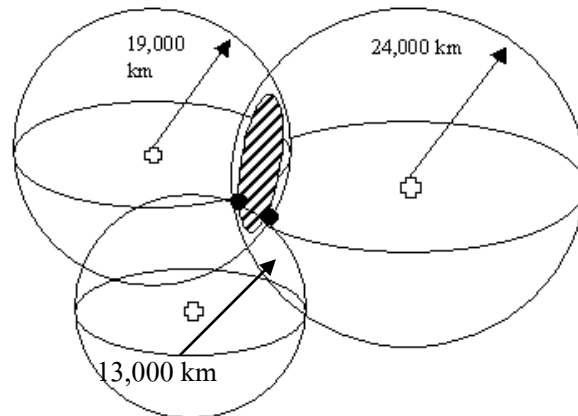
ภาพที่ 6 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 1 ดวง (GPS Global Positioning System, n.d.)

1.2 สมมติระยะทางจากดาวเทียมดวงที่ 2 เท่ากับ 24,000 กิโลเมตร นั่นหมายถึง นอกจากเราจะอยู่บนพื้นผิวของทรงกลมที่ 1 แล้ว เรายังคงอยู่บนพื้นผิวของทรงกลมที่ 2 ด้วย ซึ่งมีรัศมี 24,000 กิโลเมตร หรือถ้าจะพิจารณาให้แคบเข้า นั่นก็คือเราอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่งบนวงกลมที่ทรงกลมทั้งสองตัดกันนั่นเอง ดังภาพที่ 7



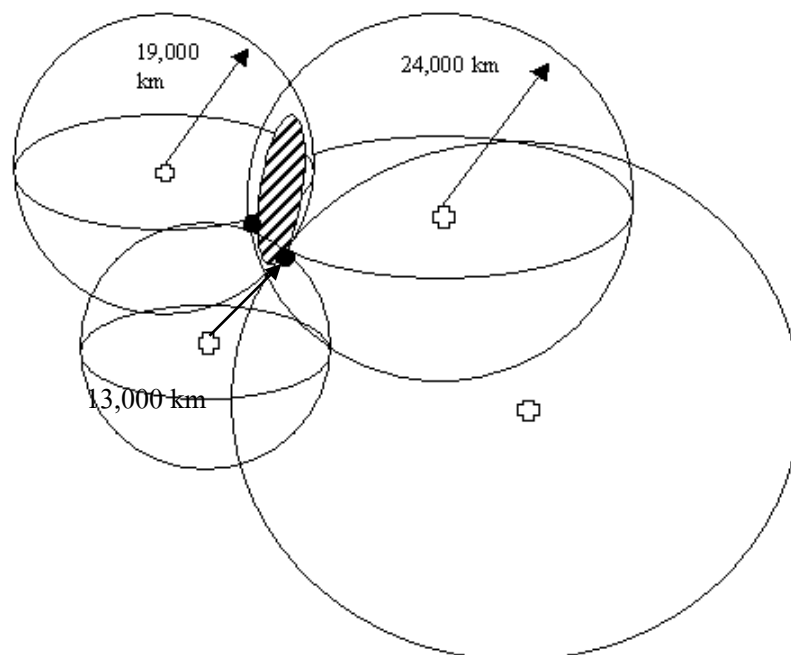
ภาพที่ 7 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 2 ดวง (GPS Global Positioning System, n.d.)

1.3 ถ้าเราทำการรังวัดระยะจากดาวเทียมดวงที่ 3 ได้เท่ากับ 13,000 กิโลเมตร ก็จะทำให้การหาตำแหน่งของเราแคบเข้าไปอีกนั่นคือ จุด 2 จุด ซึ่งทรงกลมรัศมี 13,000 กิโลเมตรตัดวงกลมที่เกิดจากการตัดกันของทรงกลม 2 ทรงกลมแรก ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 3 ดวง (GPS Global Positioning System, n.d.)

โดยวิธีการรังวัดระยะจากดาวเทียม 3 ดวง เราสามารถทราบตำแหน่งของเราคือจุดสองจุดในอวกาศ การตัดสินใจว่าจุดใดเป็นตำแหน่งที่ต้องการ กระทำได้โดยการรังวัดดาวเทียมดวงที่ 4 ดังภาพที่ 9 แต่โดยปกติแล้วการเปรียบเทียบจุดทั้งสองจะมีคำตอบในตัวเองอยู่แล้ว กล่าวคือจุดที่มีค่าพิกัดอยู่ไกลจากโลกมาก หรือกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เป็นไปไม่ได้ คือจุดที่ไม่ถูกต้องสามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นส่วนประมวลผลของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะมีเทคนิคที่สามารถทำการตรวจสอบได้ต่างกันไป



ภาพที่ 9 ตำแหน่งของจุดที่ได้จากการรังวัดดาวเทียม 4 ดวง (GPS Global Positioning System, n.d.)

นอกจากนี้เราสามารถทำการหาค่าพิกัดโดยอาศัยการรังวัดระยะจากดาวเทียมระบบจีพีเอสเพียง 2 ดวงได้ ถ้าเราทราบค่าความสูงของเรา ดังนั้นเราสามารถใช้เวลาของเราเป็นทรงกลมดวงที่ 3 ที่มีรัศมีเท่ากับลูกโลกสมมติรวมกับความสูงที่เราทราบค่าแล้ว เราเรียกว่า การรังวัดแบบ 2 มิติ

2. การรังวัดระยะทางจากดาวเทียม

การรังวัดระยะจากดาวเทียมในอวกาศ กระทำได้โดยการรังวัดเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสบนโลก หลักทางคณิตศาสตร์โดยทั่วไประยะทางเท่ากับความเร็วคูณด้วยเวลา แต่ในระบบจีพีเอสเราทำการรังวัดสัญญาณวิทยุ ดังนั้นความเร็วของแสงโดยประมาณเท่ากับ 186,000 ไมล์ต่อวินาที ซึ่งปัญหาอยู่ที่การรังวัดเวลาที่สัญญาณวิทยุใช้ในการเดินทาง ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่สั้นมาก เช่น ถ้าในกรณีที่ดาวเทียมอยู่เหนือผู้รังวัด จำนวนเวลาที่สัญญาณวิทยุใช้ในการเดินทางจะมีค่าประมาณ 0.06 วินาที เราจึงจำเป็นต้องใช้นาฬิกาที่มีความละเอียดถูกต้องสูงในการรังวัด และยิ่งไปกว่านั้นถ้าเรามีนาฬิกาที่มีความละเอียดถูกต้องสูงแล้ว เราจะสามารถทำการรังวัดเวลาที่สัญญาณวิทยุใช้ในการเดินทางได้อย่างไร (Trimble Navigation Limited, 2002)

สมมติถ้าเราสามารถหาวิธีทำให้ดาวเทียมและเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเริ่มเล่นดนตรีได้พร้อมกันอย่างแม่นยำเวลา 12.00 ถ้าเสียงดนตรีจากดาวเทียมเดินทางมาถึงโลกได้ และถ้าเรายืนอยู่ ณ ที่ตั้งเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส เราจะได้ยินเสียงดนตรีนั้นแตกต่างกันจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง นั่นคือเสียงดนตรีที่ได้ยินจะไม่พร้อมกัน โดยเสียงดนตรีที่มาจากดาวเทียมจะช้ากว่าเล็กน้อย เนื่องจากสัญญาณวิทยุจะใช้เวลาในการเดินทางเป็นระยะทางมากกว่า 11,000 ไมล์ และถ้าเราต้องการจะทราบว่าสัญญาณวิทยุจากดาวเทียมช้าไปเท่าไร เราอาจจะให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสเริ่มเล่นดนตรีช้าลงจนกระทั่งรู้สึกได้ว่าเสียงดนตรีจากแหล่งทั้งสองพร้อมกัน เวลาที่เราจะต้องใช้เพื่อเลื่อนเวลาการเล่นดนตรีของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส จะมีค่าเท่ากับเวลาที่เสียงดนตรีจากดาวเทียมใช้ในการเดินทางมายังเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสนั่นเอง ดังนั้นเราเพียงนำเวลานั้นมาคูณด้วยความเร็วแสง เราก็จะได้ระยะทางจากดาวเทียม ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วเสียงดนตรีที่เปิดเล่นจากทั้งสองแหล่งเราเรียกว่า Pseudo Random Code (PRC) (เจลิมนันท์ สติระพจน์, 2546)

PRC เป็นพื้นฐานของระบบจีพีเอส ซึ่งในทางฟิสิกส์ถือได้ว่าเป็นเพียงแค่รหัสเชิงเลขที่ซับซ้อน หรือเป็นค่าเปิดและปิดสัญญาณอย่างต่อเนื่อง การเปิดและปิดสัญญาณนั้นไม่แน่นอนจนดูเหมือนเป็นคลื่นรบกวนทางอิเล็กทรอนิกส์แบบสุ่ม นั่นคือที่มาของชื่อ Pseudo Random Code ข้อดีของความซับซ้อนของคลื่น PRC ก็คือช่วยให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมั่นใจได้ว่าจะไม่เกิดความผิดพลาดในการเทียบสัญญาณกับคลื่นประเภทอื่นเนื่องจากรูปแบบของ PRC จะซับซ้อนมากจนไม่

มีคลื่นประเภทอื่นใดจะเหมือนได้ และเนื่องจากดาวเทียมแต่ละดวงมี PRC ของตนเองไม่เหมือนกัน จึงประกันได้ว่าเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะไม่ผิดพลาดไปรับสัญญาณดาวเทียมดวงอื่นอีกด้วย ดังนั้น ดาวเทียมทั้งหมดสามารถใช้ความถี่เดียวกันโดยไม่รบกวนซึ่งกันและกัน และยังทำให้ระบบจีพีเอสยากต่อการถูกรบกวนในขณะที่ทำการรังวัดเวลาที่ใช้ในการเดินทางของสัญญาณจีพีเอส โดยจะทำการเปรียบเทียบ PRC ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส กับ PRC ที่ได้รับจากดาวเทียม ซึ่งถูกสร้างขึ้นในเวลาเดียวกัน และในขณะเดียวกัน PRC ยังทำให้กระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาสามารถควบคุมการเข้าถึงระบบได้อีกด้วย (หัทธวี วงศ์อิศเรศ, 2546)

สรุปข้อดีของ PRC คือ

1. เปรียบเทียบสัญญาณของดาวเทียมกับของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส เพื่อวัตถุประสงค์ในการรังวัดเวลา
2. รหัสช่วยให้ระบบจีพีเอสสามารถปฏิบัติการด้วยสัญญาณดาวเทียมกำลังส่งต่ำ และด้วยจันรับสัญญาณขนาดเล็กได้
3. รหัสทำให้กระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกาควบคุมการเข้าถึงระบบจีพีเอสได้
4. รหัสทำให้ดาวเทียมสามารถปฏิบัติงานได้ด้วยความถี่เดียว

3. การรังวัดเวลา

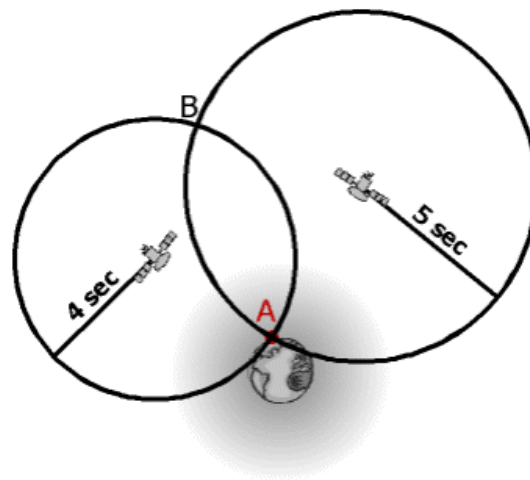
เนื่องจากการรังวัดเวลาในการเดินทางของสัญญาณวิทยุเป็นส่วนสำคัญของระบบจีพีเอส ดังนั้นนาฬิกาที่จะใช้ในการรังวัดเวลาจะต้องมีความละเอียดถูกต้องสูง นาฬิกาจับเวลาธรรมดาไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากถ้าเรารังวัดเวลาได้ละเอียดเพียง 1 ใน 1,000 ส่วนของวินาที เมื่อเทียบกับความเร็วแสงแล้ว จะมีความผิดพลาดถึง 200 ไมล์ สำหรับดาวเทียมจะมีระบบเวลาที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์แบบ เพราะมีนาฬิกาอะตอมมิก ที่มีความละเอียดถูกต้องสูง แต่สำหรับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสไม่สามารถติดตั้งนาฬิกาอะตอมมิกได้ เนื่องจากจะทำให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมีราคาสูงจนไม่มีผู้ใดสามารถซื้อได้ แต่เนื่องจากความจำเป็นที่จะต้องทำการเทียบสัญญาณ PRC เพื่อคำนวณเวลาในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียมและเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสด้วยกัน ดังนั้นเพื่อให้ระบบจีพีเอสสามารถปฏิบัติงานได้ จึงมีการออกแบบระบบจีพีเอสทางเทคนิคเพิ่ม เพื่อให้นาฬิกาของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมีประสิทธิภาพสูงเทียบเท่ากับนาฬิกาอะตอมมิก เทคนิคนั้นก็คือ การรังวัดสัญญาณดาวเทียมดวงที่ 4 เพิ่มเติมถึงแม้ว่าการรังวัดดาวเทียม 3 ดวง จะทำให้เราทราบค่าพิกัด 3 มิติของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแล้วก็ตาม (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2546)

ถ้าเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสมีนาฬิกาที่สมบูรณ์แบบ จะทำให้ระยะห่างจากดาวเทียมที่รังวัดได้ทั้งหมดไปตัดกันที่จุดเดียวกัน ซึ่งคือพิกัดของเรานั้นเอง แต่เนื่องด้วยนาฬิกาที่ไม่สมบูรณ์แบบนัก การรังวัดดาวเทียมดวงที่ 4 สามารถทำการตรวจสอบซ้ำได้ ซึ่งจุดตัดจะไม่ตรงกับจุดตัด

ของดาวเทียม 3 ดวงแรก นั้นคือมีความไม่ถูกต้องของการรังวัด หรือการเทียบสัญญาณเวลา ยูนิเวอร์สไม่มีสมบรูณ์แบบ เนื่องจากความต่างจากเวลายูนิเวอร์สจะส่งผลต่อการรังวัดของเราทั้งหมด ในขณะที่เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสต้องการค่าตัวแก้ไขที่สามารถหักออกจากการรังวัดเวลา ที่จะทำให้เกิดการตัดเพียงจุดเดียว

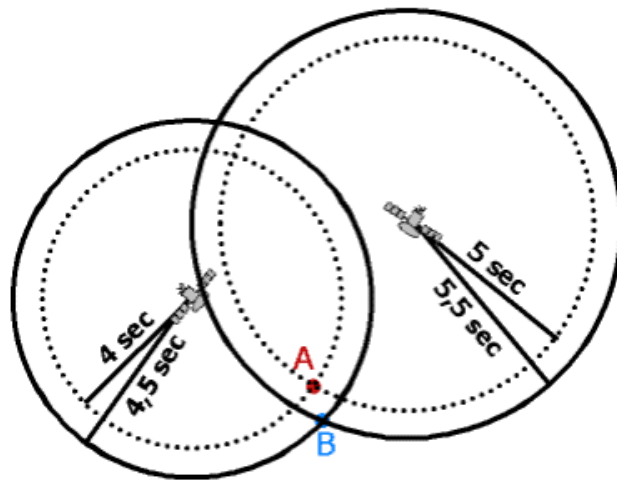
ค่าตัวแก้ไขจะทำให้นาฬิกาของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส เทียบกับระบบเวลายูนิเวอร์สได้นั้นคือทำให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่านาฬิกาอะตอมมิก และเมื่อทราบค่าตัวแก้ไขแล้วทำการประยุกต์เข้ากับผลการรังวัดที่เหลือ ก็จะทำให้เราสามารถหาค่าพิกัดที่มีความละเอียดถูกต้องสูงได้ เหตุผลข้อนี้ทำให้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจำเป็นต้องมีช่องสัญญาณอย่างน้อย 4 ช่อง จึงจะสามารถทำการรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสได้พร้อมกันอย่างน้อย 4 ดวง ด้วยคุณสมบัติของ PRC ซึ่งช่วยในการเทียบสัญญาณเวลาและด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียมเพิ่มสามารถช่วยให้เราเทียบสัญญาณเวลา ยูนิเวอร์สได้ ทำให้เราทราบค่าที่เราต้องการสำหรับการรังวัดระยะจากดาวเทียมในอวกาศมายังผู้ใช้ได้

หากดาวเทียมสองดวงทำการวัดระยะเวลาได้อย่างถูกต้อง จะหาค่าพิกัดได้จาก ระยะทางระหว่างดาวเทียมสองดวงที่ตัดกันตามภาพที่ 10



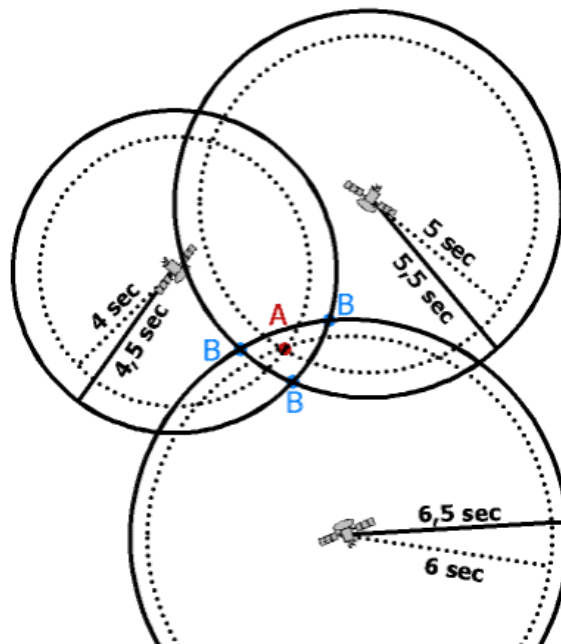
ภาพที่ 10 การรังวัดเวลาที่ถูกต้องจากดาวเทียม 2 ดวง (The GPS System, n.d.)

ถ้าหากเครื่องรับสัญญาณ GPS มีนาฬิกาที่คลาดเคลื่อนโดยรังวัดเวลาคลาดเคลื่อนไป 1 วินาที ระยะทางที่รังวัดได้จากดาวเทียมทั้งสองจะตัดกันคลาดเคลื่อนไปจากที่ควรจะเป็นตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การรังวัดเวลาที่ผิดพลาดจากดาวเทียม 2 ดวง (The GPS System, n.d.)

เมื่อมีการรังวัดดาวเทียมดวงที่สามเข้ามาโดยที่เครื่องรับสัญญาณ GPS ยังคงมีความคลาดเคลื่อน 1 วินาที ระยะทางจากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันได้จุดตัดที่มากกว่า 1 จุด ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าพิกัดได้ตามภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การรังวัดเวลาที่ผิดพลาดจากดาวเทียม 3 ดวง (The GPS System, n.d.)

เมื่อเครื่องรับสัญญาณ GPS ได้รับข้อมูลที่ไม่วัดกันที่จุดๆ เดียว ส่วนประมวลผลในเครื่องรับสัญญาณ GPS จะทำการคำนวณค่าพิกัดใหม่โดยการเพิ่มหรือลดระยะเวลาที่ทำการรังวัดได้ จนกว่าระยะทางที่ได้จากดาวเทียมทั้งสามดวงจะตัดกันที่จุดเดียว หากต้องการรังวัดค่าพิกัดในระบบพิกัดฉากสามมิติจำเป็นต้องมีการรังวัดดาวเทียมทั้งสี่ดวงเพื่อหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนทางเวลา

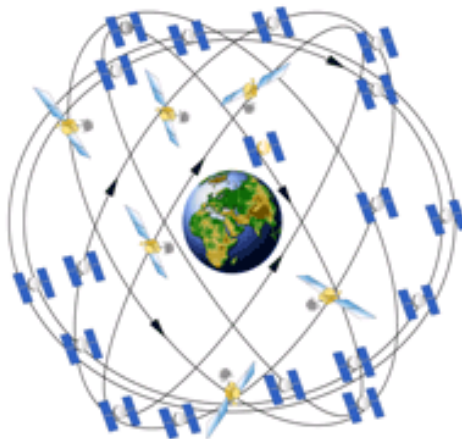
4. วงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียม

จากการศึกษาที่ผ่านมาเราตั้งสมมติฐานว่าเรารู้ตำแหน่งที่แท้จริงของดาวเทียมในอวกาศ และเราได้ใช้ตำแหน่งนั้นเป็นจุดอ้างอิง แต่จริงๆ แล้วเราจะรู้ได้อย่างไรว่าดาวเทียมมีพิกัดอยู่ ณ ตำแหน่งใดในขณะเมื่อดาวเทียมดังกล่าวลอยอยู่สูง 11,000 ไมล์ ห่างไกลออกไปในอวกาศ ด้วยความสูง 11,000 ไมล์ ในกรณีนี้ถือว่าเป็นข้อดี เนื่องจากความสูงทำให้ปราศจากบรรยากาศและนั่นหมายถึงการคำนวณวงโคจรดาวเทียมจะอาศัยเพียงคณิตศาสตร์แบบง่ายๆ กองทัพอากาศสหรัฐฯ จะทำการขับเคลื่อนดาวเทียมแต่ละดวงให้อยู่ในวงโคจรที่ละเอียด (Precise Orbit) โดยให้สอดคล้องกับแผนหลัก สำหรับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสบนภาคพื้นจะมีปฏิทินดาวเทียม (Almanac) ซึ่งถูกบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจึงสามารถคำนวณได้ว่าดาวเทียมแต่ละดวงอยู่ ณ ตำแหน่งใดในท้องฟ้าในแต่ละช่วงเวลา (ซุกเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2547)

วงโคจรขั้นต้นของดาวเทียมเองค่อนข้างถูกต้องแน่นอน แต่เพื่อความสมบูรณ์แบบกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ จะทำการรังวัดติดตามกลุ่มดาวเทียมจีพีเอสอย่างถาวร โดยใช้เรดาร์ที่มีความถูกต้องสูงทำการตรวจสอบความสูง ตำแหน่งและความเร็วของดาวเทียมแต่ละดวงที่ถูกต้องแน่นอน ค่าความคลาดเคลื่อนที่ทำการตรวจสอบเรียกว่า ความคลาดเคลื่อนของวงโคจร (Ephemeris Errors) เพราะมันจะส่งผลต่อวงโคจรของดาวเทียมเอง (Orbit or Ephemeris) ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นผลมาจากแรงดึงดูดจากดวงจันทร์กับดวงอาทิตย์ และการแปรของคลื่นรังสีดวงอาทิตย์ที่กระทำต่อดาวเทียม โดยทั่วไปแล้วความคลาดเคลื่อนดังกล่าวมีขนาดเล็กน้อย เนื่องจากกระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ ได้ทำการรังวัดหาตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียม และทำการส่งข้อมูลดังกล่าวไปให้ดาวเทียม และดาวเทียมเองจะทำการรวบรวมและส่งสัญญาณข้อมูลค่าตัวแก้ไขนี้มาพร้อมกับสัญญาณเวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมายังโลก ดังนั้นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส นอกจากจะมี PRC เพื่อใช้สำหรับการกำหนดระบบเวลาแล้ว ยังมีข่าวสารการนำร่องพร้อมข้อมูลวงโคจรอีกด้วย ด้วยการกำหนดระบบเวลาที่สมบูรณ์ และตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียม เราจะสามารถทำการคำนวณตำแหน่งที่ถูกต้องได้ (Trimble Navigation Limited, 2002)

ดาวเทียมจำนวน 24 ดวง เคลื่อนที่บนพื้นวงโคจร 6 พื้นวงโคจรๆ ละ 4 ดวง แต่ละพื้นวงโคจรทำมุม 55 องศา กับพื้นอีควาเตอร์ ดาวเทียมโคจรด้วยความสูง 20,200 กิโลเมตร ที่ความสูง

ดังกล่าวอิทธิพลของบรรยากาศจะหมดไป ทำให้วงโคจรของดาวเทียมมีความคงที่ แต่ละรอบวงโคจรใช้เวลา 12 ชั่วโมง (ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ, 2547) ลักษณะวงโคจรของดาวเทียมตามภาพที่ 13



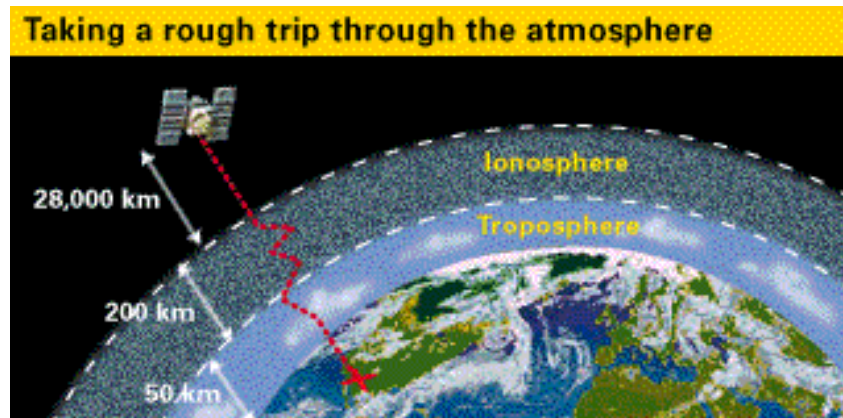
ภาพที่ 13 วงโคจรดาวเทียมระบบจีพีเอส (Space – Based Positioning Navigation & Timing, n.d.)

5. ความคลาดเคลื่อนและการขจัดความคลาดเคลื่อน

ที่ผ่านมาเราได้ทำการคำนวณหาค่าพิกัดบนโลก โดยอาศัยระบบจีพีเอสแบบง่าย ๆ โดยสมมติว่าทุกอย่างเกิดขึ้นในสุญญากาศ แต่ในความเป็นจริงแล้วจะมีผลกระทบอีกมากมายที่เกิดขึ้นกับสัญญาณดาวเทียมทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น เพื่อที่จะขจัดความคลาดเคลื่อนเหล่านี้ เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะต้องสามารถตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้

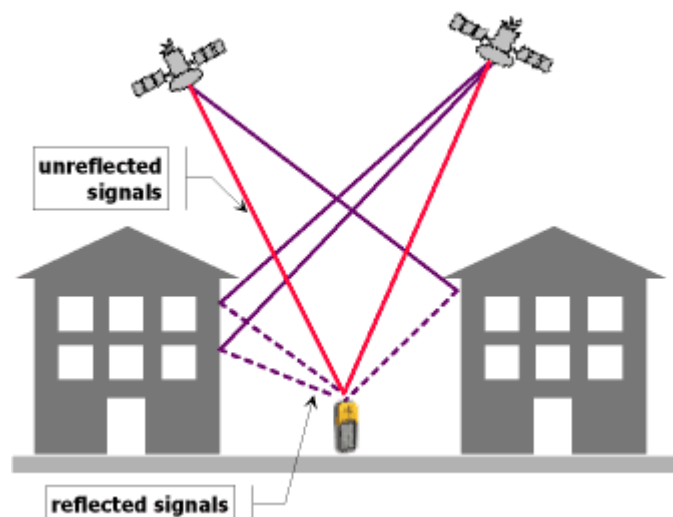
5.1 ค่าความคลาดเคลื่อนประเภทต่างๆ (Schofield, 2001)

5.1.1 ความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากสภาพชั้นบรรยากาศของโลกเนื่องจากความเร็วของคลื่นที่ใช้ในการคำนวณระยะทางระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสกับดาวเทียมจะมีค่าคงที่เฉพาะเมื่อคลื่นเดินทางผ่านสภาพสุญญากาศ แต่เมื่อคลื่นเคลื่อนที่ผ่านอนุภาคในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ความสูง 50–200 กิโลเมตร) และเมื่อเคลื่อนที่ผ่านไอน้ำของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (ต่ำกว่า 20 กิโลเมตร) คลื่นจะเกิดอาการถดถอย (Delay) นั่นคือความเร็วของคลื่นจะช้าลงคล้ายกับนาฬิกาเสีย ความคลาดเคลื่อนนี้มีลักษณะตามภาพที่ 14



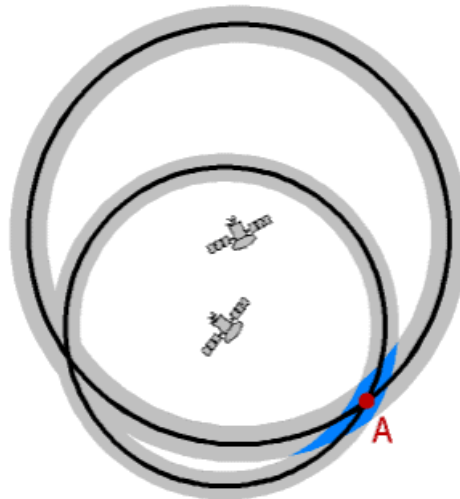
ภาพที่ 14 ความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากสภาพชั้นบรรยากาศของโลก (GPS Tutorial, n.d.)

5.1.2 นอกจากความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากอาการถดถอยของคลื่นสัญญาณจีพีเอสขณะเมื่อเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ก่อนที่จะลงมาถึงพื้นดินแล้ว ยังมีโอกาสที่จะเกิดความคลาดเคลื่อนอย่างอื่นได้อีก นั่นคือการสะท้อนของสัญญาณจีพีเอสเมื่อตกกระทบกับอาคาร สิ่งก่อสร้าง หรือสิ่งกีดขวางต่างๆ ก่อนที่จะเดินทางไปถึงเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส ซึ่งเรียกว่า Multipath Error ซึ่งเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสที่ดีจะมีเทคนิคในการขจัดความคลาดเคลื่อนนี้ให้น้อยลงได้ ความคลาดเคลื่อนนี้มีลักษณะตามภาพที่ 15



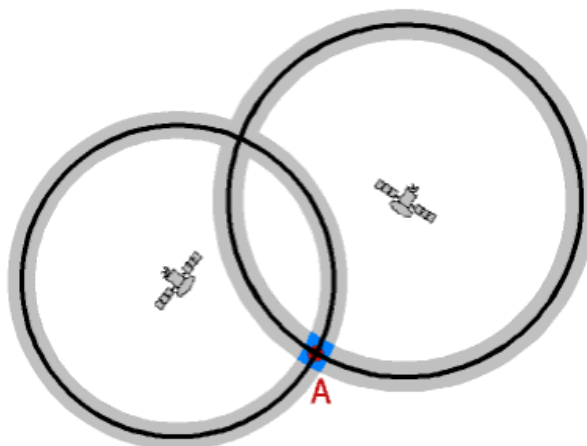
ภาพที่ 15 การสะท้อนของสัญญาณจีพีเอสเมื่อตกกระทบกับอาคาร สิ่งก่อสร้าง (The GPS System, n.d.)

5.1.3 ความคลาดเคลื่อนของระบบจีพีเอสเนื่องจาก เรขาคณิตของวงโคจรดาวเทียม (Geometric Dilution of Precision; GDOP) เกิดจากการรั้งวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีวงโคจร ใกล้กันมาคำนวณหาระยะทางและหาจุดตัด ซึ่งจะทำให้เกิดรอยตัดที่ใหญ่ นั่นคือพื้นที่ความเป็นไปได้ของค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความคลาดเคลื่อนสูงตามภาพที่ 16



ภาพที่ 16 รอยตัดที่เกิดจากการรั้งวัดที่มีเรขาคณิตไม่ดี (The GPS System, n.d.)

ในทางกลับกันถ้านำสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีวงโคจรเกือบตั้งฉากกันมาคำนวณรอยตัดของระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจะปรากฏรอยตัดเป็นพื้นที่ขนาดเล็ก นั่นคือค่าพิกัดที่คำนวณได้จะมีความละเอียดถูกต้องสูงตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 รอยตัดที่เกิดจากการรั้งวัดที่มีเรขาคณิตดี (The GPS System, n.d.)

5.2 การขจัดความคลาดเคลื่อน

5.2.1 ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจาก ขณะเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์สามารถขจัดได้โดยการใช้เครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอสแบบ 2 ความถี่ ทำการรับสัญญาณดาวเทียมทั้ง 2 ความถี่

5.2.2 ความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากเรขาคณิตของดาวเทียม ขจัดได้โดยให้เครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอสคำนวณค่า GDOP และ PDOP โดยเลือกกลุ่มดาวเทียมเฉพาะที่คำนวณแล้ว จะให้ค่าความละเอียดถูกต้องของพิคคิจีพีเอสสูง

เทคนิคการรังวัดของระบบจีพีเอส

เทคนิคการรังวัดของระบบจีพีเอสแบ่งออกเป็น 2 ประเภท (หัสฎี วงศ์อิสรเศศ, 2546) คือ

1. การรังวัดแบบสัมบูรณ์ (Absolute)

การรังวัดแบบสัมบูรณ์ คือ การรังวัดโดยใช้เครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอสเพียงเครื่องเดียวทำการรังวัดคลื่นรหัส C/A code หรือคลื่นพาห်ของดาวเทียมเป็นจำนวนอย่างน้อย 4 ดวงพร้อมกัน จะทำให้สามารถอ่านค่าพิคคิจีพีเอสจากเครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอสได้ทันที แต่มีความละเอียดถูกต้องต่ำ

2. การรังวัดแบบสัมพัทธ์ (Relative)

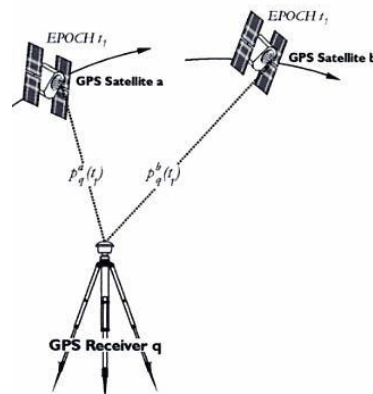
เป็นการรังวัดโดยใช้เครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอสจำนวน 2 เครื่องขึ้นไป ทำการรังวัดคลื่นรหัสและคลื่นพาห်ของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสจำนวน 4 ดวงขึ้นไป โดยทำการรังวัดพร้อมกันและต่อเนื่องเป็นช่วงเวลาหนึ่ง โดยความนานในแต่ละช่วงเวลาที่จะทำการรังวัดสัญญาณขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมที่ทำการรังวัด จำนวนความถี่ที่รังวัด ระยะทางและคุณลักษณะทางเรขาคณิตของกลุ่มดาวเทียม เป็นต้น

หลักพื้นฐานของการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส คือการรังวัดคลื่นสัญญาณนั่นเอง ซึ่งถือว่าเป็นค่าความต่างศูนย์ และเราสามารถนำคลื่นที่รังวัดได้ไปประมวลผลร่วมกับคลื่นจากสัญญาณดาวเทียมดวงอื่น และจากเครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอสเครื่องอื่น แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ (Sickle, 1996) คือ Single Difference, Double Difference และ Triple Difference

2.1 การรังวัดแบบ Single Difference สามารถแบ่งรูปแบบการรังวัดได้เป็น 2 รูปแบบ คือ

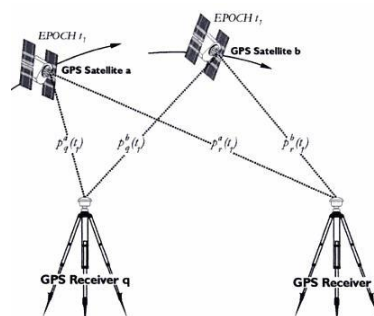
2.1.1 แบบความต่างระหว่างเครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอส การรังวัดความต่างแบบนี้เป็นการจัดรูปแบบของการรังวัด โดยเครื่องหาค่าพิคคิจีพีเอสจำนวน 2 เครื่อง ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสพร้อมกันจำนวน 1 ดวง ซึ่งเป็นวิธีการที่จะช่วยขจัดผลกระทบของความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความไม่มั่นคงของนาฬิกาดาวเทียม

2.2.2 แบบความต่างระหว่างดาวเทียม การรังวัดความต่างแบบนี้เป็นการจัดรูปแบบของการรังวัดโดยใช้เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส จำนวน 1 เครื่อง ทำการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส จำนวน 2 ดวง ตามภาพที่ 18 ในกรณีนี้เราสามารถจะทำการขจัดผลกระทบของความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากความไม่มั่นคงของนาฬิกาเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส



ภาพที่ 18 การรังวัดแบบ Single Difference (Sickle, 1996)

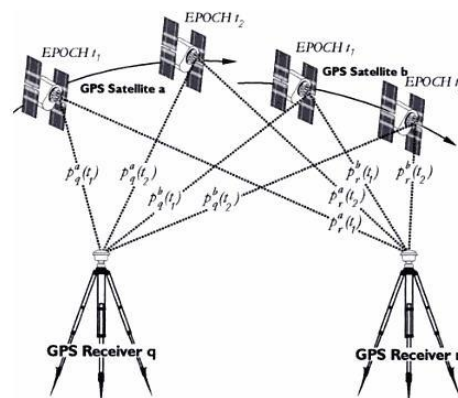
2.2 การรังวัดแบบ Double Difference คือการจัดรูปแบบความต่างของแบบการรังวัดความต่างระหว่างเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสจำนวน 2 ความต่าง กับแบบการรังวัดความต่างระหว่างดาวเทียม จำนวน 2 ความต่างของช่วงเวลาการรังวัดเดียวกัน การรังวัดแบบนี้จะช่วยขจัดผลกระทบอันเนื่องมาจากความไม่มั่นคงของนาฬิกาทั้งของดาวเทียมและเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส นอกจากนี้การรังวัดแบบ Double Difference ยังสามารถช่วยขจัดความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และ ไอโอโนสเฟียร์ เพราะเราทำการรังวัดพร้อมกัน จึงถือว่าคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเดียวกัน ตามภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การรังวัดแบบ Double Difference (Sickle, 1996)

2.3 การรังวัดแบบ Triple Difference คือการรังวัดรูปแบบความต่างของการรังวัดแบบ Double Difference จำนวน 2 ความต่าง หรือเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มดาวเทียมกับเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสกลุ่มเดียวกันแต่ต่างเวลากัน ตามภาพที่ 20

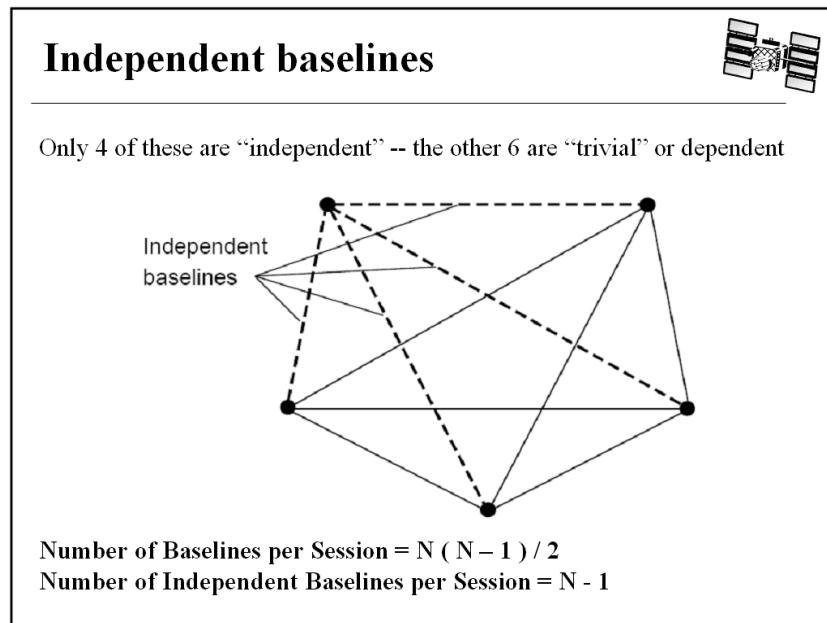
ถ้าทำการจัดรูปแบบความต่างของเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอส 1 เครื่องกับดาวเทียม 1 ดวง ข้อมูลคนละเวลากันเราเรียกว่าความต่างเวลาซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการรังวัดคอปเปิลอร์ของระบบ TRANSIT ดังนั้นการรังวัดแบบ Triple Difference เปรียบการรังวัดแบบคอปเปิลอร์จากการรังวัดคลื่นจีพีเอสแบบ Double Difference การรังวัดแบบ Triple Difference จะช่วยขจัดค่าคลุมเครือของจำนวนลูกคลื่นได้



ภาพที่ 20 การรังวัดแบบ Triple Difference (Sickle, 1996)

เส้นฐานอิสระในการรังวัดแบบสัมพัทธ์ (Independent baselines)

เส้นฐานอิสระ คือ กลุ่มของจำนวนเส้นฐานที่น้อยที่สุดของจุดรังวัดทุกจุด โดยในแต่ละช่วงของการรับสัญญาณจะมีจำนวนเส้นฐานที่เป็นอิสระต่อกันทั้งหมด $N - 1$ เส้น (N คือ จำนวนเครื่องรับสัญญาณที่ใช้ในช่วงเวลาการรับสัญญาณนั้น ๆ) เช่น เมื่อเปิดเครื่องรับสัญญาณพร้อม 5 เครื่อง จะมีเส้นฐานทั้งหมด 10 เส้น แต่มีเพียง 4 เส้นเท่านั้นที่เป็นเส้นฐานอิสระดังภาพที่ 21 (เกรียงไกร บุญเติม, ม.ป.ป.)



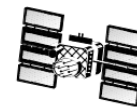
ภาพที่ 21 จำนวนเส้นฐานอิสระ (เกรียงไกร บุญเติม, ม.ป.ป.)

Trivial หมายถึงเส้นที่ไม่ค่อยสำคัญมากนัก ซึ่งเส้นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อการทำงานโดยใช้เครื่องรับสัญญาณตั้งแต่ 3 เครื่องขึ้นไป ข้อมูลจากการรังวัดใน คาบการรังวัด (Session) หนึ่ง จะให้ผลลัพธ์ที่เป็นเอกภาพโดยมีข้อมูลเพียงพอที่จะถ่ายทอดค่าพิกัดไปยังจุดอื่นๆ ได้ แต่ไม่มีจำนวน Redundancy (เกรียงไกร บุญเติม, ม.ป.ป.)

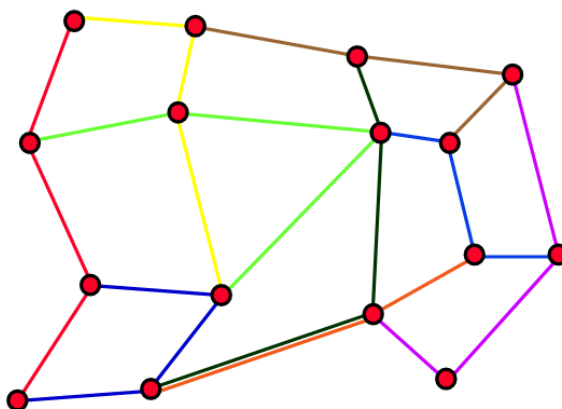
กล่าวคือ การใช้เส้นฐานทั้งหมดในช่วงเวลารับสัญญาณเดียวกันมาตรวจสอบการบรรจบของเส้นฐานนั้นไม่สามารถที่จะตรวจหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่สถานีใดสถานีหนึ่งได้

โครงข่ายทางยี่ห้อเคซีที่ต้องการความเที่ยงสูง (High-precision) มีข้อพิจารณาเกี่ยวกับการเชื่อมโยงโครงข่าย คือ เลือกเฉพาะเส้นฐานที่เป็นเส้นฐานอิสระ ในแต่ละจุดจะต้องมีเส้นฐานอิสระอย่างน้อย 2 เส้นฐาน และในแต่ละจุดควรมีการรังวัด อย่างน้อย 2 คาบการทำงานดังภาพที่ 22

Independent baselines (cont'd)



FGCC 1988 lists recommended criteria for baseline connections between stations, repeat baseline observations, and multiple station occupations.



ภาพที่ 22 การออกแบบโครงข่ายที่ดี (เกรียงไกร บุญเติม, ม.ป.ป.)

ระยะเวลาในการรังวัดสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (Observation Times)

ระยะเวลาในการรังวัด มีปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น เทคนิคการรังวัด เกณฑ์ความถูกต้องที่ต้องการ ความยาวของเส้นฐาน สิ่งกีดขวางการรับสัญญาณ จำนวนดาวเทียมที่ปรากฏ สถานภาพดาวเทียม เรขาคณิตดาวเทียม การรบกวนจาก Ionosphere และเครื่องมือที่ใช้ เป็นต้น (เกรียงไกร บุญเติม, ม.ป.ป.)

ตัวอย่างเช่น ระยะเวลารังวัด ขึ้นอยู่กับระยะทางของเส้นฐานและจำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้ สำหรับเส้นฐานสั้น ๆ จะใช้เวลาในการทำงานรังวัดแบบ Static ตั้งแต่ 45 นาที ขึ้นไป (เพื่อความสะดวกในการวางแผนการรังวัดและลดความเสี่ยงในกรณีที่มีสิ่งกีดขวางการรับสัญญาณ) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเส้นฐาน จำนวนดาวเทียม และระยะเวลาในการรังวัดแสดงในภาพที่ 23

การวัดในช่วงเวลาไหนของวัน มีปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณา เช่น เรขาคณิตดาวเทียม จำนวนดาวเทียมบนท้องฟ้า มุมสูงของดาว สถานภาพดาวเทียม และการเดินทาง เป็นต้น

Observation times cont'd

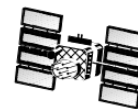


Table 8-3. Guidelines for Determining Static Baseline Occupation Time versus Satellite Visibility and Baseline Length--Single- and Dual-Frequency Horizontal GPS Control Surveys

Baseline Length (km)	Recommended Minimum Observation Time (minutes) Satellites in View/Single- or Dual-Frequency Receiver					
	4		5		6 or more satellites in view	
	Single	Dual	Single	Dual	Single	Dual
1-10 km	60 min	20 min	36 min	12 min	24 min	8 min
10-20 km	75 min	25 min	45 min	15 min	30 min	10 min
20-50 km ¹	105 min	35 min	75 min	25 min	60 min	20 min
> 50 ¹	180 min	60 min	135 min	45 min	90 min	30 min

¹ Dual-frequency receivers are recommended for baselines greater than 20 km
Source: USACE GPS Field Review Group (September 2002)

ภาพที่ 23 ระยะเส้นฐาน จำนวนดาวเทียม และระยะเวลาในการรังวัด (เกรียงไกร บุญเติม, ม.ป.ป.)

องค์ประกอบของระบบจีพีเอส

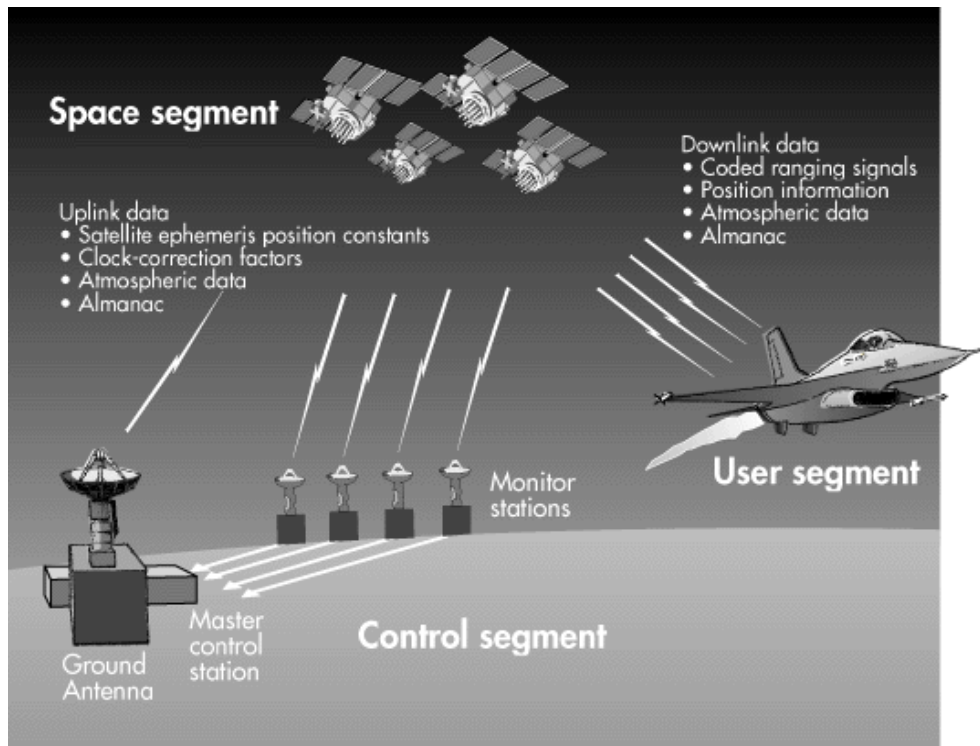
ระบบจีพีเอสแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (วิชัย เชียงวีรชน, 2549) ตามภาพที่ 24 คือ

1. ส่วนศูนย์ควบคุมภาคพื้นดิน (Control Station Segment) เป็นศูนย์ควบคุมระบบและบัญชาการการทำงานของระบบ GPS รวมไปถึงการตรวจตราความเรียบร้อยของระบบ ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Colorado Spring สหรัฐอเมริกา (ภาพที่ 25) ศูนย์ควบคุมกลางประกอบด้วย

1.1 ศูนย์บัญชาการ (Master Control Station) ตั้งอยู่ฐานทัพอากาศสหรัฐอเมริกา Schriever AFB รัฐ Colorado

1.2 สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station) จำนวน 5 แห่ง กระจายอยู่ตามจุดต่างๆ ของโลก ได้แก่ Hawaii, Kwajalein, Ascension Island, Diego Garcia และ Colorado Spring

1.3 งานส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (Ground Antennas) ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 จุด ได้แก่ Ascension Island, Diego Garcia, Kwajalein



ภาพที่ 24 องค์ประกอบของระบบจีพีเอส (What is GPS, n.d.)



ภาพที่ 25 ที่ตั้งสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (The GPS System, n.d.)

สถานีรับวัดติดตามภาคพื้นเป็นสถานีที่ทราบค่าพิกัดแล้ว มีภารกิจในการส่งข้อมูลของดาวเทียมที่รับได้ไปยังสถานีควบคุมหลัก เพื่อทำการคำนวณวงโคจรดาวเทียมและพยากรณ์วงโคจร

ดาวเทียมไว้ล่วงหน้าพร้อมด้วยค่าตัวแปรสำหรับดาวเทียมแต่ละดวง และทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังดาวเทียมแต่ละดวงโดยสถานีส่งข้อมูล 3 สถานี การเทียบเวลาของดาวเทียมเป็นภารกิจสำคัญที่สุดของส่วนควบคุม ดังนั้นสถานีควบคุมหลักจะทำการเชื่อมโยงระบบ โดยตรงกับสถานีรับวัดเวลากองทัพเรือสหรัฐฯ

2. ส่วนอวกาศ (Space Segment) ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง เคลื่อนที่บนระนาบวงโคจร 6 ระนาบวงโคจรๆ ละ 4 ดวง แต่ละพื้นวงโคจรทำมุม 55 องศากับพื้นอิกัวเตอร์ ดาวเทียมโคจรด้วยความสูง 20,200 กิโลเมตร แต่ละรอบวงโคจรใช้เวลา 12 ชั่วโมง โครงสร้างของวงโคจร (Constellation) ในลักษณะนี้ทำให้มีดาวเทียมจำนวน 5-8 ดวง (Xu, 2007) ที่เครื่องรับ GPS สามารถรับสัญญาณได้ ณ ตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งใดได้ตลอดเวลาและดาวเทียม GPS จะมีปีกเป็นแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell Panels) โดยปกติจะพยายามหมุนตัวให้สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด ดังนั้นตัวดาวเทียมจะมีการหมุนปรับตัวตลอดเวลาโดยให้ปีกเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ตั้งฉากกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในตัวดาวเทียมยังบรรจุแบตเตอรี่สำหรับให้พลังงานเมื่อดาวเทียม GPS เคลื่อนตัวอยู่ในเงาของโลก

ดาวเทียมแต่ละดวงจะมีนาฬิกาอะตอม (Atomic Clock) ที่ถูกต้องสูงมากใช้ในการควบคุมสร้างสัญญาณคลื่นส่ง (Carrier Signal) ของระบบส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ โดยคลื่นที่ส่งเป็นคลื่นในช่วง L- band จำนวน 2 ความถี่ ด้วยกำลังส่ง 50 วัตต์ (Dana, 2000) คือ

1.) คลื่น L1 (L1 Signal) ความถี่ 1575.42 MHz ความยาวคลื่น 19.03 เซนติเมตร โดยจะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulated) ด้วยรหัสที่เรียกว่า Pseudo – random noise (PRN) 2 ชนิด ซึ่งใช้ในการหาระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ (Pseudo – ranges) คือ C/A code และ P code ที่ไม่ซ้ำกันในดาวเทียมแต่ละดวง พร้อมทั้งข้อมูลนำหนของดาวเทียม (Navigation Code)

2.) คลื่น L2 (L2 Signal) ความถี่ 1227.60 MHz ความยาวคลื่น 24.42 เซนติเมตร โดยจะถูกกล้ำสัญญาณ (Modulated) ด้วยรหัส P code และข้อมูลนำหนดาวเทียมเท่านั้น

รหัสที่กล้ำสัญญาณเข้ากับคลื่น L1 และ L2 มีรายละเอียด (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2549) ดังภาพที่ 26 คือ

1.) รหัสข้อมูลนำหนดาวเทียม (Navigation Code)

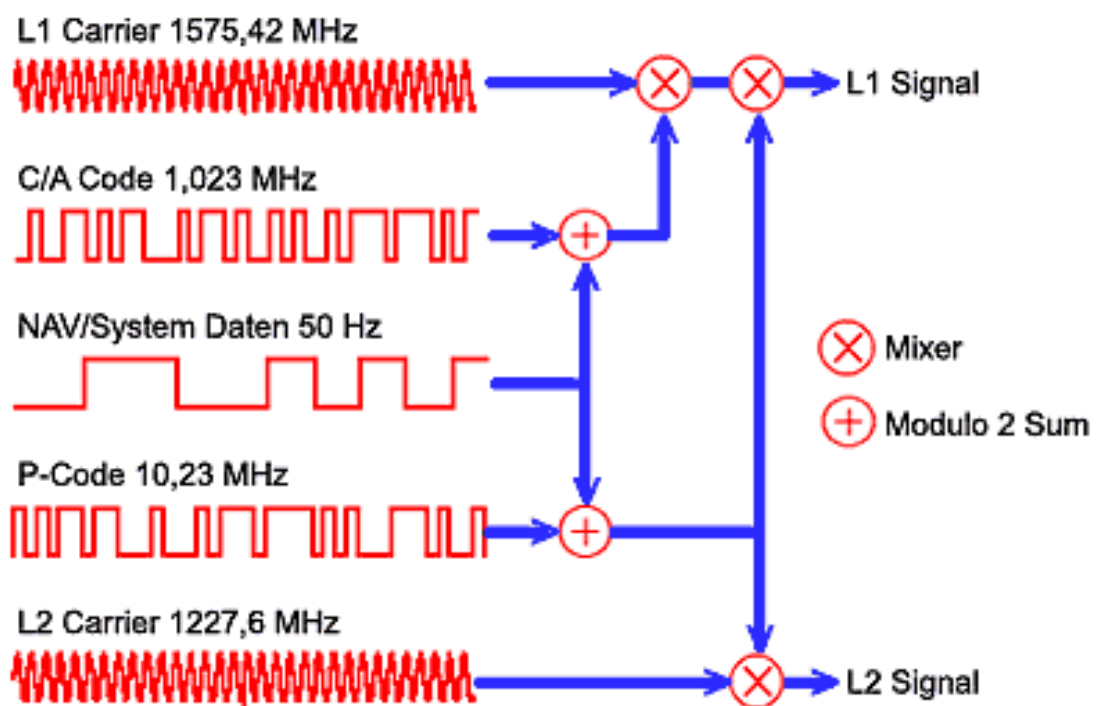
ข้อมูลนำหนของดาวเทียม (Navigation Message) ประกอบด้วยข้อมูลวงโคจร (Orbital Information) หรือค่า อีเฟเมอริส (Ephemeris) ซึ่งเป็นค่าพิกัดตำแหน่งดาวเทียมในแต่ละวัน ค่าอัลมานัค (Almanac) ซึ่งเป็นค่าปฏิทินอีเฟเมอริสของดาวเทียมทุกดวงล่วงหน้า เพื่อใช้ในการวางแผนการรับสัญญาณดาวเทียม ค่าแก้สัญญาณเวลานาฬิกาของดาวเทียม โดยค่าเหล่านี้จะถูกปรับปรุงให้ทันสมัยจากสถานีควบคุมภาคพื้นดินทุกวัน

2.) รหัส P (P code)

รหัส P หรือ Precise code เป็นรหัสที่กล้าเข้าสัญญาณทั้งคลื่น L1 และ L2 มีความถี่เท่ากับ 10.23 MHz ความยาวคลื่น 30 เซนติเมตร โดยจะมีรูปแบบที่ซ้ำกันบางส่วนทุก 7 วัน และจะซ้ำกันเต็มรูปแบบทุก 37 สัปดาห์ รหัส P เป็นรหัสที่อนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะทางการทหารและพันธมิตรของสหรัฐอเมริกาเท่านั้น โดยมีการป้องกันการใช้ โดยเข้ารหัสสัญญาณ (Encrypted) ด้วยการเปิดระบบป้องกันที่เรียกว่า Anti – spoofing mode (A – S) ซึ่งรหัส P นี้จะเปลี่ยนเป็นรหัสที่เรียกว่า รหัส Y (Y code) หรือ P(Y)

3.) รหัส C/A (C/A code)

รหัส C/A หรือ Coarse Acquisition Code เป็นรหัสที่กล้าเข้ากับสัญญาณเฉพาะคลื่น L1 เท่านั้น มีความถี่เท่ากับ 1.023 MHz ความยาวคลื่น 300 เมตร ดาวเทียมแต่ละดวงจะส่งรหัส C/A ที่ไม่ซ้ำรูปแบบกัน (Unique C/A Code) และมีอัตราส่งทุก 1 มิลิวินาที



ภาพที่ 26 ลักษณะของการกล้าสัญญาณ (The GPS System, n.d.)

3. ส่วนผู้ใช้งาน (User Segment) ประกอบด้วยเครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสที่ใช้ในการรับวัดสัญญาณดาวเทียมอยู่ทั่วไปทั้งทางทหารและพลเรือน แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

3.1 เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแบบพกพาเพื่อการนำหน สามารถอ่านค่าพิกัดได้ทันที มีขนาดเล็กระทัดรัด ราคาถูก แต่ความละเอียดถูกต้องต่ำ

3.2 เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสแบบติดตั้ง เพื่อใช้ในงานสำรวจที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูง โดยทำการบันทึกข้อมูลสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสไว้ แล้วนำมาประมวลผลร่วมกับอีกเครื่องในภายหลัง เครื่องหาค่าพิกัดจีพีเอสประเภทนี้มักจะมีขนาดใหญ่และมีราคาแพง

จำแนกประเภทของงานรังวัดด้วยดาวเทียม

งานรังวัดด้วยดาวเทียม สามารถจำแนกชั้นของงานได้ดังนี้ (กองยี่ห้อเซ็และยี่ห้อฟิสิกส์, 2539)

1. งานชั้น AA (Special Type) มีความละเอียดถูกต้องสูงสุด ใช้ในงานวิทยาศาสตร์ ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในภูมิภาคและสากล ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 0.01 ppm. (1:100,000,000)

2. งานชั้น A (Very high precision) มีความละเอียดถูกต้องสูงมาก ใช้ในงานโครงข่ายหมุดหลักฐานนานาชาติ ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในภูมิภาคและท้องถิ่น ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 0.1 ppm. (1:10,000,000)

3. งานชั้น B (High precision) มีความละเอียดถูกต้องสูง ใช้ในงานโครงข่ายหมุดหลักฐานแห่งชาติ ศึกษาการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกในท้องถิ่นและงานรังวัดความละเอียดสูงทางวิศวกรรม ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 1.0 ppm. (1:1,000,000)

4. งานชั้น C (Terrestrial based survey) ใช้ในงานขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานกำหนดจุดบังคับรูปถ่ายทางอากาศ การรังวัดแบ่งแปลงที่ดินและงานรังวัดทางวิศวกรรมทั่วไป ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 10 ppm., 20 ppm., 50 ppm. และ 100 ppm. (1:100,000 ถึง 1:10,000) ตามลำดับ

หมายเหตุ ppm. = part per million / หนึ่งในล้านส่วน

ประเภทของความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

Federal Geodetic Data Committee ได้จัดทำมาตรฐานเกี่ยวกับการทดสอบและอธิบายความถูกต้องทางตำแหน่งของข้อมูลปริภูมิขึ้น โดยมีชื่อเรียกว่า Geospatial Positioning Accuracy Standard มาตรฐานนี้มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดวิธีการที่เป็นที่ยอมรับร่วมกันสำหรับการรายงานค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของหมุดหลักฐาน หมุดควบคุมในการสำรวจรังวัด หรือหมุดควบคุมใน

งานสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ โดยแบ่งประเภทของความถูกต้องเชิงตำแหน่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้ (Federal Geodetic Data Committee, 1998)

1. ความถูกต้องทางราบ (Horizontal spatial accuracy หรือ Planimetric accuracy)

อธิบายได้ด้วย Circular Error (CE) ของชุดพิกัดทางราบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่ง CE อยู่ □ บนพื้นฐานของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของกลุ่มตัวอย่างของค่าพิกัดในจุดเดียวกันระหว่างพิกัดแผนที่และพิกัดจากแหล่งข้อมูลอื่น เช่น จากการสำรวจวงรอบปิด หรือ GPS ที่มีความถูกต้องสูงกว่า

2. ความถูกต้องทางตั้ง (Vertical spatial accuracy หรือ Altimetric accuracy) อธิบายได้

ด้วย Linear Error (LE) ของพิกัดค่าความสูงของพื้นที่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่ง Linear Error อยู่ □ บนพื้นฐานของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) ของกลุ่มตัวอย่างของค่าความสูงในจุดเดียวกันระหว่างค่าความสูงบนแผนที่และพิกัดค่าความสูงที่ได้ □ จากแหล่งข้อมูลอื่น เช่น จากการสำรวจวงรอบปิดหรือ GPS ที่มีความถูกต้องสูงกว่า

การทดสอบความถูกต้อง (Accuracy Test)

1. ในการตรวจความถูกต้องทางราบ (Horizontal spatial accuracy หรือ Planimetric accuracy) ทำได้โดยการเปรียบเทียบพิกัดทางราบจุดเดียวกันของจุดเห็นเด่นชัดกับพิกัดที่ได้จากแผนที่หรือแหล่งข้อมูลอื่นๆ เช่น การสำรวจหรือ GPS ที่มีความถูกต้องมากกว่า ในการเลือกใช้จะต้องเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องอยู่ภายใน 1 ใน 3 ของความถูกต้องที่กำหนดโดยมาตรฐานของ Federal Geographic Data Committee 1998 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

2. ในการตรวจสอบความถูกต้องทางตั้ง (Vertical spatial accuracy หรือ Altimetric accuracy) ทำได้โดยการเปรียบเทียบค่าความสูงของจุดเดียวกันระหว่างจุดเห็นเด่นชัดกับค่าความสูงของพิกัดที่ได้จากแผนที่หรือแหล่งข้อมูลอื่นๆ เช่น การสำรวจหรือ GPS ที่มีความถูกต้องมากกว่าในการเลือกใช้จะต้องเป็นข้อมูลที่มีความถูกต้องอยู่ภายใน 1 ใน 3 ของความถูกต้องที่กำหนดโดยมาตรฐานของ Federal Geographic Data Committee 1998 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่เหมาะสมกับแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ

การกำหนดมาตราส่วนและชนิดของแผนที่ให้เหมาะสมกับความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากแผนที่แต่ละชนิด แต่ละมาตราส่วนต้องการมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานที่ต้องการนำข้อมูลไปใช้งานในด้านใด โดยมาตรฐานความถูกต้อง

เชิงตำแหน่งทางราบ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับ สามารถแยกพิจารณาตามลักษณะของงานที่ต้องนำไปใช้ได้ดังต่อไปนี้

1. ความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่

เนื่องจากแผนที่มาตราส่วนกลาง และมาตราส่วนเล็ก (มาตราส่วนเล็กกว่า 1 : 20,000) ไม่สามารถแสดงรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร หรือ 0.0002 เมตร ได้ หมายความว่า ตำแหน่งของรายละเอียดใด ๆ ที่ปรากฏบนแผนที่มาตราส่วนกลาง และมาตราส่วนเล็ก หากมีขนาดเล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร แล้วจะทำให้ไม่สามารถรับรู้ถึงความคลาดเคลื่อนนั้นได้ ดังนั้นสามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่เกิดขึ้นในภูมิประเทศจริงได้จากสมการ (กาญจนะดิษฐ์ ไยเกตุ, 2546)

$$\text{Errors of position} = 0.0002 \times \text{map scale} \quad (\text{m.})$$

สำหรับค่าที่คำนวณได้จากสมการ จะเป็นค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบที่ยอมรับได้สำหรับแผนที่แต่ละมาตราส่วนเมื่อพิจารณาจากความสามารถในการแสดงรายละเอียดของวัตถุ

2. มาตราส่วนของแผนที่

กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร มีการกำหนดมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่มาตราส่วนใหญ่ต่างๆ (มาตราส่วนใหญ่กว่า 1 : 20,000) ที่มีการผลิตใช้ในประเทศ เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ หรืองานสำรวจทางวิศวกรรม เช่น แผนที่แสดงแปลงที่ดิน แผนที่ยุทธการร่วม เป็นต้น นอกจากการพิจารณาความถูกต้องตามมาตราส่วนแผนที่แล้วยังมีการระบุแยกย่อยลงไปถึง Class ของแผนที่อีกด้วย หมายความว่าแผนที่มาตราส่วนเดียวกันแต่หากมีมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบแตกต่างกันก็จะถูกจัดให้อยู่ต่าง Class กันเพื่อแสดงถึงระดับความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบ

หากพิจารณาตามมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งจะสามารถระบุค่าความถูกต้องตามมาตราส่วนและ Class ของแผนที่ที่จะนำไปใช้ได้ดังตารางที่ 3 (กองทำแผนที่, ม.ป.ป.)

ตารางที่ 3 มาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ (กองทำแผนที่, ม.ป.ป.)

Horizontal Accuracy Specification of Map			
Scale	RMSE _H (m.)		
	Class I	Class II	Class III
1 : 1,000	0.250	0.500	0.750
1 : 2,000	0.500	1.000	1.500
1 : 4,000	1.000	2.000	3.000
1 : 5,000	1.250	2.500	3.750
1 : 10,000	2.500	5.000	7.500
1 : 20,000	5.000	10.000	15.000

3. มาตรฐานและลักษณะภูมิประเทศ

โครงการจัดทำแผนที่เพื่อบริหารทรัพยากรธรรมชาติและทรัพย์สินของกระทรวงเกษตรและ สหกรณ์ มีการผลิตแผนที่ภาพถ่ายออร์โธรีโธส ครอบคลุมพื้นที่เกือบทั้งประเทศ ยกเว้นบริเวณ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้ คือ ยะลา ปัตตานี นราธิวาส พื้นที่บางส่วนของจังหวัดสงขลา บริเวณแนวชายแดน ไทย-ลาว และพื้นที่บางพื้นที่ที่ไม่สามารถผลิตแผนที่ให้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดทางเทคนิคของโครงการได้ เพื่อให้หน่วยงานภายในกระทรวง หน่วยงานภาครัฐและเอกชนนำไปใช้ประโยชน์ จัดทำในสองมาตราส่วนคือ มาตราส่วน 1:4,000 และ 1:25,000 โดยมีมาตรฐานความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (ส่วนเทคโนโลยีการบริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ, 2551) ดังนี้

- บริเวณพื้นที่ราบ หรือบริเวณที่มีความลาดชันไม่เกิน 35 % ความถูกต้องทางราบ 1 เมตรหรือดีกว่า
- บริเวณที่มีความลาดชันเกิน 35 % ความถูกต้องทางราบ 2 เมตรหรือดีกว่า

4. การสำรวจทางสมุทรศาสตร์

Federal Geographic Data Committee (FGDC) ได้กำหนดมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยแยกตามประเภท (Order) ของการสำรวจดังนี้ (Federal Geographic Data Committee, 2005)

- Special Order ความถูกต้องทางราบ 2 เมตร ได้แก่ พื้นที่บริเวณท่าเรือหรือจุดจอดเรือ พื้นที่ที่มีความอันตราย ร่องน้ำที่ตื้นเขินเป็นต้น

- Order 1 ความถูกต้องทางราบ 5 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ บริเวณท่าเรือ และพื้นที่ใกล้เคียง ร่องน้ำและชายฝั่งที่มีความลึกไม่เกิน 100 เมตร

- Order 2 ความถูกต้องทางราบ 20 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ บริเวณที่มีความลึกน้อยกว่า 200 เมตรซึ่งไม่ได้รวมอยู่ในงาน Special Order และ Order 1

- Order 3 ความถูกต้องทางราบ 150 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ บริเวณนอกชายฝั่งและพื้นที่ทั้งหมดที่ไม่ได้อยู่ในงาน Special Order, Order 1 และ Order 2

5. มาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards

ตามมาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards ปี ค.ศ. 1947 ซึ่งยังใช้อยู่จนถึงปัจจุบันได้กำหนดหลักเกณฑ์ คือ อย่างน้อย 90% ของจุดทดสอบหรือข้อมูลเชิงตำแหน่งบนแผนที่ ต้องมีความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามมาตราส่วนของแผนที่โดยคำนวณได้จากสมการ (United States National Map Accuracy Standards, 1947)

สมการสำหรับแผนที่มาตราส่วนใหญ่กว่า 1:20,000

$$0.03333 \times \text{scale} \times 2.54 / 100 = \text{ground meters.}$$

สมการสำหรับแผนที่มาตราส่วน 1:20,000 หรือเล็กกว่า

$$0.02 \times \text{scale} \times 2.54 / 100 = \text{ground meters.}$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต และการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในรูปแบบต่าง ๆ ได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยทั้งในประเทศ และต่างประเทศไว้หลายเรื่อง โดยสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยครั้งนี้ได้ดังนี้

ทิพย์วรรณ สุภาวัฒน์ (2554) ได้ทำการศึกษาวิจัยโดยนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม โดยโปรแกรม Google Earth เพื่อสร้างแผนที่ภูมิศาสตร์ ใช้พื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานครเป็นตัวอย่างในการศึกษาวิจัย มีการเขียน VB Script สร้างไฟล์ KML เพื่อช่วยในการกำหนดพิกัดตามช่วงที่ต้องการ จากนั้นจึงจัดเก็บภาพมาประกอบเป็นแผนที่ขนาดใหญ่ เครื่องมือที่ใช้ในการประกอบคือ โปรแกรม Photoshop และ AutoCAD โดยเมื่อได้แผนที่ภูมิศาสตร์มาแล้วจึงใช้โปรแกรม SketchUp สร้างโมเดลในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นหากมีการก่อสร้างจริง ผลการวิจัยพบว่า แผนที่ภูมิศาสตร์ให้ข้อมูลที่แม่นยำกับผู้ใช้ได้มากกว่าแผนที่ในลักษณะลายเส้นทั่วไป เพราะผู้ใช้สามารถเข้าใจได้ว่าพื้นที่ที่สนใจมีจุดสังเกตที่เด่นชัดอะไรบ้างนอกจากนั้นยังสามารถประเมินสภาพแวดล้อมจากการใช้โมเดลเป็นแบบจำลองบนแผนที่ภูมิศาสตร์ได้อีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีการนำภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตไปใช้ในการสำรวจและแก้ไขผังเมือง โดยเป็นงานวิจัยของ พิชัย วีระบรรจบ (2552) ได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียมจากโปรแกรม Point Asia และ Google Earth ซึ่งเป็นภาพถ่ายดั้งเดิมมาทำการปรับแก้ค่าพิกัดและปรับแก้เชิงเรขาคณิตด้วยโปรแกรม Micro Station และ Image Analyst โดยใช้ค่าพิกัดที่รังวัดด้วยกล้องวัดมุม จากนั้นจึงทำการเขียนถ่ายทอครายระเอียด ผลที่ได้จากการวิจัยบริเวณ อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ พบว่าสามารถลดต้นทุนการทำงานลงได้ 64.37% เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยวิธี Toposurvey แบบเดิม และยังส่งผลให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากการวางแผนการทำงาน และการเดินทางล่วงหน้า

สำหรับพื้นที่ห่างไกลหรือพื้นที่ที่ยากลำบากในการเข้าถึงการใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ปัญหา การวางแผนงานเบื้องต้นเป็นสิ่งจำเป็นดังเช่นที่ ชัชชัย หนูเจริญ (2551) ได้ทำการศึกษาโดยเลือกใช้โปรแกรม Google Earth เพื่อพัฒนาในเชิงวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ โดยใช้ภาษา XML เพื่อใช้ต่อเชื่อม Web Map Service (WMS) ซึ่งยอมให้สืบค้นและนำเข้าข้อมูลแผนที่ที่มีการนำเข้าข้อมูล GIS และใช้โปรแกรมที่เกี่ยวข้องเช่น GE_path ,GE_Graph เพื่อใช้ในการคำนวณพื้นที่ เส้นทางและแสดงผลในรูปแบบภูมิสามมิติบน Google Earth ผลการศึกษาจากการนำเข้าข้อมูลภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS) และค่าพิกัดจากระบบสำรวจหาตำแหน่งพื้นโลกด้วยดาวเทียม (GPS) ในเขตสำนักชลประทานที่ 17 บน Google Earth แล้ว สามารถนำผลที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจในการวิเคราะห์ความเหมาะสมของการพิจารณา โครงการเบื้องต้นได้ดีไม่ว่าจะเป็น การคำนวณพื้นที่รับน้ำ การสำรวจ แม่น้ำ คลองหรือเส้นทาง ท่อ ท่อ ค้ำระดับในแนวตั้ง นอกจากนี้ยังได้ซึ่้นทับข้อมูลจาก PointAsia และซึ่้นทับแผนที่ของกรมแผนที่ทหาร ในมาตราส่วน 1:50,000 เต็มพื้นที่สำนักชลประทานที่ 17 พร้อมทั้งสามารถแสดงผลข้อมูลด้านแหล่งน้ำ บนภูมิประเทศในรูปแบบ 3 มิติ ได้ บน Google Earth ทำให้เกิดความชัดเจน ในการประกอบการพิจารณาโครงการและสามารถใช้งานได้ดีในเชิงสาธารณะบน Google Earth

ในต่างประเทศได้มีการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการโดย Google Earth ไปใช้ในกิจการค้นหาและช่วยชีวิตทางทะเลโดย Jon Blower และ คณะ (n.d.) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Using Google Earth in Marine Research and Operational Decision Support เป็นการนำข้อมูลภาพถ่ายจากดาวเทียมของ Google Earth ไปประมวลผลร่วมกับข้อมูลของระบบ Godiva2 ได้แก่ ข้อมูลทางสมุทรศาสตร์ ข้อมูลอุทกศาสตร์ ข้อมูลตำแหน่งที่เกิดอุบัติเหตุ จากนั้นจึงทำการประมวลผลและแสดงผลผ่านทางโปรแกรม Google Earth เพื่อแสดงตำแหน่งที่เกิดเหตุ พื้นที่ค้นหาและเส้นทางในการเข้าถึงที่เกิดเหตุ ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถช่วยการตัดสินใจและวางแผนการค้นหาช่วยเหลือได้อย่างมีประสิทธิภาพและการเข้าถึงจุดเกิดเหตุสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็ว

ในอนาคตข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมของ Google Earth จะมีบทบาทอย่างมากในการใช้งานระบบ GIS ผ่านทางอินเทอร์เน็ต ดังเช่นที่ Andrew Henry (2009) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง USING GOOGLE EARTH FOR INTERNET GIS เพื่อศึกษาความเหมาะสมในการใช้โปรแกรม Google Earth สำหรับงาน GIS เชิงประยุกต์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต การวิจัยมุ่งเน้นในการใช้งานการประมวลผล และการแสดงข้อมูลในรูปแบบข้อมูลเชิงเส้น (Vector) กับข้อมูลอรรถธิบาย (Attribute) ผ่านรูปแบบของโปรแกรม Google Earth ผู้วิจัยได้ทำการสร้างรูปแบบการประมวลผลข้อมูลขึ้นมาใหม่ในรูปแบบ VISualise and Query Using Earth (VISQUE) เพื่อสนับสนุนการเข้าถึงข้อมูลด้าน GIS การประมวลผลข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) การสร้างและการประมวลผลแบบจำลอง GIS Modelling โดยผู้ใช้สามารถสร้างแบบสอบถามหรือเลือกรูปแบบการแสดงผลได้ด้วยตนเอง ผลการวิจัยที่ได้พบว่าทั้งข้อมูลเชิงเส้นและข้อมูลอรรถธิบายสามารถประมวลผลและแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ชัยวัฒน์ พรหมทอง (2551) ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่องการประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลผลิตภาพถ่ายออร์โธ จากภาพถ่ายทางอากาศในสนามทดสอบ โดยได้ทำการรังวัดค่าพิกัดจุดทดสอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดสองความถี่เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง จากนั้นจึงนำค่าพิกัดไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่รังวัดได้บนภาพถ่ายออร์โธ การวิจัยครั้งนี้ใช้จุดทดสอบจำนวน 34 จุด ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐานของ FGDC 1998 ผลการทดสอบสรุปได้ว่าภาพถ่ายออร์โธมีค่าความละเอียดถูกต้องทางราบที่ 0.947 เมตร และมีค่าความละเอียดถูกต้องทางดิ่งที่ 0.547 เมตร สามารถนำไปจัดทำแผนที่ได้มาตราส่วนใหญ่สุดที่ 1:2,188

กาญจนะดิษฐ์ ไชเกตุ (2546) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS ชนิดนำหนในการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการวางแผนการตั้งถิ่นฐานมนุษย์ โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS ชนิดนำหนซึ่งมีความสามารถในการเก็บข้อมูลเชิงพื้นที่ และทำการรังวัดได้ในแบบสัมบูรณ์และแบบปรับแก้ผลต่าง ได้แก่ เครื่อง GPS รุ่น GeoExplorer3 และ Pathfinder Pocket ผลการทดลองพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนแบบสัมบูรณ์เครื่องรุ่น GeoExplorer3 มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.295 เมตร เหมาะสมในการปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:12,500 เครื่องรุ่น Pathfinder Pocket มีค่าความคลาดเคลื่อน 2.140 เมตร เหมาะสมในการปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:12,500 ในการหาค่าพิกัดแบบปรับแก้ผลต่างเครื่องรุ่น GeoExplorer3 มีค่าความคลาดเคลื่อน 1.961 เมตร เหมาะสมในการปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:10,000 เครื่องรุ่น Pathfinder Pocket มีค่าความคลาดเคลื่อน 0.983 เมตร เหมาะสมในการปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:5,000

หลังจากที่มีการวิวัฒนาการของยุคดิจิทัลและเป็นการเริ่มต้นของระบบคอมพิวเตอร์ประมวลผลขั้นสูง เป็นการก้าวเข้าสู่ยุคสมัยใหม่ของข้อมูลสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ทำให้การใช้งานของข้อมูลดาวเทียมรายละเอียดสูงในเชิงพาณิชย์ได้เติบโตเร็วขึ้นและทำให้ข้อมูลดาวเทียมมีราคาถูกลง ซึ่งส่งผลให้การใช้งานง่ายขึ้นและสามารถใช้ได้ไม่เฉพาะทางการทหาร แต่พลเรือนก็สามารถใช้งานได้เช่นกัน Micheal T. (2005) ได้มีการประยุกต์นำเอาข้อมูลดาวเทียม SPOT-5 มาใช้ประยุกต์ในการปรับปรุงแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 25,000 และ 1: 50,000 ส่งผลให้ข้อมูลทันสมัยมากขึ้น ราคาถูกลง ใช้ระยะเวลาการดำเนินงานน้อยลง ช่วยยกระดับงาน การเขียนแผนที่ให้ดีขึ้นตามไปด้วย

Jaruphummik P. & Simking R. (2007) ได้ทำการศึกษาการใช้ข้อมูลดาวเทียมรายละเอียดสูง IKONOS, SPOT-5 ในการประยุกต์การทำแผนที่มาตราส่วนใหญ่นั้น ช่วยให้ประเมินถึงศักยภาพของข้อมูลความถูกต้องของภาพดาวเทียมความละเอียดสูงกว่า สามารถที่จะนำมาปรับปรุงและประยุกต์ใช้กับแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 ได้ และให้ความถูกต้องที่ดีขึ้น เพราะปัจจุบันในการผลิตแผนที่มาตราส่วน 1 : 25,000 จากภาพถ่ายทางอากาศมีความคลาดเคลื่อนทางตะวันออก 6 เมตร และทางเหนือ 8 เมตร จึงมีความร่วมมือระหว่างสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ และกรมแผนที่ทหาร ได้ทดลองทำการปรับปรุงแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1 : 50,000 และ 1 : 25,000 โดยใช้ข้อมูลดาวเทียมความละเอียดสูง SPOT-5 ร่วมกับการออกภาคสนาม ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดระนอง ชุมพรและสุราษฎร์ธานี

Ottichilo W. & Khamala E. (2002) รายงานว่า เดิมแผนที่ภูมิประเทศของทวีปแอฟริกาเป็นรูปแบบเก่า ไม่มีการปรับปรุงข้อมูล การที่จะปรับปรุงข้อมูลแต่ละครั้งก็ต้องใช้ภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง แผนที่ต่างๆ จึงไม่ค่อยได้รับการปรับปรุงมานานแล้ว ผลเสียที่เกิดขึ้นคือประเทศไม่สามารถใช้ข้อมูลภูมิศาสตร์วางแผนและกำหนดทิศทางของประเทศได้ ดังนั้นการปรับปรุงแผนที่ จึงเป็นเรื่องเร่งด่วนมาก ดังนั้นเมื่อ The Regional Center for Mapping of Resources for Development (RCMRD) ได้เริ่มมีแนวคิดที่จะใช้ข้อมูลดาวเทียมความละเอียดสูง นอกจากแผนที่จะให้ความถูกต้องที่ดีขึ้น งบประมาณในการทำก็น้อยลงกว่าเดิม และได้กล่าวถึงประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียม SPOT-5 ความละเอียดภาพ 20*20 เมตร เป็นกรณีศึกษาในการทำแผนที่ ผลที่ได้ประสบความสำเร็จเช่นกัน แต่นอกเหนือจากนั้นคือ เป็นการยกระดับการทำแผนที่ที่มีความถูกต้องสูงขึ้น ใช้เวลาน้อยลง งบประมาณน้อยลง และยังช่วยให้ได้ทราบถึงศักยภาพของการทำงานของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems) ว่ามีความยืดหยุ่น และสามารถข้อมูลพื้นฐาน สำหรับการวางแผนเพื่อการตัดสินใจได้

Behdinian B. (2002) ได้ทำการศึกษาดาวเทียม IKONOS ได้ผลว่าดาวเทียม IKONOS มีช่วงข้อมูลขาวดำ มีรายละเอียดจุดภาพ 1 เมตร และช่วงข้อมูลหลายช่วงคลื่น มีรายละเอียดจุดภาพ 4 เมตร มีมุมมองจากแนวตั้งต่ำกว่า 60 องศา ในทุกๆ ช่วงข้อมูลภาพ ส่งผลดีต่ออัตราการกลับมาโคจรซ้ำที่เดิมและศักยภาพของการทำ stereo pair โดยดาวเทียมความละเอียดสูงอย่าง IKONOS เหมาะสมในการใช้งานแบบไม่จำกัด หมายถึงสามารถรองรับการทำงานของทั้งภาครัฐและเอกชน และยังสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น การทำแผนที่ ภาคเกษตรกรรม ป่าไม้และการป้องกันภัยฉุกเฉิน นอกจากนี้ยังได้บอกไว้ว่าภาพถ่ายจากดาวเทียมความละเอียดสูงจะมาแทนที่ภาพถ่ายทางอากาศ เพราะให้รายละเอียดของบริเวณที่กว้างกว่า และสามารถให้ข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง และสะดวกในการปรับปรุงข้อมูล เช่น เกษตรกรสามารถติดตามระยะเวลาการเติบโตของพืชได้ และยังประมาณช่วงของผลผลิตได้อย่างแม่นยำ นักวิทยาศาสตร์ใช้ข้อมูลดาวเทียมในการสังเกตการณ์พื้นที่เสี่ยงภัยต่อปัญหาสิ่งแวดล้อมและยังพยากรณ์แนวโน้มพื้นที่ปัญหาได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

Joon-Mook K., Hee-Cheon Y. & Joon-Kyu P. (2008) ได้ทำการวิจัยประเมินค่าความถูกต้องของการทำแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม SPOT-5 แบบเดี่ยว ในขั้นตอนแรกจะใช้การปรับแก้ความบิดเบี้ยวเชิงเรขาคณิตด้วยการใช้จุดควบคุมภาพพื้นดินและแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขที่สร้างจากแผนที่ดิจิทัล มาตราส่วน 1 : 5,000 ของสถาบัน ใช้ในการปรับแก้ความบิดเบี้ยวที่เกิดจากความสูงของภูมิประเทศ โดยเปรียบเทียบแผนที่ภาพถ่ายนั้นๆ กับแผนที่ดิจิทัลมาตราส่วน 1 : 25,000 ของ Korean National Geographic Information Institute การวิเคราะห์ค่าความถูกต้องใช้จุดเช็ค 10 จุด จากชั้นข้อมูลต่างๆ เช่น เส้นทาง เส้นทางน้ำและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ผลของการวิจัยได้ว่าแผนที่ภาพถ่ายที่สร้างจากข้อมูลดาวเทียม SPOT-5 แบบเดี่ยว ให้ผลลัพธ์เชิงราบเป็นที่น่าพอใจสำหรับการทำที่จะนำแผนที่ต่อไป แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะพิสูจน์ได้ว่าการทำแผนที่ภาพถ่ายจากภาพเดี่ยวจะให้ความถูกต้องที่ดี เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ข้อมูลได้ก็ยังมีข้อแม้ถึงเรื่องมาตราส่วนของแผนที่ที่จะทำออกมา ซึ่งได้แนะนำว่าถ้าหากใช้ภาพข้อมูลดาวเทียมที่มีความละเอียดสูงๆ ก็จะสามารถทำแผนที่ที่มีมาตราส่วนใหญ่ได้

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในและต่างประเทศพบว่างานวิจัยเกือบทั้งหมดมุ่งเน้นไปที่การต่อ ยอดนำข้อมูลแผนที่ หรือ ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตของ Google Earth ไปใช้ในเชิงประยุกต์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล สร้างหรือปรับปรุงฐานข้อมูลในระบบภูมิสารสนเทศ โดยยังไม่มีการวิจัยใดได้ทำการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลซึ่งให้บริการโดย Google Earth เสียก่อน การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลในระบบภูมิสารสนเทศ (GIS) ก่อนนำไปใช้นี้เป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งเพราะข้อมูลไม่ว่าจะมีปริมาณมาก หรือ

ทันสมัยมากเกินไปจน หากไม่สามารถระบุความถูกต้องของข้อมูลได้ก็ไม่สามารถนำไปอ้างอิงหรือใช้ร่วมกับข้อมูล GIS อื่น ๆ ที่มีการกำหนดมาตรฐานหรือเกณฑ์ความถูกต้องของงานไว้ได้

สำหรับการวิจัยในครั้งนี้จะดำเนินการวิจัยโดยประยุกต์ใช้วิธีของ ชัยวัฒน์ พรหมทอง (2551) โดยทำการทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายทางจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดย Google Earth ใช้จุดทดสอบจำนวน 28 จุด ทดสอบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐานของ FGDC 1998 จากนั้นนำค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ได้รับไปวิเคราะห์หามาตราส่วนของแผนที่ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย มีดังนี้

1. จุดทดสอบ เป็นที่เห็นเด่นชัดบนแผนที่ และในภูมิประเทศ (Landmark) เช่น จุดตัดของถนนหรือทางแยก หากสามารถเลือกได้ควรเลือกจุดหรือตำแหน่งในที่โล่ง เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS ชนิดสองความถี่ เข้าไปทำการรังวัดค่าพิกัดเพื่อเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งต่อไป โดยในการศึกษาครั้งนี้กำหนดจุดทดสอบไว้จำนวน 28 จุด ครอบคลุมทั่วพื้นที่ศึกษาตามมาตรฐาน FGDC 1998

2. จุดควบคุมโครงข่าย GPS เป็นหมุดในโครงข่ายหมุดหลักฐานของกรมแผนที่ทหารนำมาใช้เพื่อโยยียดค่าพิกัดให้กับหมุดหรือตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัดของตำแหน่งทดสอบ โดยค่าพิกัดที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าพิกัดอยู่ในระบบค่าพิกัดเดียวกับของกรมแผนที่ทหารในการวิจัยครั้งนี้ใช้จุดควบคุมของกรมแผนที่ทหารจำนวน 2 หมุด

เครื่องมือและสิ่งอุปกรณ์

1. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดความถี่เดียว เพื่อใช้ในการนำทางเข้าสู่จุดทดสอบ ให้ความถูกต้องที่ 1-5 เมตร มีช่องรับสัญญาณ 12 ช่อง เสืออากาศแบบติดตั้งภายใน

2. แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ระวัง 5235 IV อำเภอพนัสนิคม จังหวัดชลบุรี

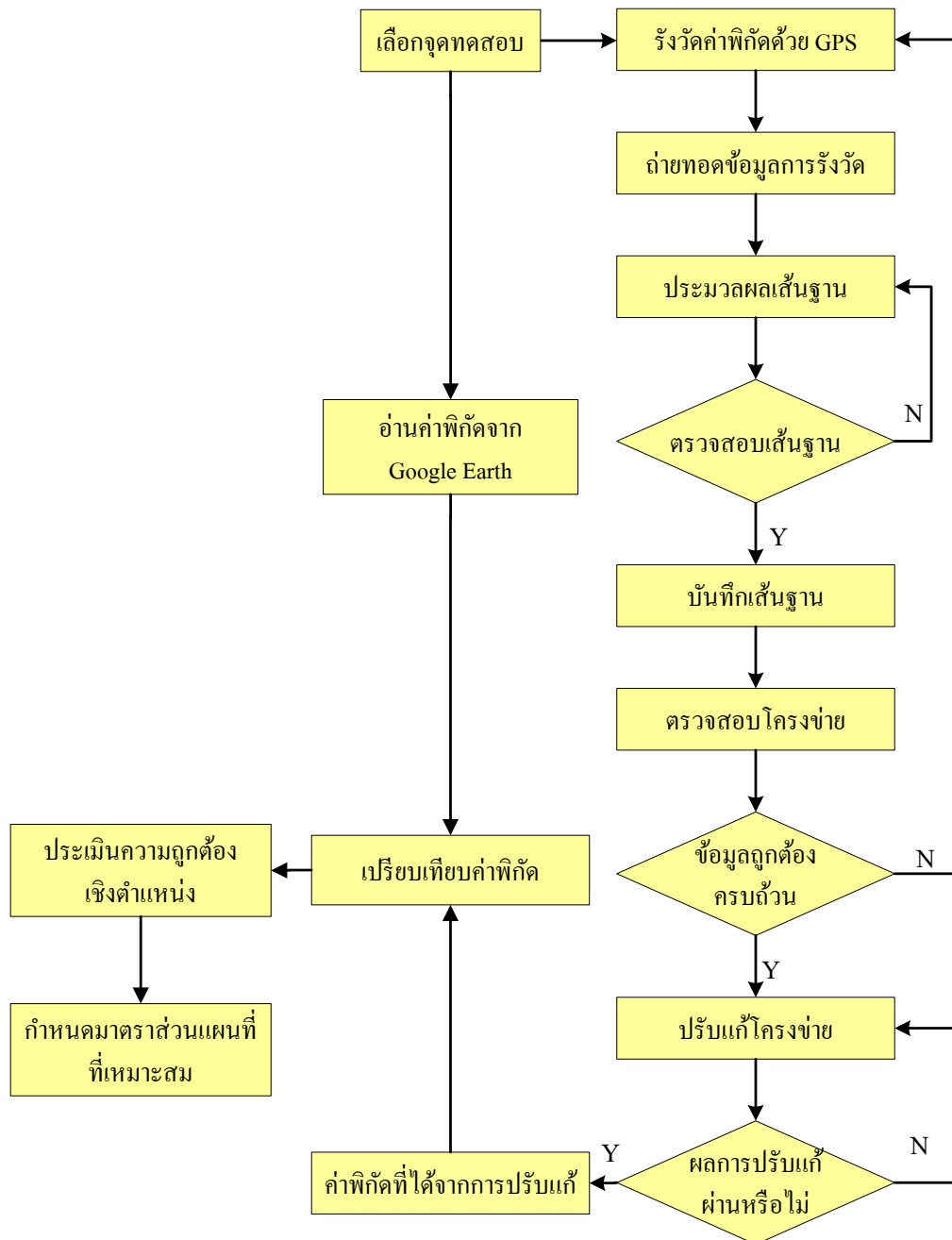
3. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดสองความถี่ ของบริษัท Trimble รุ่น 5700 R7 จำนวน 5 เครื่อง มี 24 ช่องรับสัญญาณ ให้ความถูกต้องที่ $\pm 0.25m + 1ppm$ RMS เมื่อทำการรังวัดแบบปรับแก้ผลต่าง และ $\pm 5mm + 0.5ppm$ RMS เมื่อทำการรังวัดแบบสถิตและสถิตอย่างรวดเร็ว (กองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิสิกส์, 2554)

4. ยานพาหนะ รถบรรทุกเล็ก จำนวน 5 คัน

5. เครื่อง Computer แบบ Notebook พร้อมโปรแกรมเพื่อใช้ในการประมวลผลเส้นฐานในการวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรม Trimble Geomatics Office (TGO) v.1.5 (Trimble Navigation Limited, 2002) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปของบริษัท Trimble ใช้ในการประมวลผลข้อมูลการรังวัดดาวเทียม GPS และการคำนวณปรับแก้โครงข่าย เครื่องมือในการรังวัดเก็บข้อมูล และโปรแกรมคำนวณที่ใช้ในการวิจัย ดำเนินการขอรับการสนับสนุนจาก กองยี่ห้อเดซีและยี่ห้อฟิสิกส์ กรมแผนที่ทหาร การประมวลผลและคำนวณปรับแก้โครงข่ายดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญจากกรมแผนที่ทหาร

วิธีและขั้นตอนดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 แผนผังแสดงขั้นตอนการวิจัย

การเลือกจุดทดสอบและอ่านค่าพิกัดด้วยโปรแกรม Google Earth

1. การคัดเลือกจุดทดสอบ

จุดทดสอบ ใช้จุดที่เห็นเด่นชัดบนแผนที่ และในภูมิประเทศ เช่น จุดตัดของถนนหรือทางแยก การกำหนดจุดทดสอบเป็นไปตามเกณฑ์ของ FGDC 1998 (Federal Geographic Data Committee 1998) กล่าวคือ จุดทดสอบต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่า 20 จุด (การทดสอบครั้งนี้มีจำนวน 28 จุด) และเมื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน (Quadrant) ในแต่ละส่วนต้องมีจุดทดสอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของจุดทดสอบทั้งหมด นั่นคือ แต่ละส่วนต้องมีจุดทดสอบไม่น้อยกว่า 6 จุด (ร้อยละ 20 ของ 28 จุด) แต่ละจุดต้องมีการกระจายตัวของตำแหน่งอย่างสม่ำเสมอ โดยต้องมีระยะห่างระหว่างจุดไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของระยะตามแนวเส้นทแยงมุม (d) ของพื้นที่ทดสอบ (27 กม.× 27 กม.) (Federal Geographic Data Committee, 1998) ซึ่งจากการตรวจสอบแผนที่พบว่าระยะตามแนวเส้นทแยงมุมของแผนที่ (d) มีระยะ 38.183 กม. โดยเกณฑ์ระยะห่างกันที่น้อยที่สุดระหว่างจุดทดสอบต้องไม่น้อยกว่าระยะ 3.818 กม.

การเลือกเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดจุดทดสอบต้องใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ดีกว่าความละเอียดถูกต้องของแผนที่ ในที่นี้เลือกใช้เครื่อง Trimble รุ่น 5700 R7 ทำการรังวัดจุดทดสอบโดยใช้วิธีการรังวัดแบบ Fast static ประมวลผลร่วมกับจุดควบคุมโครงข่าย ตามเกณฑ์งานชั้น C ซึ่งใช้ในงานขยายโครงข่ายหมุดหลักฐานกำหนดจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ การรังวัดแบ่งแปลงที่ดินและงานรังวัดทางวิศวกรรมทั่วไป ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 10 ppm. (1:100,000)

2. การคัดเลือกจุดควบคุมโครงข่าย

จุดควบคุมโครงข่าย (Base Station) ใช้เป็นจุดแรกออกในการคำนวณปรับแก้ค่าพิกัดของจุดทดสอบทั้งหมดด้วยการประมวลผลและปรับแก้เป็นโครงข่าย มีหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกคือ ต้องตั้งอยู่บริเวณย่านกลางของพื้นที่ทดสอบ อยู่ในที่โล่งไม่มีสิ่งบดบังสัญญาณในการรังวัด และต้องมีความมั่นคงแข็งแรง ในครั้งนี้ใช้หมุดหลักฐานหมายเลข PBM.2615 โรงเรียนพานทอง สถานชูปถัมภ์ และ หมุดหลักฐานหมายเลข SBM.15651 ริมทางหลวง 3127 ของกรมแผนที่ทหารเป็นจุดควบคุมโครงข่าย

การรังวัดค่าพิกัดของจุดควบคุมโครงข่าย ใช้การรังวัดแบบ Static เป็นโครงข่ายสามเหลี่ยมโดยโยงยึดกับโครงข่ายของกรมแผนที่ทหาร ตามเกณฑ์งานชั้น C ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 10 ppm. (1:100,000)

3. การอ่านค่าพิกัดจุดทดสอบจาก Google Earth

สำหรับค่าพิกัดของจุดทดสอบที่นำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ทำการรังวัดด้วยเครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS นั้น ได้จากการอ่านค่าโดยผู้อ่านจำนวน 3 คนด้วยโปรแกรม Google Earth ทำการอ่านค่าพิกัดของจุดทดสอบซึ่งเห็นเด่นชัดในภาพถ่ายและในภูมิประเทศ เช่น จุดตัดถนน หรือ ทางแยก เป็นต้น สำหรับแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านอินเทอร์เน็ตผ่านโปรแกรม Google Earth จะอยู่ในรูปไฟล์ภาพดิจิทัลและมีค่าพิกัดอยู่ในไฟล์ภาพ การอ่านพิกัดจุดทดสอบกำหนดให้ผู้อ่านอ่านค่าพิกัดจากการขยายแผนที่ที่มีความสูงภาพ 150 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้ผู้อ่านทุกคนอ่านค่าพิกัดจากภาพที่อยู่ในมาตราส่วนเดียวกัน จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าพิกัดเฉลี่ยแล้วนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่รังวัดได้

การรังวัดค่าพิกัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS

1. การสร้างจุดทดสอบ

ทำการสร้างเป็นหมุดชั่วคราวโดยทำการสกัดลงบนพื้นคอนกรีตหรือผิวแอสฟัลต์ บริเวณที่จะทำการรังวัด ใช้ตะปูคอนกรีตทำเป็นหัวหมุดหัวตะปูมีขนาด 0.5 เซนติเมตร และความยาวตะปู 5 เซนติเมตร รองด้วยเพลทสังกะสีสีแดงขนาด 2.5 x 2.5 เซนติเมตร ลักษณะจุดทดสอบที่ทำการสร้างแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ตัวอย่างจุดทดสอบที่ทำการสกัดบนพื้นผิวแอสฟัลต์

2. การรังวัดค่าพิกัด

ทำการรังวัดแบบ Fast static ดังแสดงในภาพที่ 29 จากนั้นนำข้อมูลการรังวัดไปทำการประมวลผลร่วมกับจุดควบคุมโครงข่าย ตามเกณฑ์งานชั้น C ซึ่งใช้ในงานขยายโครงข่ายหมุด

หลักฐานสำหรับกำหนดจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ การรังวัดแบ่งแปลงที่ดินและงานรังวัดทางวิศวกรรมทั่วไป ค่าความคลาดเคลื่อนตามระยะเส้นฐานไม่เกิน 10 ppm. (1:100,000) เพื่อนำค่าพิกัดไปใช้เปรียบเทียบกับค่าพิกัดจุดทดสอบที่อ่านได้บนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมในพื้นที่ศึกษา โดยมีวิธีการติดตั้งเครื่องมือรังวัดในสนาม ดังนี้

2.1 การตั้งขาตั้งขาตั้งรับสัญญาณ สัญญาณที่รับได้อาจถูกรบกวนจากวัตถุโดยรอบงานรับสัญญาณ รวมทั้งการที่ผู้คนเดินผ่านไปมาก็อาจบดบังสัญญาณได้ ดังนั้นการตั้งขาตั้งรับสัญญาณให้สูงเป็นสิ่งที่พึงกระทำและต้องมั่นใจว่าขาตั้งรับสัญญาณนั้นมั่นคง

2.2 การปรับระดับ Tribrach เมื่อตั้งขาตั้งขาตั้งรับสัญญาณเหนือหมุดหลักฐานและติดตั้ง Tribrach แล้วปรับระดับ โดยใช้ควงสามเส้าและดูจาก Plummets ด้วยว่ากากบาทของสายใยทาบทับบนหัวหมุดหรือไม่

2.3 การวัดความสูงของงานรับสัญญาณ ทำการวัดความสูงเสมอ อย่างน้อย 2 ครั้ง คือ ก่อนและหลัง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Receiver) สามารถบันทึกข้อมูลทั้งที่เป็น รหัส (Code) คลื่นส่ง (Carrier Phase) และข้อมูลดาวเทียม การประมวลผลข้อมูลการรังวัดจะได้ค่าพิกัด ณ ตำแหน่ง Phase center ของงานรับสัญญาณดาวเทียม (Antenna) เราสามารถหาค่าพิกัดดังกล่าวลงบนหัวหมุดหลักฐานได้



ภาพที่ 29 การรังวัดค่าพิกัดจุดทดสอบด้วยเครื่อง Trimble รุ่น 5700 R7

การถ่ายทอดข้อมูลการรังวัด

การถ่ายทอดข้อมูลจะเป็นด่านแรกของการตรวจสอบข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องของความสูงของจานรับสัญญาณ และการตั้งชื่อของหมุดหลักฐาน ถ้าหากให้ความสำคัญในการตรวจสอบตั้งแต่ขั้นตอนนี้อย่างละเอียดถี่ถ้วน ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นก็จะลดน้อยลง การตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้น จะดำเนินการในขณะที่ทำการถ่ายทอดข้อมูลการรังวัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยตรวจสอบแบบจุด เปรียบเทียบกับข้อมูลที่บันทึกในเครื่องรับ เช่น ชื่อหมุด หมายเลขหมุด และที่สำคัญที่สุดคือ ค่าการวัดความสูงของจานรับสัญญาณ และประเภทของจานรับสัญญาณ ในการวิจัยครั้งนี้ใช้จานรับสัญญาณชนิด Zephyr Geodetic Antennas

หลังจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในสนามและตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นเสร็จแล้ว ถ้าการรังวัดเป็นไปตามการวางแผน ก็นำข้อมูลการรังวัดมาเก็บรวบรวม เพื่อนำเข้าข้อมูลสำหรับประมวลผลด้วยโปรแกรม TGO ต่อไป

การประมวลผลพื้นฐาน

ใช้โปรแกรมประมวลผล Wave Baseline Processing ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในโปรแกรม TGO ทำการประมวลผลพื้นฐานที่เป็นอิสระตามลักษณะของโครงข่ายในพื้นที่ปฏิบัติงานที่ได้ออกแบบไว้ก่อน การตรวจสอบความถูกต้องของเส้นฐานที่ได้จากการประมวลผลในเบื้องต้น เป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของเส้นฐานแต่ละเส้นที่ได้ภายหลังการประมวลผล ตามคุณลักษณะและขีดความสามารถของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมชนิดสองความถี่

การตรวจสอบเส้นฐาน

การตรวจสอบคุณภาพของเส้นฐานมีหลักเกณฑ์ตามคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ Trimble Geomatics Office (TGO) (กองขี้อเดซี่และขี้อฟิสิกส์, 2554) ดังนี้

1. Solution Type คือ วิธีการคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียม โดยปกติจะใช้ L1 Fixed (เส้นฐานระยะสั้น, น้อยกว่า 5 กม.) iono-free fixed (เส้นฐานระยะกลาง, 5 - 30 กม.) และ iono-free float (เส้นฐานระยะไกล, มากกว่า 30 กม.)
2. RMS คือ กำลังสองของความคลาดเคลื่อนโดยรวมในแต่ละสมการค่าสังเกต ซึ่งเป็น การบอกถึงความละเอียดของระยะเส้นฐานที่คำนวณได้ โดยปกติไม่ควรมากกว่า 0.03
3. Ratio คือ สัดส่วนของความแปรปรวนในการประมวลผลเส้นฐานแต่ละ Solution หากมีค่ามากแสดงถึงความเชื่อมั่นในการหาระยะเส้นฐาน โดยปกติไม่ควรน้อยกว่า 1.5

4. Reference Variance คือ สัดส่วนของความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ใน Solution กับ ความคลาดเคลื่อนที่ประมาณไว้ล่วงหน้า ซึ่งเป็นการบอกถึงความเข้ากันได้ของข้อมูลการรังวัด (Observation data) กับการหาระยะเส้นฐาน ในทางอุดมคติควรเท่ากับ 1 โดยปกติไม่ควรมากกว่า 10

การบันทึกเส้นฐาน

เมื่อทำการประมวลผลเส้นฐานเสร็จแล้ว ตรวจสอบความถูกต้องของเส้นฐานการรังวัด หากการประมวลผลเส้นฐานไม่ถูกต้อง จำเป็นต้องมีการตรวจสอบหรือแก้ไขค่าตัวแปรในการประมวลผลใหม่ จนกว่าการประมวลผลเส้นฐานจะผ่าน หรือหากว่าไม่ผ่านจำเป็นต้องมีการรังวัด สัญญาณใหม่เพื่อให้ได้ค่าการรังวัดที่ถูกต้อง เมื่อการประมวลผลเส้นฐานเสร็จสมบูรณ์ก็ทำการบันทึกเส้นฐานการรังวัด เพื่อใช้ในการปรับแก้ต่อไป

การตรวจสอบโครงข่าย

การตรวจสอบโครงข่ายหมุดหลักฐาน คือ นำข้อมูลการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส ที่ทำการประมวลผลเสร็จแล้วมาสร้างเป็นโครงข่าย เพื่อใช้ในการปรับแก้โครงข่าย ทำการตรวจสอบโครงข่ายโดยปรับแก้โครงข่ายในขั้นต้น ใช้จุดบังคับเพียงจุดเดียวหรือไม่กำหนด เพื่อทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ของค่ารังวัด เช่น สภาพเรขาคณิตดาวเทียม ความต่อเนื่องของการรับสัญญาณ จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลขั้นต้น เป็นขั้นตอนวิเคราะห์ผลจากการคำนวณ เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ หรือความคลาดเคลื่อนของค่ารังวัด ซึ่งจะส่งผลต่อโครงข่าย โดยตรวจสอบว่ามีค่ารังวัด หรือเส้นฐานที่ไม่ดี แฝงอยู่ในโครงข่ายหรือไม่ ถ้ามีก็ทำการแก้ไขเพื่อให้ได้เส้นฐานที่ดี

การปรับแก้โครงข่าย

เป็นการคำนวณปรับแก้ เพื่อยึดตรึงโครงข่ายที่ต้องการทราบค่าพิกัดเข้ากับระบบพิกัดของกรมแผนที่ทหาร อย่างสมบูรณ์แบบใช้การปรับแก้ลีสท์สแควร์ เป็นการตรวจสอบความเข้ากันได้ของข้อมูลการรังวัด และเพื่อโยนยึดเข้ากับหมุดควบคุม ผลที่ได้จากการคำนวณปรับแก้ควรได้รับการพิจารณาอย่างถี่ถ้วน โดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติจากผลการปรับแก้ สำหรับค่าสถิติที่จำเป็นต้องตรวจสอบมีดังนี้ (กองยี่ห้อและชื่อฟิสิกส์, 2539)

1. ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error : σ) เป็นตัวที่ใช้ในการประมาณค่าผลรวมเศษคงเหลือยกกำลังสองของค่าสังเกตในโครงข่ายการปรับแก้ เพื่อที่จะคำนวณหาค่าน้ำหนักของค่าสังเกต รวมถึงการประมาณค่าคลาดเคลื่อนต่างๆของโครงข่ายในการปรับแก้ อาจจะกล่าวได้ว่า ถ้า

เราทำการรังวัดค่าสังเกตซ้ำ ๆ จำนวนเท่ากับร้อยละ 68% ของค่าสังเกต จะมีค่าแตกต่างจากค่าเฉลี่ยของค่าสังเกต ไม่เกินค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ค่าความแปรปรวน (Variance : σ^2) มีค่าเท่ากับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานยกกำลังสอง โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนใน โครงข่ายจะถูกสะสมมากขึ้น เท่ากับมาจากผลรวมของค่าความแปรปรวน เช่น ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลรวมระยะทางสองระยะ มีค่าเท่ากับรากกำลังที่สองของผลรวมความแปรปรวนของระยะทางทั้งสอง

3. ค่าน้ำหนักของค่าสังเกต (Weighted : P) ค่าน้ำหนักมีความจำเป็นในการปรับแก้เนื่องมาจากความไม่เท่าเทียมกันของการรังวัด หากการรังวัดค่าสังเกตใน โครงข่ายมีมาตรฐานเดียวกันทั้งหมดก็ไม่ต้องกำหนดค่าน้ำหนักให้กับค่าสังเกต ความแตกต่างในมาตรฐานการปฏิบัติงานย่อมมีผลต่อการกำหนดค่าน้ำหนัก การรังวัดที่มีมาตรฐานสูงจะมีค่าน้ำหนักที่สูงกว่า การรังวัดที่มีมาตรฐานต่ำ การรังวัดค่าสังเกตที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย จะมีค่าน้ำหนักที่มาก ในทำนองเดียวกัน ค่าสังเกตที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากจะมีค่าน้ำหนักที่น้อย ค่าสังเกตที่มีค่าน้ำหนักมากจะมีค่าเศษคงเหลือน้อยกว่าค่าสังเกตที่มีค่าน้ำหนักน้อย มีค่าเท่ากับส่วนผกผันของความแปรปรวน

4. ค่าเศษคงเหลือ (Residuals : V) เพื่อดูว่าค่าสังเกตใดมีปริมาณค่าเศษคงเหลือมาก ซึ่งอาจเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของค่าสังเกตนั้น ๆ

5. The Reference Factor เป็นค่าสถิติที่กำหนดขึ้น เพื่อเป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบว่าปริมาณค่าเศษคงเหลือทั้งหมดใน โครงข่ายนั้นมีค่าตามเกณฑ์หรืออยู่ในขอบเขตของค่าคลาดเคลื่อนของเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัดหรือไม่ ถ้าค่าคลาดเคลื่อนของค่าสังเกตได้ถูกประมาณขึ้นอย่างถูกต้องแล้ว โดยปกติค่าเฉลี่ยของค่าเศษคงเหลือที่เกิดขึ้นจากแต่ละค่าสังเกตจะมีขนาดเดียวกันกับค่าที่คาดการณไว้ จะทำให้ค่า The Reference Factor มีค่าประมาณ 1.0

6. การทดสอบ Chi-square เพื่อเป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองปริมาณความคลาดเคลื่อนที่มีอยู่ มีความเหมาะสมหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญหรือที่ความเชื่อมั่น 95% ในบางครั้งแม้ว่าค่าของ The Reference Factor จะมีค่ามากกว่า 1.0 แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าโครงข่ายการปรับแก้ในครั้งนั้นใช้ไม่ได้ เพื่อให้สามารถที่จะตรวจสอบว่าโครงข่ายนั้นมีความน่าเชื่อถือหรือไม่ วิธีการทดสอบสมมติฐานการยอมรับค่าคลาดเคลื่อน โดยวิธี Chi Square จึงเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ทดสอบ

7. The Tau Criterion and Standard Error of the Residual ในการทดสอบทางสถิติของการปรับแก้แบบลีสท์สแควร์ ถูกออกแบบให้ช่วยในการขจัดค่าสังเกตที่มีความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่แฝงอยู่แต่ละค่าสังเกต จะถูกคำนวณค่าเพื่อทดสอบขึ้นมาใหม่ โดยการหารค่าเศษคงเหลือที่คำนวณได้กับค่าเศษคงเหลือที่มีผลจากการแพร่ของความคลาดเคลื่อน ถ้าค่าที่ได้มีขนาดมากกว่าค่า

The Critical Tau Value เป็นสิ่งบอกเหตุว่า ค่าสังเกตนั้นมีค่าคลาดเคลื่อนแฝงอยู่ และควรพิจารณาตรวจสอบอีกครั้ง

8. The Histogram of Standardized Residuals เป็นการแสดงให้เห็นภาพรวมของความน่าจะเป็น จากการทดสอบทางสถิติต่าง ๆ ว่ามีการกระจายตัวหรือเข้าใกล้ค่าที่คาดการณ์ไว้อย่างไร

9. Coordinate Error Ellipses รูปร่างที่ใกล้เคียงวงกลมและมีขนาดเล็ก แสดงถึงสภาวะที่ดีของการออกแบบโครงข่าย รูปร่างที่ไม่แน่นอนและมีขนาดใหญ่บ่งชี้ให้เห็นถึงปัญหาของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากค่าสังเกตที่มีผลต่อความคลาดเคลื่อนในทิศทางนั้น ๆ

ในขั้นตอนการปรับแก้ จะมีการกำหนดค่าคงที่ของหมุดควบคุม ซึ่งเป็นการกำหนดค่าคงที่ให้กับหมุดที่จะใช้เป็นจุดควบคุม โครงข่ายสำหรับการศึกษา โดยการกำหนดจุดควบคุมจะใช้หมุดหลักฐานทางราบของโครงข่ายกรมแผนที่ทหารเป็นจุดควบคุม เพื่อให้ค่าพิกัดที่ได้จากการปรับแก้เป็นค่าพิกัดในระบบเดียวกับค่าพิกัดของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับความเชื่อถือที่สุดระบบหนึ่ง จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลขั้นสุดท้าย เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ผลจากการปรับแก้โครงข่ายในขั้นสุดท้าย ก่อนที่จะนำค่าพิกัดที่ได้ไปใช้ โดยดูรายงานผลการปรับแก้จากโปรแกรม TGO ว่ามีเส้นฐานที่ไม่ผ่านการปรับแก้หรือไม่ ตรวจสอบค่าทางสถิติของหมุดหลักฐานผ่านตามเกณฑ์การปรับแก้ของโปรแกรมหรือไม่ หากไม่ผ่านต้องทำการปรับแก้ใหม่ ผลลัพธ์สุดท้ายของการปรับแก้ คือ ค่าพิกัดของจุดทดสอบ ที่มีความน่าเชื่อถือตามเกณฑ์งานที่กำหนด

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

นำค่าพิกัดของจุดทดสอบทั้งหมดที่ผ่านการปรับแก้แล้วมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่อ่านจากโปรแกรม Google Earth เพื่อคำนวณหาค่าความต่าง (รายละเอียดแสดงในบทที่ 2) เพื่อนำไปประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งได้จากสมการตามมาตรฐาน FGDC 1998 ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Accuracy}_r &= 2.477 * \text{RMSE}_E = 2.477 * \text{RMSE}_N \\ &= 2.477 * [\text{RMSE}_r / 1.4142] \end{aligned}$$

$$\text{Accuracy}_r = 1.7308 * \text{RMSE}_r$$

การกำหนดมาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสม

เมื่อทราบความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดย Google Earth แล้ว นำค่าความถูกต้องที่ได้นั้น ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อกำหนดมาตราส่วนและชนิดของแผนที่ให้เหมาะสมกับความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต พิจารณาตามลักษณะของงานที่ต้องการนำไปใช้ได้ดังต่อไปนี้

1. พิจารณาถึงความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่
2. พิจารณาจากมาตราส่วนของแผนที่
3. พิจารณาจากมาตรฐานการสำรวจทางสมุทรศาสตร์
4. พิจารณาตามมาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards

รายละเอียดการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ดังแสดงในบทที่ ๒ หัวข้อความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่เหมาะสมกับแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ

บทที่ 4

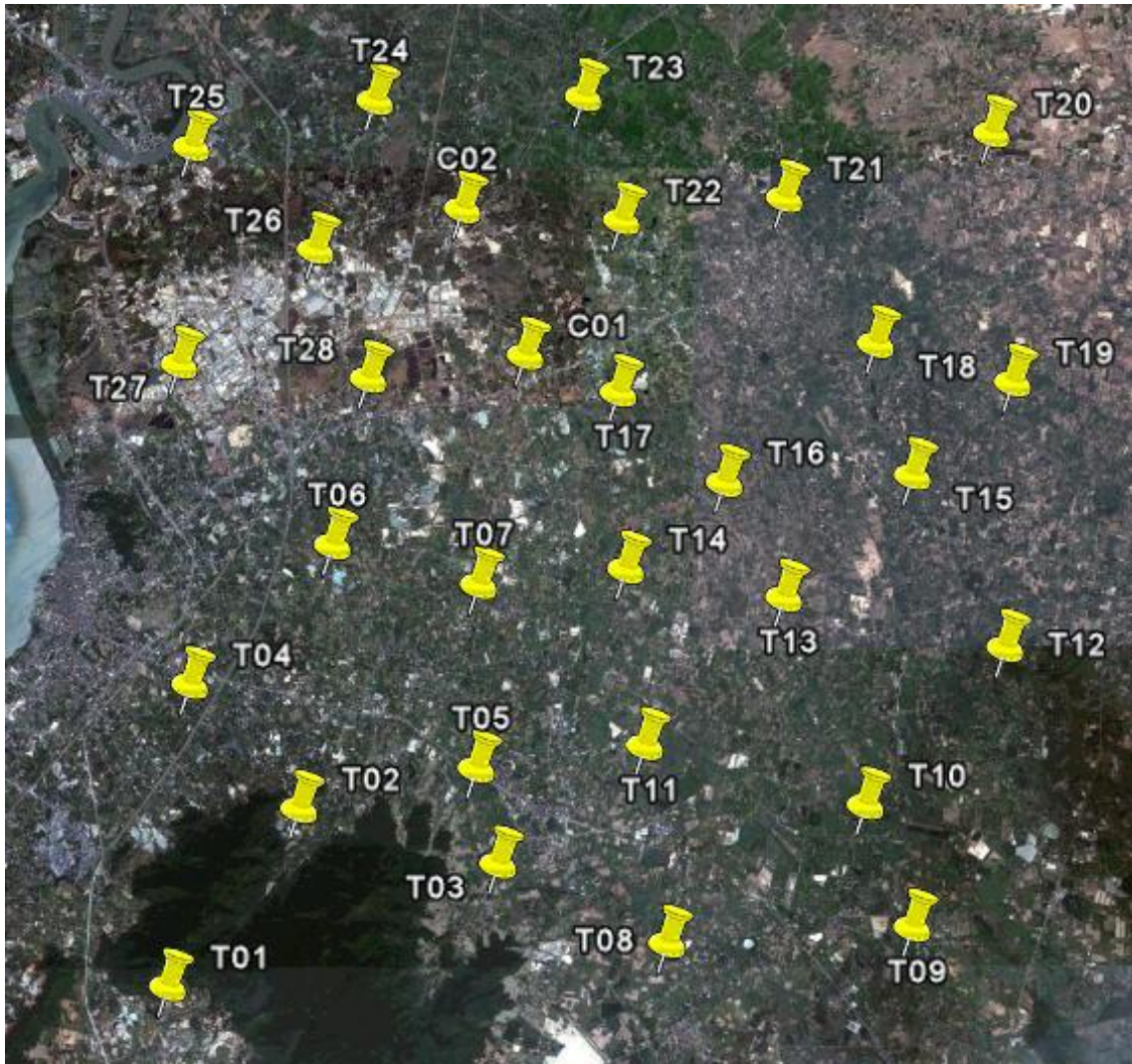
ผลการวิจัย

ผลการวิจัยเพื่อหาความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต สามารถแบ่งหัวข้อในการแสดงผลการวิจัยเพื่อให้เข้าใจได้โดยง่ายได้ดังนี้

การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งและการสร้างจุดทดสอบ

ผู้วิจัย และผู้เชี่ยวชาญจากกรมแผนที่ทหาร ซึ่งเป็นผู้ช่วยในการวิจัยจำนวน 2 นาย ได้ร่วมทำการกำหนดที่ตั้งของจุดทดสอบจำนวน 28 จุด ลงบนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม โปรแกรม Google Earth โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกตามมาตรฐาน FGDC 1998 เมื่อแบ่งพื้นที่ทดสอบเป็น 4 ส่วน (Quadrant) แล้วพบว่าจุดทดสอบกระจายตัวอยู่ในแต่ละส่วนไม่น้อยกว่า 6 จุด ซึ่งถือว่าผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดให้ มีการกระจายตัวของจุดทดสอบในแต่ละส่วนไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของจุดทดสอบทั้งหมด เมื่อพิจารณาระยะห่างระหว่างจุดทดสอบแต่ละจุดพบว่ามีระยะห่างน้อยสุด 3.837 กิโลเมตร ซึ่งผ่านตามมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 3.813 กิโลเมตร (เมื่อคำนวณจากพื้นที่วิจัย) ตำแหน่งที่ตั้งของจุดทดสอบบนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต มีรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 30

เมื่อทำการกำหนดตำแหน่งจุดทดสอบบนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมเสร็จแล้วขั้นตอนต่อไปคือการสร้างจุดทดสอบในภูมิประเทศ การเดินทางไปยังตำแหน่งที่ตั้งของจุดทดสอบใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ชนิดความถี่เดียวในการนำทางโดยใช้ค่าพิกัดขั้นต้นที่อ่านได้จากโปรแกรม Google Earth เมื่อเข้าไปใกล้ตำแหน่งจุดทดสอบในภูมิประเทศจึงใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ชุด L7018 ระวัง 5235 IV อำเภอพนัสนิคม ของกรมแผนที่ทหาร ประกอบกับแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมของ Google Earth ในการพิจารณาคำแนะนำของการสร้างจุดทดสอบให้ตรงกันระหว่างตำแหน่งในภูมิประเทศกับตำแหน่งที่กำหนดไว้บนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมของ Google Earth หลังจากกำหนดตำแหน่งของจุดทดสอบที่ถูกต้องได้แล้วจึงทำการสร้างจุดทดสอบในภูมิประเทศรายละเอียดการสร้างดังได้กล่าวในบทที่ 3 พร้อมทั้งทำการจดบันทึกข้อมูลรายละเอียดจุดทดสอบ ได้แก่ หมายเลขจุดทดสอบ ภาพร่างตำแหน่งของจุดตัดทางแยก หรือ ถนนที่ทำการสร้างจุดทดสอบ รวมทั้งถ่ายภาพจุดทดสอบ รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวกรายละเอียดประกอบจุดทดสอบ



ภาพที่ 30 ตำแหน่งที่ตั้งของจุดทดสอบบนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม

ค่าพิกัดของจุดทดสอบซึ่งอ่านได้จากโปรแกรม Google Earth

การอ่านค่าพิกัดของจุดทดสอบจากโปรแกรม Google Earth นี้ใช้ผู้อ่านจำนวน 3 คน ได้แก่ ตัวผู้วิจัย และผู้เชี่ยวชาญจากกรมแผนที่ทหารซึ่งเป็นผู้ช่วยในการวิจัยจำนวน 2 นาย ทำการอ่านค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ระดับความสูงภาพ 150 เมตร โดยอ่านเป็นค่าพิกัดกริด UTM Zone 47 บนพื้นหลักฐาน WGS84 ที่ความละเอียดทศนิยมสองตำแหน่งในหน่วยเมตร ซึ่งเป็นความละเอียดสูงสุดที่สามารถอ่านได้จากโปรแกรม ค่าพิกัดที่อ่านได้จากผู้อ่านทั้ง 3 คน และค่าพิกัดเฉลี่ยสำหรับการใช้ในการคำนวณ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าพิกัดของจุดทดสอบที่อ่านได้จากโปรแกรม Google Earth

Point	อ่านค่าพิกัด โดยผู้วิจัย		ผู้ช่วยอ่านค่าพิกัดลำดับที่ 1		ผู้ช่วยอ่านค่าพิกัดลำดับที่ 2		ค่าพิกัดเฉลี่ย	
	Eastng	Northing	Eastng	Northing	Eastng	Northing	Eastng	Northing
T01	717761.62	1465835.42	717761.44	1465835.17	717761.57	1465835.42	717761.54	1465835.34
T02	721675.46	1471560.94	721675.14	1471560.47	721675.18	1471560.46	721675.26	1471560.62
T03	726974.46	1468718.98	726974.46	1468719.14	726974.89	1468719.42	726974.60	1468719.18
T04	718395.38	1475228.92	718395.49	1475229.13	718395.51	1475229.38	718395.46	1475229.14
T05	726979.01	1472779.73	726978.81	1472779.53	726978.81	1472779.73	726978.88	1472779.66
T06	722647.78	1479390.80	722648.15	1479390.41	722648.10	1479390.36	722648.01	1479390.52
T07	727022.19	1478236.87	727022.39	1478237.01	727022.32	1478237.01	727022.30	1478236.96
T08	732705.24	1467609.09	732705.15	1467608.77	732705.28	1467609.03	732705.22	1467608.96
T09	740036.18	1468118.20	740035.99	1468118.25	740035.94	1468118.45	740036.04	1468118.30
T10	738617.92	1471737.91	738618.19	1471738.13	738618.31	1471738.12	738618.14	1471738.05
T11	732013.46	1473475.39	732013.65	1473475.36	732013.74	1473475.30	732013.62	1473475.35
T12	742780.61	1476436.88	742780.59	1476436.84	742780.62	1476436.80	742780.61	1476436.84
T13	736156.64	1477895.66	736156.47	1477895.53	736156.56	1477895.49	736156.56	1477895.56
T14	731423.97	1478711.55	731424.17	1478711.62	731424.30	1478711.82	731424.15	1478711.66
T15	739985.48	1481533.28	739985.46	1481533.23	739985.35	1481533.77	739985.43	1481533.43
T16	734361.14	1481298.85	734360.97	1481298.99	734361.06	1481298.90	734361.06	1481298.91
T17	731787.35	1484544.42	731787.47	1484544.33	731787.50	1484544.47	731787.44	1484544.41
T18	738868.62	1485444.01	738868.42	1485444.03	738868.42	1485443.91	738868.49	1485443.98
T19	742972.19	1484313.21	742972.21	1484313.25	742972.29	1484313.30	742972.23	1484313.25
T20	742301.46	1491703.49	742301.24	1491703.28	742301.61	1491703.29	742301.44	1491703.35
T21	736127.36	1489797.89	736127.35	1489797.88	736127.14	1489797.91	736127.28	1489797.89
T22	731248.67	1489068.42	731248.74	1489068.69	731248.85	1489068.66	731248.75	1489068.59
T23	730092.24	1492732.55	730091.66	1492732.65	730091.97	1492732.50	730091.96	1492732.57
T24	723855.46	1492586.95	723855.57	1492587.09	723855.50	1492587.00	723855.51	1492587.01
T25	718374.04	1491197.87	718374.19	1491197.94	718374.34	1491197.73	718374.19	1491197.85
T26	722101.48	1488156.55	722101.58	1488155.99	722102.05	1488155.28	722101.70	1488155.94
T27	718036.15	1484735.93	718036.40	1484735.84	718036.42	1484735.57	718036.32	1484735.78
T28	723695.53	1484333.56	723695.69	1484333.57	723695.68	1484333.53	723695.63	1484333.55

โครงข่ายของจุดทดสอบที่ทำการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS

หลังจากที่ได้ทำการสร้างจุดทดสอบในภูมิประเทศทั้ง 28 จุดเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การออกแบบโครงข่ายของจุดทดสอบที่จะทำการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ใช้มาตรฐานตามเกณฑ์งานชั้น C ของ FGCC 1984 (Federal Geodetic Control Committee 1984) ในการออกแบบโครงข่าย มีรายละเอียดคือ

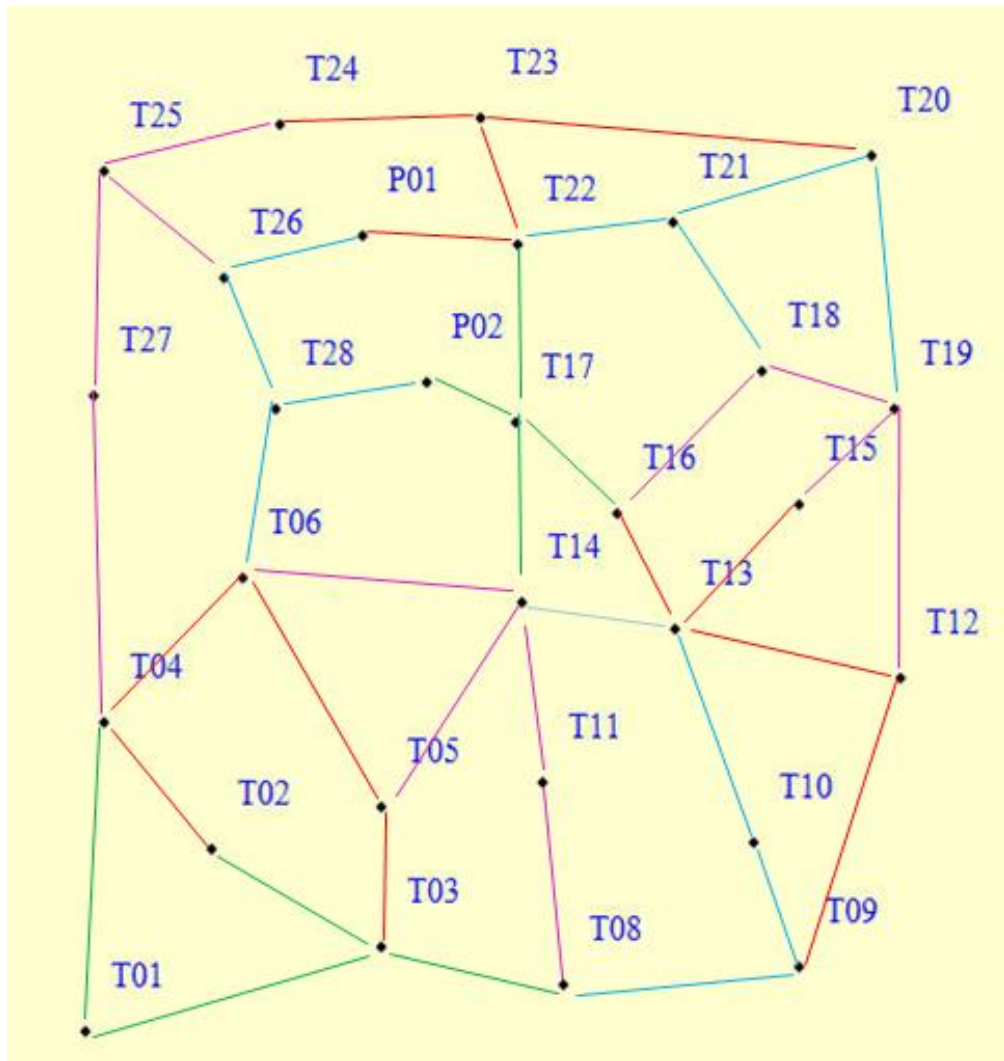
1. ในหนึ่งวงบรรจบต้องประกอบด้วยเส้นฐานไม่เกิน 10 เส้น
2. ในแต่ละวงบรรจบต้องมีเส้นฐานอิสระ (เส้นฐานที่ทำการรังวัดต่างห้วงเวลาเพื่อใช้ในการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของการรังวัด) อย่างน้อย 2 ช่วงเวลา
3. ระยะเส้นฐานรวมในแต่ละวงบรรจบต้องไม่เกิน 100 กิโลเมตร

เมื่อทำการรังวัดค่าพิกัดของจุดทดสอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS ชนิดสองความถี่ ในภูมิประเทศพบว่าจุดทดสอบหมายเลข T07 ไม่สามารถทำการรังวัดได้ เนื่องจากมีการปรับปรุงก่อสร้างถนนมีเครื่องจักรหนักปฏิบัติงานตลอดทั้งวัน ด้วยสาเหตุนี้จึงทำการตัดจุดทดสอบหมายเลข T07 ออกจากโครงข่าย ทำให้ได้โครงข่ายของจุดทดสอบที่ใช้ในการคำนวณปรับแก้ดังแสดงในภาพที่ 31

ในการรังวัดค่าพิกัดของจุดทดสอบใช้การรังวัดด้วยวิธี Fast Static เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำข้อมูลการรังวัดมาทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม TGO รายละเอียดดังอธิบายในหัวข้อต่อไป

ผลการประมวลผลเส้นฐาน

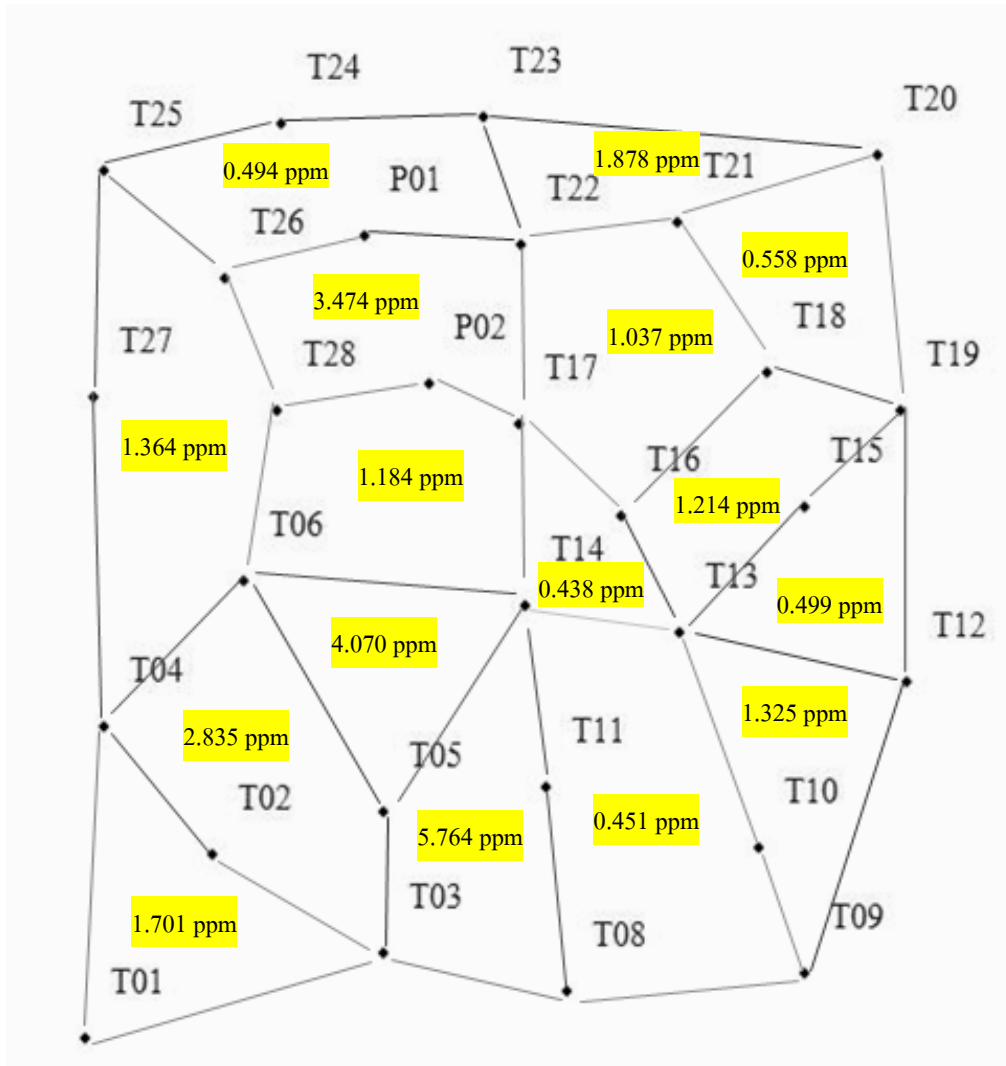
เมื่อนำข้อมูลการรังวัดของจุดทดสอบทั้ง 27 จุดมาทำการคำนวณเพื่อประมวลผลจะได้เส้นฐานอิสระทั้งสิ้นจำนวน 44 เส้น การตรวจสอบคุณภาพของเส้นฐานใช้หลักเกณฑ์ตามคุณสมบัติของซอฟต์แวร์ Trimble Geomatics Office (TGO) ดังอธิบายในบทที่ 3 โดยเส้นฐานที่ทำการรังวัดตามโครงข่ายของจุดทดสอบที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีค่าสถิติผ่านตามเกณฑ์ของโปรแกรมทั้งหมด (ทำการประมวลผลโดยเจ้าหน้าที่จากกรมแผนที่ทหาร)



ภาพที่ 31 โครงข่ายของจุดทดสอบที่ทำการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS

การตรวจสอบวงบรรจบ

โครงข่ายของจุดทดสอบที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้มีวงบรรจบทั้งสิ้นจำนวน 16 วงบรรจบ โดยในทุกวงบรรจบมีค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบ (Miss closer) ไม่เกินเกณฑ์ 10 ppm ตามมาตรฐานของเกณฑ์งานชั้น C สำหรับค่าคลาดเคลื่อนบรรจบของโครงข่ายจุดทดสอบมีค่าสูงสุดที่ 5.764 ppm ต่ำสุดที่ 0.438 ppm รายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบของโครงข่ายที่ใช้ในการวิจัย

ค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ได้จากการปรับแก้โครงข่าย

ข้อมูลการรังวัดของจุดทดสอบทั้งหมดเมื่อผ่านขั้นตอนการประมวลผลพื้นฐาน และการตรวจสอบวงบรรจบเรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนสุดท้ายคือการปรับแก้โครงข่ายเพื่อโยยัดค่าพิกัดของจุดทดสอบเข้ากับระบบค่าพิกัดของโครงข่ายกรมแผนที่ทหาร ทั้งนี้เพื่อเป็นการคำนวณปรับแก้ให้ค่าพิกัดที่รังวัดได้มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือที่สูงขึ้น ภายหลังจากทำการคำนวณปรับแก้โครงข่ายด้วยวิธีการลีสทส์แควร์แล้วจะได้ค่าพิกัดของจุดทดสอบในระบบพิกัด UTM บนพื้นหลักฐาน WGS84 ดังแสดงในตารางที่ 5 สำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตต่อไป

ตารางที่ 5 ค่าพิกัดของจุดทดสอบหลังการปรับแก้

Point	Easting (Meter)	Error (Meter)	Northing (Meter)	Error (Meter)
T01	717761.864	0.089	1465837.564	0.100
T02	721675.375	0.066	1471562.811	0.071
T03	726976.646	0.076	1468720.989	0.070
T04	718397.535	0.056	1475228.298	0.067
T05	726979.562	0.059	1472781.642	0.055
T06	722649.621	0.035	1479390.465	0.040
T08	732705.535	0.087	1467610.690	0.072
T09	740037.562	0.101	1468119.502	0.078
T10	738620.178	0.084	1471739.634	0.066
T11	732015.037	0.063	1473475.963	0.052
T12	742782.074	0.080	1476438.523	0.068
T13	736154.776	0.055	1477895.447	0.045
T14	731425.653	0.041	1478713.047	0.033
T15	739982.262	0.058	1481534.012	0.054
T16	734358.955	0.039	1481298.871	0.033
T17	731787.969	0.021	1484546.320	0.019
T18	738867.012	0.046	1485446.096	0.049
T19	742970.248	0.062	1484312.970	0.065
T20	742298.612	0.056	1491703.810	0.071
T21	736125.488	0.034	1489797.456	0.043
T22	731252.189	0.018	1489074.139	0.022
T23	730090.765	0.028	1492732.531	0.028
T24	723853.160	0.036	1492587.885	0.025
T25	718374.965	0.045	1491197.517	0.037
T26	722098.548	0.024	1488152.068	0.023
T27	718033.844	0.045	1484737.204	0.046
T28	723695.206	0.021	1484333.672	0.022

การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

เมื่อทำการประมวลผลค่าพิกัดของจุดทดสอบทั้ง 27 จุดซึ่งรังวัดได้จากเครื่องหาค่าพิกัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS ยี่ห้อ Trimble รุ่น 5700 R7 สำหรับใช้เป็นค่าพิกัดอ้างอิง (ถือว่าไม่มีความคลาดเคลื่อน) เสร็จแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการอ่านบนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยโปรแกรม Google Earth เพื่อคำนวณหาค่าความต่างทางระยะทางราบสำหรับนำไปใช้ในการหาค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 6

ค่าความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งคำนวณใช้หลักเกณฑ์ค่าสถิติ RMSE (Root Mean Square Error) ตามมาตรฐานของ NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีผลการคำนวณ ดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ

ความคลาดเคลื่อนตามทิศตะวันออก E

$$\begin{aligned} \text{RMSE}_E &= \text{sqrt} [\sum (E_{\text{data } i} - E_{\text{check } i})^2 / n] \\ &= \text{sqrt} [95.52 / 27] \\ &= 1.88 \end{aligned}$$

ความคลาดเคลื่อนตามทิศเหนือ N

$$\begin{aligned} \text{RMSE}_N &= \text{sqrt} [\sum (N_{\text{data } i} - N_{\text{check } i})^2 / n] \\ &= \text{sqrt} [87.36 / 27] \\ &= 1.80 \end{aligned}$$

ความคลาดเคลื่อนทางราบ R หรือเรียกว่า RMSE_r ทางราบหาได้โดยสมการ

$$\begin{aligned} \text{RMSE}_r &= \text{sqrt} [\sum ((E_{\text{data } i} - E_{\text{check } i})^2 + (N_{\text{data } i} - N_{\text{check } i})^2) / n] \\ &= \text{sqrt} [\text{RMSE}_E^2 + \text{RMSE}_N^2] \\ &= \text{sqrt} [1.88^2 + 1.80^2] \\ &= 2.60 \end{aligned}$$

ค่าความละเอียดถูกต้องทางราบหาได้โดยสมการ

$$\begin{aligned} \text{Accuracy}_r &= 1.7308 \times \text{RMSE}_r \\ &= 1.7308 \times 2.60 \\ &= 4.50 \text{ เมตร} \end{aligned}$$

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณค่าต่างทางราบและทางตั้งของจุดทดสอบทั้ง 27 จุด

Point	Reading		GPS Observation		Delta		Calculate		Error
	Easting	Northing	Easting	Northing	ΔE	ΔN	ΔE^2	ΔN^2	RMSr /
	(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	(Meter)	point
T01	717761.54	1465835.34	717761.86	1465837.56	-0.32	-2.23	0.10	4.96	2.25
T02	721675.26	1471560.62	721675.38	1471562.81	-0.11	-2.19	0.01	4.79	2.19
T03	726974.60	1468719.18	726976.65	1468720.99	-2.04	-1.81	4.17	3.27	2.73
T04	718395.46	1475229.14	718397.54	1475228.30	-2.08	0.85	4.31	0.71	2.24
T05	726978.88	1472779.66	726979.56	1472781.64	-0.69	-1.98	0.47	3.92	2.09
T06	722648.01	1479390.52	722649.62	1479390.47	-1.61	0.06	2.60	0.00	1.61
T08	732705.22	1467608.96	732705.54	1467610.69	-0.31	-1.73	0.10	2.98	1.75
T09	740036.04	1468118.30	740037.56	1468119.50	-1.53	-1.20	2.33	1.44	1.94
T10	738618.14	1471738.05	738620.18	1471739.63	-2.04	-1.58	4.15	2.50	2.58
T11	732013.62	1473475.35	732015.04	1473475.96	-1.42	-0.61	2.02	0.38	1.55
T12	742780.61	1476436.84	742782.07	1476438.52	-1.47	-1.68	2.15	2.83	2.23
T13	736156.56	1477895.56	736154.78	1477895.45	1.78	0.11	3.17	0.01	1.78
T14	731424.15	1478711.66	731425.65	1478713.05	-1.51	-1.38	2.27	1.91	2.05
T15	739985.43	1481533.43	739982.26	1481534.01	3.17	-0.59	10.04	0.34	3.22
T16	734361.06	1481298.91	734358.96	1481298.87	2.10	0.04	4.42	0.00	2.10
T17	731787.44	1484544.41	731787.97	1484546.32	-0.53	-1.91	0.28	3.66	1.99
T18	738868.49	1485443.98	738867.01	1485446.10	1.47	-2.11	2.17	4.46	2.58
T19	742972.23	1484313.25	742970.25	1484312.97	1.98	0.28	3.93	0.08	2.00
T20	742301.44	1491703.35	742298.61	1491703.81	2.82	-0.46	7.98	0.21	2.86
T21	736127.28	1489797.89	736125.49	1489797.46	1.80	0.44	3.22	0.19	1.85
T22	731248.75	1489068.59	731252.19	1489074.14	-3.44	-5.55	11.80	30.79	6.53
T23	730091.96	1492732.57	730090.77	1492732.53	1.19	0.04	1.42	0.00	1.19
T24	723855.51	1492587.01	723853.16	1492587.89	2.35	-0.87	5.52	0.76	2.51
T25	718374.19	1491197.85	718374.97	1491197.52	-0.78	0.33	0.60	0.11	0.84
T26	722101.70	1488155.94	722098.55	1488152.07	3.16	3.87	9.96	14.99	4.99
T27	718036.32	1484735.78	718033.84	1484737.20	2.48	-1.42	6.15	2.03	2.86
T28	723695.63	1484333.55	723695.21	1484333.67	0.43	-0.12	0.18	0.01	0.44
						Σ	95.52	87.36	-

มาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้

ข้อมูลภูมิสารสนเทศใด ๆ หากเราทราบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งแล้วจะทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมตามมาตรฐานและเกณฑ์งานที่ยอมรับได้ สำหรับการนำแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ที่สามารถกระทำได้อย่างหลากหลายโดยต้องคำนึงถึงมาตราส่วนและชนิดของแผนที่ที่จะนำไปใช้งาน โดยมีข้อพิจารณาดังต่อไปนี้

1. พิจารณาถึงความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่

ตำแหน่งของรายละเอียดใด ๆ ที่ปรากฏบนแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ หากมีขนาดเล็กกว่า 0.2 มิลลิเมตร แล้วจะทำให้ไม่สามารถรับรู้ถึงความคลาดเคลื่อนนั้นได้ ดังนั้นสามารถคำนวณค่าคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งที่เกิดขึ้นในภูมิประเทศจริงได้จากสมการ (กาญจนะดิษฐ์ ไยเกตุ, 2546)

$$\text{Errors of position} = 0.0002 \times \text{map scale} \quad (\text{m.})$$

ในทางกลับกันหากทราบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลสามารถคำนวณหามาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมได้จากสมการ

$$\text{Map scale} = \text{Errors of position} / 0.0002$$

นำค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตซึ่งคำนวณได้จากการวิจัยครั้งนี้แทนลงในสมการจะได้

$$\begin{aligned} \text{Map scale} &= 4.50 / 0.0002 \\ &= 22,500 \end{aligned}$$

หมายความว่าแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1: 22,500 หรือเล็กกว่า เมื่อพิจารณาจากความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่

2. พิจารณาจากมาตราส่วนของแผนที่

ตามข้อกำหนดของ กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร หากพิจารณาจากความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ของบทที่ 2 จะพบว่าแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ 4.50 เมตร มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในมาตราส่วน 1: 10,000 Class II หรือมาตราส่วนที่เล็กกว่า ซึ่งต้องการค่าความถูกต้องที่ 5.0 เมตร

3. พิจารณาจากมาตรฐานการสำรวจทางสมุทรศาสตร์

ตามมาตรฐานของ Federal Geographic Data Committee (FGDC) แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ 4.50 เมตร มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในงานชั้น Order 1 ซึ่งต้องการความถูกต้องทางราบ 5 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ งานสำรวจข้อมูลแผนที่บริเวณท่าเรือและพื้นที่ใกล้เคียง ร่องน้ำและชายฝั่งที่มีความลึกไม่เกิน 100 เมตร

4. พิจารณาตามมาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards

ตามมาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards ปี ค.ศ. 1947 ซึ่งยังใช้อยู่จนถึงปัจจุบันความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ต้องไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามมาตราส่วนของแผนที่ โดยแผนที่มาตราส่วนใหญ่กว่า 1: 20,000 คำนวณได้จากสมการ

$$0.03333 \times \text{Scale} \times 2.54 / 100 = \text{Ground meters}$$

ในทางกลับกันหากทราบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลสามารถคำนวณหามาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมได้จากสมการ

$$\text{Scale} = (\text{Ground meters} \times 100) / (0.03333 \times 2.54)$$

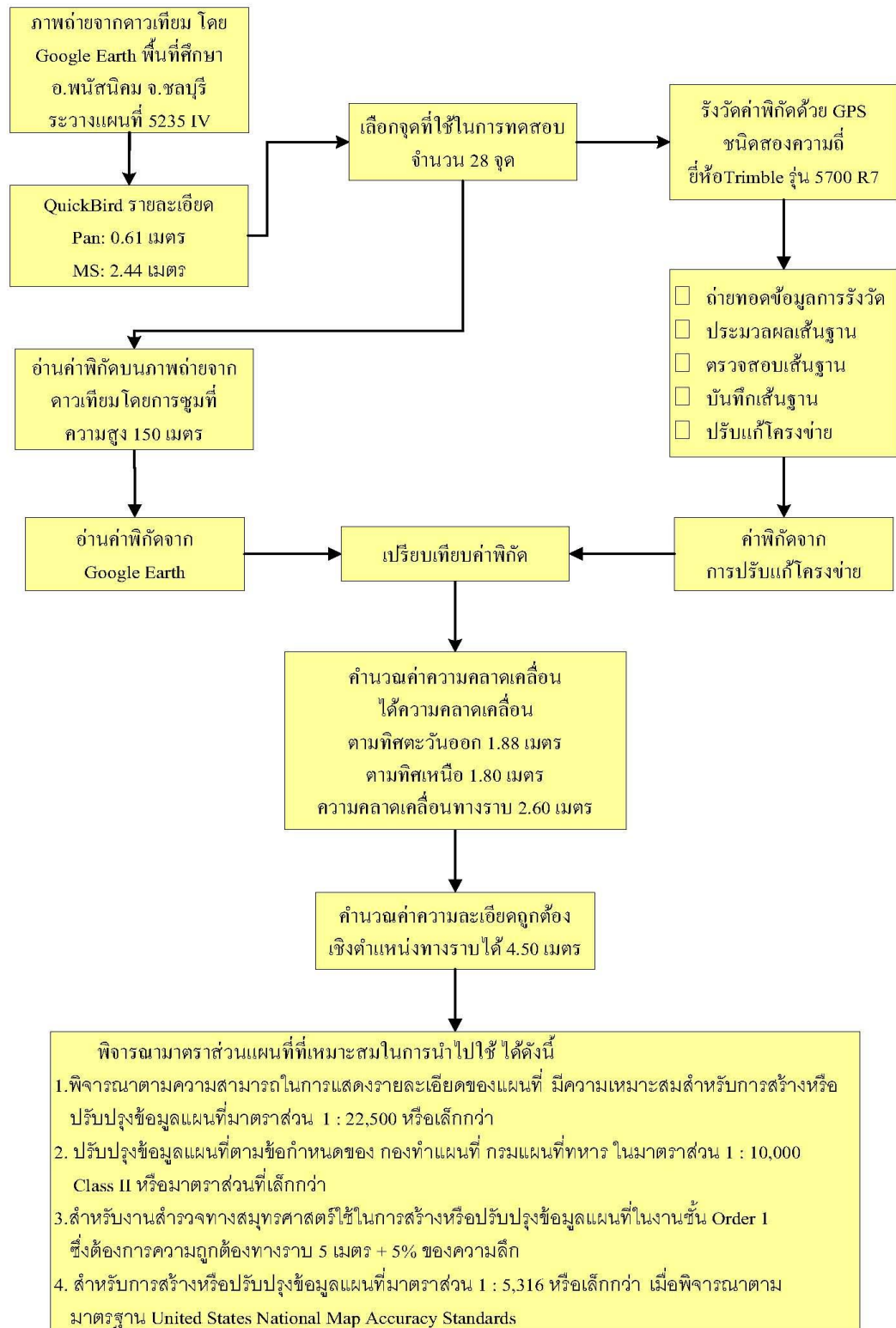
นำค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งคำนวณได้จากการวิจัยครั้งนี้แทนลงในสมการจะได้

$$\text{Scale} = (4.5 \times 100) / (0.03333 \times 2.54)$$

$$= 5,316$$

หมายความว่าแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1: 5,316 หรือเล็กกว่าเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards

จากการศึกษาในครั้งนี้ ผลที่ได้จากวิธีการและผลการวิจัย สามารถสร้างเป็นแผนผังได้ตามภาพที่ 33



ภาพที่ 33 แสดงวิธีการและผลที่ได้จากการวิจัย

บทที่ 5

อภิปรายและสรุปผล

อภิปรายผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาการหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ด้วยการเก็บข้อมูลค่าพิกัดบนจุดทดสอบจำนวน 28 จุด ด้วยการรังวัดสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS แบบ Fast Static จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดที่รังวัดได้ของจุดทดสอบกับค่าพิกัดที่อ่านได้ ณ ตำแหน่งเดียวกันจากโปรแกรม Google Earth ซึ่งเป็นผู้ให้บริการข้อมูลแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม เพื่อหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบสำหรับเป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตต่อไป

ค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ได้จากการอ่านบนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยโปรแกรม Google Earth นั้นใช้วิธีอ่านโดยผู้อ่านจำนวน 3 คน ได้แก่ ผู้วิจัยและผู้ช่วยในการวิจัยจำนวน 2 นาย ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญในด้านการสำรวจและการทำแผนที่จากกรมแผนที่ทหาร ทำการอ่านค่าพิกัดตำแหน่งจุดทดสอบในรูปแบบค่าพิกัดกริด UTM Zone47 บนพื้นหลักฐาน WGS84 จากนั้นนำค่าพิกัดที่อ่านได้จากทั้ง 3 คน มาทำการคำนวณหาค่าพิกัดเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS เพื่อคำนวณหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

การรังวัดค่าพิกัดของจุดทดสอบใช้การรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS ชนิดสองความถี่ยี่ห้อ Trimble รุ่น 5700/R7 ด้วยวิธีการรังวัดแบบ Fast Static เป็นระยะเวลา 30 นาที จากนั้นจึงนำข้อมูลการรังวัดมาทำการประมวลผลด้วยโปรแกรม TGO ในรูปแบบโครงข่าย (Network) ตามมาตรฐานเกณฑ์งานชั้น C ของ FGCC 1984 จากการเก็บข้อมูลพบว่า มีจุดที่ไม่สามารถทำการรังวัดได้จำนวน 1 จุด ได้แก่ จุดทดสอบหมายเลข T07 เนื่องจากมีการปรับปรุงก่อสร้างถนนมีเครื่องจักรหนักปฏิบัติงานตลอดทั้งวัน ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นเนื่องจากการวางแผนในสำนักงานที่ไม่ละเอียดเพียงพอจึงไม่ได้มีการวางจุดทดสอบสำรองไว้ในกรณีที่ไม่สามารถเข้าทำการรังวัดได้ สำหรับหมุดที่เหลือจำนวน 27 จุด สามารถทำการรังวัดได้ปกติ ข้อมูลในการรังวัดของจุดทดสอบทั้ง 27 จุด เมื่อนำมาประกอบเป็นโครงข่ายแล้วได้จำนวนเส้นฐานอิสระทั้งหมด 44 เส้น โดยเส้นฐานทั้งหมดนี้สามารถผ่านการประมวลผลได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของโปรแกรม TGO เมื่อทำการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนเข้าบรรจบ (Miss closer) ของแต่ละวงบรรจบพบว่าทุกวง

บรรจบผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 10 ppm โดยวงบรรจบมีค่าความคลาดเคลื่อนบรรจบต่ำสุดที่ 0.438 ppm สูงสุดที่ 5.764 ppm ข้อมูลการรังวัดของจุดทดสอบทั้ง 27 จุดเมื่อทำการปรับแก้เพื่อยึดตรึงเข้ากับระบบค่าพิกัดของกรมแผนที่ทหารแล้ว พบว่าค่าพิกัดของจุดทดสอบทั้งหมดสามารถผ่านการปรับแก้ได้ตามมาตรฐานของโปรแกรมคำนวณ การดำเนินการรังวัดและประมวลผลข้อมูลในการรังวัดทั้งหมดในงานวิจัยครั้งนี้ดำเนินการโดยได้รับการสนับสนุนจากผู้เชี่ยวชาญของกรมแผนที่ทหาร ผลการคำนวณและปรับแก้ทำให้ได้ค่าพิกัดกริดของจุดทดสอบในรูปแบบ UTM Zone47 บนพื้นหลักฐาน WGS84 เช่นเดียวกับค่าพิกัดของจุดทดสอบที่อ่านได้จากโปรแกรม Google Earth

หลังจากได้ค่าพิกัดจากการคำนวณปรับแก้ด้วยโปรแกรม TGO ของจุดทดสอบทั้ง 27 จุด ซึ่งใช้สำหรับเป็นค่าพิกัดอ้างอิงโดยถือว่าไม่มีความคลาดเคลื่อน ขึ้นตอนต่อไป คือ การเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ โดยการนำค่าต่างพิกัดทางทิศตะวันออก และค่าต่างพิกัดทางทิศเหนือระหว่างค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดและคำนวณปรับแก้กับค่าพิกัดจากการอ่านผ่านโปรแกรม Google Earth ทำการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนตามวิธีการและมาตรฐานของ NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้หลักเกณฑ์ค่าสถิติ RMSE (Root Mean Square Error) มีผลการคำนวณ คือ แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตมีค่าความคลาดเคลื่อนทางทิศตะวันออกที่ 1.88 เมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนทางทิศเหนือที่ 1.80 เมตร และมีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่ 2.60 เมตร จากค่าความคลาดเคลื่อนทางราบนำมาคำนวณหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้ที่ 4.50 เมตร

แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยโปรแกรม Google Earth มีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ 4.50 เมตร สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมตามมาตรฐานและเกณฑ์งานที่ยอมรับได้ โดยเมื่อพิจารณาตามความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1 : 22,500 หรือเล็กกว่า มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ตามข้อกำหนดของ กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร ในมาตราส่วน 1 : 10,000 Class II หรือมาตราส่วนที่เล็กกว่า ซึ่งต้องการค่าความถูกต้องที่ 5.0 เมตร สำหรับงานสำรวจทางสมุทรศาสตร์มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในงานชั้น Order 1 ซึ่งต้องการความถูกต้องทางราบ 5 เมตร + 5% ของความลึก ได้แก่ งานสำรวจข้อมูลแผนที่บริเวณท่าเรือและพื้นที่ใกล้เคียง ร่องน้ำและชายฝั่งที่มีความลึกไม่เกิน 100 เมตร และมีความเหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1 : 5,316 หรือเล็กกว่าเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards

จากผลการวิจัยที่ได้รับพบว่าแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตสามารถประเมินค่าความถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน NSSDA ได้ที่ 4.50 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อทราบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างและปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ ได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ทิพย์วรรณ สุภาภวัฒน์ (2554) ซึ่งได้ประยุกต์ใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียมจากโปรแกรม Google Earth เพื่อสร้างแผนที่ภูมิศาสตร์บริเวณกรุงเทพมหานคร มีการเขียน VB Script สร้างไฟล์ KML เพื่อช่วยในการกำหนดพิกัดตามช่วงที่ต้องการ จากนั้นจึงจัดเก็บภาพมาประกอบเป็นแผนที่ขนาดใหญ่ เครื่องมือที่ใช้ในการประกอบ คือ โปรแกรม Photoshop และ AutoCAD โดยเมื่อได้แผนที่ภูมิศาสตร์มาแล้วจึงใช้โปรแกรม SketchUp สร้างโมเดลในพื้นที่นั้น ๆ เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นหากมีการก่อสร้างอาคารในพื้นที่ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังมีการนำภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตไปใช้ในการสำรวจและแก้ไขผังเมือง โดยเป็นงานวิจัยของ พิชัย วีระบรรจบ (2552) ได้นำภาพถ่ายจากดาวเทียมจากโปรแกรม Point Asia และ Google Earth ซึ่งเป็นภาพถ่ายดั้งเดิมมาทำการปรับแก้ค่าพิกัดและปรับแก้เชิงเรขาคณิตด้วยโปรแกรม Micro Station และ Image Analyst โดยใช้ค่าพิกัดที่รังวัดด้วยกล้องวัดมุม จากนั้นจึงทำการเขียนถ่ายทอดรายละเอียด ผลที่ได้จากการวิจัยบริเวณ อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ พบว่าสามารถลดต้นทุนการทำงานลงได้ 64.37% เมื่อเปรียบเทียบกับการสำรวจด้วยวิธี Toposurvey แบบเดิม สำหรับ ชัชชัย หนูเจริญ (2551) ได้ทำการศึกษาโดยเลือกใช้โปรแกรม Google Earth เพื่อพัฒนาในเชิงวิศวกรรมทรัพยากรน้ำโดยใช้ภาษา XML เพื่อใช้ต่อเชื่อม Web Map Service (WMS) ซึ่งยอมให้สืบค้นและนำเข้าข้อมูลแผนที่ที่มีการนำเข้าข้อมูล GIS เมื่อนำชั้นข้อมูลซึ่งได้จากการสร้างบนแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียม มาซ้อนทับกับแผนที่ 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารสามารถแสดงผลข้อมูลด้านแหล่งน้ำ บนภูมิประเทศในรูปแบบ 3 มิติ ได้ บน Google Earth ทำให้เกิดความชัดเจนในการประกอบการพิจารณาโครงการและสามารถใช้งานได้ดีในเชิงสาธารณะ

สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยหาค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต สรุปผลได้ดังนี้

1. แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยโปรแกรม Google Earth มีค่าความถูกต้องทางราบ 4.50 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐาน NSSDA ประเทศสหรัฐอเมริกา

2. แผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยโปรแกรม Google Earth สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการสร้างและปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วนต่าง ๆ ได้ตามเกณฑ์และชนิดของแผนที่ โดยมีข้อพิจารณา ดังนี้

2.1 พิจารณาถึงความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่ เหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1: 22,500 หรือเล็กกว่า

2.2 พิจารณาจากมาตราส่วนของแผนที่ ตามข้อกำหนดของ กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในมาตราส่วน 1: 10,000 Class II หรือมาตราส่วนที่เล็กกว่า

2.3 พิจารณาจากมาตรฐานการสำรวจทางสมุทรศาสตร์ ตามมาตรฐานของ Federal Geographic Data Committee (FGDC) มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่ในงานชั้น Order 1 ได้แก่ งานสำรวจข้อมูลแผนที่บริเวณท่าเรือและพื้นที่ใกล้เคียง ร่องน้ำและชายฝั่งที่มีความลึกไม่เกิน 100 เมตร

2.4 พิจารณาตามมาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards มีความเหมาะสมสำหรับการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลแผนที่มาตราส่วน 1: 5,316 หรือเล็กกว่า

ผลจากการวิจัย สามารถสรุปข้อพิจารณามาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้ได้ตามตารางที่ 7 ดังนี้

ตารางที่ 7 ข้อพิจารณามาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้

ข้อพิจารณามาตราส่วนแผนที่ที่เหมาะสมในการนำไปใช้	มาตราส่วนแผนที่
ความสามารถในการแสดงรายละเอียดของแผนที่	1: 22,500 และมาตราส่วนที่เล็กกว่า
ข้อกำหนดของ กองทำแผนที่ กรมแผนที่ทหาร	1: 10,000 Class II และมาตราส่วนที่เล็กกว่า
การสำรวจทางสมุทรศาสตร์	งานชั้น Order 1
มาตรฐาน United States National Map Accuracy Standards	1: 5,316 และมาตราส่วนที่เล็กกว่า

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลทางภูมิสารสนเทศอื่น ๆ สามารถทำการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบได้โดยใช้เทคนิคและวิธีการเดียวกับงานวิจัยครั้งนี้ เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ ที่มีการกำหนดมาตรฐานความถูกต้องของข้อมูลที่ต้องการ

2. ควรมีการทดสอบเพื่อประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยโปรแกรมต่างๆ เช่น แผนที่เส้นทาง เป็นต้น

3. การตัดสินใจนำแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ตโดยโปรแกรม Google Earth ไปใช้ในการสร้างหรือปรับปรุงข้อมูลทางภูมิสารสนเทศใด ๆ สามารถกระทำได้เมื่องานที่จะนำไปใช้นั้นได้มีการกำหนดมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบที่ต้องการไว้อย่างชัดเจน

บรรณานุกรม

- การประยุกต์ใช้โปรแกรม NASA World Wind กับงานชลประทาน. (ม.ป.ป.). วันที่ค้นข้อมูล 5 มิถุนายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://irrigation.rid.go.th/rid4/knowledge/download/nasa_world_wind_manual/Part_I.pdf
- กองขี้อเคซีและขี้อฟิสิกส์. (2539). รายงานผลการสำรวจแผนที่สนาม ชุดปฏิบัติงานสนามสำรวจวงหมุดหลักฐานด้วยดาวเทียม GPS. ม.ป.ท.
- _____. (2554). รายงานผลการสำรวจหาค่าพิกัดดาวเทียม GPS โครงการสำรวจระดับการทรุดตัวของพื้นดินในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. ม.ป.ท.
- กองทำแผนที่. (ม.ป.ป.). มาตรฐานความละเอียดถูกต้องของการทำแผนที่ (THE ASPRS STANDARD FOR MAP). กรมแผนที่ทหาร. เอกสารไม่ตีพิมพ์
- กาญจนะดิษฐ์ ไยเกตุ. (2546). การประยุกต์ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GPS ชนิดนำหนในการสร้างข้อมูลเชิงพื้นที่เพื่อการวางแผนการตั้งถิ่นฐานมนุษย์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาภูมิศาสตร์การวางแผนการตั้งถิ่นฐานมนุษย์, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกรียงไกร บุญเดิม. (ม.ป.ป.). การสำรวจจริงวัดค่าพิกัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส. กรมแผนที่ทหาร. เอกสารไม่ตีพิมพ์
- จรรย์ธร บุญญานุกาพ. (2556). ดาวเทียมรายละเอียดสูง. วันที่ค้นข้อมูล 12 มิถุนายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://conf.agi.nu.ac.th/webnewasp/ereading/Jaruntorn%5CRemote_Sensing/AdRS_Lect_Week05_Part1_2007_Hi_RES.pdf
- ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ. (2547). การสำรวจจริงวัดด้วยดาวเทียมระบบ GPS. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัยชัย หนูเจริญ. (2551). การประยุกต์ใช้โปรแกรม GOOGLE EARTH กับการจัดการทรัพยากรน้ำ (กรณีศึกษา : สามจังหวัดชายแดนภาคใต้). ชลบุรี: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 13.
- ชัยภัทร เนื่องคำมา. (2554). *Implement Web Gis with UMN Map Server*. วันที่ค้นข้อมูล 9 มกราคม 2555, เข้าถึงได้จาก <http://emap.wordpress.com/>
- ชัยวัฒน์ พรमतอง. (2551). การประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลผลิตภาพถ่ายออร์โธจากภาพถ่ายทางอากาศในสนามทดสอบ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, สาขาภูมิศาสตร์บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- ธีระ ลาภิชชยางกุล. (2549). *การแนะเทคโนโลยีนำดาวเทียมรายละเอียดสูง*. วันที่ค้นข้อมูล 12 มิถุนายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.ubu.ac.th/ubu_center/files_up/08f2013032216183548.pdf
- ธงชัย โพธิ์ทอง และธีระ ลาภิชชยางกุล.(2552). *การนำเสนอข้อมูลภูมิสารสนเทศบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ตด้วยโปรแกรมรหัสเปิด*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ทิพย์วรรณ สุภาภวัฒน์, (2554). *การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการสร้างแผนที่ภูมิศาสตร์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสยาม.
- แผนที่อัจฉริยะสัญชาติไทย 2013. (2555). วันที่ค้นข้อมูล 26 พฤษภาคม 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.pctodaythailand.com/longdo_map2013/
- พรทิมา มิตรกิจการค้า, ดวงกมล โภกนุทาภรณ์ และ รัชดา บุญลาภ, (2554). *การศึกษาเชิงเปรียบเทียบมาตรฐาน WMS และ WFS ที่ใช้ในการบริการข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ผ่านเว็บ*. วันที่ค้นข้อมูล 4 มิถุนายน 2556, เข้าถึงได้จาก <http://blog4our.blogspot.com/2011/04/wms-wfs.html>
- พิชัย วีระบรรจบ. (2552). *การประยุกต์ใช้ภาพถ่ายดาวเทียมในการสำรวจและแก้ไขผังบริเวณ*. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.
- วิชัย เขียงวีรชน. (2549). *การสำรวจรังวัด: ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้* (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: แอคทีฟพริ้นท์.
- สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). (2556). วันที่ค้นข้อมูล 12 มิถุนายน 2556, เข้าถึงได้จาก http://www.gistda.or.th/gistda_n/index.php/service/78
- ส่วนเทคโนโลยีการบริการข้อมูลภูมิสารสนเทศ. (2551). *การให้บริการแผนที่ภาพถ่ายออร์โธรี และข้อมูลทางแผนที่*. วันที่ค้นข้อมูล 16 สิงหาคม 2549, เข้าถึงได้จาก <http://www.lds-services.org :8088/ services/ldd.php>
- หัตถ์ วิงศ์อิศเรศ. (2546). *ความคลาดเคลื่อนของระบบ REAL TIME DGPS*. เอกสารวิจัยส่วนบุคคล, วิทยาลัยการทัพบก, สถาบันวิชาการทหารบกชั้นสูง.
- เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2546). *การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมGPSเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- Andrew H. (2009). USING GOOGLE EARTH FOR INTERNET GIS. Master of Sciences, Institute of Geography, School of GeoSciences, University of Edinburgh.
- Behdinian B. (2002). *GENERATING ORTHOIMAGE FROM IKONOS DATA*. Retrieved May 27, 2013, from <http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2002/Papers/VHR02-4.pdf>
- Dana, P.H. (2000). *Global Positioning System Overview*. Retrieved August 15, 2009, from http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
- Federal Geodetic Data Committee, (1998). *National Standard for Spatial Data Accuracy*. Virginia: Federal Geodetic Data Committee Secretariat.
- Federal Geodetic Data Committee, (2005). *Standards for Nautical Charting Hydrographic Surveys*. Virginia: Federal Geographic Data Committee Secretariat.
- Google Terms of Service*. (2007). Retrieved May 20, 2010, from <http://www.google.com/accounts/TOS>
- GPS Global Positioning System*. (n.d). Retrieved August 12, 2009, from <http://pegasus.cc.ucf.edu/~jweisham/pcb5937/GPS/GPS.html>
- GPS Tutorial*. (n.d). Retrieved August 3, 2009, from <http://www.trimble.com/gps/index.shtml>
- Jaruphummik P. & Simking R. (2007). *APPLICATIONS OF SPOT-5 FOR LARGE SCALE MAPPING*. Retrieved May 27, 2013, from http://www.a-a-r-s.org/acrs/proceeding/ACRS2006/Papers/P-3_Q35.pdf 27/5/13
- Jon B., Dan B., Keith H., Chun L., & Adit S.. (n.d.). *Using Google Earth in Marine Research and Operational Decision Support*. Reading: University of Reading.
- Joon-Mook K., Hee-Cheon Y. & Joon-Kyu P. (2008). *EVALUATION OF POSSIBILITY OF ORTHO IMAGERY PRODUCTION USING SPOT5 SINGLE IMAGE*. Retrieved May 27, 2013, from www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/224.pdf
- NASA World Wind. (n.d.). Retrieved June 6, 2013, from <http://nasa-world-wind.nl.softonic.com/>
- NOSTRA. (n.d.). Retrieved June 6, 2013, from http://www.nostramap.com/TH/business_map_service.aspx
- Micheal T. (2005). *SPOT 5 data for line map updating: New perspectives in mapping*. Retrieved May 27, 2013, from http://www.gisdevelopment.net/technology/survey/me05_122.htm

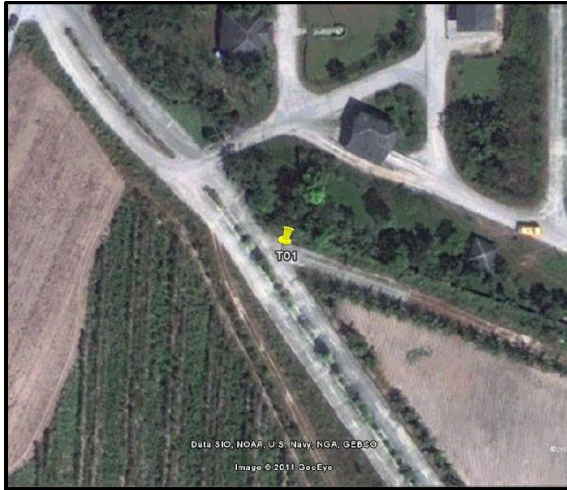
- Ottichilo W. & Khamala E. (2002). *MAP UPDATING USING HIGH RESOLUTION SATELITE IMAGERY A CASE OF THE KINGDOM OF SWAZILAND*. Retrieved May 27, 2013, from http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/6-W6/papers/khamala_ottichilo.pdf
- Schofield, W., (2001). *Engineering Surveying* (5th ed.). Great Britain: Planta Tree.
- Sickle, J.V. (1996). *GPS For Land Surveyors*. Michigan: Ann Arbor Press.
- Space – Based Positioning Navigation & Timing. (n.d). *Image Library*. Retrieved September 9, 2009, from <http://pnt.gov/public/images/>
- The GPS System*. (n.d) Retrieved August 8, 2009, from <http://www.kowoma.de/en/gps/errors.htm>
- Trimble Navigation Limited. (1996). *Mapping Systems General Reference*. Sunnyvale: Trimble Navigation Limited.
- _____. (2002). *Trimble All About GPS*. California: Trimble Navigation Limited.
- _____. (2002). *Trimble Geomatics Office (Version 1.5)* [Computer Software]. Ohio.
- United States National Map Accuracy Standards, (1947). *Calculating Your Map Accuracy Using US National Map Accuracy Standards*. Washington DC: United States Geological Standards Bureau.
- What is GPS*. (n.d). retrieved August 11, 2009, from <http://www8.garmin.com/aboutGPS/>
- Xu, G. (2007). *GPS Theory, Algorithms and Applications* (2nd ed.). New York: Springer Berlin Heidelberg.
- Wikipedia. (2011). *กูเกิล เอิร์ธ*. วันที่ค้นข้อมูล 13 ธันวาคม 2554, เข้าถึงได้จาก http://th.wikipedia.org/wiki/กูเกิล_เอิร์ธ

ภาคผนวก
แผนผังหมวดทดสอบ

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T01

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วงหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

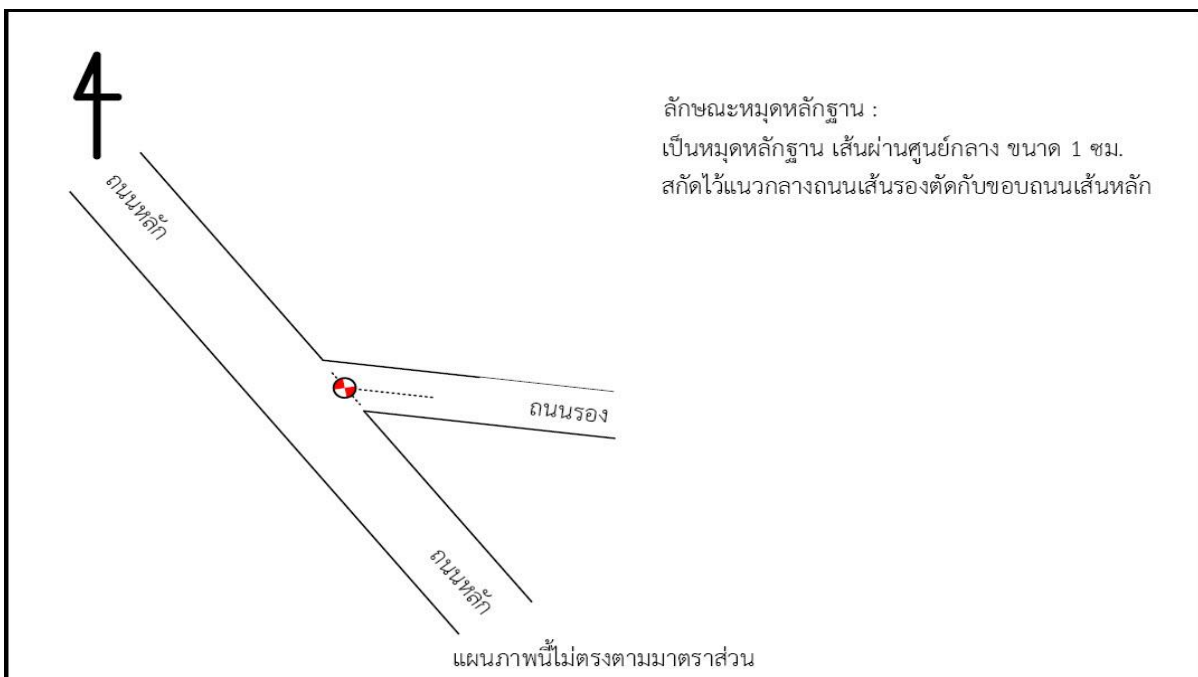
E..... 717761.54 m...

N..... 1465835.34 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 717761.86 m...

N..... 1465837.56 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T02

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 721675.26 m...

N..... 1471560.62 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 721675.38 m.

N..... 1471562.81 m.



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T03

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วงหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

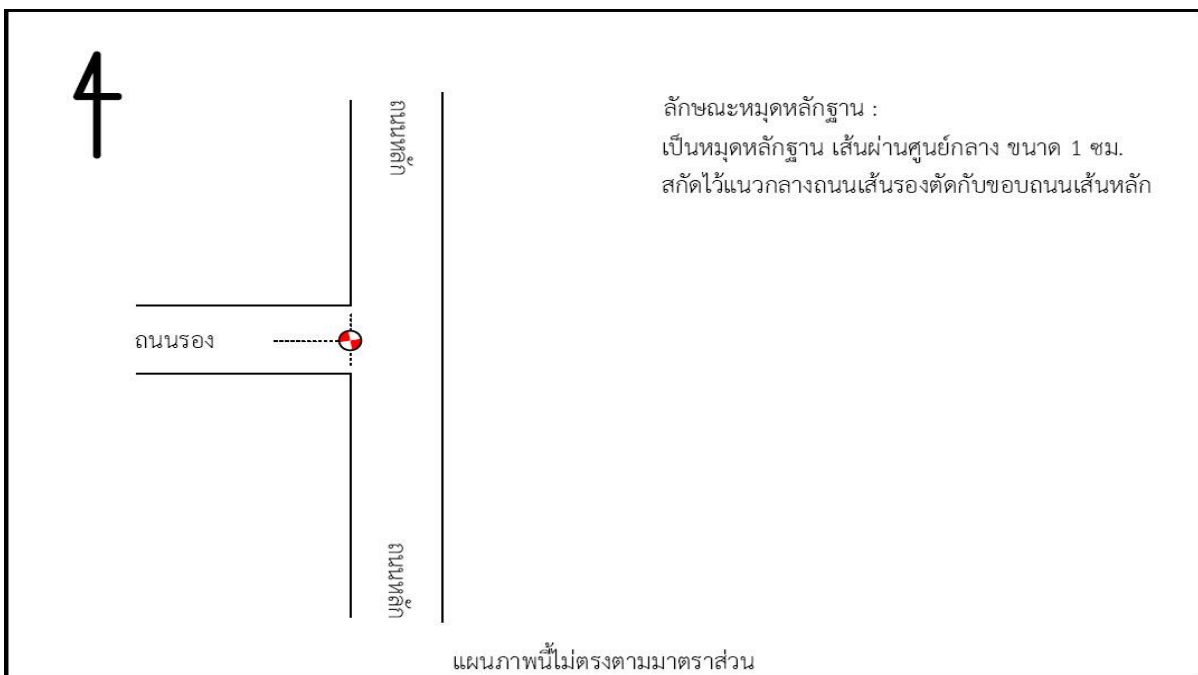
E..... 726974.60 m...

N..... 1468719.18 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 726976.65 m...

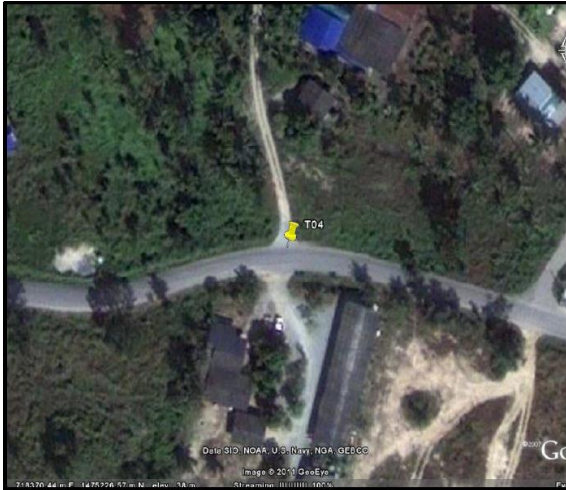
N..... 1468720.99 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T04

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วงหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 718395.46 m...

N..... 1475229.14 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 718397.54 m...

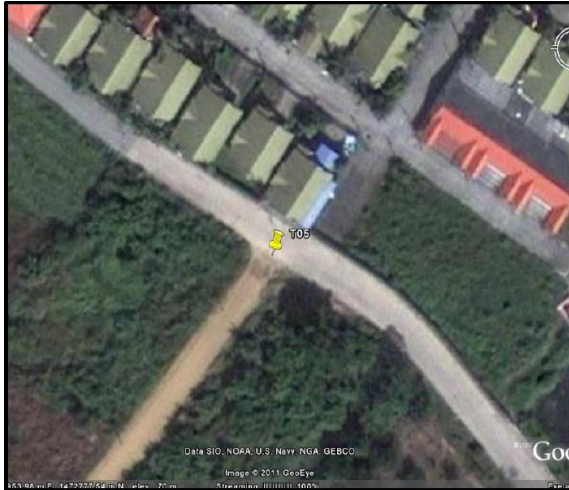
N..... 1475228.30 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T05

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 726978.88 m.....

N..... 1472779.66 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 726979.56 m.....

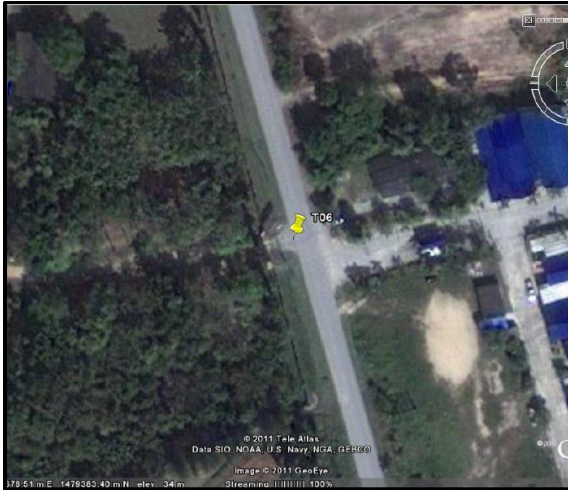
N..... 1472781.64 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T06

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

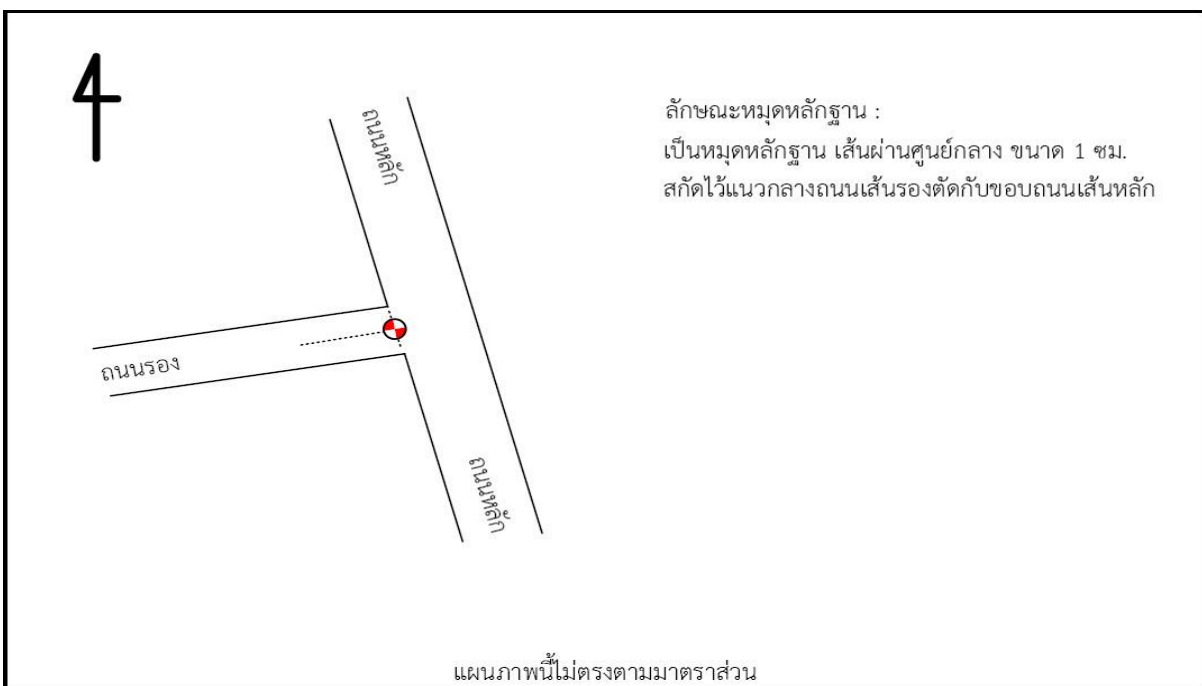
E..... 722648.01 m.....

N..... 1479390.52 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 722649.62 m.....

N..... 1479390.47 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T08

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วงหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

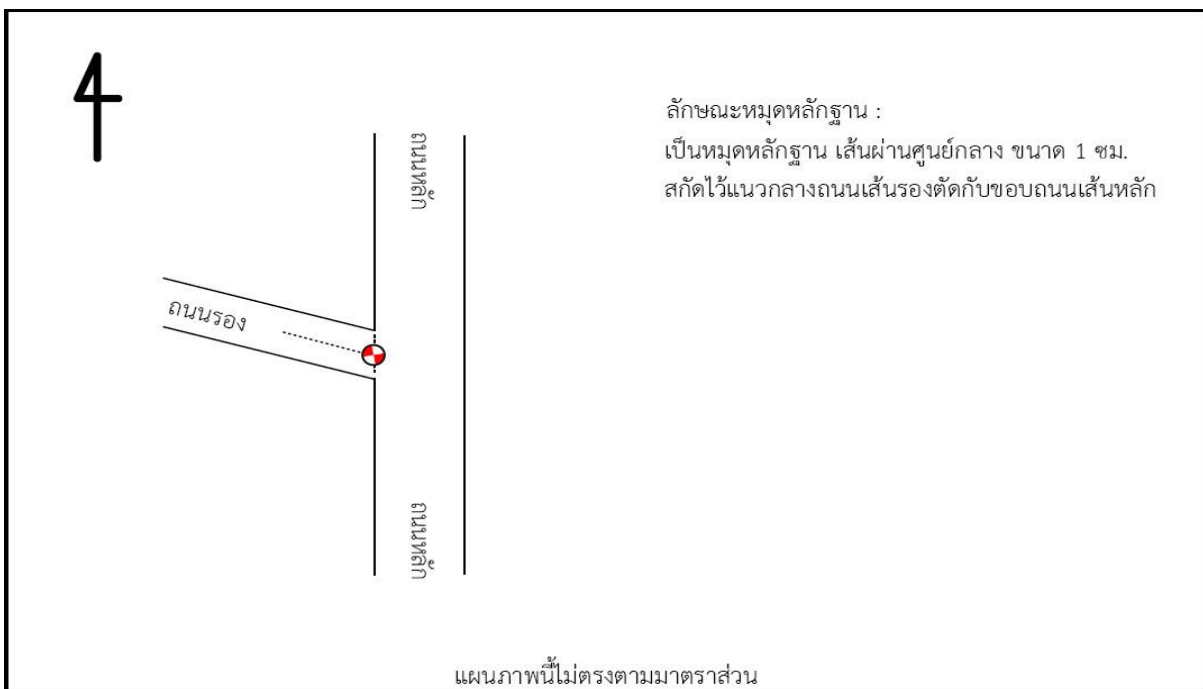
E..... 732705.22 m...

N..... 1467608.96 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 732705.54 m.

N..... 1467610.69 m.



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T09

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

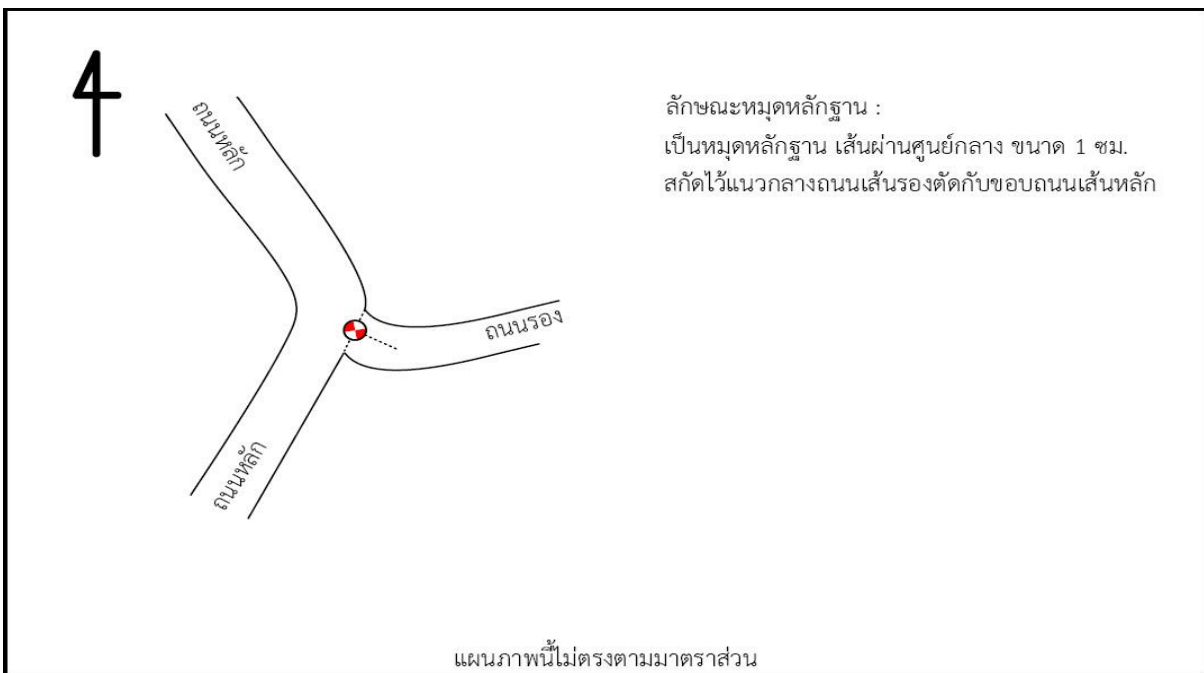
E..... 740036.04 m.....

N..... 1468118.30 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 740037.56 m.....

N..... 1468119.50 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T10

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 738618.14 m...

N..... 1471738.05 m...

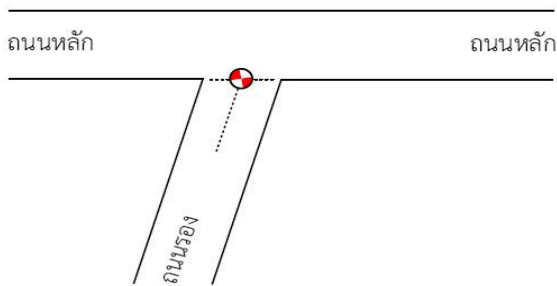
ค่าจากการรังวัด

E..... 738620.18 m...

N..... 1471739.63 m...

4

ลักษณะหมุดหลักฐาน :
เป็นหมุดหลักฐาน เส้นผ่านศูนย์กลาง ขนาด 1 ซม.
สกัดไว้แนวกลางถนนเส้นรองตัดกับขอบถนนเส้นหลัก

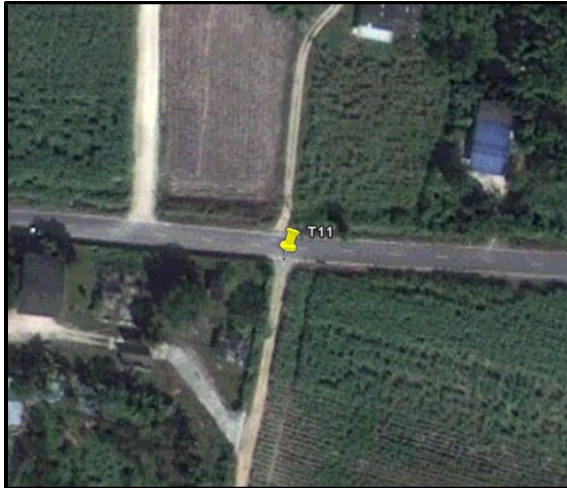


แผนภาพนี้ไม่ตรงตามมาตราส่วน

รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T11

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 732013.62 m....

N..... 1473475.35 m....

ค่าจากการรังวัด

E..... 732015.04 m....

N..... 1473475.96 m....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T12

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

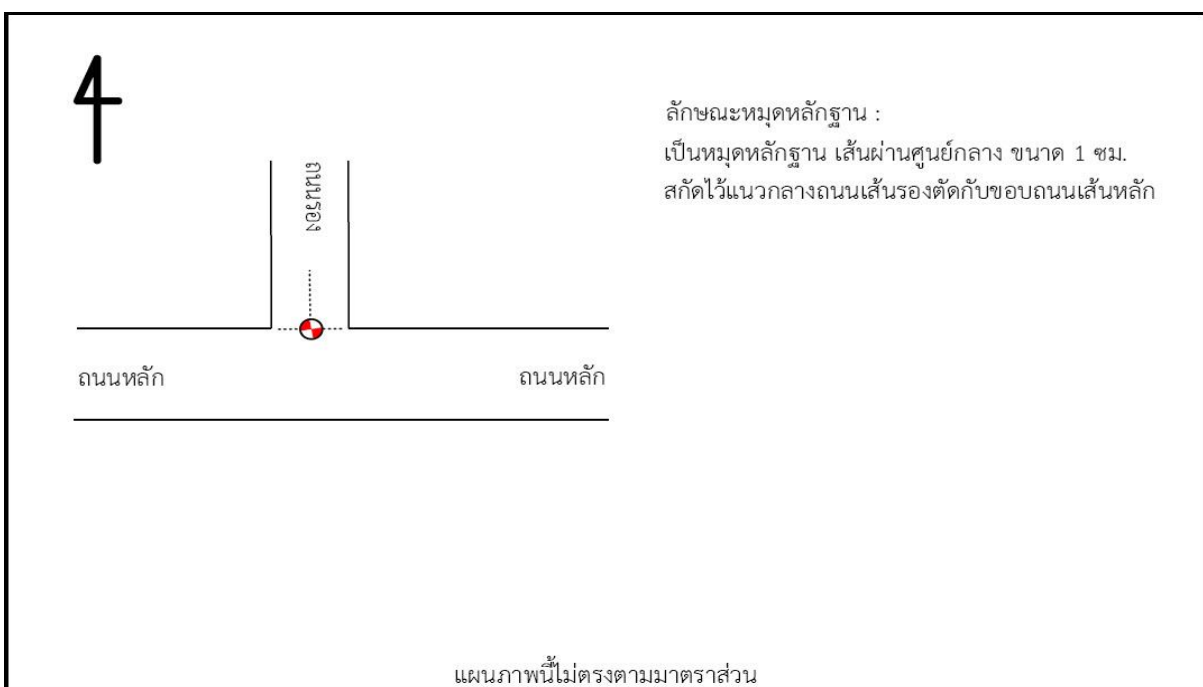
E..... 742780.61 m...

N..... 1476436.84 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 742782.07 m...

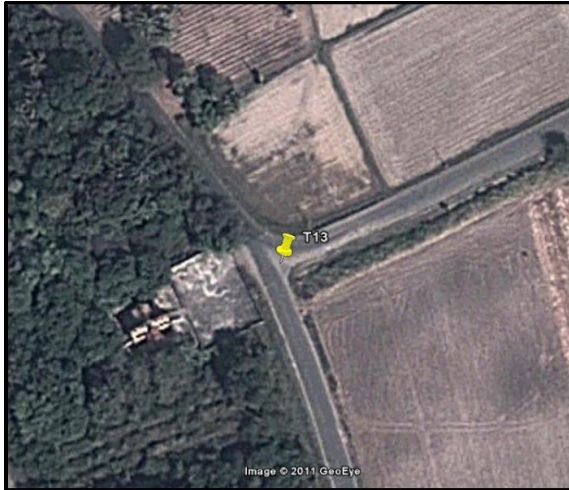
N..... 1476438.52 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T13

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วงหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 736156.56 m.....

N..... 1477895.56 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 736154.78 m.....

N..... 1477895.45 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T14

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 731424.15 m.....

N..... 1478711.66 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 731425.65 m.....

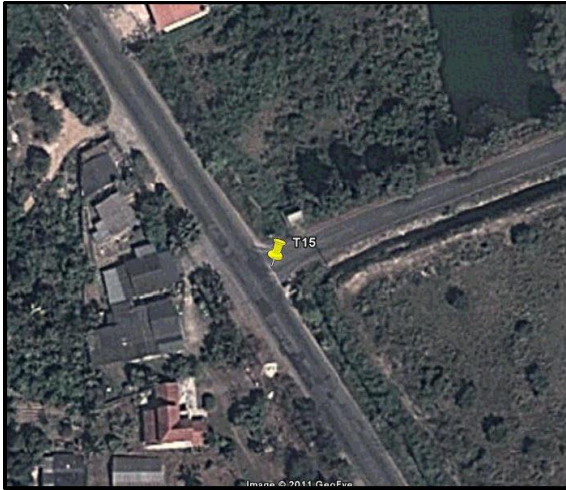
N..... 1478713.05 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T15

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 739985.43 m.....

N..... 1481533.43 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 739982.26 m.....

N..... 1481534.01 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T16

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

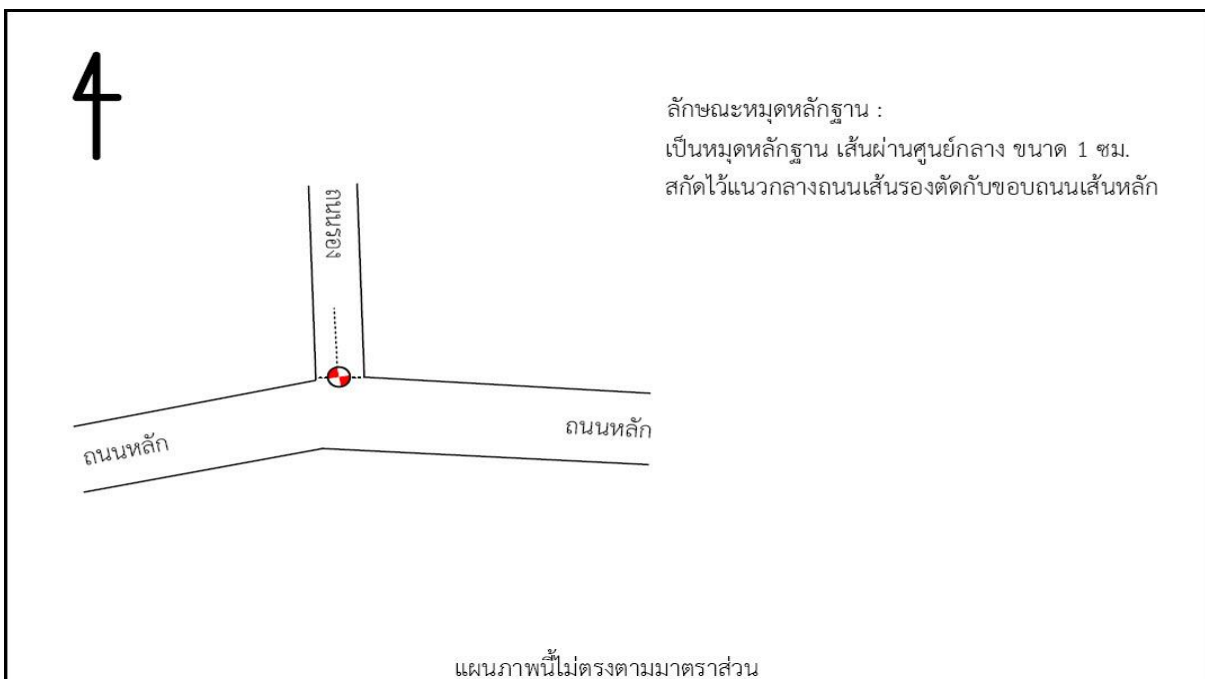
E 734361.06 m.....

N 1481298.91 m.....

ค่าจากการรังวัด

E 734358.96 m.....

N 1481298.87 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T17

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

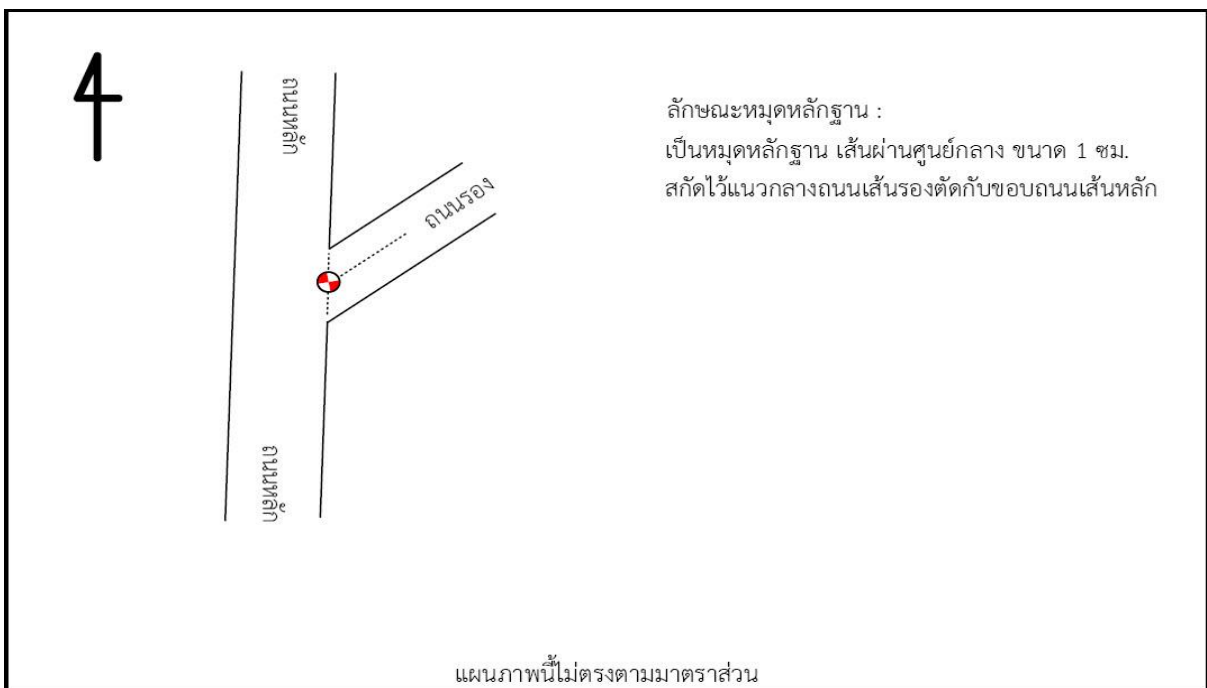
E 731787.44 m.....

N 1484544.41 m.....

ค่าจากการรังวัด

E 731787.97 m.....

N 1484546.32 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T18

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 738868.49 m...

N..... 1485443.98 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 738867.01 m...

N..... 1485446.10 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T19

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วงหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E 742972.23 m.

N 1484313.25 m.

ค่าจากการรังวัด

E 742970.25 m.

N 1484312.97 m.



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T20

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

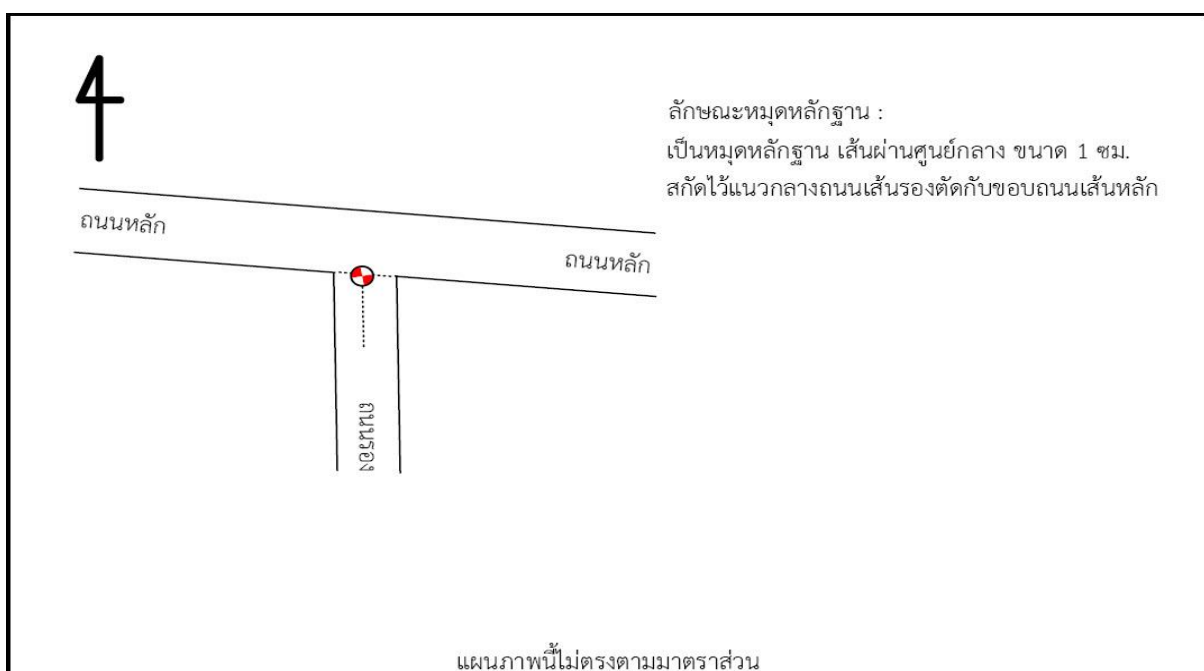
E..... 742301.44 m...

N..... 1491703.35 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 742298.61 m...

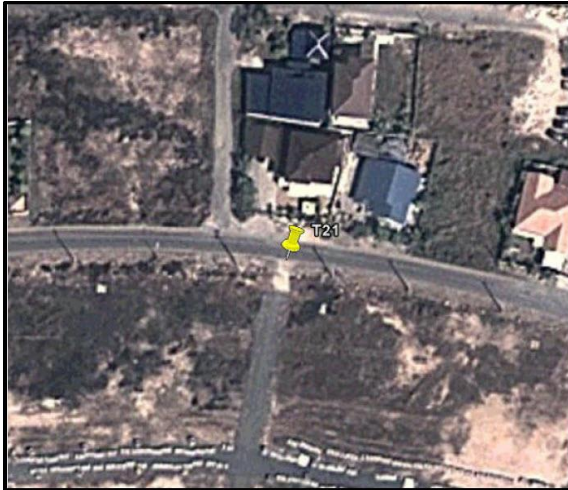
N..... 1491703.81 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T21

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายหัวหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 736127.28 m.....

N..... 1489797.89 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 736125.49 m.....

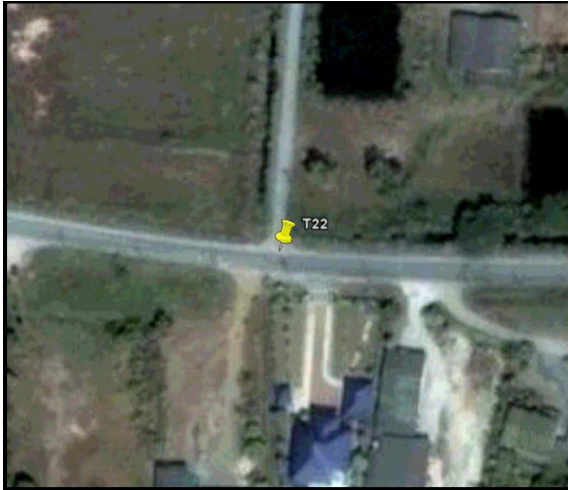
N..... 1489797.46 m.....



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T22

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วงหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

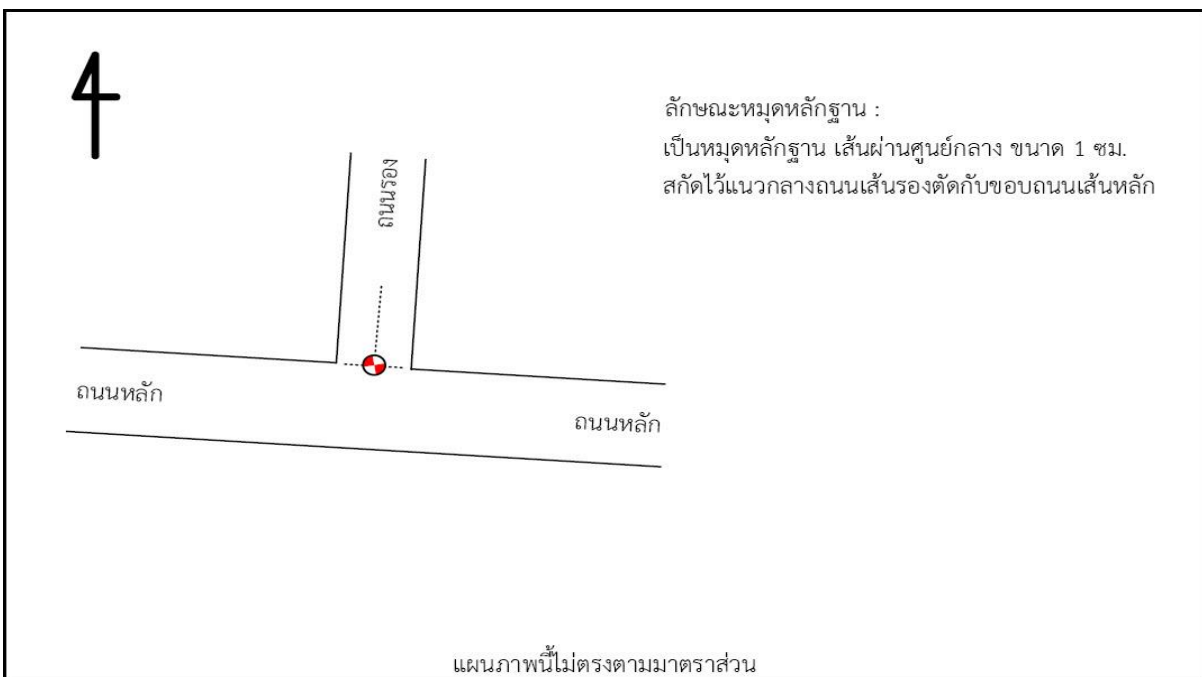
E 731248.75 m.

N 1489068.59 m.

ค่าจากการรังวัด

E 731252.19 m.

N 1489074.14 m.



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T23

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 730091.96 m...

N..... 1492732.57 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 730090.77 m...

N..... 1492732.53 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T24

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

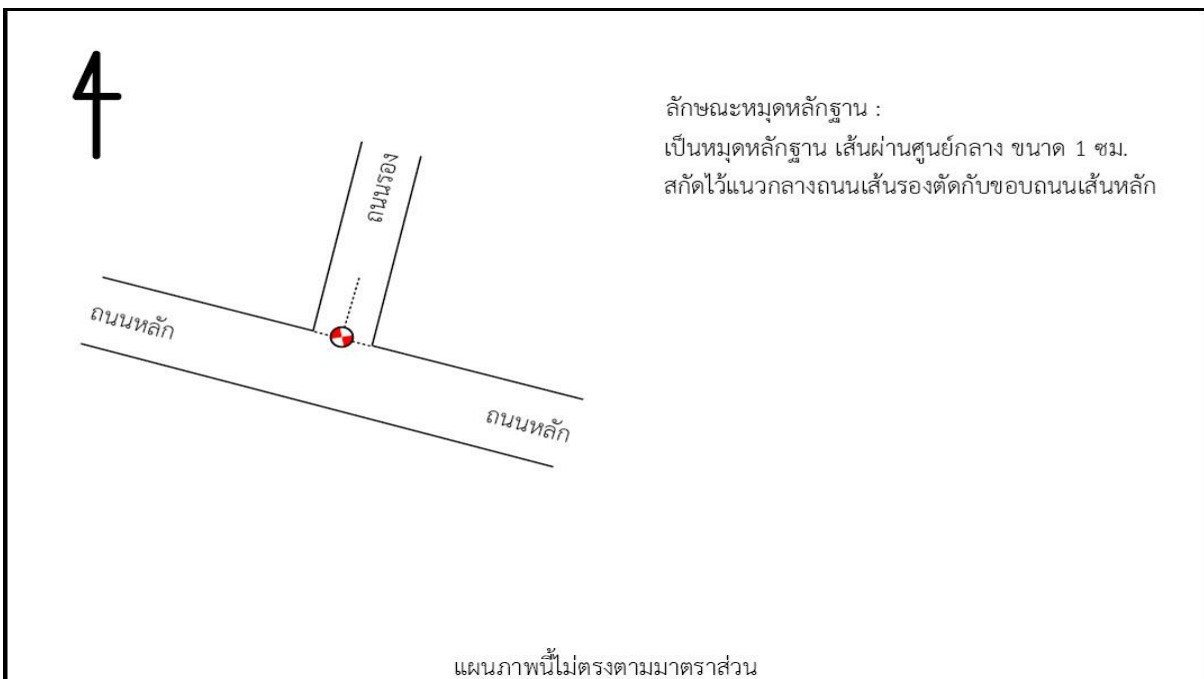
E..... 723855.51 m...

N..... 1492587.01 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 723853.16 m.

N..... 1492587.89 m.



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T25

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

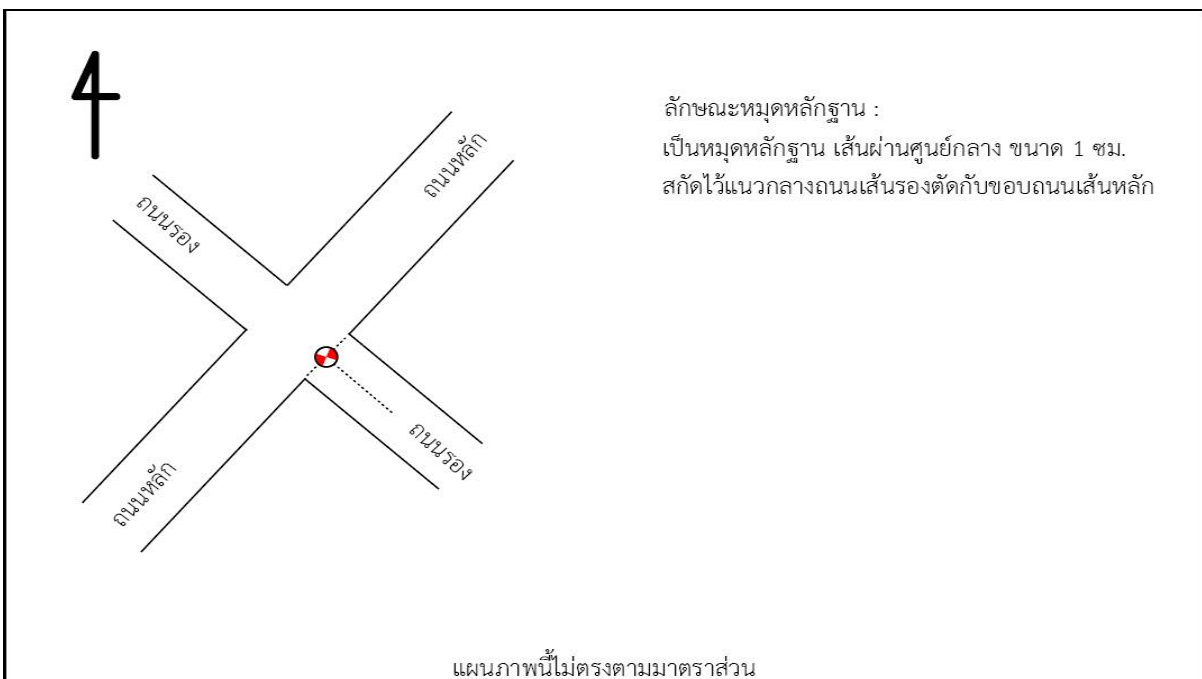
E..... 718374.19 m...

N..... 1491197.85 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 718374.97 m...

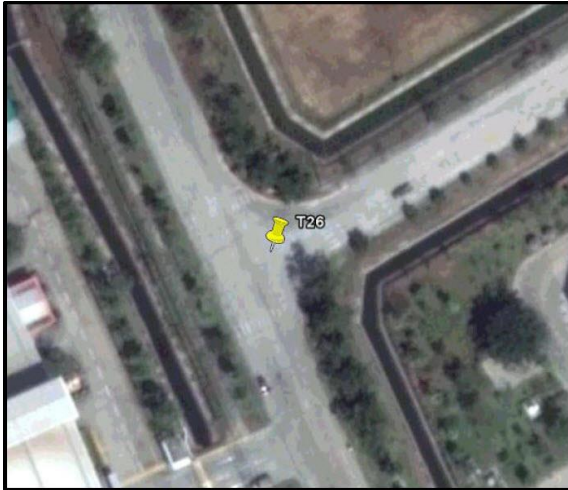
N..... 1491197.52 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T26

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 722101.70 m...

N..... 1488155.94 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 722098.55 m...

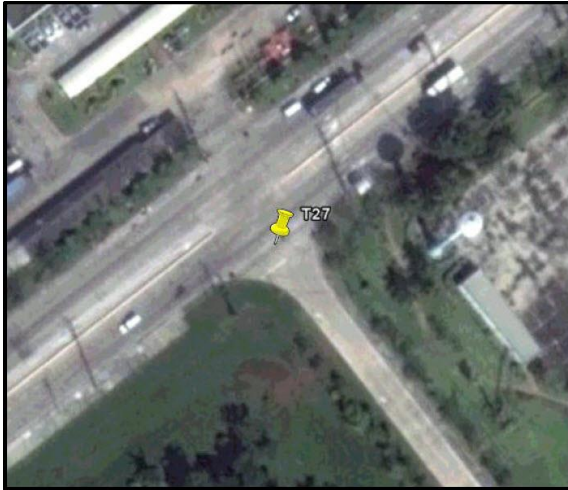
N..... 1488152.07 m...



รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T27

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

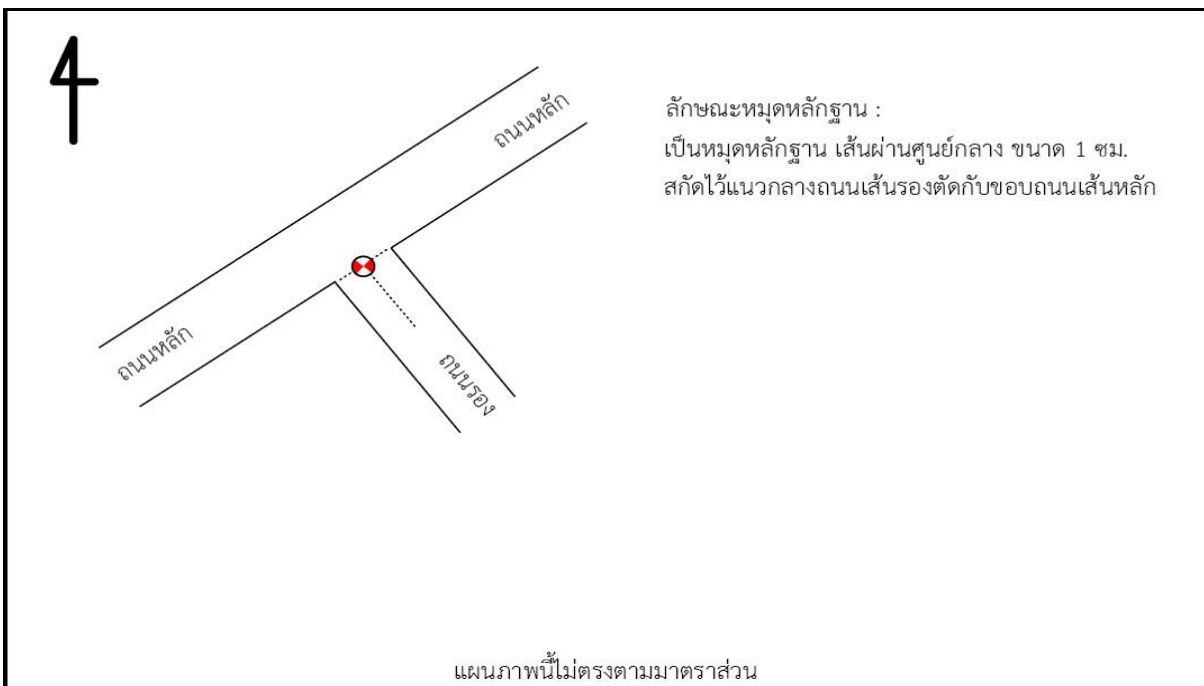
E..... 718036.32 m.....

N..... 1484735.78 m.....

ค่าจากการรังวัด

E..... 718033.84 m.....

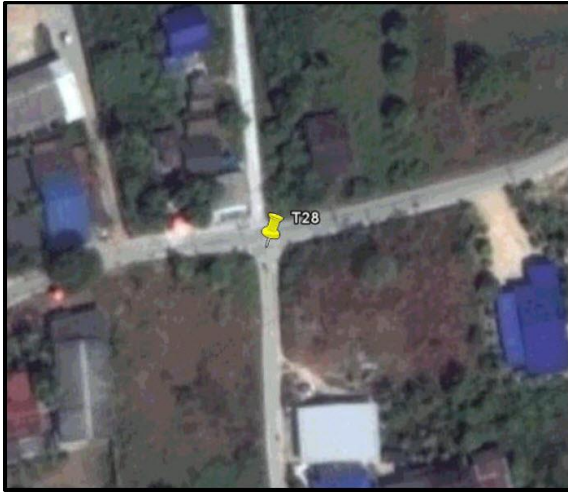
N..... 1484737.20 m.....



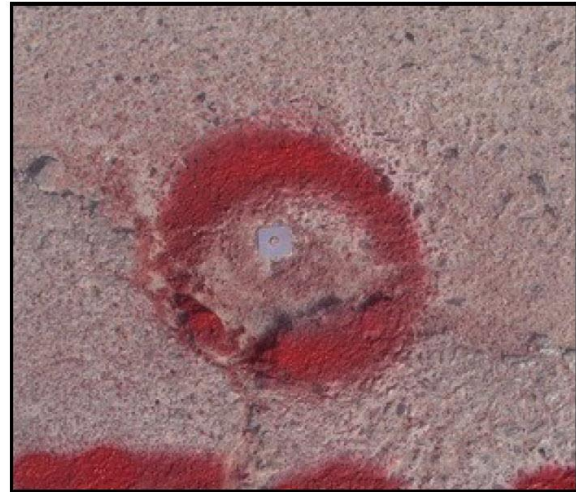
รายละเอียดประกอบหมุดหลักฐาน T28

ความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งทางระบบของแผนที่ภาพถ่ายจากดาวเทียมที่ให้บริการผ่านทางอินเทอร์เน็ต

ภาพถ่าย Google Earth



ภาพถ่ายห้วหมุด



ค่าพิกัดบนพื้นหลักฐาน WGS-84 (UTM Zone 47)

ค่าที่ได้จากการอ่านบน Google Earth

E..... 723695.63 m...

N..... 1484333.55 m...

ค่าจากการรังวัด

E..... 723695.21 m...

N..... 1484333.67 m...

