



การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่าย
การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต

A COMPARISON OF ACCURACY POSITION OF ORTHOPHOTO DERIVED NETWORK -
BASED REAL TIME KINEMATIC AND STATIC SURVEY

อรรถพร หักฤทธิ์ศึก

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จาก
ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่และแบบสถิต



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ
คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

A COMPARISON OF ACCURACY POSITION OF ORTHOPHOTO DERIVED
NETWORK - BASED REAL TIME KINEMATIC AND STATIC SURVEY



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for MASTER OF SCIENCE (Geoinformatics)
Faculty of Social Sciences Srinakharinwirot University

2018

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โทที่ได้จากระบบเครือข่าย

การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต

ของ

อรรถพร หักฤทธิ์ศึก

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวិทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย พันธะนันทิ)

ประธาน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดิบุญ เมธากุลชาติ)

ที่ปรึกษาร่วม

(พันตรี ดร.ธาวีทย์ เสวกตรุณทร)

กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สถาพร มนต์ประภัศสร)

ชื่อเรื่อง	การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต
ผู้วิจัย	อรรถพร หักฤทธิ์ศึก
ปริญญา	วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วิชัย พันธนะหิรัญ

จุดประสงค์ของการศึกษาเพื่อ เปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและ ภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมแบบสถิต งานวิจัยนี้เลือกพื้นที่ศึกษาบริเวณ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จังหวัดนครนายก การศึกษาได้ใช้กระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายออร์โธ โดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดโดยใช้วิธีรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของกรมที่ดิน และสร้างภาพถ่ายออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน 6 จุด ที่ได้จากวิธีการรังวัดแบบสถิต จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดจุดกำหนดตรวจสอบจำนวนที่ได้จากภูมิประเทศกับค่าพิกัดที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธ ทั้งสองวิธี ตลอดจนเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่จากภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น ผลการศึกษา พบว่าภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.402 เมตร ซึ่งเท่ากับ 0.695 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติระดับ 95% ตามมาตรฐานความถูกต้องของ FGDC (NSSDA) ซึ่งสามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,200 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:600 ในงานชั้นที่ 2 ตามมาตรฐานความถูกต้องของ ASPRS สำหรับภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.45 เมตร ซึ่งเท่ากับ 0.779 เมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นทางสถิติระดับ 95% ตามมาตรฐานความถูกต้องของ FGDC (NSSDA) สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2 ตามมาตรฐานความถูกต้องของ ASPRS ดังนั้นค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบเครือข่าย

การรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สามารถนำมาใช้สร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2 หรือมาตราส่วนขนาดเล็กกว่าขึ้นไป ทดแทนการสร้างภาพออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต

คำสำคัญ : ภาพถ่ายออร์โธ, ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที, การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย



Title	A COMPARISON OF ACCURACY POSITION OF ORTHOPHOTO DERIVED NETWORK - BASED REAL TIME KINEMATIC AND STATIC SURVEY
Author	ANNOP HUGRITSUEK
Degree	MASTER OF SCIENCE
Academic Year	2018
Thesis Advisor	Associate Professor WICHAI PANTANAHIRAN , Ph.D.

The objective of this research was to compare the accuracy position of orthophoto derived network-based real time kinematic and orthophoto derived static survey. The Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon Nayok Province was selected as the study area. The study used a photogrammetry process to develop orthophoto. The coordinate values of ground control points obtained from two methods including the GPS receiver connected to the network-based real time kinematic of the Department of Land and the static survey. Then two set of orthophotos were used to develop and compared. The comparison between the six-selected coordinate values of each orthophoto and the check points in the terrain were compared including the positional accuracy and contemplating horizontal dislocation in relation to scales of the maps. Results of the research showed that the horizontal dislocation of orthophoto from the static survey was 0.402 meters which was equal to 0.695 meters with statistical confidence at 95% in accordance with the accuracy standard of FGDC (NSSDA). It means that the static survey can be used to generate or adjust the maps at the scale of 1:1,200 in Class 1 and the scale of 1:600 in Class 2, accordance with the accuracy standard of ASPRS. The horizontal dislocation of orthophoto using network-based real time kinematic was 0.45 meters which was equal to 0.779 meters with statistical confidence at 95% in accordance with the accuracy standard of FGDC (NSSDA). It means that the orthophoto using the network-based real time kinematic can be used to generate or adjust the maps at the scale of 1:1,800 in Class 1 and the maps at the scale of 1:900 in Class 2, accordance with the accuracy standard of ASPRS. Therefore, the

coordinate values obtained from the network-based real time kinematic are able to generate or adjust the maps, whose scales are 1:1,800 in Class 1 and the maps at the scale of 1:900 in Class 2, or a smaller scale, substituting for the orthophoto, which are generated by coordinate values of ground control points obtained from the static survey.

Keyword : Orthophoto, Network - based Real Time Kinematic, Photogrammetry



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. วิชัย พันธนะ หิรัญ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท และพันธุ์ ดร. ธารวิทย์ เสวกดรุณทร อาจารย์ที่ปรึกษา ร่วมที่ได้กรุณาที่ให้คำแนะนำ เสนอข้อคิดเห็น ตรวจสอบและแก้ไขให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น การศึกษาครั้งนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับการอนุเคราะห์และสนับสนุนข้อมูลจากเจ้าหน้าที่หลายหน่วยงานดังนี้ กรมที่ดิน กรมแผนที่ทหาร และโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ตลอดจนอีกหลายท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตลอดจนผู้สนใจต่อไป

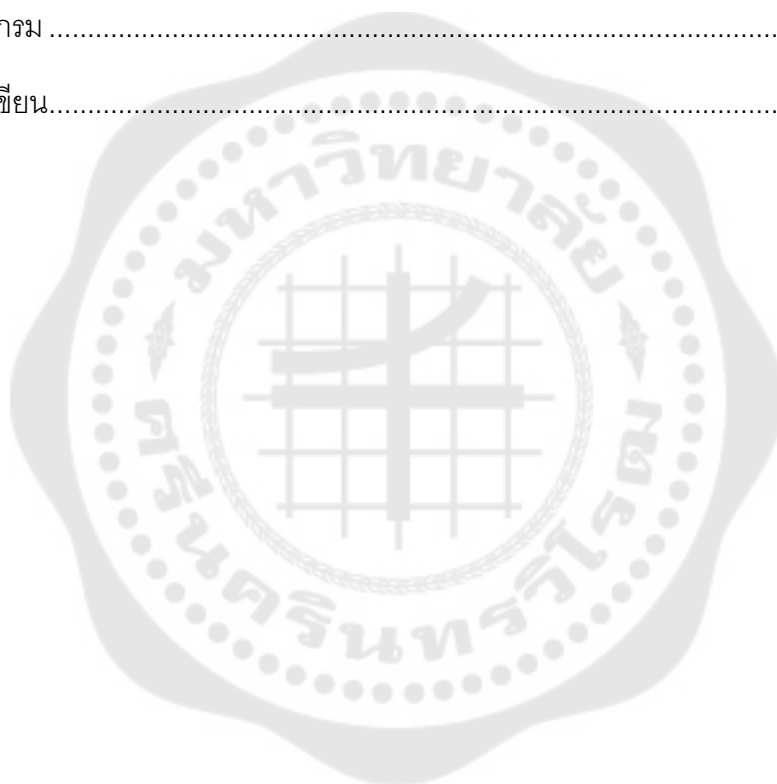
อรรถพร หักฤทธิ์ศึก

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ	ฌ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูปภาพ	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
ขอบเขตของการวิจัย	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
1. กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข.....	6
2. การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย	8
2.1 การวางแผนการบิน	8
2.2 การเก็บข้อมูล	9
2.3 การตรวจสอบข้อมูลดิบ	9
2.4 การสำรวจจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน	9
2.5 การจัดวางภาพภายใน.....	9
2.6 การจัดวางภาพภายนอก	10

2.7 การจัดวางภาพแบบสัมผัส.....	10
2.8 การจัดวางภาพแบบสัมผัส.....	11
2.9 การทำซ้ำสามเหลี่ยมทางอากาศ	11
2.10 การคำนวณค่าพิกัดวัตถุจากคู่ภาพสามมิติ.....	11
3. การรังวัดด้วยดาวเทียม	13
3.1 ระบบการนำหนด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS)	13
3.2 หลักการทำงานของการทำงานพิกัดตำแหน่งด้วยดาวเทียม	14
3.3 วิธีการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรับวัด.....	16
4. ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที	17
5. โปรแกรมปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายทางอากาศ	21
6. มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่และการประเมินความถูกต้อง	22
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	29
1. กำหนดพื้นที่ศึกษา.....	29
2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา.....	31
3. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	31
4. การรังวัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน, จุดตรวจสอบและกระบวนการสร้างภาพถ่ายออร์โธ .	34
5. ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับ มาตราส่วนของแผนที่และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น	38
บทที่ 4 ผลการดำเนินการและวิเคราะห์ข้อมูล	40
1. ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ ด้วย เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในพื้นที่ศึกษา.....	40
2. ขั้นตอนการสร้างภาพถ่ายออร์โธ จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขด้วยวิธีโฟโตแกรมเมตรี..	44
3. การรังวัดค่าพิกัดจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น	51

4. การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับ มาตราส่วนของแผนที่ของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น	57
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	68
สรุปผลการวิจัย	68
การอภิปรายผลการวิจัย	69
ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	71
ประวัติผู้เขียน	74



สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 คุณลักษณะของระบบการนำหนด้วยดาวเทียม	15
ตาราง 2 ความถูกต้องในแนวราบและตัวอย่างข้อมูลดิจิทัลที่มีคุณภาพความถูกต้องสูงกับข้อมูล แผนที่แนวราบ	25
ตาราง 3 จำนวนจุดตรวจสอบขั้นต่ำต่อจำนวนเนื้อที่ของพื้นที่ศึกษา.....	26
ตาราง 4 ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากวิธีการรังวัดแบบสถิติ (เมตร)	41
ตาราง 5 ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัด ด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (เมตร)	41
ตาราง 6 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบ (เมตร).....	42
ตาราง 7 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้มาจากการ รังวัดแบบสถิติ (เมตร).....	54
ตาราง 8 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้มาจากการ รังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (เมตร)	56
ตาราง 9 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัด แบบสถิติ) (เมตร)	59
ตาราง 10 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้มาจากการ รังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที) (เมตร).....	63
ตาราง 11 แสดงข้อมูลวิธีการรังวัดเทียบกับมาตราส่วนแผนที่ที่สามารถนำไปสร้างได้ของงานชั้นที่ 1 และงานชั้นที่ 2 ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASPRS	67

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิด	5
ภาพประกอบ 2 กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข รุ่น Leica DMC Ile 140	7
ภาพประกอบ 3 แสดงการบินถ่ายภาพมีส่วนซ้อนที่อยู่ในแนวมิน (Overlap) และส่วนซ้อนด้านข้างระหว่างแนวมิน (Sidelap)	9
ภาพประกอบ 4 โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation)	10
ภาพประกอบ 5 การรังวัดจุดพิกัดจากภาพคู่ซ้อน	12
ภาพประกอบ 6 แสดงหลักการของสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station)	18
ภาพประกอบ 7 แสดงที่ตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรของประเทศไทย พ.ศ. 2560	20
ภาพประกอบ 8 แสดงระยะห่างระหว่างสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรกับพื้นที่ศึกษา	21
ภาพประกอบ 9 พื้นที่ศึกษาบริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ	30
ภาพประกอบ 10 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Trimble รุ่น 5700 R7	32
ภาพประกอบ 11 สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร กรมที่ดิน (ติดตั้งบนพื้นดิน)	33
ภาพประกอบ 12 สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร สำนักงานกรมที่ดิน จังหวัดเพชรบูรณ์ (ติดตั้งบนอาคาร)	33
ภาพประกอบ 13 ตำแหน่งและจำนวนจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ	34
ภาพประกอบ 14 แสดงที่ตั้งจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินจำนวน 6 จุด	35
ภาพประกอบ 15 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบจำนวน 23 จุด	36
ภาพประกอบ 16 การนำเข้าภาพถ่ายทางอากาศ	45
ภาพประกอบ 17 การนำเข้าจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน	46
ภาพประกอบ 18 การกำหนดจุดโยงยึดของภาพถ่ายทางอากาศ	47

ภาพประกอบ 19 ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีการรังวัดแบบ สถิติ	48
ภาพประกอบ 20 ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีการรังวัดแบบ ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที.....	50
ภาพประกอบ 21 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบในภูมิประเทศ	51
ภาพประกอบ 22 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ ได้มาจากการรังวัดแบบสถิติ	52
ภาพประกอบ 23 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที	53



บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) คือภาพถ่ายทางอากาศที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนจากการเอียงของกล้องถ่ายภาพทางอากาศและความแตกต่างของความสูงในภูมิประเทศ ซึ่งภาพที่ได้จะแสดงลักษณะของสิ่งปกคลุมภูมิประเทศและวัตถุที่ปรากฏบนพื้นโลกสามารถวัดพิกัด, ทิศทาง, ระยะทาง, ขนาดและรูปร่างได้ ภาพถ่ายออร์โธนิยมใช้เพื่อการทำแผนที่ เพราะปัจจุบันภาพถ่ายออร์โธสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและแสดงข้อมูลของวัตถุที่ปรากฏบนภาพได้อย่างครบถ้วน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ เช่น เพื่อเป็นข้อมูลวิเคราะห์และแปลภาพด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์, เพื่อกำหนดขอบเขตที่ดินก่อนรังวัดในภูมิประเทศจริง, เพื่อศึกษาภูมิประเทศสำหรับการวางผังเมือง ระบบสาธารณูปโภคและระบบขนส่ง, เพื่อวาดผังพื้นที่การรบสำหรับกำหนดยุทธวิธีทางทหาร เป็นต้น

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย (Photogrammetry) เป็นวิธีการสำรวจรังวัดเพื่อทำแผนที่และสร้างเป็นข้อมูลทางภูมิสารสนเทศ โดยใช้ภาพถ่ายเป็นสื่อกลางการรังวัดสามารถกระทำได้ทั้งสองมิติและสามมิติ ซึ่งกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายทางอากาศเพื่อสร้างเป็นภาพถ่ายออร์โธนั้น มีขั้นตอนที่สำคัญคือ 1. การวางแผนการบิน, 2. การเก็บข้อมูล, 3. การตรวจสอบข้อมูลดิบ, 4. การสำรวจจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point), 5. การจัดภาพภายใน (Interior Orientation), 6. การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation), 7. การจัดวางภาพแบบสัมพัทธ์ (Relative Orientation), 8. การจัดวางภาพแบบสัมบูรณ์ (Absolute Orientation) และ 9. การทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) แล้วจึงสร้างเป็นภาพถ่ายออร์โธได้ ขั้นตอนการใส่ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน เพื่อใช้ยึดตรึงค่าพิกัดตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศกับภูมิประเทศจริงให้ตรงกัน ซึ่งต้องใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่มีความถูกต้องสูง ซึ่งการได้มาจะมีสองวิธีการคือ

วิธีการที่หนึ่ง โดยปกติจะใช้วิธีการรังวัดแบบสถิต คือการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ตั้งรับสัญญาณดาวเทียมที่จุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูงในระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร แต่กระบวนการนี้จะใช้เวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม 1 - 2 ชั่วโมง ต้องตั้งรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง ตั้งที่จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่กำหนดไว้และจุดอ้างอิงที่ทราบค่าพิกัด พร้อมเปิดเครื่องสัญญาณดาวเทียมพร้อมกัน หลังจากนั้นนำข้อมูลไป

ประมวผลในสำนักงานโดยอ้างอิงกับจุดที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่ง ทำให้ต้องใช้เวลานานกว่าจะได้ซึ่งค่าพิกัด ต้องใช้จำนวนคนในการตั้งและเปิดเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมๆกัน ถ้ามีจำนวนจุดควบคุมภาคพื้นดินมาก ก็จะใช้เวลาหลายวันและใช้งบประมาณสูงในการเดินทาง

สำหรับวิธีการที่สอง ใช้วิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (Network - based Real Time Kinematic) คือระบบของเครือข่ายของ สถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบถาวร (Continuously Operating Reference Station: CORS) ประกอบด้วย สถานีควบคุม (Control Station), สถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (Reference Station) และระบบสื่อสาร (Communication System) ซึ่งวิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพียงตัวเดียวและเชื่อมต่อสัญญาณโทรศัพท์หรือสัญญาณอินเทอร์เน็ตกับสถานีควบคุมเพื่อปรับแก้ค่าพิกัด ใช้เวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมและประมวลผลค่าพิกัดตำแหน่ง เพียง 1 – 2 นาทีเท่านั้น ความถูกต้องที่ได้อยู่ในระดับเซนติเมตร ซึ่งช่วยลดเวลาในการทำงาน ลดงบประมาณที่ต้องใช้และจำนวนแรงงานคนทำงานได้ ซึ่งในปัจจุบันหลายๆ หน่วยงานก็ได้ร่วมมือกันติดตั้งระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งประเทศ

การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต จะสร้างภาพถ่ายออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที พร้อมทั้งประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ตามมาตรฐานสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ (National Standard for Spatial Data Accuracy: NSSDA) จากจุดตรวจสอบ 23 จุด และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ ตามมาตรฐานความละเอียดถูกต้องของสมาคมโฟโตแกรมเมตรีและการรับรู้จากระยะไกลแห่งอเมริกา (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing: ASPRS) และเปรียบเทียบกับ ผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่ได้จากวิธีการสร้างภาพถ่ายออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต

ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. ศึกษาโดยใช้กระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายออร์โธ โดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดโดยใช้วิธีการเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต

2. เปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ จากการสร้างภาพถ่ายออร์โธทั้งสองวิธี

ขอบเขตของการวิจัย

1. ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้ในการศึกษา เป็นภาพที่ถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข รุ่น Leica DMC IIe 140 มีความละเอียดจุดภาพ 18 ซม. ของกรมแผนที่ทหาร บริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ ครอบคลุมพื้นที่โดยประมาณ 19.3 ตร.กม. ภาพถ่ายปี พ.ศ. 2560

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายเพื่อสร้างภาพถ่ายออร์โธที่ได้ออกใช้คือ Imagine Photogrammetry เป็นโปรแกรมย่อยของ ERDAS IMAGINE 2014

3. ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ได้เลือกใช้ระบบของกรมที่ดิน

4. ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินตามวิธีการที่หนึ่ง ได้จากการรังวัดด้วยวิธีแบบสถิติ ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Trimble 5700 R7 ของกรมแผนที่ทหาร อ้างอิงกับหมุดหลักฐานควบคุมโครงข่ายการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสของกรมแผนที่ทหาร ใช้เวลารังวัด 30 นาที

5. ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินตามวิธีการที่สอง เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของกรมที่ดิน ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Trimble 5700 R7 ของกรมแผนที่ทหาร ใช้เวลารังวัด 3 นาที

6. จุดตรวจสอบ เป็นจุดในภูมิประเทศที่เห็นเด่นชัดบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข กำหนดไว้ 23 จุด และ ค่าพิกัดจุดตรวจสอบได้จากการรังวัดด้วยวิธีแบบสถิติ ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Trimble 5700 R7 ของกรมแผนที่ทหาร อ้างอิงกับหมุดหลักฐานควบคุมโครงข่ายการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสของกรมแผนที่ทหาร ใช้เวลารังวัด 30 นาที

7. เปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ตามมาตรฐานสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ NSSDA และพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่มาตราส่วน ตามมาตรฐาน ASPRS ของภาพถ่ายออร์โธที่ได้มาจากทั้งสองวิธีการ

นิยามศัพท์เฉพาะ

ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข (Digital Aerial Photograph) หมายถึง การถ่ายภาพภูมิประเทศ ด้วยกล้องถ่ายภาพที่ติดตั้งบนเครื่องบิน ที่ระดับความสูงเหนือภูมิประเทศ ลักษณะข้อมูล

ของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขจะอยู่ในรูปของข้อมูลดิจิทัล สามารถนำเข้าโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์, ประมวลผลและนำเสนอในรูปแบบต่างๆได้

ภาพถ่ายออร์โธ (Orthophoto) หมายถึง ภาพถ่ายทางทางอากาศที่ผ่านกระบวนการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว สามารถหาค่าพิกัดตำแหน่ง รูปร่างและขนาดของวัตถุที่ปรากฏบนภาพ ได้เท่ากับวัตถุจริงในภูมิประเทศ

การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย หมายถึง การสำรวจรังวัดเพื่อทำแผนที่โดยใช้ภาพถ่ายเป็นสื่อกลางการรังวัด ซึ่งจะดำเนินการด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถคำนวณสมการเชิงเลขเป็นจำนวนมากได้ เพื่อลดความผิดพลาดในการดำเนินการ แต่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญเป็นอย่างสูง

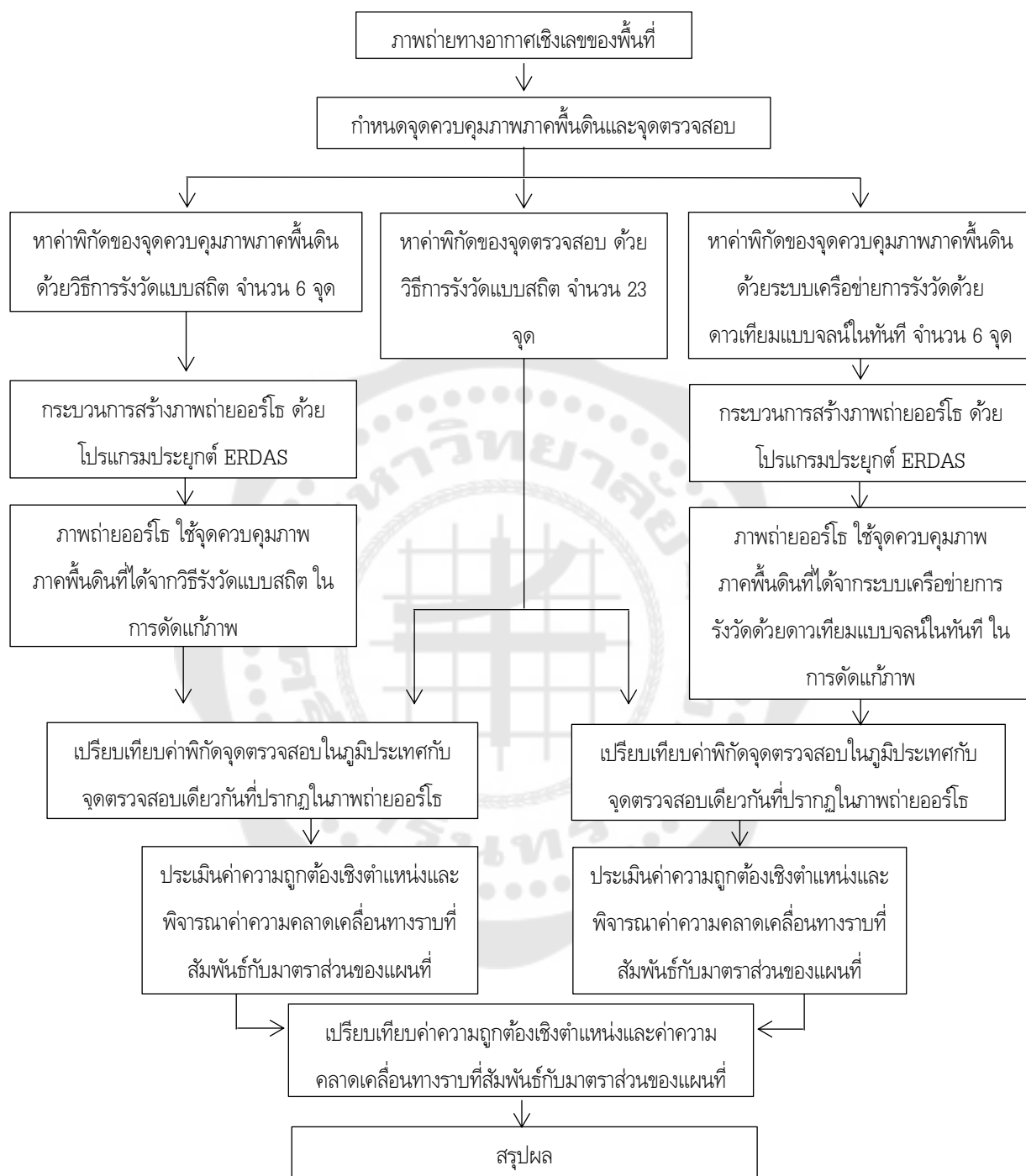
ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (Network - based Real Time Kinematic) หมายถึง ระบบของเครือข่ายของ สถานีรับสัญญาณดาวเทียมแบบถาวร ประกอบด้วย สถานีควบคุม, สถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิงและระบบสื่อสาร มีการเชื่อมต่อการส่งผ่านข้อมูลดาวเทียมผ่านทางระบบการสื่อสาร จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร กับ สถานีควบคุมหลักอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา

วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic Survey: RTK) เป็นวิธีการทำงานรังวัดแบบจลน์ แต่สามารถที่จะแสดงค่าพิกัดตำแหน่งได้ทันทีในสนาม โดยอาศัยข้อมูลจากทั้งสองจุด เมื่อจุดหนึ่งเป็นจุดอ้างอิงที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่งแล้วและนำมาประมวลผลร่วมกัน ดังนั้นจึงต้องใช้คลื่นวิทยุ, สัญญาณโทรศัพท์ หรือ สัญญาณอินเทอร์เน็ต เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static Survey) เป็นวิธีการทำงานโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป ซึ่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องแรกจะไปตั้งอยู่ ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่งแล้ว ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องอื่นให้ตั้งไว้ ณ จุดที่ต้องการหาพิกัดตำแหน่ง โดยที่เครื่องรับสัญญาณจะถูกตั้งไว้นานกว่าหนึ่งชั่วโมง เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะที่เพียงพอจะประมวลผลเพื่อหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้

ขั้นที่ 1 และขั้นที่ 2 ตามมาตรฐานความถูกต้องของ ASPRS ได้กำหนดเกณฑ์ความถูกต้องทางราบของค่า RMSE ที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ ซึ่งจะใช้ค่าสถิติ RMSE ในการประเมินและจะรายงานความถูกต้องเป็นขั้น 1 และขั้นที่ 2 โดยความถูกต้องขั้นที่ 2 จะใช้กับแผนที่ที่มีค่า RMSE ไม่เกินสองเท่าของขั้นที่ 1

กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวความคิด

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข
2. การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย
3. การรังวัดด้วยดาวเทียม
4. ระบบเครือข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที
5. โปรแกรมปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายทางอากาศ
6. มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่และการประเมินความถูกต้อง
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข

กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข (Digital Mapping Cameras: DMC) กล้องดังกล่าวได้ผลิตขึ้นจากความร่วมมือระหว่างบริษัท Carl Zeiss และบริษัท Intergraph เพื่อทำให้กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลขสามารถที่จะบันทึกภาพที่มีความละเอียดสูงในระบบเชิงเลข โดยบันทึกภาพแบบกรอบ (Frame Sensor), บันทึกภาพในช่วงคลื่นที่สายตามองเห็นและช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้, มีความละเอียดเชิงเรขาคณิต ต่ำกว่า 15 ไมครอน และความละเอียดเชิงรังสีแต่ละจุดภาพต่ำกว่า 8 บิต ในแต่ละแบนด์, มีการติดตั้งระบบชดเชยการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward Motion Compensation: FMC) และระบบนำหนที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งสูง คือ ระบบบอกตำแหน่งด้วยดาวเทียม (Global Positioning System: GPS) ที่จะรังวัดค่าพิกัดทางแกน X, Y, Z และ เครื่องวัดอาศัยหลักความเฉื่อย (Inertial Measurement Units: IMU) ที่จะรังวัดค่าการหมุนรอบแกนหรือค่าอาการเอียง เพื่อให้ได้ค่า Omega, Phi, Kappa ของจุดเปิดถ่าย ซึ่งพารามิเตอร์ทั้ง 6 ตัว จะเรียกโดยรวมว่า ค่าการดัดแก้ภายนอก (Exterior Orientation Parameters: EOP)

ภาพที่ได้จากการบินถ่ายภาพทางอากาศ จะเรียกว่าภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข ซึ่งเมื่อได้ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขมาแล้ว จะต้องผ่านกระบวนการตรวจสอบและคำนวณดัดแก้ เพื่อให้

ได้ความถูกต้องเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) และเชิงรังสี (Radiometric Correction) ในการจัดเก็บข้อมูลนั้น เพื่อให้ได้ข้อมูลภาพที่มีความถูกต้องสูงจึงถูกเก็บอยู่ในรูปแบบ Tiff Format

กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลขของกรมแผนที่ทหาร ได้ใช้งานเป็นครั้งแรกสำหรับการบินถ่ายภาพทางอากาศ คือ กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข รุ่น Z/I DMC I ซึ่งเริ่มปฏิบัติงานตั้งแต่ปี พ.ศ.2552 และปัจจุบันใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข รุ่น Leica DMC IIe 140 และกำลังทดสอบการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายภาพทางอากาศ รุ่น Leica DMC III ซึ่งกล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข รุ่น Leica DMC IIe 140 มีคุณลักษณะของกล้องคือ ขนาดของภาพหลังการประมวลผลมีความละเอียดอยู่ที่ 10,096 x 11,200 จุดภาพ, ความยาวโฟกัส 92 มิลลิเมตร, จำนวนบันทึกของภาพสูงสุด 2.2 ภาพต่อวินาที, ความละเอียดของจุดภาพ 7.2 ไมครอน, ความสามารถในการบันทึกข้อมูล 1.2 TB, น้ำหนักกล้อง 67 กิโลกรัม และใช้โปรแกรมควบคุมและบริหารจัดการกล้องคือ Leica FlightPro



ภาพประกอบ 2 กล้องถ่ายภาพทางอากาศเชิงเลข รุ่น Leica DMC IIe 140

ที่ ม า : (Geodatapoint., 2013). Midwest Aerial Buys Third DMC II 140 Camera from Leica Geosystems.

ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการโฟโตแกรมเมตรี เป็นการตัดแก้ภายนอกของภาพ, ตัดแก้เชิงเรขาคณิตและเชิงรังสีจนได้เป็นภาพที่มีความถูกต้องทางตำแหน่งสูงสามารถนำไปใช้ในการรังวัดและวาดรายละเอียดของแผนที่ สร้างข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) เพื่อทดแทนการเข้าไปรังวัดในพื้นที่จริงได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำภาพถ่ายทางอากาศที่มีส่วนซ้อนทับกัน ไปผ่านกระบวนการทำภาพเชิงซ้อนเพื่อการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขได้อีกด้วย

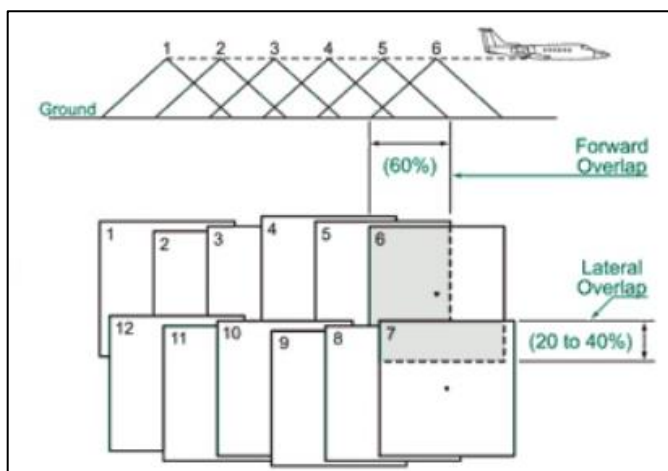
2. การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย

(ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555) กล่าวไว้ว่า การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายเป็นการสำรวจรังวัดเพื่อทำแผนที่และได้ผลผลิตเป็นข้อมูลภูมิสารสนเทศ ด้วยการใช้ภาพเป็นสื่อกลางนั้น ทำให้ผู้รังวัดไม่จำเป็นต้องเข้าสัมผัสกับวัตถุ สามารถใช้การสังเกตและบันทึกจากระยะไกลได้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายจะได้ทั้งพิกัดตำแหน่งของวัตถุ, ขนาดและรูปร่างสามมิติพร้อมกันได้ทันที แต่เนื่องจากกระบวนการมีความซับซ้อน ต้องใช้การคำนวณขั้นสูง ระบบคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งเครื่องและอุปกรณ์ประกอบการทำงานเป็นจำนวนมาก จึงต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจ การฝึกฝนและความชำนาญเป็นอย่างยิ่ง

การผลิตภาพถ่ายออร์โธนั้นมีความซับซ้อนหลายขั้นตอน โดยเริ่มตั้งแต่ 1. การวางแผนการบิน, 2. การเก็บข้อมูล, 3. การตรวจสอบข้อมูลดิบ, 4. การสำรวจจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน (Ground Control Point), 5. การทำข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation), 6. การจัดภาพภายใน (Interior Orientation), 7. การจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation), 8. การจัดวางภาพแบบสัมพัทธ์ (Relative Orientation) และ 9. การจัดวางภาพแบบสัมบูรณ์ (Absolute Orientation) ซึ่งสามารถสรุปดังนี้

2.1 การวางแผนการบิน

เนื่องจากการประมวลผลภาพเพื่อการวัดพิกัดจุด จะต้องวัดจากคู่ภาพสามมิติ จำเป็นต้องวัดจุดบนภูมิประเทศจุดเดียวกันที่ปรากฏบนภาพทั้งสองภาพ จึงที่จะสามารถคำนวณพิกัดสามมิติได้ ซึ่งการบินถ่ายภาพจะต้องครอบคลุมทั้งโครงการและต้องอยู่ในลักษณะเป็นแถวเป็นแนว เพื่อสามารถคำนวณเรขาคณิตภาพวัตถุที่ปรากฏได้อย่างถูกต้องและเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผลภาพ ลักษณะภาพที่ได้จะต้องมีส่วนซ้อนอยู่ในแนวนอน (Overlap) มากกว่าร้อยละ 60 และมีส่วนซ้อนด้านข้างระหว่างแนวนอน (Sidelap) มากกว่าร้อยละ 20



ภาพประกอบ 3 แสดงการบินถ่ายภาพมีส่วนซ้อนที่อยู่ในแนวนอน (Overlap) และส่วนซ้อนด้านข้างระหว่างแนวนอน (Sidelap)

ที่มา: (Sumit Chowdhury, 2017). Aerial photography and photogrammetry.

2.2 การเก็บข้อมูล

เป็นกระบวนการบันทึกตามการที่วางแผนการบิน

2.3 การตรวจสอบข้อมูลดิบ

เป็นกระบวนการตรวจสอบข้อมูลทีบันทึกไว้ว่ามีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่เป็นไปตามแผนการบินที่วางแผนไว้หรือไม่

2.4 การสำรวจจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน

เป็นจุดที่เห็นเด่นชัดบนภาพและบอกตำแหน่งได้ในสนาม ซึ่งมีค่าพิกัดในสามมิติ ต้องมีการรังวัดในสนามด้วยเครื่องมือที่มีความถูกต้องสูงเพื่อนำมาคำนวณปรับแก้ค่าสามเหลี่ยมอากาศ เนื่องจากค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินจะถูกถ่ายทอดลงไปในระบบสมการเพื่อคำนวณปรับแก้ในบล็อกของภาพถ่าย ถ้ามีจำนวนจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินมาก ก็จะทำให้ผลลัพธ์มีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือสูง แต่ไม่จำเป็นต้องมีจำนวนมาก เพราะจะทำให้ค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น

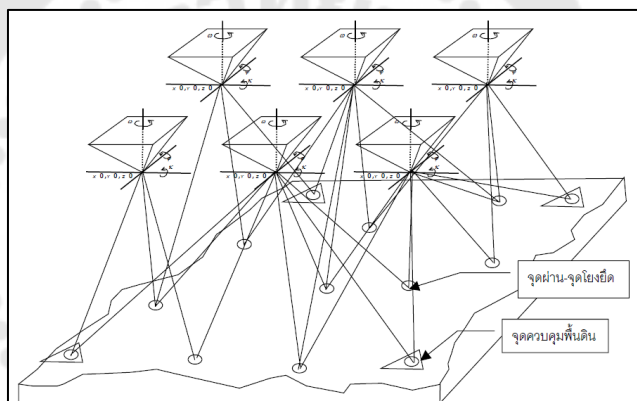
2.5 การจัดวางภาพภายใน

เป็นการจัดวางข้อมูลของภาพให้มีความสัมพันธ์กับทิศทางแนวนอน ให้เหมือนอยู่ในสถานะเดียวกันกับเครื่องบินขณะบินถ่ายภาพ โดยใช้ข้อมูลค่าปรับแก้ของกล้องถ่ายภาพ

(Camera Calibration) เข้ามาใช้ในการปรับแก้ ได้แก่ ค่าความยาวโฟกัส (focal length), ความสูงบินและความละเอียดของจุดภาพ

2.6 การจัดวางภาพภายนอก

เป็นการปรับภาพที่ได้มาให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องสอดคล้องกับฐานภาพถ่ายและมาตราส่วนของภาพถ่าย ซึ่งจะมีพารามิเตอร์ 6 ตัว เป็นการปรับแก้ค่าพิกัดทางระดับ 3 ตัว คือ (X, Y, Z) และการปรับแก้ค่าการหมุนรอบแกนอีก 3 ตัว คือ (ω , ϕ , κ) โดยที่ค่า Omega (ω): คือการหมุนรอบแกน X จะเท่ากับค่า Roll ของระบบเครื่องบิน, Phi (ϕ): คือการหมุนรอบแกน Y จะเท่ากับค่า Pitch ของระบบเครื่องบิน และ Kappa (κ): คือการหมุนรอบแกน Z จะเท่ากับค่า Yaw ของระบบเครื่องบิน



ภาพประกอบ 4 โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation)

ที่มา: (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555). การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Photogrammetry).

2.7 การจัดวางภาพแบบสัมผัส

เป็นการหาความสัมพันธ์ของภาพถ่ายทางอากาศ ด้วยการสร้างแบบจำลองสามมิติในอากาศที่ยังไม่ต้องโยงยึดกับพื้นดิน การจัดภาพแบบสัมผัสเป็นกระบวนการที่สำคัญ ที่จะต้องทำก่อนเพื่อที่จะไปสู่ขั้นตอน การจัดวางภาพแบบสัมผัสสมบูรณ์

2.8 การจัดวางภาพแบบสัมบูรณ์

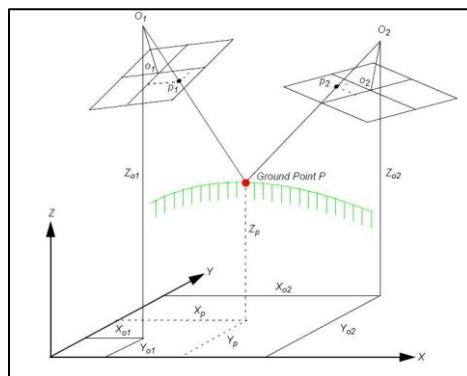
เป็นการนำแบบจำลองสามมิติที่ได้จากขั้นตอนของการจัดวางภาพแบบสัมพัทธ์ มาโยงยึดกับพื้นหลักฐานโดยใช้ จุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขและประมวลผลเป็นภาพถ่ายออร์โธ

2.9 การทำซ้ำสามเหลี่ยมทางอากาศ

การทำโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศเป็นวิธีการที่ช่วยเพิ่มค่าพิกัดทางราบและทางตั้ง ในสมัยก่อนที่ไม่มีการทำโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ ในทุกแบบจำลองสามมิติจำเป็นต้องมีค่าพิกัดทางราบ 2 จุด, ค่าพิกัดทางตั้ง 3 จุด และค่าพิกัดหมุดตรวจสอบอีก 1 จุด ซึ่งส่งผลให้เกิดความสิ้นเปลืองงบประมาณและเวลาเป็นจำนวนมาก ในการส่งบุคลากรเพื่อเข้าไปสำรวจจริงวัดค่าพิกัด

2.10 การคำนวณค่าพิกัดวัตถุจากคู่ภาพสามมิติ

(ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555) กล่าวว่า การคำนวณค่าพิกัดวัตถุจากคู่ภาพสามมิติสามารถทำได้โดยการวัดค่าพิกัดบนจุดเดียวกันบนวัตถุที่ปรากฏบนภาพทั้งสอง ค่าพิกัดที่ได้จะเป็นค่าพิกัดเครื่องมือที่ใช้วัด ซึ่งสามารถเปลี่ยนให้เป็นค่าพิกัดของภาพได้ โดยการหาความสัมพันธ์ของการแปลงค่าพิกัด ขั้นตอนนี้เรียกว่า การจัดวางภาพภายใน การหาค่าพิกัดของวัตถุบนพื้นดิน (X, Y, Z) ที่อยู่บนส่วนซ้อนของภาพโดยการคำนวณจากค่าพิกัดภาพของจุดจุดเดียวกันบนภาพคู่สามมิติ เรียกว่า Two-Photo Intersection หรือ Space Intersection เป็นวิธีที่ต้องทราบค่าพารามิเตอร์ของการจัดวางภาพภายนอก (Exterior Orientation Parameters) ของภาพทั้งสอง คำนวณโดยใช้คณิตศาสตร์ของภาพถ่ายคู่ที่มีสมการสภาวะร่วมเส้นสองเส้นที่ตัดกันบนวัตถุ



ภาพประกอบ 5 การรังวัดจุดพิกัดจากภาพคู่ซ้อน

ที่มา: (Leica Geosystems, 1999?). Imagine OrthoBase User's Guide.

ความสัมพันธ์ระหว่าง 3 องค์ประกอบเรียกว่า สมการสภาวะร่วมเส้น (Collinearity Condition Equations) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของ พิกัดภาพถ่ายของจุดภาพ (X_p, Y_p) ในเทอมของ ค่าคงที่ของกล้อง (x_0, y_0, f) พิกัดพื้นดิน (X_0, Y_0, Z_0) ของวัตถุ และ พารามิเตอร์การบิดวางภาพภายนอก ($\omega, \phi, \kappa, X_{01}, Y_{01}, Z_{01}$) ของภาพถ่าย ดังสมการ (1) และ (2)

$$X_p - X_0 = -f \left[\frac{m_{11}(X_p - X_{01}) + m_{12}(Y_p - Y_{01}) + m_{13}(Z_p - Z_{01})}{m_{31}(X_p - X_{01}) + m_{32}(Y_p - Y_{01}) + m_{33}(Z_p - Z_{01})} \right] \quad (1)$$

$$Y_p - Y_0 = -f \left[\frac{m_{21}(X_p - X_{01}) + m_{22}(Y_p - Y_{01}) + m_{23}(Z_p - Z_{01})}{m_{31}(X_p - X_{01}) + m_{32}(Y_p - Y_{01}) + m_{33}(Z_p - Z_{01})} \right] \quad (2)$$

เมื่อ	X_0, Y_0	=	ตำแหน่งกึ่งกลางภาพบนภาพถ่าย
	X_p, Y_p	=	พิกัดภาพของวัตถุ P
	X_{01}, Y_{01}	=	พิกัดทางราบของจุดกึ่งกลางภาพบนพื้นโลก
	Z_{01}	=	ความสูงจากระดับอ้างอิงอุปกรณ์ตรวจวัด
	X_p, Y_p	=	พิกัดทางราบของจุด P บนพื้นโลก

Z_p	=	ความสูงจากระดับอ้างอิงถึงจุด P บนพื้นโลก
f	=	ความยาวโฟกัสของเลนส์ที่ใช้ถ่ายภาพ
m_{11}	=	$\cos\phi \times \cos K$
m_{12}	=	$-\cos\phi \times \sin K$
m_{13}	=	$\sin\phi$
m_{21}	=	$\cos\omega \times \sin K + \sin\omega \times \sin\phi \times \cos K$
m_{22}	=	$\cos\omega \times \cos K - \sin\omega \times \sin\phi \times \sin K$
m_{23}	=	$\sin\omega \times \cos\phi$
m_{31}	=	$\sin\omega \times \sin K - \cos\omega \times \sin\phi \times \cos K$
m_{32}	=	$\sin\omega \times \cos K + \cos\omega \times \sin\phi \times \sin K$
m_{33}	=	$\cos\omega \times \cos\phi$

3. การรังวัดด้วยดาวเทียม

3.1 ระบบการนำหนด้วยดาวเทียม (Global Navigation Satellite System: GNSS)

เป็นระบบที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งพิกัดบนผิวโลก ด้วยวิธีการคำนวณตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม โดยใช้ตำแหน่งพิกัดของกลุ่มดาวเทียม ระบบคลื่นวิทยุนำร่องและรหัสที่ส่งมาจากดาวเทียม ในการคำนวณหาตำแหน่ง ความเร็วและเวลาของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ซึ่งสามารถใช้ได้ทุกพื้นที่ทั่วโลก, ทุกสภาพอากาศและใช้ได้ตลอดเวลา (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2559)

ระบบการนำหนด้วยดาวเทียม ประกอบด้วยระบบดาวเทียมต่างๆ คือ ระบบดาวเทียม GPS ของสหรัฐอเมริกา, ระบบดาวเทียม GLONASS ของสหพันธรัฐรัสเซีย, ระบบดาวเทียม Compass หรือ Bei Dou ของสาธารณรัฐประชาชนจีน, ระบบดาวเทียม Galileo ของกลุ่มประเทศสหภาพยุโรป, ระบบดาวเทียม NAVIC ของประเทศอินเดีย, ระบบดาวเทียม QZSS ของประเทศญี่ปุ่น และระบบดาวเทียม DORIS ของประเทศฝรั่งเศส ซึ่งระบบดาวเทียม NAVIC, QZSS และ DORIS ครอบคลุมพื้นที่ในระดับประเทศเท่านั้น การรับสัญญาณดาวเทียมนั้น อยู่ที่ความสามารถของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมว่าสามารถรับได้กี่ระบบดาวเทียม แต่ละระบบดาวเทียมจะมีองค์ประกอบ 3 ส่วนที่เหมือนกันคือ ส่วนอวกาศ (Space segment) คือ กลุ่มของระบบดาวเทียม, ส่วนควบคุม (Control segment) คือ สถานีควบคุมและติดตามดาวเทียมภาคพื้นดิน และส่วนผู้ใช้ (User segment) คือ ผู้ใช้และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

ระบบการนำหนด้วยดาวเทียม ปัจจุบันสามารถใช้งาน 4 ระบบคือ ระบบดาวเทียม GPS, ระบบดาวเทียม GLONASS, ระบบดาวเทียม Compass หรือ Bei Dou และระบบดาวเทียม Galileo ซึ่งมีคุณลักษณะของระบบดังนี้ (ตาราง 1)

3.2 หลักการทำงานของการทำงานหาคัดตำแหน่งด้วยดาวเทียม

การหาคัดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ใช้การหาความต่างของสัญญาณเวลาที่ดาวเทียมสร้างขึ้นเทียบกับสัญญาณที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสร้างขึ้น เนื่องจากสัญญาณเวลาที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสร้างมีความถูกต้องน้อยกว่า ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น จึงนำความคลาดเคลื่อนนั้นมาคำนวณหาระยะห่างระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เรียกว่า ระยะทุโดเรนจ์ (Pseudo - range) โดยที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมต้องรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวงพร้อมๆกัน จึงจะคำนวณหาคัดตำแหน่งเชิง 3 มิติได้ แต่ก็มีความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งได้ โดยเฉพาะความสูงอาจมีความคลาดเคลื่อนค่อนข้างมาก จนนำมาใช้งานไม่ได้ การทำงานส่วนใหญ่จึงกำหนดให้รับสัญญาณตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไป

การวัดระยะทุโดเรนจ์ จะมีวิธีการวัดอยู่ 2 วิธี คือ วิธีการวัดรหัส ที่ผสมสัญญาณมากับคลื่นพาห์ เป็นวิธีที่ใช้ได้ทั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบนำหนและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรับวัด โดยที่ใช้เวลาที่ดาวเทียมเริ่มส่งสัญญาณมาถึงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเองก็จะสร้างรหัสเช่นเดียวกับคลื่นที่ส่งออกมาจากดาวเทียมแต่ละดวง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะเทียบค่าสัญญาณ และคำนวณออกมาเป็นเวลาทีสัญญาณเดินทางมายังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ส่วนวิธีที่สองนั้น เป็นวิธีการวัดเฟส จะใช้ได้เฉพาะกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรับวัด โดยการวัดความต่างเฟสของคลื่นพาห์ที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสร้างและที่ดาวเทียมสร้าง ซึ่งต้องทำการวัดอย่างต่อเนื่องแต่ให้ความถูกต้องสูง

ตาราง 1 คุณลักษณะของระบบการนำหนด้วยดาวเทียม

คุณลักษณะ	ระบบดาวเทียม			
	GPS	GLONASS	Galileo	Compass
ปล่อยดาวเทียมครั้งแรก	February, 1978	October, 1982	December, 2005	April, 2007
ความสามารถในการทำงาน เต็มรูปแบบ	February, 1995	January, 1996 – December, 2001	2019 - 2020	Up to 2020
ประเทศที่พัฒนาระบบ	สหรัฐอเมริกา	สหพันธรัฐรัสเซีย	กลุ่มประเทศ สหภาพยุโรป	สาธารณรัฐประชาชนจีน
จำนวนของดาวเทียมใน ระบบที่กำหนดไว้	24 ดวง ในการทำงาน และสำรอง 9 ดวง	24 ดวง ในการทำงาน และสำรอง 4 ดวง	30 ดวง	35 ดวง 30 ดวงครอบคลุม ระดับประเทศ และ 5 ดวง ครอบคลุมระดับโลก
วงโคจรเอียง	55 องศา	64.8 องศา	56 องศา	55 องศา
ระยะกึ่งแกนหลัก	26,560 กิโลเมตร	25,508 กิโลเมตร	29,601 กิโลเมตร	21,500 กิโลเมตร
การแบ่งวงโคจร	60	120	120	-
ช่วงเวลาหมุนรอบโลก	11 ชม. 57.96 นาที	11 ชม. 15.73 นาที	14 ชม. 4.75 นาที	12 ชม. 35 นาที
ระบบอ้างอิงทางเรขาคณิต	WGS - 84	PE - 90	GTRF	CGS2000
ระบบเวลา	GPS time, UTC (USNO)	GLONASS time, UTC(SU)	Galileo system time	Bei Dou system Time (BDT)
การแยกสัญญาณ	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
จำนวนของช่วงความถี่	3 – L1, L2, L5	One per two antipodal SV	3(4) – E1, E6, E5(E5a, E5b)	3 - B1, B2, B3
ช่วงความถี่ (MHz)	L1: 1,575.420	G1: 1,602.000	E1: 1,575.420	B1: 1,575.420
	L2: 1,227.600	G2: 1,246.000	E6: 1,278.750	B2: 1,191.795
	L3: 1,176.450	G3: 1,204.704	E5: 1,191.795	B3: 1,268.520
จำนวนของรหัส	11	6	10	-

ที่มา: (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2559). การสำรวจทางวิศวกรรม 2.

3.3 วิธีการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัด

จะมีวิธีการรังวัดอยู่ 5 วิธี คือ วิธีที่ 1 การรังวัดแบบสถิต (Static Survey) เป็นวิธีการทำงานโดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป ซึ่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องแรกจะไปตั้งอยู่ ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่งแล้ว ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องอื่นให้ตั้งไว้ ณ จุดที่ต้องการหาพิกัดตำแหน่ง โดยที่เครื่องรับสัญญาณจะถูกตั้งไว้มากกว่าหนึ่งชั่วโมง เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะที่เพียงพอจะประมวลผลเพื่อหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ โดยระยะทางระหว่างจุดที่ตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ที่ให้ความถูกต้องสูงสุดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่กำหนดไว้ จะอยู่ประมาณ 20 - 30 กิโลเมตร หรือถ้าระยะทางระหว่างจุดมากขึ้น ก็จะต้องเพิ่มเวลาในการรับสัญญาณดาวเทียมมากขึ้นตาม เมื่อนำข้อมูลมาประมวลผลจะให้ค่าความถูกต้องตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร ถึง 2.5 เซนติเมตร

วิธีที่ 2 การรังวัดแบบจลน์ (Kinematic Survey) เป็นวิธีการทำงานที่สามารถหาพิกัดตำแหน่งของจุดที่ต้องการทราบค่าอย่างรวดเร็ว กล่าวคือใช้เวลาในการรับสัญญาณดาวเทียม ณ จุดที่ต้องการหาพิกัดตำแหน่ง ใช้เวลาไม่ถึงหนึ่งนาที แต่วิธีการทำงานจะต้องเชื่อมต่อสัญญาณดาวเทียมให้ได้อย่างน้อย 4 ดวง อย่างต่อเนื่อง แม้เวลาเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ถ้าหากรับสัญญาณดาวเทียมได้น้อยกว่า 4 ดวง จะต้องกลับไปเริ่มต้นการทำงาน ณ จุดที่ตั้งเดิม แล้วจึงไปรังวัดที่จุดอื่นๆ ต่อไปได้ โดยที่จะต้องมีการรับสัญญาณดาวเทียมที่ตั้งไว้ที่จุดอ้างอิงที่รู้พิกัดตำแหน่งแล้ว เพื่อนำมาประมวลผลในภายหลัง ให้ค่าความถูกต้องระหว่าง 1 - 5 เซนติเมตร โดยที่ระยะระหว่างจุดห่างมีระยะไม่เกิน 20 กิโลเมตร

วิธีที่ 3 การรังวัดแบบกึ่งสถิต (Pseudo static Survey) เป็นทางเลือกที่อยู่ระหว่างการรังวัดแบบสถิตและการรังวัดแบบจลน์ การรังวัดแบบสถิตนั้นต้องใช้เวลาในการรังวัดแต่ละจุดนานนับชั่วโมง ส่วนการรังวัดแบบจลน์มีต้องรับสัญญาณดาวเทียมให้ได้อย่างน้อย 4 ดวง ตลอดเวลา รวมถึงเวลาเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปยังจุดต่างๆ ด้วย

วิธีที่ 4 การรังวัดแบบสถิตอย่างรวดเร็ว (Rapid Static Survey) มีวิธีการทำงานเหมือนกับการรังวัดแบบสถิต แต่ต้องการข้อมูลน้อยกว่า เพื่อมาประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบ ใช้เวลาในการรับสัญญาณราวๆ 10 นาที ให้ค่าความถูกต้องระหว่าง 1 - 3 เซนติเมตร โดยที่ระยะระหว่างจุดห่างมีระยะไม่เกิน 15 กิโลเมตร

วิธีที่ 5 การรังวัดแบบจลน์ในทันที (Real Time Kinematic Survey: RTK) เป็นวิธีการทำงานรังวัดแบบจลน์ แต่สามารถที่จะแสดงค่าพิกัดตำแหน่งได้ทันทีในสนาม โดยอาศัยข้อมูลจากทั้งสองจุด เมื่อจุดหนึ่งเป็นจุดอ้างอิงที่ทราบค่าพิกัดตำแหน่งแล้วและนำมาประมวลผลร่วมกัน ดังนั้น

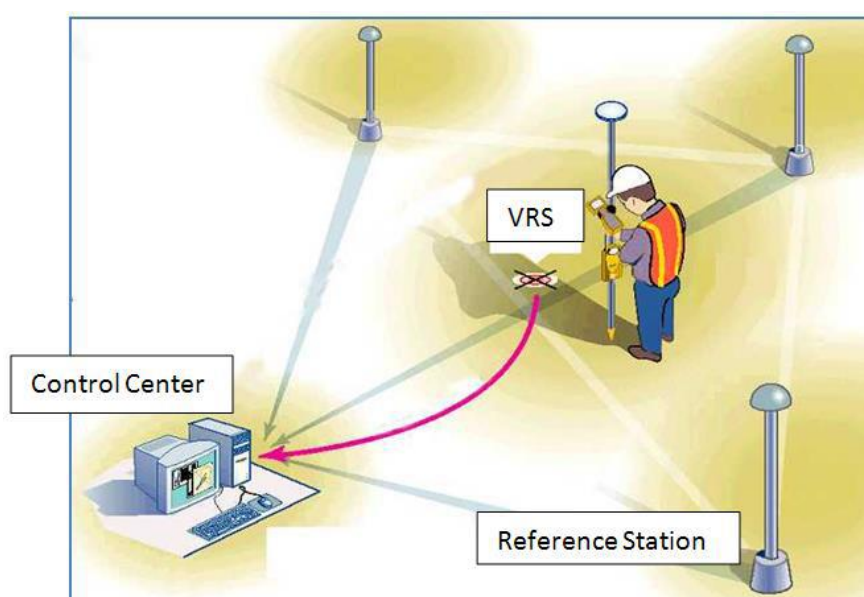
จึงต้องใช้คลื่นวิทยุ, สัญญาณโทรศัพท์ หรือ สัญญาณอินเทอร์เน็ต เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1 – 5 เซนติเมตร โดยที่ระยะระหว่างจุดทางมีระยะไม่เกิน 15 กิโลเมตร

4. ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที

ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มีเทคนิคการรังวัดค่าพิกัดตำแหน่ง 3 ระบบ คือ ระบบที่หนึ่ง ระบบ Flaechen - Korrektur Parameters (FKP) ระบบนี้ค่าปรับแก้ที่ใช้จะได้มาจากสถานีฐานทุกสถานี โดยแต่ละสถานีจะมีการคำนวณค่าปรับแก้ในรูปแบบของพารามิเตอร์ที่เป็นระนาบเอียง ซึ่งสถานีผู้ใช้งานจะสามารถเลือกรับค่าพารามิเตอร์ใดก็ได้ค่าเดียวมาใช้ปรับแก้ค่าพิกัดตำแหน่งสำหรับสถานีผู้ใช้งานเอง ระบบที่สอง ระบบ Master-Auxiliary Concept (MAC) ระบบนี้จะนำค่าปรับแก้จากสถานีฐานหลัก (Master Reference Station) และค่าที่แตกต่างของค่าปรับแก้ระหว่างสถานีฐานรอง (Auxiliary Reference Station) กับสถานีฐานหลักหลายๆ สถานี มาปรับแก้ค่าพิกัดตำแหน่งแก่สถานีผู้ใช้งานและระบบที่สาม ระบบอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station: VRS) ระบบนี้ สถานีผู้ใช้งานจะส่งค่าพิกัดตำแหน่งโดยประมาณของตัวเองไปยังศูนย์ควบคุม ต่อมาศูนย์ควบคุมจะทำการคำนวณและประมาณค่าปรับแก้จากสถานีฐานทุกสถานีสำหรับตำแหน่งโดยประมาณของสถานีผู้ใช้งาน แล้วจะคำนวณพิกัดตำแหน่งสถานีผู้ใช้งานที่ถูกต้องจากค่าปรับแก้ดังกล่าว ดังนั้นจึงเสมือนว่ามีสถานีอ้างอิงใกล้ๆ กับสถานีผู้ใช้งาน (ธีรทัต เจริญกมลบุญตา, 2552)

ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที เป็นการพัฒนามาจากการรังวัดแบบจลน์ในทันที เนื่องจากข้อจำกัดของวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที ที่ความถูกต้องทางตำแหน่งและความน่าเชื่อถือของค่าพิกัด จะมีค่าลดลงเมื่อระยะระหว่างสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของประเทศไทย ใช้หลักการของสถานีอ้างอิงเสมือน ประกอบด้วยสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรอย่างน้อย 3 สถานี มีระยะห่างระหว่างสถานี ประมาณ 50 ถึง 70 กิโลเมตร และมีการเชื่อมต่อการส่งผ่านข้อมูลดาวเทียมผ่านทางระบบการสื่อสาร จากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร กับสถานีควบคุมหลักอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ที่สถานีควบคุมหลักจะใช้ระบบคอมพิวเตอร์รวบรวมข้อมูลจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรทุกสถานี จากนั้นจะสร้างฐานข้อมูล เพื่อทำการปรับแก้เครือข่ายและค่าความคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ เมื่อใช้งานทำการรับสัญญาณดาวเทียมที่ตำแหน่งใด และเชื่อมต่อกับระบบเพื่อขอค่าปรับแก้ของพิกัดตำแหน่งนั้นผ่านระบบสื่อสาร GSM/GPRS/EDGE/3G

จากนั้นสถานีควบคุมหลักจะสร้างแบบจำลองของสถานีอ้างอิงเสมือนสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรทุกสถานีในระบบเครือข่าย ซึ่งสถานีอ้างอิงเสมือนนี้จะอยู่ในบริเวณตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณที่ผู้ใช้งานขอค่าปรับแก้ และทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับสถานีอ้างอิงเสมือน ส่งผลให้ค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้มีความถูกต้องสูง เนื่องจากมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศและระยะห่างระหว่างผู้ใช้งานและสถานีอ้างอิงเสมือนอยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน (ภาพประกอบ 6)



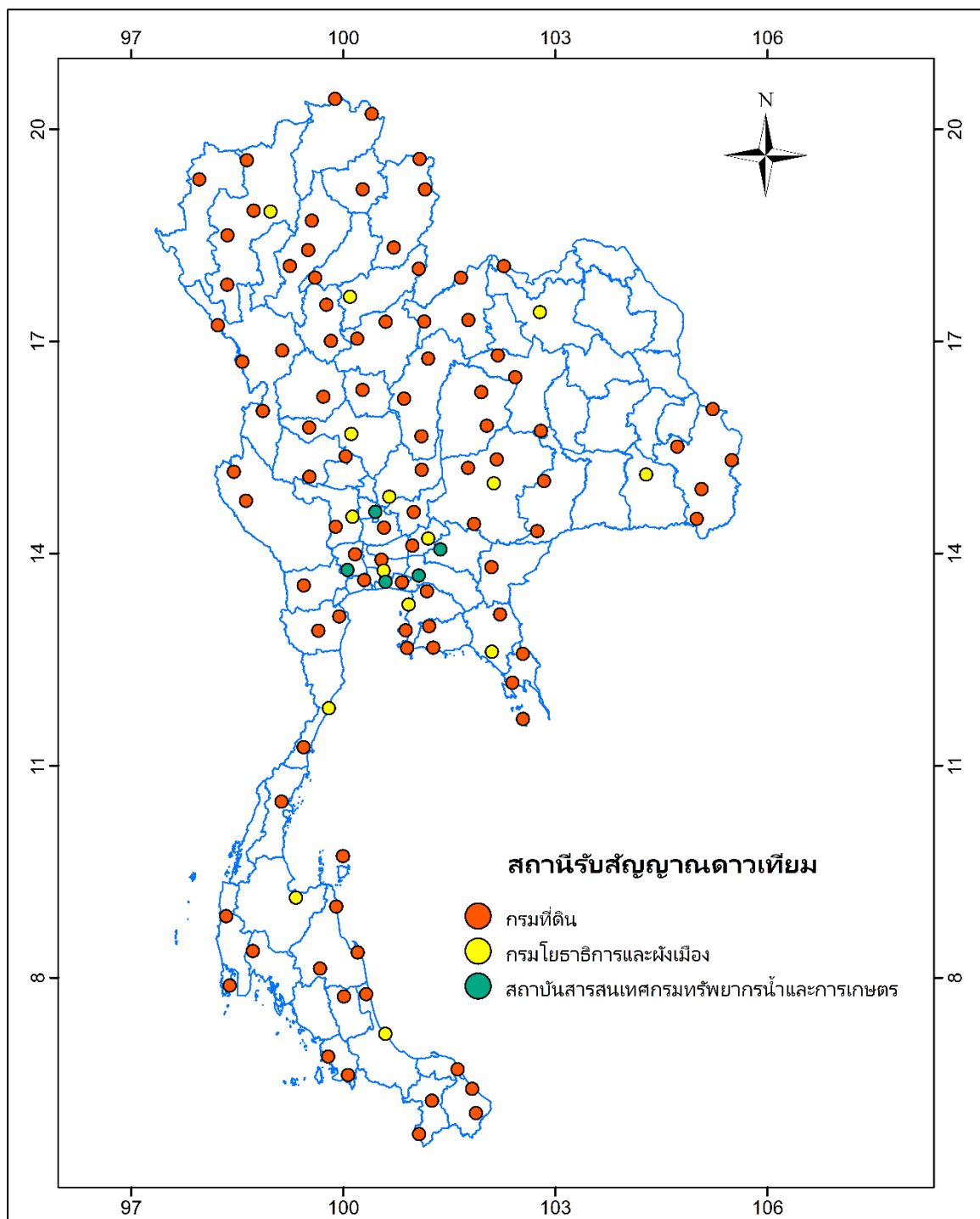
ภาพประกอบ 6 แสดงหลักการของสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station)

ที่มา: (สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่, 2558). คู่มือปฏิบัติงานระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย.

ประเทศไทยจะมีการใช้เพียงรูปแบบเดียวคือ สถานีอ้างอิงเสมือน ซึ่งหลายหน่วยงานได้ให้ความร่วมมือจัดทำระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของประเทศไทย (Thailand RTK GNSS Network) ประกอบด้วย 4 หน่วยงาน คือ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร (สสนก.) มีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร จำนวน 6 สถานี, กรมโยธาธิการและผังเมือง มีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรจำนวน 15 สถานี, กรมที่ดิน มีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรจำนวน 91 สถานี ซึ่งกำลังดำเนินการสร้างให้แล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2561

อีก 30 สถานี และกรมแผนที่ทหาร ซึ่งกำลังดำเนินการสร้างอยู่ จำนวน 80 สถานี รวมทั้งสิ้น 222 สถานี ครอบคลุมพื้นที่ประเทศไทยทั่วประเทศ

การพิจารณาเลือกใช้ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที เนื่องจาก ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของแต่ละหน่วยงานยังไม่รวมเป็นระบบเดียว จึงต้องพิจารณาเลือกใช้ ซึ่งระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของกรมโยธาธิการและผังเมือง มีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรจำนวนน้อยและกระจายตัวอยู่ทั่วประเทศ (ภาพประกอบ 7) จึงไม่เหมาะสมต่อการนำมาวิจัย ส่วนสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรของกรมแผนที่ทหาร กำลังเริ่มก่อสร้างจึงยังไม่เปิดให้ใช้ระบบ ต่อมาระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร มีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร 6 สถานีครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล มีระยะทางจากสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรถึงพื้นที่ศึกษา ระยะใกล้ที่สุด 35.62 กิโลเมตร และ ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของกรมที่ดิน มีจำนวนสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรครอบคลุมทั้งประเทศมี สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรที่มีระยะห่างจากพื้นที่ศึกษาที่ใกล้ที่สุด 27.93 กิโลเมตร (ภาพประกอบ 8) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของกรมที่ดิน



ภาพประกอบ 7 แสดงที่ตั้งสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรของประเทศไทย พ.ศ. 2560

5. โปรแกรมปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายทางอากาศ

บริษัทเชิงพาณิชย์จำนวนหนึ่งพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์เสริมบางส่วน เพื่อใช้การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายทางอากาศโดยเฉพาะ โปรแกรมคอมพิวเตอร์มี ขอบข่ายสามารถทำงานตอบสนองต่อความต้องการในกระบวนการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของ ภาพถ่ายครอบคลุมทั้งหมด ซึ่งมีกระบวนการที่สำคัญได้แก่ การจัดวางภาพภายใน, การรังวัดพิกัด ภาพ, การรังวัด, งานคำนวณย้ายสามเหลี่ยมทางอากาศ, การวัดแบบจำลองระดับสูงพร้อม เครื่องมือตรวจสอบข้อผิดพลาดและแก้ไข, การผลิตภาพถ่ายออร์โธและการรวมภาพถ่ายออร์โธที่มี ค่าพิกัดภาคพื้นดินให้เป็นผืนใหญ่ต่อเนื่องเพื่อตัดออกเป็นระวางแผนที่ดิจิทัล ในระบบที่มีขีด ความสามารถสูงก็จะสามารถวัดพิกัดภาพได้อย่างอัตโนมัติทั้งบนภาพเดี่ยวและภาพคู่สามมิติ แต่ อย่างไรก็ดีตามต้องอาศัยสายตาผู้ปฏิบัติงานในการตรวจสอบผลลัพธ์และแก้ไขข้อผิดพลาด บางส่วนที่ยังปรากฏหรืออยู่บนแบบจำลองสามมิติที่ได้จากการรังวัดอัตโนมัติ โปรแกรม

คอมพิวเตอร์ที่มีใช้อยู่ทั่วไป คือ Z/I Imaging, Leica/Helava, Virtuozo, Inpho/Stuttgart, Internaitonal System Map หรือ ISM, ERDAS IMAGINE, PCI Geomatics ตั้งแต่รุ่น 8.0 ขึ้นไป, DAT/EM, E-FOTO Project โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการศึกษาวิจัยด้านการสำรวจจริงวัดด้วยภาพ โดย Department of Cartographic Engineering Military Institute of Engineering Brazil (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555)

สำหรับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE เป็นโปรแกรมทางด้านระบบสัมผัสระยะไกล ที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งภาครัฐ, ภาคเอกชนและตามสถานศึกษาที่ให้ความรู้ด้านภูมิสารสนเทศ นำไปใช้เป็นโปรแกรมสำหรับจัดทำคู่มือการสอน หรือโปรแกรมสำหรับงานวิจัยของราชการต่างๆ เช่น การจัดทำคู่มือในการปฏิบัติงานด้านการอ่าน แปลตีความภาพถ่ายทางอากาศของคณะกรรมการอ่านภาพถ่ายทางอากาศ (สำนักแก้ไขปัญหามลพิษทางดินของรัฐ, 2556) หรือ โครงการศึกษาและประเมินความถูกต้อง สำหรับงานสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสี่เชิงเลขจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสี่เชิงเลขภาคเหนือ (สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่, 2555) เป็นต้น

6. มาตรฐานความถูกต้องทางแผนที่และการประเมินความถูกต้อง

1. มาตรฐานสำหรับข้อมูลเชิงพื้นที่ (National Standard for Spatial Data Accuracy: NSSDA) เป็นมาตรฐานที่คณะกรรมการข้อมูลภูมิศาสตร์รัฐบาลกลางประเทศสหรัฐอเมริกา (Federal Geographic Data Committee: FGDC) กำหนดขึ้นให้เป็นมาตรฐานแห่งชาติที่เกี่ยวกับความถูกต้องของข้อมูลที่มีการอ้างอิงทางตำแหน่งบนผิวโลก มีวัตถุประสงค์ในการกำหนดวิธีการทางสถิติ และวิธีการทดสอบสำหรับการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดบนแผนที่และในฐานข้อมูลการอ้างอิงทางตำแหน่งบนผิวโลกในรูปแบบดิจิทัล ทั้งแบบราสเตอร์และเวกเตอร์ ซึ่งมาตรฐานนี้ไม่ได้กำหนดเกณฑ์ความถูกต้องขั้นต่ำ มาตรฐาน NSSDA นี้ใช้ค่า Root Mean Square Error (RMSE) เป็นค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ระหว่างค่าพิกัดของชุดข้อมูลที่ต้องการตรวจสอบ กับค่าพิกัดของชุดข้อมูลที่มีความละเอียดถูกต้องสูงกว่า ณ จุดเดียวกัน ในการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และแสดงเป็นค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

งานวิจัยนี้ใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบของจุดตรวจสอบของภาพถ่ายออร์โธ ที่ผ่านกระบวนการการปรับแก้แล้วทั้งสองภาพ กับค่าพิกัดของจุดเดียวกันจากการรังวัดในสนามด้วย

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ด้วยวิธีรังวัดแบบสถิติที่ปรับแก้กับหมวดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหาร กำหนดจุดตรวจสอบจำนวน 23 จุด

ตามมาตรฐานของ NSSDA ค่าความถูกต้องทางราบจะใช้ค่าสถิติของความถูกต้องเชิงตำแหน่งดังนี้

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum (X_{data,i} - X_{check,i})^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum (Y_{data,i} - Y_{check,i})^2}{n}} \quad (4)$$

เมื่อ	$RMSE_x$	=	Root Mean Square Error ทางแกน x
	$RMSE_y$	=	Root Mean Square Error ทางแกน y
	$X_{data,i}, Y_{data,i}$	=	ค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ในชุดข้อมูล
	$X_{check,i}, Y_{check,i}$	=	ค่าพิกัดของจุดทดสอบที่ i ที่ใช้เป็นค่าอ้างอิงที่ได้จากการรังวัดในสนาม
	N	=	จำนวนจุดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด
	i	=	จุดทดสอบเริ่มจาก 1 ถึง n

ความคลาดเคลื่อนทางราบของจุดที่ i แสดงในสมการ (5)

$$\sqrt{[(X_{data,i} - X_{check,i})^2 + (Y_{data,i} - Y_{check,i})^2]} \quad (5)$$

เมื่อ $RMSE_r$ ทางราบ แสดงในสมการ (6) และ (7)

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum ((X_{data,i} - X_{check,i})^2 + (Y_{data,i} - Y_{check,i})^2)}{n}} \quad (6)$$

$$RMSE_r = \sqrt{[RMSE_x^2 + RMSE_y^2]} \quad (7)$$

สำหรับการคำนวณความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถคำนวณได้จาก ดังสมการ (8)

$$Accuracy_r = 1.7308 * RMSE_r \quad (8)$$

การกำหนดจุดตรวจสอบ ตามมาตรฐานของ NSSDA ที่กำหนดไว้ว่า จุดตรวจสอบต้องเป็นจุดในภูมิประเทศ ที่สามารถเห็นเด่นชัดทั้งในภูมิประเทศและบนภาพถ่ายออร์โธ โดยที่จุดตรวจสอบจะต้องมีจำนวนไม่น้อยกว่า 20 จุด เมื่อแบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 ส่วน ในแต่ละส่วนจะต้องมีจุดตรวจสอบ จำนวนไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของจำนวนจุดตรวจสอบทั้งหมด และแต่ละจุดตรวจสอบจะต้องมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ มีระยะห่างระหว่างจุดตรวจสอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของระยะตามความยาวของเส้นทแยงมุมของพื้นที่ศึกษา การวิจัยครั้งนี้กำหนดจุดตรวจสอบไว้ที่ 23 จุด เมื่อแบ่งออกเป็นสี่ส่วนแล้ว ในแต่ละส่วนมีจุดตรวจสอบกระจายตัวอย่างอยู่ 5 - 6 จุด

2. มาตรฐานความถูกต้องของ สมาคมโฟโตแกรมเมตรีและการรับรู้จากระยะไกลแห่งอเมริกา (American Society of Photogrammetry and Remote Sensing: ASPRS) จะประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบทั้งแนวแกน x และแกน y โดยความถูกต้องเชิงตำแหน่งจะเป็นการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ที่มีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ (ตาราง 2)

จากตารางที่ 2 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของค่าความคลาดเคลื่อนทางราบกับมาตราส่วนแผนที่ที่สามารถสร้างหรือปรับปรุงได้ ยกตัวอย่างเช่น ถ้าค่า $RMSE_r$ เท่ากับ 100 ซม. ตามมาตรฐานของ ASPRS กำหนดให้อยู่ในชั้นความถูกต้องทางราบที่ 75 ซม. สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:3000 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:1500 ในงานชั้นที่ 2 โดยที่กำหนดให้ความถูกต้องทางราบที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกิน 183.6 ซม.และ ประมาณการค่าความละเอียดจุดภาพของภาพต้นฉบับอยู่ในช่วง 37.5 – 75 ซม

ตาราง 2 ความถูกต้องในแนวราบและตัวอย่างข้อมูลดิจิทัลที่มีคุณภาพความถูกต้องสูงกับข้อมูลแผนที่แนวราบ

RMSE _y (ชม.)	ค่าความคลาดเคลื่อน	ความถูกต้องทางราบที่	ประมาณการค่า	เทียบกับมาตรฐาน	เทียบกับมาตรฐาน
20	28.3	49	10 - 20	1:800	1:400
22.5	31.8	55.1	11.3 - 22.5	1:900	1:450
25	35.4	61.2	12 - 25	1:1,000	1:500
27.5	38.9	67.3	13.8 - 27.5	1:1,100	1:550
30	42.4	73.4	15 - 30	1:1,200	1:600
45	63.6	110.1	22.5-45	1:1,800	1:900
60	84.9	146.9	30 - 60	1:2,400	1:1,200
75	106.1	183.6	37.5 - 75	1:3,000	1:1,500
100	141.4	244.8	50 - 100	1:4,000	1:2,000

ที่มา: (ASPRS, 2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.

มาตรฐานของ ASPRS ได้กำหนดจำนวนจุดตรวจสอบที่จะต้องใช้ในการพื้นที่ศึกษา ตามตารางที่ 3 เช่น พื้นที่ศึกษา 1100 ตร.กม. จะต้องมีจุดตรวจสอบอย่าง 35 จุด ในการวิจัยครั้งนี้พื้นที่ศึกษาครอบคลุม 19.3 ตร.กม. จะต้องมีจุดตรวจสอบอย่างน้อย 20 จุด ซึ่งงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 23 จุดตรวจสอบ (ตาราง 3)

ตาราง 3 จำนวนจุดตรวจสอบขั้นต่ำต่อจำนวนเนื้อที่ของพื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษา (ตร.กม.)	จำนวนจุดตรวจสอบ
น้อยกว่า 500	20
501 - 750	25
751 - 1000	30
1001 - 1250	35
1251 - 1500	40

ที่ ม า : (ASPRS, 2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาการเปรียบเทียบความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิตินั้น มีผู้วิจัยศึกษาระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

(ธนัช สุขวิมลเสรี & โกษา ปรียาพร, 2557) ประเมินความถูกต้องของค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอสด้วยวิธีสถิตินี้อ้างอิงเสมือน และประยุกต์ใช้แบบจำลองภูมิศัณยภาพของพิภพ ค.ศ. 2008 โดยใช้หมุดหลักฐานถาวรจำนวน 10 หมุด บนพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ที่ครอบคลุมพื้นที่ 743,760 ตารางเมตร พบว่า ค่าพิกัดในทางราบให้ความถูกต้องระดับ 10 เซนติเมตรและค่าพิกัดในทางตั้งให้ความถูกต้องระดับ 30 เซนติเมตร ส่วนค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลต่างของค่าพิกัดในสามมิติ จะมีค่าโดยประมาณที่ 4 เซนติเมตร

(ธีรทัต เจริญกาลัญญูตา, 2552) ทดสอบประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส ระบบเครือข่ายแบบจลน์ในทันทีมาใช้งาน โดยเป็นระบบสถานีอ้างอิงเสมือนของกรมที่ดิน ซึ่งมีการติดตั้งสถานีฐานถาวรเพื่อรับสัญญาณดาวเทียม ทั้งหมด 9 สถานี ตั้งอยู่ในพื้นที่บางส่วนของจังหวัดสมุทรปราการ ชลบุรี ระยอง นครนายก นครปฐม สมุทรสาคร และจังหวัดนนทบุรี ครอบคลุมเนื้อที่ประมาณ 11,014 ตารางกิโลเมตร โดยทดสอบจริงในสภาพพื้นที่จริง ผลการศึกษาเบื้องต้นที่ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าพิกัดในทางราบอยู่ในระดับ 1 ถึง 3 เซนติเมตร และค่าพิกัดในทางตั้งอยู่ที่ระดับ 45 เซนติเมตร

(ศรัณยพงศ์ พรหมณ์เสนห์ & ดิศพันธ์์ นาคเสน, 2553) ทดสอบและประเมินความถูกต้องของสถานีรังวัดดาวเทียมแบบถาวรในการให้บริการค่าแก้แบบอัตโนมัติผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ผลจากการทดสอบการให้บริการข้อมูลจากสถานีรังวัดดาวเทียมแบบถาวรอยู่ในระดับที่สามารถนำข้อมูลมาทำแผนที่มาตราส่วนใหญ่ 1:500 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

(ปฏิวัติ สอวงชัย, 2551) ศึกษาการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธครอบคลุมพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีโดยใช้วิธีโฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลขและ DGPS จากภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วน 1:25,000 พบว่าค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการสำรวจจริงวัดด้วย DGPS แบบสถิตอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้ความถูกต้องดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการรังวัดแบบจลน์และการวัดแบบจลน์ที่มีการย้อนกลับ และเปรียบเทียบข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติและการจับคู่ภาพด้วยมือ ซึ่งแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพแบบอัตโนมัติที่มีการเลือกจับคู่ภายในระยะห่าง 5 เมตร ให้ค่าผิดพลาดเฉลี่ยต่ำที่สุด 0.504 เมตร และข้อมูลแบบจำลองความสูงเชิงเลขที่ได้จากการจับคู่ภาพด้วยมือสามารถแสดงพื้นผิวจริงของภูมิประเทศได้ดีที่สุดและมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 0.781 เมตร.

(ชนาธิป บุณนาค, 2557) ศึกษาการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมและกล้องประมวลผลรวม และทำการศึกษาที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ และโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ ได้ค่าพิกัดจำนวน 1,521 จุด และนำค่าพิกัดที่ได้มาแสดงผลเป็น เส้นชั้นความสูงสามมิติ (Contour Line), แบบจำลองความสูงเชิงตัวเลข (Digital Elevation Models), แบบจำลองโครงข่ายสามเหลี่ยม (Triangulated Irregular Network) และแผนที่สามมิติ (Topographic Map) เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับหมุดอ้างอิงปี พ.ศ.2546 และปี พ.ศ.2556 จะมีความแม่นยำอยู่ในช่วง 0.032 - 0.070 เมตร.

เคน ไวท์เฮด; และ คริส โฮเกินฮอลท์ (Whitehead Ken & Hugenholtz Chris H, 2015) ศึกษามาตรฐานการประเมินความถูกต้องของ สมมาตรภาพถ่ายและการรับรู้ระยะไกลของอเมริกา สำหรับการถ่ายภาพด้วยระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก (Small Unmanned Aircraft Systems: UAS) ใช้วิธีการเปรียบเทียบ มาตรฐานความถูกต้องสำหรับแผนที่ขนาดใหญ่ (ASPRS, 1990) กับ มาตรฐานใหม่ที่เหมาะสมกับการทำแผนที่จากภาพดิจิทัล (ASPRS, 2015) ด้วยข้อมูลจากระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก กำหนดพื้นที่ศึกษา 2 แห่ง คือเมือง Kananaskis ทางใต้ของประเทศ Alberta และแม่น้ำ Sunwapta ในสวนสาธารณะ Jasper National ประเทศ Alberta โดยใช้ข้อมูลเชิงพาณิชย์ของ UAS, โปรแกรมประยุกต์โฟโตแกรมเมตรี, จุดควบคุมภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ ซึ่งค่า RMSE ของเมือง Kananaskis ได้ $RMSE_x$ เท่ากับ 0.04 เมตร, $RMSE_y$ เท่ากับ 0.03 เมตร คำนวณค่า $RMSE_r$ ได้เท่ากับ 0.05 เมตร และ $RMSE_z$ เท่ากับ 0.06 เมตร สำหรับแม่น้ำ Sunwapta ได้ $RMSE_x$ เท่ากับ 0.06 เมตร, $RMSE_y$ เท่ากับ 0.06 เมตร คำนวณค่า $RMSE_r$ ได้เท่ากับ 0.08 เมตร และ $RMSE_z$ เท่ากับ 0.03 เมตร

(สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่, 2555) ศึกษาและประเมินค่าความถูกต้องทางตำแหน่งของแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข มาตรฐาน 1 : 4,000 ที่กรมที่ดินจัดสร้างขึ้น โดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ มาตรฐาน 1 : 40,000 ค่าความละเอียดของจุดภาพ เท่ากับ 0.48 เมตร ครอบคลุมพื้นที่ภาคเหนือจำนวน 15 จังหวัด มาประเมินและทดสอบความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข พบว่า หมดตรวจสอบในสนามจำนวน 100 หมด โดยใช้มาตรฐานความถูกต้องตาม NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 มีค่า RMSE ทางราบ เท่ากับ 0.992 เมตรและ ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งเท่ากับ 1.717 เมตร เมื่อมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ความละเอียดถูกต้องทางราบตามมาตรฐาน ASPRS จึงสรุปได้ว่า สามารถนำมาสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่มีความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์ 1 เมตร หรือสามารถนำมาสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ มาตรฐาน 1 : 4,000 ได้ โดยอยู่ในเกณฑ์ขั้นที่ 1 ตามมาตรฐาน ASPRS

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ จะดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดพื้นที่ศึกษา
2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
3. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
4. การรังวัดจุดควบคุมสภาพภาคพื้นดิน จุดตรวจสอบและกระบวนการสร้างภาพถ่าย

ออร์โธ

5. ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น

1. กำหนดพื้นที่ศึกษา

ผู้ศึกษาได้กำหนดขอบเขตพื้นที่ศึกษาบริเวณ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ ตั้งอยู่ที่ ตำบลพรหมณี อำเภอบ้านนา ห่างจากตัวจังหวัดประมาณ 14 กิโลเมตร ลักษณะโดยทั่วไปเป็นพื้นที่ราบ ทิศตะวันตกติดกับเขาชะโงกและทิศเหนือติดกับเขาตะแบก มีพื้นที่โดยประมาณ 19,290 ไร่ (ภาพประกอบ 9)

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ จังหวัดนครนายก มีความหลากหลายทางภูมิศาสตร์และความแตกต่างทางความสูง เช่น ภูเขา ที่ราบ สระน้ำ ป่าไม้ เป็นต้น และมีการใช้พื้นที่บริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ เป็นสนามฝึกทดสอบงานสำรวจและทำแผนที่ ภายใต้โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่าง โรงเรียนแผนที่ กรมแผนที่ทหาร กับมหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต (ชัยวัฒน์ พรหมทอง, 2551) และนักเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ หลักสูตรวิศวกรรมสำรวจ ได้ใช้พื้นที่บริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯเป็นสนามฝึกทดสอบงานสำรวจ ทุกปีการศึกษา



ภาพประกอบ 9 พื้นที่ศึกษาบริเวณโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ

2. ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา

1. ภาพถ่ายทางอากาศของกรมแผนที่ทหาร ถ่ายด้วยกล้องถ่ายภาพดิจิทัล รุ่น Leica DMC IIe 140 Airborne Digital Camera ความละเอียดที่ 18 เซนติเมตร
2. ค่าพิกัดตำแหน่งของจุดควบคุมภาคพื้นดิน ได้จากการรังวัดในสนามด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส โดยใช้วิธีการรังวัดแบบสถิติและใช้วิธีการรังวัดในระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ของ กรมที่ดิน
3. จุดตรวจสอบ ทั้งหมด 23 จุด ได้จากการรังวัดในสนามด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ใช้วิธีการรังวัดแบบสถิติพร้อมปรับแก้ค่าพิกัดตำแหน่งจากการประมวลผลหลังจากการรังวัด อ้างอิงกับหมุดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหารที่มีความถูกต้องสูง

3. เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Window 10 ที่สามารถรองรับการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE 2014 ได้
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE 2014 เป็นโปรแกรมทางด้านรีโมทเซนซิง ที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งภาครัฐ, ภาคเอกชนและตามสถานศึกษาที่ใช้ความรู้ด้านภูมิสารสนเทศ ซึ่งในการศึกษาและวิจัยนี้ ผู้ศึกษาได้ใช้โปรแกรมย่อยของ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE 2014 คือ IMAGINE Photogrammetry เพื่อใช้ในการสร้างภาพถ่ายออร์โธ
3. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ของ Trimble รุ่น 5700 R7 เป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ความถูกต้องสูง ประกอบวิทยุแบบภายในไว้ด้วย ใช้งานร่วมกับจานรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Ground plane zephyr geodetic2 ซึ่งช่วยลดคลื่นสะท้อนของข้อมูลทำให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องสูง เพิ่มความสามารถในการทำงานโดยใช้งานได้ทั้งระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับระบบดาวเทียม GLONASS รองรับสัญญาณ L2C และ L5 ช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้ ทำให้รับสัญญาณได้ง่ายขึ้นและรับข้อมูล GPS ได้ในสภาวะการณ์ที่ยากขึ้น และสามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ของกรมที่ดินด้วยสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้ (ภาพประกอบ 10)



ภาพประกอบ 10 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Trimble รุ่น 5700 R7

4. สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรของกรมที่ดิน ประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง จานรับสัญญาณแบบ Choke Ring Antenna เป็นจานที่มีคุณภาพสูงสุดสำหรับใช้งานในสถานีถาวร ซึ่งกรมที่ดินใช้รุ่น C220GR ผลิตจาก Copper alloy สามารถใช้งานได้ในทุกสภาพอากาศ มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 1 มม. และสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ทุกระบบทั้ง GPS, GLONASS, Bei Dou, Galileo, SBAS, WASS, EGNOS และส่วนที่สอง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม รุ่น N72 สามารถบันทึกได้ถึง 440 ช่องสัญญาณ ที่ความถี่ 50 Hz ความจุภายใน 32 GB และส่งออกข้อมูลผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา ที่ระดับความแม่นยำทางราบที่ 3 mm + 0.1 ppm และทางดิ่ง 3.5 mm + 0.4 ppm สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรของกรมที่ดิน จะก่อสร้างเป็นสองลักษณะตามพื้นที่ใช้ก่อสร้างคือ ก่อสร้างสถานีถาวรบนพื้นดินถ้ามีพื้นที่เพียงพอและไม่มีสิ่งบดบังสัญญาณดาวเทียม (ภาพประกอบ 11) และสร้างบนอาคารถ้าพื้นที่ไม่เพียงพอต่อการก่อสร้าง (ภาพประกอบ 12)



ภาพประกอบ 11 สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร กรมที่ดิน (ติดตั้งบนพื้นดิน)

ที่มา: (CHC Navtech Thailand, 2561). CORS Pictures Thailand RTK Network.

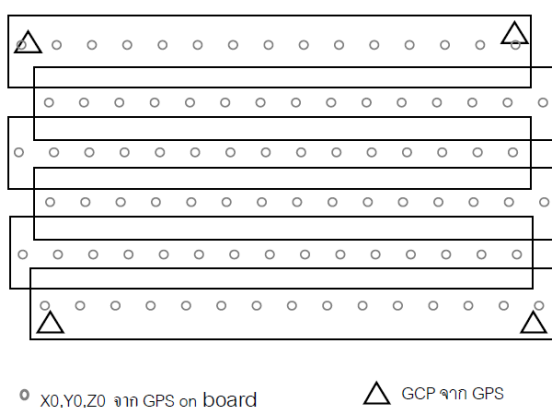


ภาพประกอบ 12 สถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวร สำนักงานกรมที่ดิน จังหวัดเพชรบูรณ์
(ติดตั้งบนอาคาร)

ที่มา: (CHC Navtech Thailand, 2561). CORS Pictures Thailand RTK Network.

4. การรังวัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน, จุดตรวจสอบและกระบวนการสร้างภาพถ่ายออร์โธ

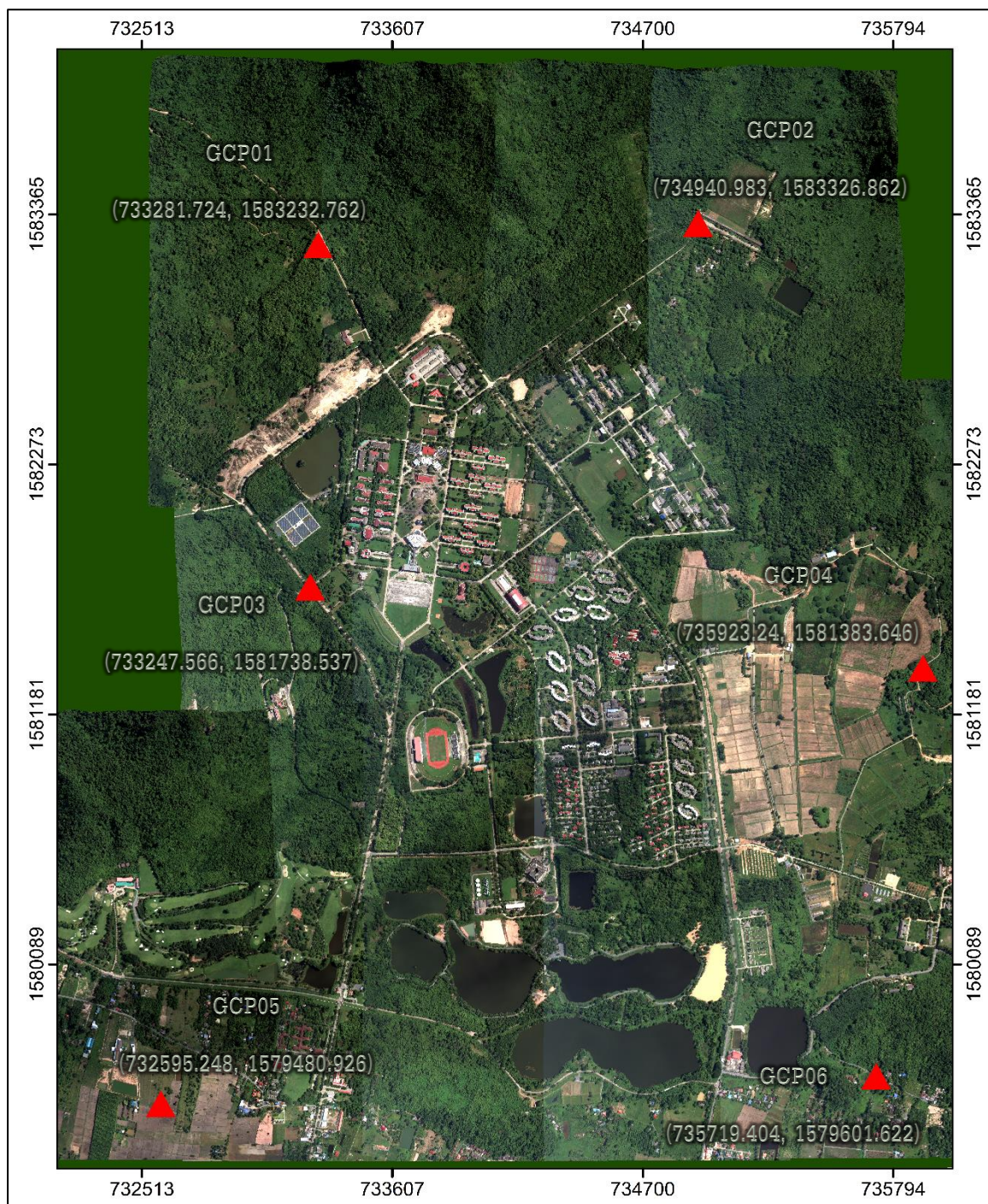
4.1 กำหนดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ในการกำหนดจุดนั้น เนื่องจากการถ่ายภาพทางอากาศของกรมแผนที่ทหารจะมีการใช้เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสเพื่อใช้หาพิกัดของจุดเปิดถ่ายขณะที่บินถ่ายภาพ ค่าพิกัดของจุดเปิดถ่ายภาพที่รังวัดด้วยจีพีเอสนำมาคำนวณปรับแก้เข้ากับระบบสมการ ทำให้การคำนวณปรับแก้ที่ได้มีความเชื่อถือสูง เสมือนว่ามีจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินบนอากาศกำกับภาพถ่ายทุกรูป ทำให้สามารถลดจำนวนจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน (ภาพประกอบ 13) เนื่องจากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขที่ใช้มี 3 แนว ผู้วิจัยจึงกำหนดบริเวณขอบแนวบินทางซ้ายและทางขวา จึงกำหนดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินเป็น 6 จุด (ภาพประกอบ 14)



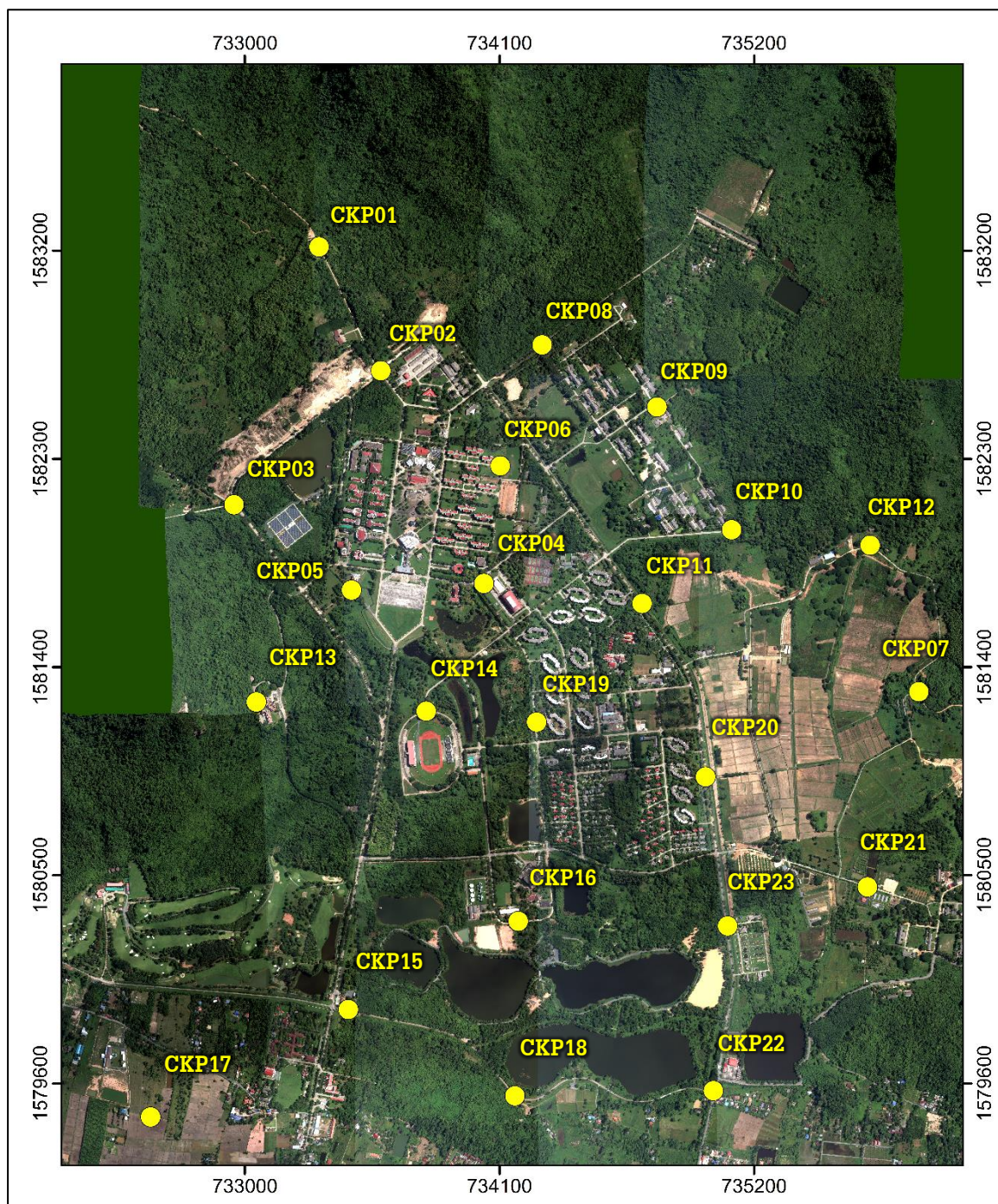
ภาพประกอบ 13 ตำแหน่งและจำนวนจุดบังคับภาพถ่ายทางอากาศ

ที่มา: (ไพศาล สันติธรรมนนท์, 2555). การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่ายดิจิทัล (Digital Photogrammetry).

4.2. กำหนดจุดตรวจสอบ จำนวน 23 จุด โดยที่ไม่ซ้ำกับจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ซึ่งจะใช้ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างโดยไม่ใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน เพื่อใช้สำหรับกำหนดจุดตรวจสอบที่เด่นชัดในภาพ และสามารถเข้าถึงได้ง่ายในภูมิประเทศ (ภาพประกอบ 15)



ภาพประกอบ 14 แสดงที่ตั้งจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินจำนวน 6 จุด



ภาพประกอบ 15 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบจำนวน 23 จุด

4.3. รังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบ

4.3.1. สํารวจรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ใช้วิธีรังวัดแบบสถิต ด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ใช้เวลาในการสํารวจรังวัดจุดละ 30 นาที และทำการประมวลผลปรับแก้ค่าพิกัดจากการรังวัด โดยอ้างอิงกับหมุดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหาร

4.3.2 สํารวจรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งจุดควบคุมภาพภาคพื้นดิน ใช้วิธีรังวัดในระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่ของกรมที่ดินด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เชื่อมต่อกับศูนย์ควบคุมหลักโดยใช้สัญญาณอินเทอร์เน็ต ใช้เวลาประมาณ 3 นาที แต่ละจุดและบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้

4.3.3. สํารวจรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งจุดตรวจสอบ ทั้ง 23 จุด ใช้วิธีรังวัดแบบสถิตด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ใช้เวลาในการสํารวจรังวัดจุดละ 30 นาที และทำการประมวลผลปรับแก้ค่าพิกัดจากการรังวัด โดยอ้างอิงกับหมุดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหาร

4.4. สร้างภาพถ่ายออร์โธ จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขของกรมแผนที่ทหาร ด้วยวิธีโฟโตแกรมเมตรี โดยใช้โปรแกรมย่อย IMAGINE Photogrammetry ของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE 2014 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

4.4.1. ขั้นตอนนำเข้าข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข และทำการคำนวณชั้นข้อมูล (compute pyramid layers) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประมวลผล

4.4.2. ขั้นตอนการกำหนดค่ากล้อง ประกอบด้วย ชื่อของกล้อง (Camera Name), ค่าความยาวโฟกัสของกล้อง (Focal length), ค่าความสูงบิน, ความละเอียดของจุดภาพและค่า Len distortion ซึ่งเป็นข้อมูลทางเทคนิคของกล้องแต่ละชนิดที่ใช้ในการถ่ายภาพ

4.4.3. ขั้นตอนการจัดภาพภายใน เป็นการกำหนดข้อมูลการวางตัวของกล้อง

4.4.4. ขั้นตอนการจัดภาพภายนอก เป็นการกำหนดข้อมูลการวางตัวของกล้อง ประกอบด้วย ค่าพิกัดจุดเปิดถ่าย (X, Y, Z) และ ค่ามุมเอียงทั้ง 3 แกน (Omega, Phi, Kappa) หรือกล่าวคือเป็นการใส่ค่าการวางตัวในระบบภูมิศาสตร์

4.4.5. ขั้นตอนการจัดวางภาพแบบสัมผัส ด้วยการสร้างแบบจำลองสามมิติในอากาศที่ยังไม่ต้องโยงยึดกับพื้นดิน เพื่อหาความสัมพันธ์ของภาพถ่ายทางอากาศ

4.4.6. ขั้นตอนการจัดวางภาพแบบสัมผัส ทำการป้อนค่าพิกัดตำแหน่งและค่าระดับความสูงที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส และค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้จากระบบ

เครื่องถ่ายภาพรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ลงในโปรแกรมเพื่อนำมาควบคุมงานถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

4.4.7. ทำการคำนวณและปรับแก้โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) เป็นการขยายจุดควบคุมควบคุมภาพถ่ายด้วยวิธีถ่ายสามเหลี่ยม นำจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินมาคำนวณเพื่อทำการจัดวางแบบจำลองของบล็อกในอากาศให้สัมพันธ์กับระบบพิกัดภาคพื้นดิน

4.4.8. สร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลข พร้อมทั้งปรับแก้ภาพและประมวลผลออกมาเป็นภาพถ่ายออร์โธที่ปรับแก้ค่าพิกัดตำแหน่งเรียบร้อยแล้ว

5. ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น

ทำการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง จากค่าพิกัดของจุดตรวจสอบและค่าพิกัดของภาพถ่ายออร์โธที่จุดเดียวกันทั้งสองภาพ ซึ่งจะได้ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ และค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ตามมาตรฐานของ NSSDA จากนั้นนำค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ มาจัดคลาสตามมาตรฐานของ ASPRS เพื่อหาความสัมพันธ์มาตราส่วนแผนที่ที่สามารถสร้างได้ และเปรียบเทียบกันระหว่างการสร้างภาพถ่ายออร์โธจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีรังวัดแบบสถิติและการสร้างภาพถ่ายออร์โธจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยระบบเครื่องถ่ายภาพรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที เพื่อวิเคราะห์ว่าภาพถ่ายออร์โธจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินวิธีการรังวัดด้วยระบบเครื่องถ่ายภาพรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สามารถนำมาทดแทนการสร้างภาพถ่ายออร์โธจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีรังวัดแบบสถิติ ได้หรือไม่ หรือสามารถทดแทนได้ที่มาตราส่วนเท่าไร

ตัวอย่างการคำนวณ กำหนดให้มีจุดตรวจสอบ 2 จุดคือ EXCKP01 และ EXCKP02 เมื่อได้ค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธคือ EXCKP01 (ค่า X_{11} , Y_{11} = 733,300.502, 1,500,400.655), EXCKP02 (ค่า X_{12} , Y_{12} = 733,430.853, 1,500,350.754) และค่าพิกัดจุดตรวจสอบที่ได้มาจากการรังวัดในภูมิประเทศคือ EXCKP01 (ค่า X_{21} , Y_{21} = 733,300.498, 1,500,400.661), EXCKP02 (ค่า X_{22} , Y_{22} = 733,430.862, 1,500,350.747) ดังนั้น ตามสมการหาค่าความคลาดเคลื่อนของจุด EXCKP01 คือ

$$RMSE_{EXCKP01} = \sqrt{[(X_{11} - X_{21})^2 + (Y_{11} - Y_{21})^2]} \quad (9)$$

ได้ค่าความคลาดเคลื่อนของจุด EXCKP01 เท่ากับ 0.007 เมตร จากนั้นหาค่าความคลาดเคลื่อนของจุด EXCKP02 ตามสมการหาค่าความคลาดเคลื่อนของจุด EXCKP02 คือ

$$RMSE_{EXCKP02} = \sqrt{[(X_{12} - X_{22})^2 + (Y_{12} - Y_{22})^2]} \quad (10)$$

ได้ค่าความคลาดเคลื่อนที่ของจุด EXCKP02 เท่ากับ 0.011 เมตร ขั้นตอนต่อไปจะหาค่าความคลาดเคลื่อนทางราบของภาพถ่ายออร์โธ โดยใช้สมการ

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{RMSE_{EXCKP01} + RMSE_{EXCKP02}}{2}} \quad (11)$$

ได้ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบของภาพถ่ายออร์โธ เท่ากับ 0.095 เมตร ขั้นตอนต่อไปจะหาค่าความ ถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$Accuracy_r = 1.7308 * RMSE_r \quad (12)$$

ซึ่งจะได้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐาน NSSDA ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.164 เมตร

บทที่ 4

ผลการดำเนินการและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการดำเนินการและวิเคราะห์ข้อมูล การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิติ จะแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อหลักๆ ดังนี้

ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในภูมิประเทศ

การสร้างภาพถ่ายออร์โธ จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขด้วยวิธีโฟโตแกรมเมตรี

การรังวัดค่าพิกัดของจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น

ประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางราบของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น

1. ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินและจุดตรวจสอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสในพื้นที่ศึกษา

1.1 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิติ ผ่านกระบวนการปรับค่าพิกัดจากการรังวัดโดยอ้างอิงกับหมุดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งจะได้เป็นค่า ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing), ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting) และค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Elevation) (ตาราง 4) จากนั้นทำข้อมูลให้เรียงลำดับตาม หมายเลขจุด, ค่าพิกัดทางทิศเหนือ, ค่าพิกัดทางทิศตะวันออกและค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ด้วยโปรแกรม Notepad จากนั้นบันทึกออกมาให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์นามสกุล .dat เพื่อที่จะสามารถนำเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGE ได้

1.2 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ซึ่งจะได้เป็น ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing), ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting) และค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Elevation) (ตาราง 5) จากนั้นทำข้อมูลให้เรียงลำดับตาม หมายเลขจุด, ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing), ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting) และค่าความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Elevation) ด้วยโปรแกรม Notepad จากนั้นบันทึกออกมาให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์นามสกุล .dat เพื่อที่จะสามารถนำเข้าโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGE ได้

ตาราง 4 ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากวิธีการรังวัดแบบสถิติ (เมตร)

ชื่อจุด ตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)	ค่าความสูงเหนือ ระดับน้ำทะเล (Elevation)
GCP01	733,281.756	1,583,232.876	36.498
GCP02	734,941.351	1,583,327.572	42.557
GCP03	733,249.229	1,581,735.793	29.117
GCP04	735,922.194	1,581,382.549	23.744
GCP05	732,595.061	1,579,480.397	11.389
GCP06	735,719.013	1,579,602.131	19.499

ตาราง 5 ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพถ่ายภาคพื้นดินที่ได้จากวิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (เมตร)

ชื่อจุด ตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)	ค่าความสูงเหนือ ระดับน้ำทะเล (Elevation)
GCP01	733,281.854	1,583,232.869	36.151
GCP02	734,941.430	1,583,327.573	42.290
GCP03	733,249.290	1,581,735.807	28.900
GCP04	735,922.283	1,581,382.288	23.587
GCP05	732,595.281	1,579,480.548	11.210
GCP06	735,719.076	1,579,602.159	19.181

1.3 ข้อมูลที่ได้จากการสำรวจรังวัดค่าพิกัดจุดตรวจสอบด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิติ ผ่านกระบวนการปรับค่าพิกัดจากการรังวัดโดยอ้างอิงกับหมุดหลักฐานดาวเทียมของกรมแผนที่ทหาร ซึ่งจะได้เป็นค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing) และค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting) (ตาราง 6)

ตาราง 6 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบ (เมตร)

ชื่อจุดตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)
CKP01	733,320.200	1,583,217.655
CKP02	733,585.312	1,582,681.522
CKP03	732,951.886	1,582,102.856
CKP04	734,032.690	1,581,761.182
CKP05	733,461.053	1,581,732.895
CKP06	734,103.206	1,582,269.633
CKP07	735,910.896	1,581,293.906
CKP08	734,283.260	1,582,793.629
CKP09	734,780.051	1,582,524.153
CKP10	735,102.800	1,581,994.104
CKP11	734,713.922	1,581,676.905
CKP12	735,699.305	1,581,926.255
CKP13	733,049.215	1,581,249.246

ตาราง 6 (ต่อ)

ชื่อจุดตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)
CKP14	733,783.951	1,581,209.451
CKP15	733,447.025	1,579,919.848
CKP16	734,181.401	1,580,301.387
CKP17	732,592.452	1,579,455.474
CKP18	734,165.467	1,579,547.300
CKP19	734,259.500	1,581,162.514
CKP20	734,990.276	1,580,926.261
CKP21	735,689.441	1,580,450.317
CKP22	735,024.701	1,579,568.008
CKP23	735,084.992	1,580,281.883

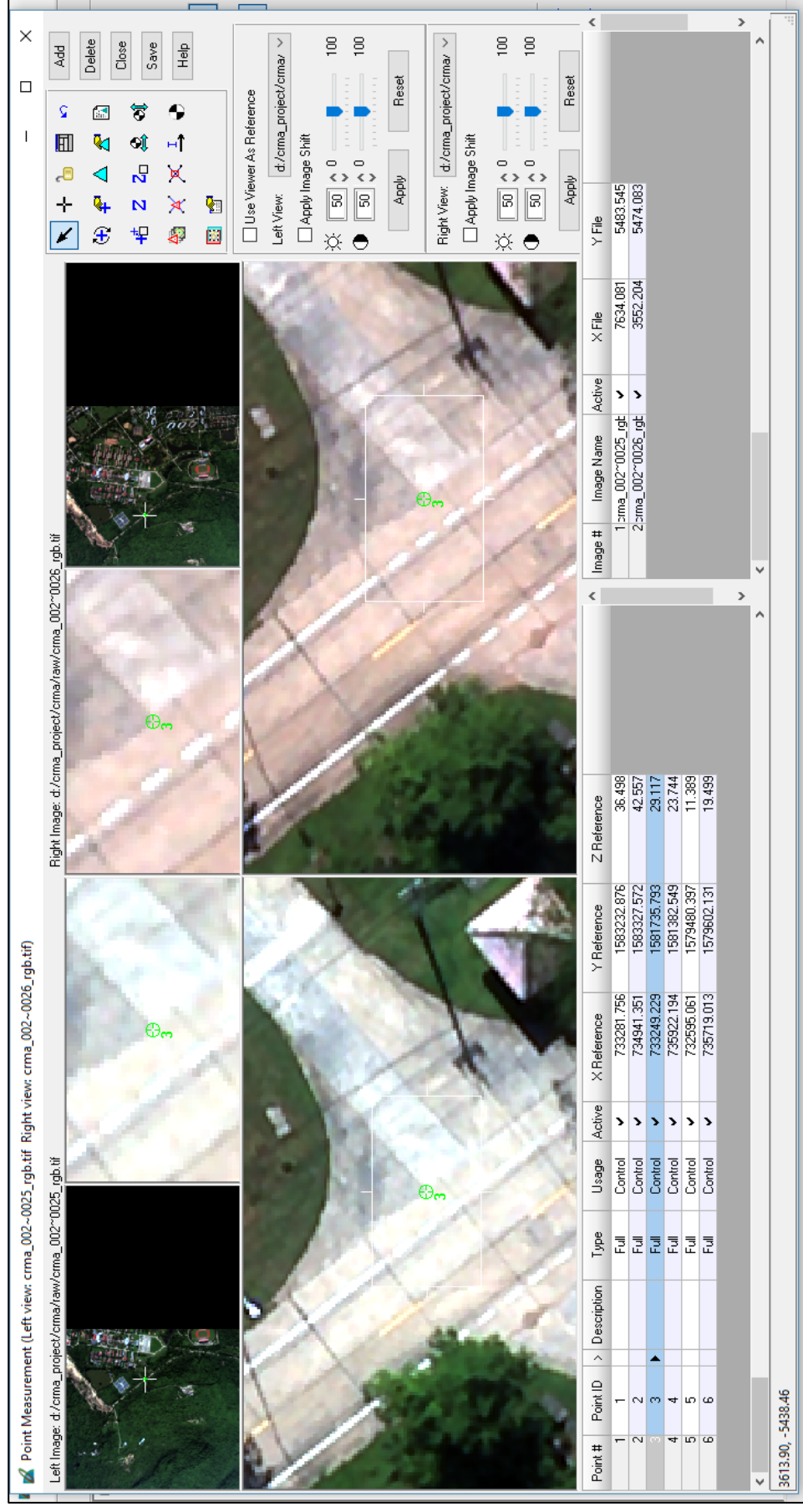
2. ขั้นตอนการสร้างภาพถ่ายออร์โธ จากภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขด้วยวิธีโฟโตแกรมเมตรี

2.1 การสร้างภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิติ ด้วยโปรแกรม IMAGINE Photogrammetry ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อยของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE

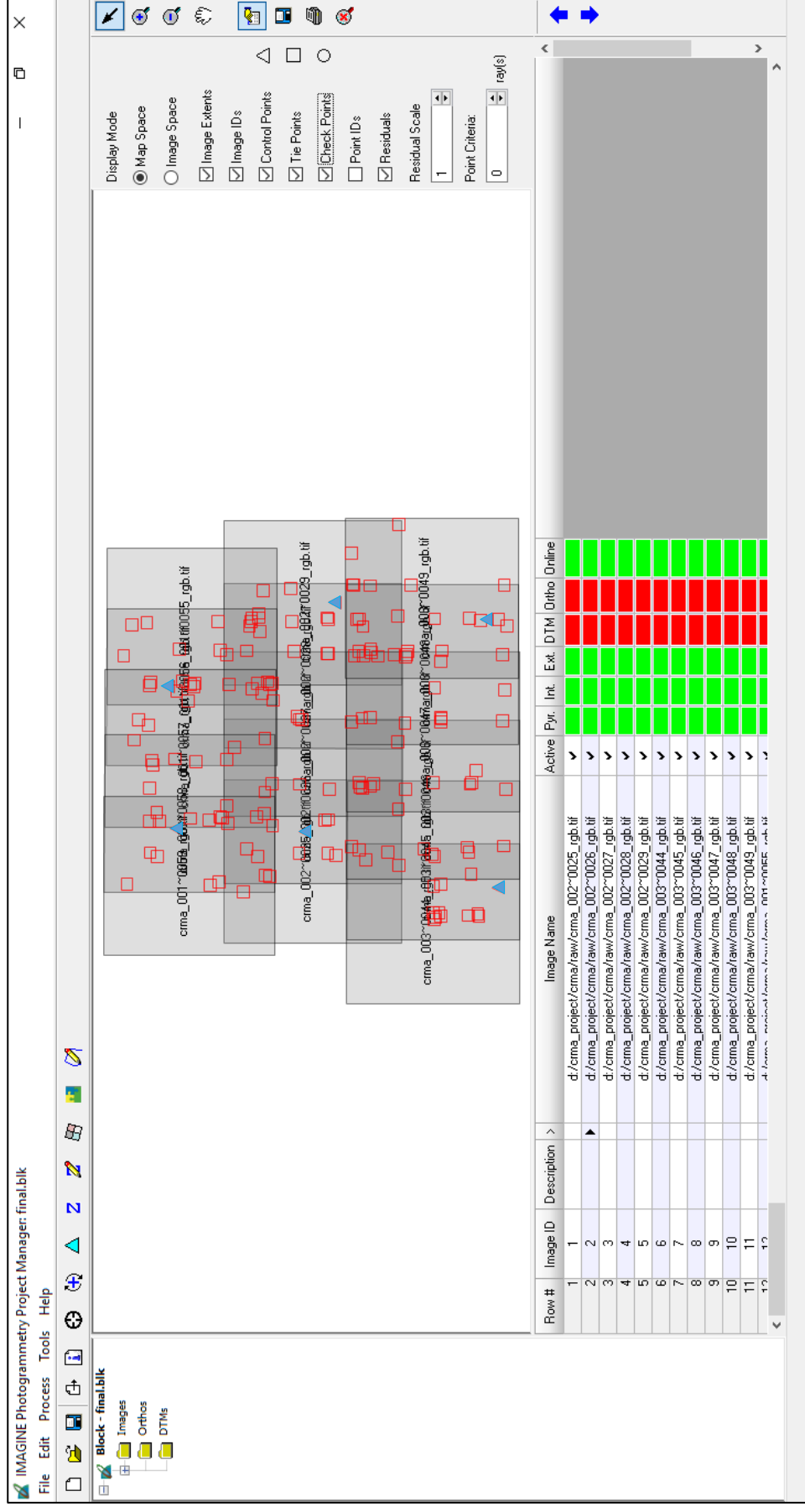
ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข, กำหนดค่ากล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ, นำเข้าค่าพิกัดจุดเปิดถ่ายของภาพ (X, Y, Z) และ ค่ามุมเอียงทั้ง 3 แกน (Omega, Phi, Kappa) ซึ่งจะได้เป็นแบบจำลองสามมิติในอากาศแสดงความสัมพันธ์ของภาพถ่ายทางอากาศ (ภาพประกอบ 16)

ขั้นตอนที่ 2 นำเข้าจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิติ จำนวน 6 จุด (ภาพประกอบ 17) จะแสดงเป็นรูปสามเหลี่ยมและกำหนดจุดโยงยึดโดยใช้วิธี Automatic Tie Point Generation ซึ่งจะได้จุดโยงยึดจำนวน 181 จุด และจะแสดงเป็นรูปสี่เหลี่ยม (ภาพประกอบ 18)

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขโดยกำหนดที่ 25 เมตร เนื่องจากค่าเฉลี่ยความสูงของจุดตรวจสอบ GCP01 ถึง GCP06 จำนวน 6 จุด เท่ากับ 27.134 เมตร ดังนั้นเพื่อความรวดเร็วในการคำนวณจึงกำหนดให้สร้างแบบจำลองความสูงที่ 25 เมตร ที่มีความละเอียดสูงกว่าและใกล้เคียงกับค่าความสูงเฉลี่ย จากนั้นทำการสร้างภาพถ่ายออร์โธและรวมภาพให้เป็นพื้นเดียว จึงได้ภาพถ่ายออร์โธที่ได้มาจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิติ (ภาพประกอบ 19)



ภาพประกอบ 17 การนำเข้าสู่จุดควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์



ภาพประกอบ 18 การกำหนดจุดโยงยึดของภาพถ่ายทางอากาศ



ภาพประกอบ 19 ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีการรังวัดแบบ
สถิติ

2.2 การสร้างภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที จะมีวิธีการดำเนินการเหมือนกับข้อ 2.1 คือ ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลข, กำหนดค่ากล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพ, นำเข้าค่าพิกัดจุดเปิดถ่ายของภาพและค่ามุมเอียงทั้ง 3 แกน ขั้นตอนที่ 2 นำเข้าจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที จำนวน 6 จุด และขั้นตอนที่ 3 ทำการสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขโดยกำหนดที่ 25 เมตร จากนั้นทำการสร้างภาพถ่ายออร์โธและรวมภาพให้เป็นแผ่นเดียว จึงได้เป็นภาพถ่ายออร์โธที่ได้มาจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (ภาพประกอบ 20)

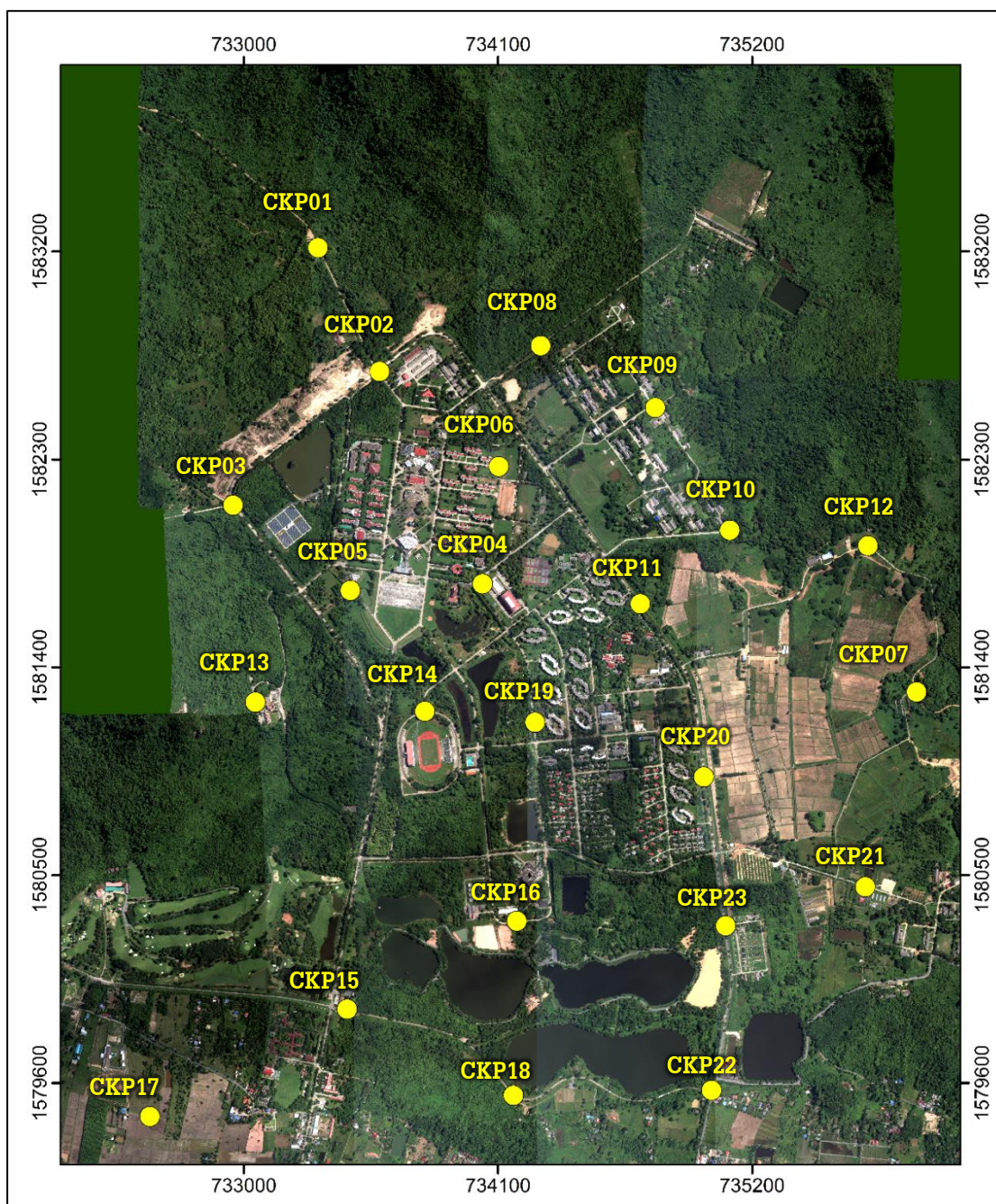




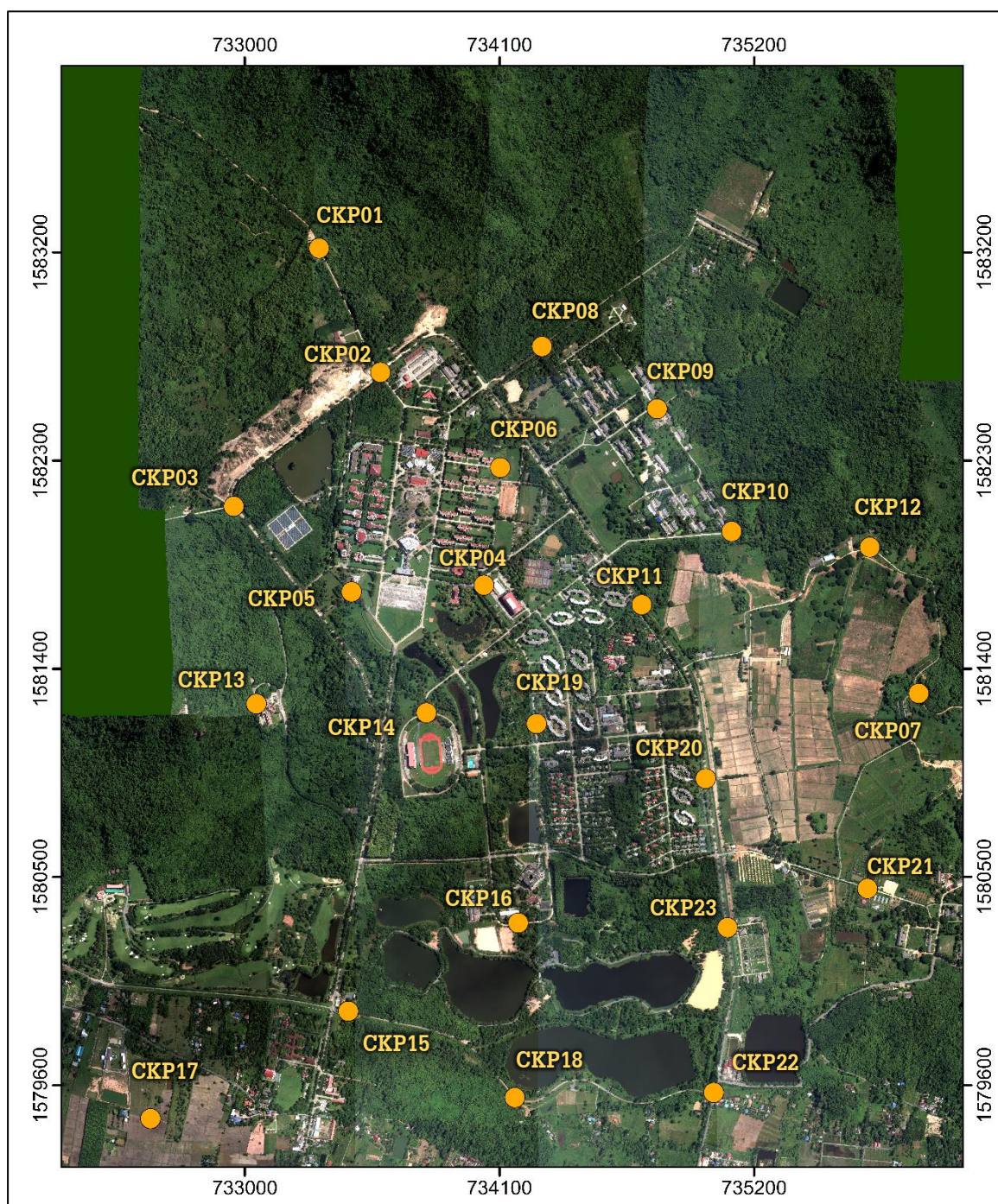
ภาพประกอบ 20 ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยวิธีการรังวัดแบบ
ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที

3. การรังวัดค่าพิกัดจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โทที่สร้างขึ้น

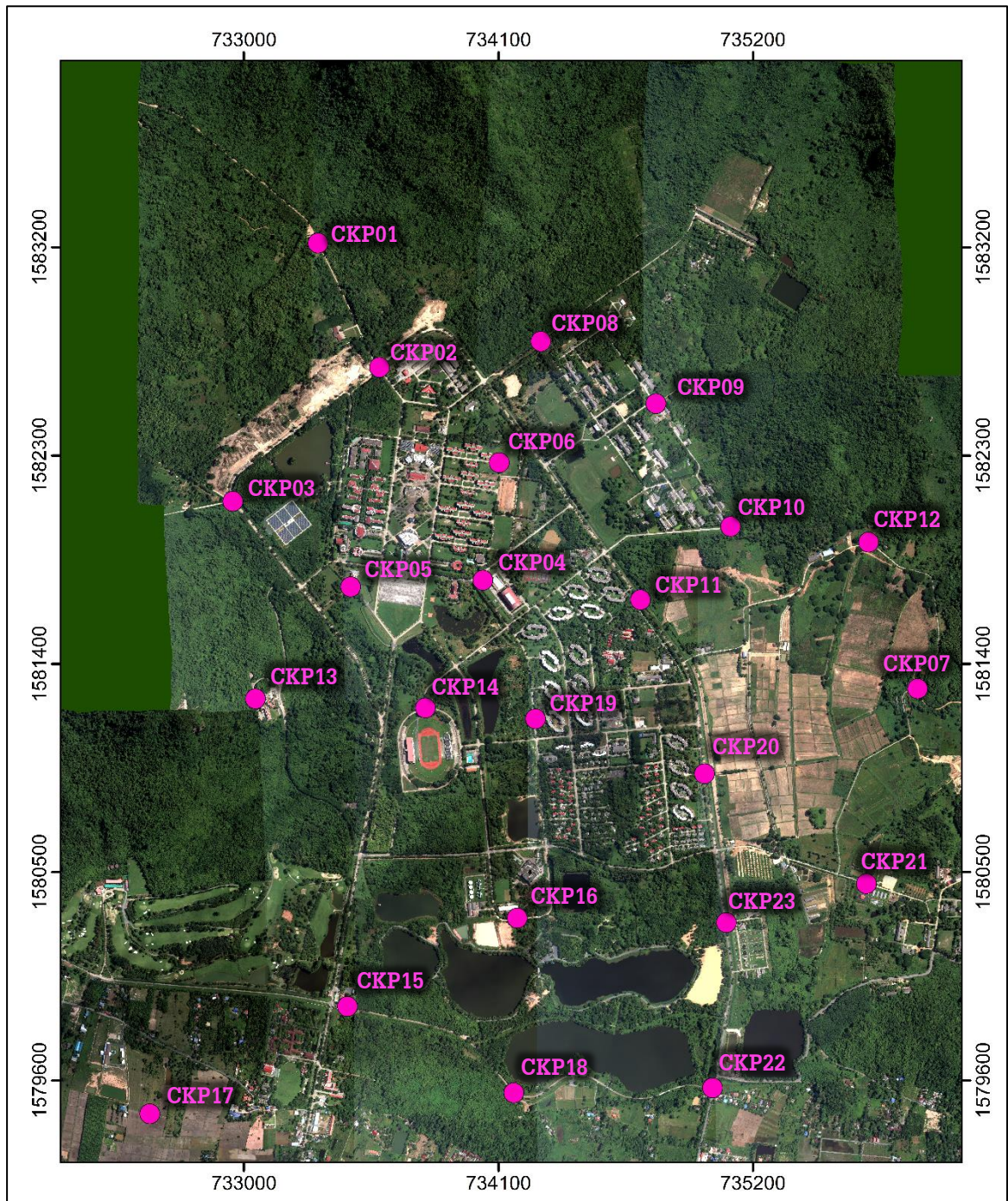
โดยกำหนดจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธทั้งสองภาพให้ตรงกับจุดตรวจสอบที่ได้สำรวจจริงวัดค่าพิกัดในภูมิประเทศ (ภาพประกอบ 21) ซึ่งจะได้เป็นค่าพิกัดทางทิศตะวันออก และค่าพิกัดทางทิศเหนือ (ตารางที่ 8, 9)



ภาพประกอบ 21 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบในภูมิประเทศ



ภาพประกอบ 22 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิติ



ภาพประกอบ 23 แสดงที่ตั้งจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที

ตาราง 7 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการ
รังวัดแบบสถิติ (เมตร)

ชื่อจุดตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)
CKP01	733,320.346	1,583,217.996
CKP02	733,585.388	1,582,681.586
CKP03	732,951.854	1,582,102.804
CKP04	734,032.575	1,581,761.325
CKP05	733,460.782	1,581,733.093
CKP06	734,103.165	1,582,269.808
CKP07	735,910.768	1,581,293.804
CKP08	734,283.260	1,582,793.682
CKP09	734,780.644	1,582,524.155
CKP10	735,102.618	1,581,994.101
CKP11	734,714.131	1,581,676.947
CKP12	735,699.124	1,581,925.827
CKP13	733,049.367	1,581,249.226
CKP14	733,784.242	1,581,209.899
CKP15	733,446.526	1,579,920.206

ตาราง 7 (ต่อ)

ชื่อจุดตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)
CKP16	734,180.928	1,580,301.663
CKP17	732,592.118	1,579,456.018
CKP18	734,166.026	1,579,546.927
CKP19	734,259.827	1,581,163.017
CKP20	734,990.443	1,580,925.941
CKP21	735,689.685	1,580,450.032
CKP22	735,024.953	1,579,568.328
CKP23	735,084.895	1,580,281.653

ตาราง 8 ค่าพิกัดจุดตรวจสอบบนภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการ
รังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (เมตร)

ชื่อจุดตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)
CKP01	733,320.144	1,583,218.097
CKP02	733,585.702	1,582,681.370
CKP03	732,952.139	1,582,102.839
CKP04	734,032.664	1,581,761.291
CKP05	733,461.068	1,581,732.897
CKP06	734,103.197	1,582,269.708
CKP07	735,910.995	1,581,293.187
CKP08	734,282.987	1,582,793.790
CKP09	734,780.452	1,582,524.636
CKP10	735,102.944	1,581,994.035
CKP11	734,713.616	1,581,677.269
CKP12	735,699.118	1,581,925.941
CKP13	733,049.654	1,581,249.412
CKP14	733,784.081	1,581,209.673

ตาราง 8 (ต่อ)

ชื่อจุดตรวจสอบ	ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก (Easting)	ค่าพิกัดทางทิศเหนือ (Northing)
CKP15	733,447.142	1,579,920.077
CKP16	734,180.826	1,580,301.671
CKP17	732,592.848	1,579,455.943
CKP18	734,166.175	1,579,546.727
CKP19	734,259.985	1,581,162.653
CKP20	734,990.417	1,580,926.033
CKP21	735,689.745	1,580,449.894
CKP22	735,024.946	1,579,568.130
CKP23	735,084.847	1,580,282.245

4. การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น

4.1 การประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้น เป็นการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธ ด้วยการหาผลต่างของค่าพิกัดจุดตรวจสอบที่ได้มาจากการสำรวจจริงวัดในภูมิประเทศกับค่าพิกัดจุดตรวจสอบที่ได้มาจากจุดที่ปรากฏบนภาพถ่ายออร์โธ ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเดียวกัน ที่จำนวน 23 จุดและกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ศึกษา ตามมาตรฐานของ NSSDA ใช้ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบในการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และแสดงเป็นค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.1 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิติ (ตาราง 10) สรุปได้ดังนี้

1. จุดตรวจสอบที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง มีจำนวน 23 จุด ซึ่งค่าความแตกต่างของค่าพิกัดของจุดตรวจสอบจะแสดงใน ผลต่างค่า X และผลต่างค่า Y

2. ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ คือ 0.402 เมตร

3. ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐาน NSSDA คือ 0.695 เมตร

4. ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของค่า Easting (X) คือ -0.593 เมตร ที่จุดตรวจสอบ CKP09

5. ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของค่า Northing (Y) คือ -0.544 เมตร ที่จุดตรวจสอบ CKP17

6. ไม่มีจุดตรวจสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมากกว่าค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐาน NSSDA ถือว่าผ่านเกณฑ์การทดสอบ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งยอมให้มีจุดที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ได้ไม่เกิน 1 จุด (1.15 จุด จาก 23 จุด)

ตาราง 9 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมสภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิติ) (เมตร)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y				ผลรวม (1) + (2)
	X ₁	X ₂	ผลต่างค่า		Y ₁	Y ₂	ผลต่างค่า		
			X	(ผลต่าง ค่า X) ² (1)			Y	(ผลต่าง ค่า Y) ² (2)	
CKP01	733,320.200	733,320.346	-0.146	0.021	1,583,217.655	1,583,217.996	-0.341	0.116	0.138
CKP02	733,585.312	733,585.388	-0.076	0.006	1,582,681.522	1,582,681.586	-0.064	0.004	0.010
CKP03	732,951.886	732,951.854	0.032	0.001	1,582,102.856	1,582,102.804	0.052	0.003	0.004
CKP04	734,032.690	734,032.575	0.115	0.013	1,581,761.182	1,581,761.325	-0.143	0.020	0.034
CKP05	733,461.053	733,460.782	0.271	0.073	1,581,732.895	1,581,733.093	-0.198	0.039	0.113
CKP06	734,103.206	734,103.165	0.041	0.002	1,582,269.633	1,582,269.808	-0.175	0.031	0.032
CKP07	735,910.896	735,910.768	0.128	0.016	1,581,293.906	1,581,293.804	0.102	0.010	0.027
CKP08	734,283.260	734,283.260	0.000	0.000	1,582,793.629	1,582,793.682	-0.053	0.003	0.003
CKP09	734,780.051	734,780.644	-0.593	0.352	1,582,524.153	1,582,524.155	-0.002	0.000	0.352
CKP10	735,102.800	735,102.618	0.182	0.033	1,581,994.104	1,581,994.101	0.003	0.000	0.033
CKP11	734,713.922	734,714.131	-0.209	0.044	1,581,676.905	1,581,676.947	-0.042	0.002	0.045

ตาราง 9 (ต่อ)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y			ผลรวม (1) + (2)	
	X ₁	X ₂	ผลต่างค่า		Y ₁	Y ₂	ผลต่างค่า Y		(ผลต่าง ค่า Y) ² (2)
			X	(ผลต่าง ค่า X) ² (1)					
CKP12	735,699.305	735,699.124	0.181	0.033	1,581,926.255	1,581,925.827	0.428	0.183	0.216
CKP13	733,049.215	733,049.367	-0.152	0.023	1,581,249.246	1,581,249.226	0.020	0.000	0.024
CKP14	733,783.951	733,784.242	-0.291	0.085	1,581,209.451	1,581,209.899	-0.448	0.201	0.285
CKP15	733,447.025	733,446.526	0.499	0.249	1,579,919.848	1,579,920.206	-0.358	0.128	0.377
CKP16	734,181.401	734,180.928	0.473	0.224	1,580,301.387	1,580,301.663	-0.276	0.076	0.300
CKP17	732,592.452	732,592.118	0.334	0.112	1,579,455.474	1,579,456.018	-0.544	0.296	0.407
CKP18	734,165.467	734,166.026	-0.559	0.312	1,579,547.300	1,579,546.927	0.373	0.139	0.452
CKP19	734,259.500	734,259.827	-0.327	0.107	1,581,162.514	1,581,163.017	-0.503	0.253	0.360
CKP20	734,990.276	734,990.443	-0.167	0.028	1,580,926.261	1,580,925.941	0.320	0.102	0.130
CKP21	735,689.441	735,689.685	-0.244	0.060	1,580,450.317	1,580,450.032	0.285	0.081	0.141
CKP22	735,024.701	735,024.953	-0.252	0.064	1,579,568.008	1,579,568.328	-0.320	0.102	0.166

ตาราง 9 (ต่อ)

ชื่อจุด	ค่า X			ค่า Y			ผลรวม (1) + (2)		
	X ₁	X ₂	ผลต่างค่า X	(ผลต่าง ค่า X) ² (1)	Y ₁	Y ₂		ผลต่าง (ผลต่าง ค่า Y) ² (2)	
CKP22	735,024.701	735,024.953	-0.252	0.064	1,579,568.008	1,579,568.328	-0.320	0.102	0.166
CKP23	735,084.992	735,084.895	0.097	0.009	1,580,281.883	1,580,281.653	0.230	0.053	0.062
ผลรวม									3.710
ค่าเฉลี่ย									0.161
RMSEr									0.402
NSSDA ร้อยละ 95									0.695

หมายเหตุ ค่า X คือ ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก, X₁ คือ ค่าพิกัดจุดตรวจสอบ, X₂ คือ ค่าพิกัดบนภาพถ่ายออร์โธ
 ค่า Y คือ ค่าพิกัดทางทิศเหนือ, Y₁ คือ ค่าพิกัดจุดตรวจสอบ, Y₂ คือ ค่าพิกัดบนภาพถ่ายออร์โธ

4.1.2 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธ ด้วย

จุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที (ตารางที่ 11) สรุปได้ดังนี้

1. จุดตรวจสอบที่ใช้ในการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง มีจำนวน 23 จุด ซึ่งค่าความแตกต่างของค่าพิกัดของจุดตรวจสอบจะแสดงใน ผลต่างค่า X และผลต่างค่า Y
2. ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ คือ 0.45 เมตร
3. ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐาน NSSDA คือ 0.779 เมตร
4. ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของค่า Easting (X) คือ -0.708 เมตร ที่จุดตรวจสอบ CKP18
5. ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดของค่า Northing (Y) คือ -0.719 เมตร ที่จุดตรวจสอบ CKP07
6. ไม่มีจุดตรวจสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งมากกว่าค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ตามมาตรฐาน NSSDA ถือว่าผ่านเกณฑ์การทดสอบ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งยอมให้มีจุดที่มีความคลาดเคลื่อนมากกว่าค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ได้ไม่เกิน 1 จุด (1.15 จุด จาก 23 จุด)

ตาราง 10 ตารางประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง (จุดควบคุมคุณภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบฉบับในทันที) (เมตร)

ชื่อจุด	ค่า X			ค่า Y			ผลรวม (1) + (2)		
	X ₁	X ₂	ผลต่างค่า	Y ₁	Y ₂	(ผลต่าง ค่า Y) ² (2)			
			X					(ผลต่าง ค่า X) ² (1)	
CKP01	733,320.200	733,320.144	0.056	0.003	1,583,217.655	1,583,218.097	-0.442	0.195	0.199
CKP02	733,585.312	733,585.702	-0.390	0.152	1,582,681.522	1,582,681.370	0.152	0.023	0.175
CKP03	732,951.886	732,952.139	-0.253	0.064	1,582,102.856	1,582,102.839	0.017	0.000	0.064
CKP04	734,032.690	734,032.664	0.026	0.001	1,581,761.182	1,581,761.291	-0.109	0.012	0.013
CKP05	733,461.053	733,461.068	-0.015	0.000	1,581,732.895	1,581,732.897	-0.002	0.000	0.000
CKP06	734,103.206	734,103.197	0.009	0.000	1,582,269.633	1,582,269.708	-0.075	0.006	0.006
CKP07	735,910.896	735,910.995	-0.099	0.010	1,581,293.906	1,581,293.187	0.719	0.517	0.527
CKP08	734,283.260	734,282.987	0.273	0.075	1,582,793.629	1,582,793.790	-0.161	0.026	0.100
CKP09	734,780.051	734,780.452	-0.401	0.161	1,582,524.153	1,582,524.636	-0.483	0.233	0.394
CKP10	735,102.800	735,102.944	-0.144	0.021	1,581,994.104	1,581,994.035	0.069	0.005	0.025

ตาราง 10 (ต่อ)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y				ผลรวม (1) + (2)
	X ₁	X ₂	ผลต่างค่า		Y ₁	Y ₂	ผลต่างค่า		
			(ผลต่าง ค่า X) ² (1)	X			Y	(ผลต่าง ค่า Y) ² (2)	
CKP11	734,713.922	734,713.616	0.306	0.094	1,581,676.905	1,581,677.269	-0.364	0.132	0.226
CKP12	735,699.305	735,699.118	0.187	0.035	1,581,926.255	1,581,925.941	0.314	0.099	0.134
CKP13	733,049.215	733,049.654	-0.439	0.193	1,581,249.246	1,581,249.412	-0.166	0.028	0.220
CKP14	733,783.951	733,784.081	-0.130	0.017	1,581,209.451	1,581,209.673	-0.222	0.049	0.066
CKP15	733,447.025	733,447.142	-0.117	0.014	1,579,919.848	1,579,920.077	-0.229	0.052	0.066
CKP16	734,181.401	734,180.826	0.575	0.331	1,580,301.387	1,580,301.671	-0.284	0.081	0.411
CKP17	732,592.452	732,592.848	-0.396	0.157	1,579,455.474	1,579,455.943	-0.469	0.220	0.377
CKP18	734,165.467	734,166.175	-0.708	0.501	1,579,547.300	1,579,546.727	0.573	0.328	0.830
CKP19	734,259.500	734,259.985	-0.485	0.235	1,581,162.514	1,581,162.653	-0.139	0.019	0.255
CKP20	734,990.276	734,990.417	-0.141	0.020	1,580,926.261	1,580,926.033	0.228	0.052	0.072
CKP21	735,689.441	735,689.745	-0.304	0.092	1,580,450.317	1,580,449.894	0.423	0.179	0.271

ตาราง 10 (ต่อ)

ชื่อจุด	ค่า X				ค่า Y				ผลรวม (1) + (2)
	X ₁	X ₂	ผลต่างค่า		Y ₁	Y ₂	ผลต่างค่า		
			X	(ผลต่าง ค่า X) ² (1)			Y	(ผลต่าง ค่า Y) ² (2)	
CKP22	735,024.701	735,024.946	-0.245	0.060	1,579,568.008	1,579,568.130	-0.122	0.015	0.075
CKP23	735,084.992	735,084.847	0.145	0.021	1,580,281.883	1,580,282.245	-0.362	0.131	0.152
ผลรวม									4.658
ค่าเฉลี่ย									0.203
RMSEr									0.450
NSSDA ร้อยละ 95									0.779

หมายเหตุ ค่า X คือ ค่าพิกัดทางทิศตะวันออก, X₁ คือ ค่าพิกัดจุดตรวจสอบ, X₂ คือ ค่าพิกัดบนภาพถ่ายออร์โธ

 ค่า Y คือ ค่าพิกัดทางทิศเหนือ, Y₁ คือ ค่าพิกัดจุดตรวจสอบ, Y₂ คือ ค่าพิกัดบนภาพถ่ายออร์โธ

4.2 พิจารณาความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานความถูกต้องของ ASPRS จะประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบทั้งแนวแกน x และแกน y โดยความถูกต้องเชิงตำแหน่งจะเป็นการกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ ที่มีความสัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ (ดังตาราง 2 บทที่ 2)

4.2.1 จากการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบสถิติ มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.402 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ ASPRS พบว่า สามารถจัดว่าอยู่ในชั้นของความถูกต้องทางราบที่ 0.3 เมตร ที่กำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบไม่เกิน 0.424 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกิน 0.734 เมตร สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,200 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:600 ในงานชั้นที่ 2 (ตาราง 11)

4.2.2 จากการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธ ด้วยจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดแบบระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.45 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของ ASPRS พบว่า สามารถจัดว่าอยู่ในชั้นของความถูกต้องทางราบที่ 0.45 เมตร ที่กำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบไม่เกิน 0.636 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกิน 1.101 เมตร สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2 (ตาราง 11)

ตาราง 11 แสดงข้อมูลวิธีการรังวัดเทียบกับมาตราส่วนแผนที่ที่สามารถนำไปสร้างได้ของงานชั้นที่ 1 และงานชั้นที่ 2 ตามเกณฑ์มาตรฐานของ ASPRS

งานชั้นที่ 1	งานชั้นที่ 2	วิธีการรังวัดแบบสถิติ	วิธีการรังวัดแบบระบบ
			เครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที
1:800	1:400	×	×
1:900	1:450	×	×
1:1,000	1:500	×	×
1:1,200	1:600	✓	×
1:1,400	1:700	✓	×
1:1,600	1:800	✓	×
1:1,800	1:900	✓	✓
1:2,400	1:1,200	✓	✓
1:3,000	1:1,500	✓	✓

หมายเหตุ ✓ แนะนำให้นำไปใช้ประโยชน์ได้, × ไม่แนะนำให้ นำไปใช้ประโยชน์

บทที่ 5

สรุปผล อธิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การเปรียบเทียบการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ของภาพถ่ายออร์โธที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีและแบบสถิต หลังจากได้ผลการดำเนินงานแล้ว สามารถสรุปผลการดำเนินงาน โดยแบ่งหัวข้อในการสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1. สรุปผลการวิจัย
2. อธิปรายผลการวิจัย
3. ข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ เป็นการเปรียบเทียบผลการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิตและระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ได้ทำการศึกษาบริเวณโรงเรียน นายร้อยพระจุลจอมเกล้าฯ กำหนดและรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินจำนวน 6 จุดด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิตและวิธีการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที นำค่าพิกัดที่ได้มาใช้ตัดแก้ภาพถ่ายด้วยวิธีโฟโตแกรมเมตรี จากนั้นกำหนดและรังวัดจุดตรวจสอบ ด้วยวิธีการรังวัดแบบสถิต จำนวน 23 จุด กระจายตัวครอบคลุมทั้งพื้นที่ศึกษา ต่อมานำภาพถ่ายออร์โธที่ได้มาประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งและพิจารณาความคลาดเคลื่อนทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ ทั้ง 2 ภาพ และเปรียบเทียบผลที่ได้ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

จากการประเมินความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิตและระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที โดยใช้หลักเกณฑ์การประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามมาตรฐานของ NSSDA พบว่า ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิต มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.402 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.695 เมตร ส่วนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ เท่ากับ 0.45 เมตร เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เท่ากับ 0.779 เมตร และเมื่อใช้หลักเกณฑ์พิจารณาความคลาดเคลื่อน

ทางราบที่สัมพันธ์กับมาตราส่วนของแผนที่ของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานความถูกต้องของ ASPRS พบว่า ภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิติ สามารถจัดว่าอยู่ในชั้นของความถูกต้องทางราบที่ 0.3 เมตร ที่กำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบไม่เกิน 0.424 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกิน 0.734 เมตร สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,200 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:600 ในงานชั้นที่ 2 ส่วนภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นด้วยค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สามารถจัดว่าอยู่ในชั้นของความถูกต้องทางราบที่ 0.45 เมตร ที่กำหนดให้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางราบไม่เกิน 0.636 เมตร ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ไม่เกิน 1.101 เมตร สามารถนำไปสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2

การอภิปรายผลการวิจัย

เมื่อนำผลการประเมินค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายออร์โธที่สร้างขึ้นโดยใช้ค่าพิกัดจากจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิติและระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มาเปรียบเทียบกับ พบว่า ค่าพิกัดของจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้มาจากการรังวัดด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สามารถนำมาใช้สร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 ในงานชั้นที่ 1 และ 1:900 ในงานชั้นที่ 2 ขึ้นไป แทนการสร้างภาพออร์โธโดยใช้ค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิติ

การใช้ประโยชน์ สามารถนำไปทดแทนการรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินที่ได้จากการรังวัดแบบสถิติ กล่าวคือ เมื่อต้องการสร้างหรือปรับปรุงแผนที่มาตราส่วน 1:1,800 หรือมาตราส่วน 1:1,800 ขึ้นไป จะสามารถใช้วิธีการรังวัดค่าพิกัดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินด้วยระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มาใช้ได้ซึ่งการทำงานจะใช้เวลาในการรังวัดน้อยกว่า, ใช้บุคลากรและอุปกรณ์การรังวัดตัวเดียวในการรังวัดแต่ละครั้ง ส่งผลให้ลดงบประมาณและเวลาในการทำงานลง

ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ ใช้ระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของกรมที่ดิน มีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรจำนวน 91 สถานี ซึ่งในอนาคตเมื่อจัดทำระบบเครือข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทันทีของประเทศไทย (Thailand RTK GNSS Network) ซึ่งมีสถานีรับสัญญาณดาวเทียมถาวรจำนวน 222 สถานี แล้วเสร็จ ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ได้อาจจะมีค่าที่ถูกต้องขึ้น ทำให้สามารถนำไปสร้างแผนที่มาตราส่วนได้ละเอียดกว่าการศึกษาและวิจัยครั้งนี้ได้

2. การกำหนดจุดควบคุมภาพภาคพื้นดินหรือจุดตรวจสอบนั้น เมื่อกำหนดจุดที่ปรากฏบนภาพถ่ายทางอากาศเชิงเลขแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือการเข้าสำรวจรังวัดในภูมิประเทศ บางจุดเมื่อเข้าไปในภูมิประเทศแล้ว พบว่ามีสิ่งบดบังสัญญาณดาวเทียม หรือจุดที่เลือกไว้ไม่เหมาะสมในการตั้ง เช่น เป็นเนินเขา, พื้นที่ต่ำ, มีแนวต้นไม้สูง เป็นต้น ดังนั้นในการกำหนดจุดตรวจสอบ ควรที่จะเลือกเผื่อไว้ประมาณ 5 – 10 จุด

3. การศึกษาและวิจัยครั้งนี้ ใช้การปรับแก้ความคลาดเคลื่อนของภาพถ่าย ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ERDAS IMAGINE 2014 ซึ่งจะใช้เวลาหลายชั่วโมงในการประมวลผล ดังนั้นในการประมวลผลอาจจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า หรือใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์อื่นๆ เพื่อช่วยลดเวลาในการประมวลผลลงได้

บรรณานุกรม

- ASPRS. (2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), 1-26.
- CHC Navtech Thailand. (2561). CORS Pictures Thailand RTK Network. Retrieved January 15, 2018, from <https://www.chcthailand.com/cors-picture>
- Geodatapoint. (2013). Midwest Aerial Buys Third DMC II 140 Camera from Leica Geosystems. Retrieved July 9, 2018, from <https://www.pobonline.com>.
- Leica Geosystems. (1999?). *Imagine OrthoBase User's Guide*. GIS & Mapping Division, USA. (n.p.)
- Sumit Chowdhury. (2017). Aerial photography and photogrammetry. Retrieved November 20, 2017, from <https://www.slideshare.net/SumitSumit8/aerial-photography-and-photogrammetry>
- Whitehead Ken, & Hugenholtz Chris H. (2015). Applying ASPRS Accuracy Standards to Surveys from Small Unmanned Aircraft Systems (UAS). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(10), 787-793.
- ไพศาล สันติธรรมนนท์. (2555). การรังวัดด้วยภาพดิจิทัล (*Digital photogrammetry*). (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชนาธิป บุนนาค. (2557). การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงตัวเลขโดยใช้ระบบบอกตำแหน่งด้วยดาวเทียม. ครงงานวิทยานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ชัยวัฒน์ พรหมทอง. (2551). การประเมินความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลผลิตภาพถ่ายออร์โธจากภาพถ่ายทางอากาศ ในสนามทดสอบ. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2551. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน).
- ธนัช สุขวิมลเสรี , & โกษา ปรียาพร. (2557). ความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งจากการรังวัดด้วยดาวเทียมระบบจีพีเอส โดยวิธีสถานีอ้างอิงเสมือน. วิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 27, ฉบับที่ 90 (ต.ค.- ธ.ค. 2557), หน้า 23-32.
- ธีรทัต เจริญกัลป์ญูตา. (2552). การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส

แบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย : ผลการศึกษาเบื้องต้น. วิศวกรรมสาร มก. ปีที่ 23, ฉบับที่ 70 (พ.ย. 2552 - ม.ค. 2553), หน้า 45-56.

ปฏิวดี สอวงชัย. (2551). การสร้างแบบจำลองความสูงเชิงเลขและภาพถ่ายออร์โธโดยใช้โฟโตแกรมเมตรีทางอากาศเชิงเลข: พื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา : สาขาวิชาภูมิสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

วิชัย เยี่ยงวีรชน. (2559). การสำรวจทางวิศวกรรม 2 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศรันยพงศ์ พรหมณเฑาะว์, & ดิศพันธุ์ นาคเสน. (2553). ประเมินความถูกต้องของการให้บริการข้อมูลแบบให้ค่าแก้ในทันทีผ่านเครือข่าย Internet จากสถานีรังวัดดาวเทียม GPS แบบถาวร. การประชุมวิชาการ เทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศแห่งชาติ ประจำปี 2553.

สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่. (2555). โครงการศึกษาและประเมินความถูกต้อง สำหรับงานสร้างระวางแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลขจากข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศสีเชิงเลข (DMC) ภาคเหนือ. กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย.

สำนักเทคโนโลยีทำแผนที่. (2558). คู่มือปฏิบัติงานระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย: กรมที่ดิน กระทรวงมหาดไทย.

สำนักแก้ไขปัญหาคาการบุกรุกที่ดินของรัฐ. (2556). คู่มือในการปฏิบัติงานด้านการอ่าน แปล ตีความภาพถ่ายทางอากาศของคณะกรรมการอ่านภาพถ่ายทางอากาศ. สำนักงานปลัด. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ร้อยเอก อัครณพ หักฤทธิ์ศึก
วัน เดือน ปี เกิด	8 กันยายน 2529
สถานที่เกิด	กรุงเทพฯ
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสำรวจ) โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ปี 2553
ที่อยู่ปัจจุบัน	37 ซอยวิภาวดี 16/41 ถนน วิภาวดี - รังสิต ดินแดง กรุงเทพฯ 10400

