

การทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดิน



นางสาวเจนพิธิกร สุนทรรัตน์

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE ASSESSMENT OF NETWORK - BASED GNSS RTK FOR CADASTRAL
SURVEYING

Miss Jenpiteekorn Suntornrat



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Survey Engineering

Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็น เอสเอสแบบจลน์ในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดิน
โดย	นางสาวเจนพีธีกร สุนทรรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พันเอก ดร.กนก วีรวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ภีระ ยมวัน)

เจนพีธีกร สุนทรรัตน์ : การทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบ
 จลน์ในพื้นที่สำหรับงานรังวัดที่ดิน (PERFORMANCE ASSESSMENT OF NETWORK -
 BASED GNSS RTK FOR CADASTRAL SURVEYING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.
 เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 128 หน้า.

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเทคนิคการ
 สํารวจเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานทางตำแหน่งซึ่งจะทำให้ประเทศไทยมีโครงสร้างพื้นฐานด้าน
 การรังวัดที่สามารถให้บริการโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ที่มีความถูกต้องแม่นยำ
 สะดวก และรวดเร็ว ครอบคลุมพื้นที่ทั่วประเทศ

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาเพื่อประเมินประสิทธิภาพผลลัพธ์ทางตำแหน่งที่ได้จากการสํารวจ
 ด้วยระบบดาวเทียม GNSS ในสองพื้นที่ศึกษา พื้นที่ศึกษาแรกคือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้
 เทคนิคการรังวัดด้วยเทคนิค Static, RTK และ Virtual References System (VRS) โดยพื้นที่ศึกษา
 นี้ยังแบ่งออกเป็น 3 กรณี : กรณีพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม, กรณีพื้นที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปาน
 กลางและกรณีพื้นที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น กรณีละ 30 จุด ส่วนพื้นที่ที่สองคือ แปลงที่ดินบริเวณ
 อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ซึ่งทำการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน จำนวน 34 มุม
 โดยใช้เทคนิค Static และ VRS ในการศึกษา ซึ่งทั้งสองพื้นที่ใช้เทคนิค Static เป็นค่าอ้างอิง โดยสุ่ม
 กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง

จากการศึกษาพบว่า ในพื้นที่แรก หากสามารถ Fix Ambiguity ได้ เทคนิค RTK และ
 เทคนิค VRS จะให้ค่าความถูกต้องในทางราบใกล้เคียงกันในระดับ 4 เซนติเมตร ทั้งสองเทคนิคทำงานได้ดี
 ในสภาพพื้นที่โล่งแจ้งและบริเวณที่ต้นไม้ไม่หนาแน่นมาก ส่วนพื้นที่ที่ตึกสูงจะกลายเป็นที่อับสัญญาณ
 และเกิดการสะท้อนจาก Multipath ในส่วนพื้นที่ที่สองหากสามารถ Fix Ambiguity ได้ เทคนิค VRS
 จะให้ค่าความถูกต้องในทางราบในระดับ 3 เซนติเมตร แต่ในพื้นที่ศึกษานี้เป็นการรังวัดในสภาพพื้นที่
 จริงโดยการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน จึงอาจมีอุปสรรคจากสิ่งปลูกสร้างที่ถูกรังวัดขึ้นหรือ
 เกิดจากสภาพภูมิประเทศได้

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2560

5870129021 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORDS: เทคนิคการสำรวจ, GNSS, RTK, VRS

JENPITEEKORN SUNTORNRAT: PERFORMANCE ASSESSMENT OF NETWORK -
BASED GNSS RTK FOR CADASTRAL SURVEYING. ADVISOR: PROF.
CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D., 128 pp.

At present, satellite surveying technology plays an important role in cadastral survey. In order to meet the requirement in the usage of positioning, especially for cadastral, Thailand is establishing a national positioning infrastructure to provide the RTK GNSS Network service with cm-level accuracy throughout the whole country.

This research aims to conduct a study for evaluating efficiency of positioning outcome from conducting GNSS surveying techniques using 2 study areas, the first area is within the campus of Chulalongkorn University while the second area is in Lat Lum Kaeo District, Pathum Thani Province. Static, RTK and Virtual References System (VRS) survey techniques were used in the experiment. The first study area comprised of 3 cases studies i.e. (a) open area (b) area with moderate coverage and (c) area with dense coverage. A total of 30 points were selected for each case study. The second area conducted survey directly at survey mark of each land parcel with the amount of 34 points, Static and VRS techniques were used in this study area. Static technique was used as reference value for both study areas. It was found in the first area, if the ambiguity-fixed solutions were obtained, the RTK and VRS techniques produced the same level of horizontal accuracy at 4 centimeters. Both techniques were well performed in an open area and moderate coverage area. For the second area, the using of VRS technique would be received the horizontal accuracy at 3 centimeters.

Department: Survey Engineering

Student's Signature

Field of Study: Survey Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2017

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลายท่านด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติรพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณที่ให้แนวความคิด ความรู้ รวมถึงคำปรึกษาต่างๆ ในการทำงานวิจัยจนสามารถทำงานวิจัยนี้ได้สำเร็จ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์

ขอบพระคุณ นายณรงค์ศักดิ์ โอสธนากร ผู้ว่าราชการจังหวัดเชียงราย ผู้ซึ่งสนับสนุนให้คำปรึกษา และแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ ทั้งในด้านการปฏิบัติงานและด้านการศึกษา

ขอบพระคุณ รศ.ดร.ไพศาล สันติธรรมนนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ พร้อมแนวความคิด สำหรับการดำเนินงานวิจัย

ขอบพระคุณ ผศ.พอ.ดร.กนก วีรวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสั่งสอนให้ความรู้ ทางด้านการศึกษา ด้านการดำรงชีวิต และให้กำลังใจผู้วิจัยตลอดการศึกษา

ขอบพระคุณ ดร.ภีระ ยมวัน กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย จากกรมที่ดิน ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ทำให้วิทยานิพนธ์มีความสมบูรณ์

ขอบพระคุณนายชัยพร กิจประชา ที่กรุณาให้ความรู้ ความช่วยเหลือในการลงภาคสนาม การประมวลผลและแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ทางด้านการสำรวจ เจ้าหน้าที่ห้องเครื่องมือที่อำนวยความสะดวกในการยืมเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียม และพี่ๆ น้องๆ ภาควิศวกรรมสำรวจทุกท่าน สำหรับมิตรภาพ คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอบพระคุณ กรมที่ดิน ซึ่งให้ความช่วยเหลือในการดำเนินงานวิจัยทั้งข้อมูลและการลงสนามเก็บข้อมูลงานวิจัย และให้ทุนผู้วิจัยมาศึกษาที่ภาควิศวกรรมสำรวจ

ขอบพระคุณ บริษัท CHC ที่กรุณาให้ยืมเครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียม รุ่น CHC i80 สำหรับใช้ในงานวิจัย และความช่วยเหลือในการดำเนินการวิจัย

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณครอบครัวสำหรับกำลังใจและการสนับสนุนในทุกด้าน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ไม่มากนักน้อยและหากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้วิจัยขอน้อมรับและขออภัยเป็นอย่างสูง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	4
1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา.....	10
1.3.3 การเปรียบเทียบผลการศึกษา.....	13
1.3.4 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียม.....	13
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	13
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	14
2.1 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS.....	14
2.1.1 Space Segment.....	14
2.1.2 Control Segment.....	14
2.1.3 User Segment.....	15

2.2	วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (Observation Equation)	15
2.2.1	ซูโดเรนจ์ (Code Pseudorange)	15
2.2.2	เฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase)	16
2.3	เทคนิคค่าต่างครั้งที่สอง (Double Differencing).....	18
2.4	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม.....	19
2.4.1	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม	19
2.4.2	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม	19
2.4.3	ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ.....	21
2.4.4	ค่าความคลาดเคลื่อนอื่นๆ	22
2.5	เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียม.....	23
2.5.1	การหาตำแหน่งจุดเดี่ยว (Single Point Positioning).....	23
2.5.2	การหาตำแหน่งแบบสัมพันธ์ (Relative Positioning).....	23
2.6	องค์ประกอบของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network – Based RTK : NRTK)	31
2.6.1	สถานีฐานถาวร (CORS)	31
2.6.2	ศูนย์ควบคุมส่วนกลาง (Control Center).....	31
2.6.3	สถานีผู้ใช้งาน (Rover Station).....	32
2.7	มาตรฐานการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรี ว่า ด้วยมาตรฐานระวางแผนที่ และแผนที่รูปแปลงที่ดินในที่ดินของรัฐ พ.ศ.2550	32
2.8	การสำรวจรังวัดแปลงที่ดินของกรมที่ดิน ตามระเบียบกรมที่ดิน ว่าด้วยการรังวัดโดยระบบ โครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย พ.ศ. 2558 34	
2.9	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	40

3.1 พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	42
3.2 พื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี	47
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	50
4.1 พื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	50
4.1.1 พื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	51
4.1.2 พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง.....	57
4.1.3 พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น	63
4.2 พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี จำนวน 34 หมู่ด	69
4.2.1 การสำรวจรังวัดพื้นที่.....	69
4.2.2 การเปรียบเทียบเนื้อที่.....	74
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	77
5.1.1 พื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	77
5.1.2 พื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี	80
5.2 ข้อจำกัด	81
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	82
รายการอ้างอิง	84
ภาคผนวก.....	88
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างค่าต่าง ๆ ที่ทำการเปรียบเทียบการรังวัด.....	89
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่า Root Mean Square.....	99
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงค่า Standard Deviations	110
ภาคผนวก ง. ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing.....	121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	128

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2. 1 ตารางระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม	33
ตารางที่ 2. 2 ตารางเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งฯ	35
ตารางที่ 4. 1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	53
ตารางที่ 4. 2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง.....	59
ตารางที่ 4. 3 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น	65
ตารางที่ 4.4 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ในอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี.....	71
ตารางที่ 4. 5 ตารางเปรียบเทียบเนื้อที่คำนวณได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ที่ทำการรังวัด โดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดินกับเนื้อที่คำนวณได้จากการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบประมวลผลของกรมที่ดิน	75
ตารางที่ 5. 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่า Root Mean Square ทั้ง 3 Session ที่ได้จากการเปรียบเทียบจากเทคนิค Static	77
ตารางที่ 5. 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่า Root Mean Square ที่ได้จากการเปรียบเทียบจากเทคนิค Static (18 จุด).....	80
ตารางที่ ข. 1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัด ด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	100
ตารางที่ ข. 2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัด ด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ).....	104
ตารางที่ ข. 3 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัด ด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (ต่อ)	108

สารบัญตาราง

ตารางที่ ค. 1 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัด ด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	111
ตารางที่ ค. 2 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัด ด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	115
ตารางที่ ค. 3 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี	119
ตารางที่ ง. 1 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static.....	122
ตารางที่ ง. 2 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static.....	126

สารบัญภาพ

รูปที่ 1. 1	รูปแสดงพื้นที่การศึกษา ภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Google Earth)	6
รูปที่ 1. 2	รูปแสดงพื้นที่การศึกษา บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (Google Earth) จำนวน 34 หมู่ด	9
รูปที่ 1. 3	รูปแสดงสถานีอ้างอิงของกรมที่ดินล้อมรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Google Earth)..	10
รูปที่ 1. 4	รูปแสดงสถานีอ้างอิงของกรมที่ดินล้อมรอบอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (Google Earth).....	12
รูปที่ 2. 1	รูปแสดงวิธีการทำงานของระบบ Virtual Reference Station.....	27
รูปที่ 2. 2	แสดงแนวคิดการทำงานระบบ VRS	30
รูปที่ 3. 1	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	41
รูปที่ 3. 2	วิธีการดำเนินการวิจัยในพื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	42
รูปที่ 3. 3	รูปตัวอย่างพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม.....	44
รูปที่ 3. 4	รูปตัวอย่างพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	44
รูปที่ 3. 5	รูปตัวอย่างพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น	45
รูปที่ 3. 6	รูปโปรแกรมคำนวณ Trimble Business Center	46
รูปที่ 3. 7	วิธีการดำเนินการวิจัยในพื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี	47
รูปที่ 3. 8	ตัวอย่างการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน (หมู่ด 1).....	48
รูปที่ 4. 1	แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station.....	51
รูปที่ 4. 2	แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning.....	52
รูปที่ 4. 3	แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station.....	55
รูปที่ 4. 4	แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning.....	56
รูปที่ 4. 5	แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station.....	57
รูปที่ 4. 6	แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning.....	58

สารบัญภาพ

รูปที่ 4. 7 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station.....	61
รูปที่ 4. 8 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning.....	62
รูปที่ 4. 9 แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station.....	63
รูปที่ 4. 10 แสดง Solve Status ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning.....	64
รูปที่ 4. 11 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station.....	67
รูปที่ 4. 12 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning	68
รูปที่ 4. 13 แสดง Solve Status ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station.....	70
รูปที่ 4. 14 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้.....	73
รูปที่ 4. 15 รูปแสดงแปลงที่ดินของพื้นที่การศึกษา บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (Google Earth).....	74
รูปที่ 4. 16 แสดงค่าความต่างของการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบ ประมวลผลของกรมที่ดินกับการรังวัดด้วยเทคนิค VRS (%).....	76
รูปที่ ก. 1 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมุด 001.....	90
รูปที่ ก. 2 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมุด 010.....	91
รูปที่ ก. 3 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมุด 008.....	92
รูปที่ ก. 4 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมุด 026.....	93
รูปที่ ก. 5 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมุด 034.....	94
รูปที่ ก. 6 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดและสภาพพื้นที่หมุด 002.....	95
รูปที่ ก. 7 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดและสภาพพื้นที่หมุด 027.....	96
รูปที่ ก. 8 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดและสภาพพื้นที่หมุด 021.....	97
รูปที่ ก. 9 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดและสภาพพื้นที่หมุด 023.....	98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การพัฒนาประเทศในระยะที่ผ่านมา ส่งผลให้ประเทศไทยเกิดความเปลี่ยนแปลงจากสังคมชนบทเข้าสู่สังคมเมือง ที่ดินมีความสำคัญอย่างมากในระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทย เนื่องจากที่ดินเป็นหนึ่งในปัจจัยสี่ของการดำรงชีวิตขั้นพื้นฐานของมนุษย์ อีกทั้งในปัจจุบันที่ดินเป็นทรัพย์สินที่มีมูลค่าสูง และมูลค่าของที่ดินก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องอีกด้วย (กรมที่ดิน, 2554a) ทั้งนี้จากการเจริญเติบโตทางด้านทั้งสังคมและเศรษฐกิจของประเทศ ปัญหาความเหลื่อมล้ำของการกระจายรายได้ การว่างงาน และความยากจน รวมทั้งความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติภายในประเทศ ส่งผลให้ปัจจัยดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะทำให้เกิดความขัดแย้งกันในด้านผลประโยชน์ต่างๆ มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ความต้องการใช้ประโยชน์ในที่ดินมีมากขึ้นเรื่อยๆ เป็นเงาตามตัว ในที่สุดก็ส่งผลให้เกิดปัญหาการบุกรุกที่ดินเพื่อการประกอบสัมมาอาชีพและการอยู่อาศัย ทำให้เกิดข้อโต้แย้งเกี่ยวกับสิทธิในที่ดินทั้งในที่ดินของเอกชนและที่ดินของรัฐอีกด้วย (กรมที่ดิน, 2554b) โดยประเภทที่ดินของรัฐมีหลายประเภทด้วยกัน และแต่ละประเภทของที่ดินนั้นจะมีกฎหมายเฉพาะให้อำนาจในการดูแลรักษา ในส่วนของที่ดินของเอกชนนั้นเป็นที่ดินที่ประชาชนมีกรรมสิทธิ์หรือสิทธิครอบครองโดยชอบด้วยกฎหมาย และทางราชการออกเอกสารสิทธิให้ตามประมวลกฎหมายที่ดินในรูปของโฉนดที่ดิน หรือหนังสือรับรองการทำประโยชน์ (ชัवाल สมจิตต์, 2554)

การแก้ปัญหาข้อโต้แย้งสิทธิในที่ดิน คือการสร้าง ความเชื่อถือและเชื่อมั่นให้แก่ประชาชนในเรื่องตำแหน่งของที่ดิน ความถูกต้องและแม่นยำของการรังวัดที่ดินจึงเข้ามามีความสำคัญอย่างยิ่ง ความถูกต้องที่ได้มานั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยในด้านต่างๆ เช่น เครื่องมือที่ใช้สำหรับการรังวัดที่มีหลากหลายสภาพพื้นที่ และสภาพแวดล้อม เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งผลต่อการรังวัดทั้งสิ้น ในขณะที่ความถูกต้อง (Accuracy) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความถูกต้องของค่าที่ได้จากการสำรวจรังวัดว่าใกล้เคียงค่าจริงเพียงใด ส่วนของความแม่นยำ (Precision) คือค่าที่บ่งบอกถึงความละเอียดรอบคอบในการรังวัด หากทำการรังวัดปริมาณหนึ่งหลายๆ ครั้ง แล้วให้ค่าเศษเหลือหรือความคลาดเคลื่อนน้อย

แสดงว่าการวัดนั้นมีความแม่นยำสูง ซึ่งความถูกต้องและความแม่นยำไม่มีความสัมพันธ์กัน (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2557)

ในการสำรวจรังวัดไม่สามารถที่จะทราบค่าจริงได้ ในเมื่อไม่สามารถทราบค่าจริง จึงมักนำค่ารังวัดได้จริงหรือค่าที่สามารถคำนวณได้จริงมาใช้แทน (กนก วีรวงศ์, 2558) ซึ่งการรังวัดโดยการรับสัญญาณดาวเทียมด้วยเทคนิค Static ถือว่าเป็นเทคนิคที่ Ambiguity Resolution มีความถูกต้องและให้ค่าความถูกต้องสูง โดยเทคนิค Static เหมาะสมสำหรับงาน State, County และ Local Control Surveys, Photo - Control Surveys, Boundary Surveys และ Deformation Surveys เป็นต้น (Hofmann – Wellenhof&Lichtenegger and Wasle , 2008)

การสำรวจรังวัดในประเทศไทยได้มีการพัฒนาเรื่อยมา โดยเริ่มแรกจากระบบทอเรนส์ เป็นโซ่วัดระยะและกล้องวัดมุม (Theodolite) มาสู่กล้องสำรวจแบบประมวล (Total Station) จนปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GPS (Global Positioning System) มาปรับใช้ในงานด้านการรังวัดและทำแผนที่ ระบบดาวเทียม GPS ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆ ในส่วนของงานด้านสำรวจและทำแผนที่ ระบบ GPS ถูกนำมาใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS เป็นระบบที่สามารถใช้หาตำแหน่งได้ในทุกสภาพอากาศตลอด 24 ชั่วโมง เมื่อผู้ใช้งานต้องการที่จะทราบตำแหน่งของจุดใดๆ ก็เพียงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ไปตั้งให้ตรงตำแหน่งจุดที่ต้องการหาตำแหน่ง ความถูกต้องทางตำแหน่งขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้วิธีการรังวัดและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม การใช้ข้อมูลจากระบบดาวเทียม GPS ระบบเดียวก็เพียงพอสำหรับการหาตำแหน่ง แต่ในบางพื้นที่ไม่สามารถเลือกพื้นที่สำหรับการรับสัญญาณได้ เช่น บริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น บริเวณตึกสูง หรือมีสิ่งมากีดขวางสัญญาณ ทำให้จำนวนดาวเทียมไม่เพียงพอต่อการหาตำแหน่ง หรือถ้าเพียงพอข้อมูลทางตำแหน่งที่ได้มาก็ไม่น่าเชื่อถือและความถูกต้องต่ำ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) ต่อมาเทคโนโลยีด้านการสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียมได้มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จนได้มีการรวมระบบดาวเทียมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากประเทศต่างๆ เรียกว่า Global Navigation Satellite System หรือที่เรียกว่า GNSS เพื่อให้ครอบคลุมระบบที่ใช้งานคล้ายคลึงระบบ GPS แต่อย่างไรก็ตาม ระบบดาวเทียม GPS ยังคงเป็นองค์ประกอบหลักของการทำงาน ซึ่งการเพิ่มระบบดาวเทียมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบดาวเทียมที่มีอยู่เดิม ระบบดาวเทียม GNSS สามารถนำไปใช้ประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายตั้งแต่งานที่ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับมิลลิเมตรจนถึงหลายเมตร (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี

อวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) & สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศ ภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย, 2552)

ขณะนี้หน่วยงานต่างๆ ในประเทศไทยได้ให้ความสำคัญในการดำเนินการติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานเกี่ยวกับระบบโครงข่ายงานรังวัดด้วยระบบดาวเทียม เพื่อให้บริการประชาชนในงานด้านต่างๆ ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานนี้เพื่อเพิ่มความถูกต้องตามตำแหน่ง ที่ผ่านมามีการศึกษาการจัดตั้งระบบ Network - Based Real Time Kinematic (NRTK) GPS โดยใช้แนวคิดสถานีอ้างอิงเสมือน (VRS) สถานีอ้างอิง 11 ที่ตั้งอยู่ในตอนกลางของประเทศไทยกับระยะห่างของสถานีอ้างอิงเฉลี่ยที่ 60 กม. ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการวางตำแหน่งของ NRTK จะลดลงเมื่อระยะห่างของสถานีอ้างอิงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า Ionospheric Bias มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ NRTK ในประเทศไทยถึงแม้จะมีระยะห่างจากสถานีอ้างอิง 10 - 20 km การ Fixed Ambiguity ทำได้ยากในช่วง High Ionospheric Variation จากการศึกษาดังกล่าว ได้แนะนำว่า ระยะห่างของสถานีอ้างอิงควรอยู่ไม่เกิน 30 กิโลเมตร (Teerat Charoenkalunyuta et al., 2012)

ดังนั้น งานวิจัยในครั้งนี้ จะดำเนินการสำรวจรังวัดตำแหน่งจุดบนพื้นดินด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม GNSS ในงานวิจัยนี้กำหนดพื้นที่ศึกษาจำนวน 2 พื้นที่ศึกษา คือ 1. พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตั้งอยู่ประมาณค่อนข้างกึ่งกลาง Loop ของสถานีอ้างอิงสภาพพื้นที่มีความหลากหลายเหมาะสมสำหรับทำการศึกษา ทำการศึกษาจำนวน 3 เทคนิค โดยใช้เทคนิค Static เป็น Reference เนื่องจากไม่สามารถทราบค่าจริงได้ เปรียบเทียบกับเทคนิค Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค Virtual Reference Station (VRS) โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาเป็น 3 กรณี คือ พื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม, พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง และพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น กรณีละ 30 จุด 2. พื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี เป็นพื้นที่ปริมณฑลที่ยังมีสภาพโล่งแจ้ง และ Loop ของสถานีอ้างอิงแตกต่างจาก Loop ของพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เทคนิค Static เป็น Reference เปรียบเทียบกับวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค Virtual Reference Station (VRS) ทำการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน จำนวน 34 มุม งานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาวิธีการรังวัดตำแหน่งที่ดิน โดยเทคนิคที่แตกต่างกันสำหรับงานรังวัดที่ดินของประเทศไทย โดยผู้วิจัยหวังว่างานวิจัยนี้ จะสามารถ

ลดขั้นตอนและเครื่องมือรังวัดในการปฏิบัติงานด้านที่ดิน พร้อมทั้งสร้างความเชื่อมั่นในเรื่องความถูกต้องแม่นยำทางด้านตำแหน่งของที่ดินของให้แก่ประชาชนได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาความถูกต้องของค่าพิกัดใน 3 มิติ ของเทคนิคการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม GNSS ด้วยเทคนิค Static, Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค VRS ในทางปฏิบัติ

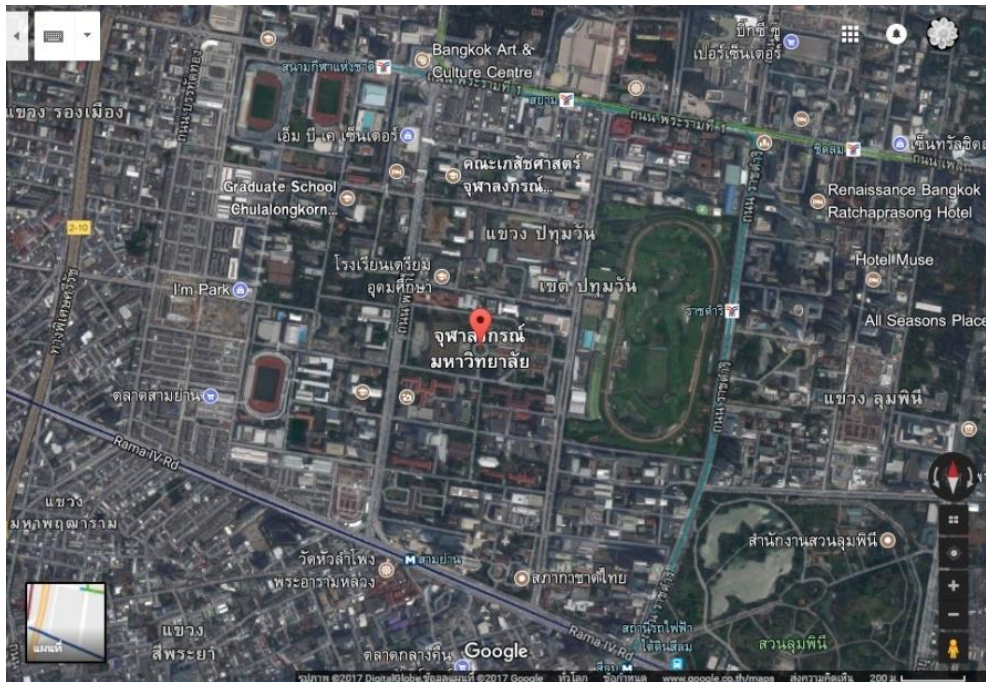
1.2.2 เพื่อทดลองการสำรวจงานรังวัดที่ดินด้วยระบบดาวเทียม GNSS ด้วยเทคนิค VRS ในพื้นที่ปฏิบัติงานจริง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

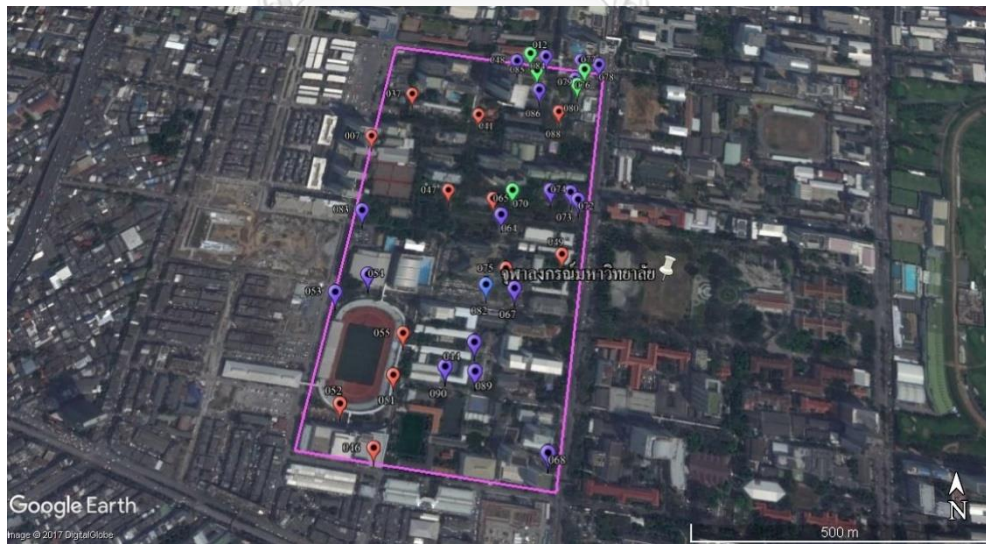
1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ดำเนินการทดลองรังวัดหาค่าพิกัดตำแหน่งของจุดบนพื้นดิน โดยพื้นที่ศึกษามี 2 พื้นที่ คือ พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและพื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี โดยการเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) ซึ่งเป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยพิจารณาจากการตัดสินใจของผู้วิจัยเอง เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ และเพียงพอในทางด้านสถิติ <http://22pioneer.netserv.chula.ac.th/~jamorn/re6.htm>

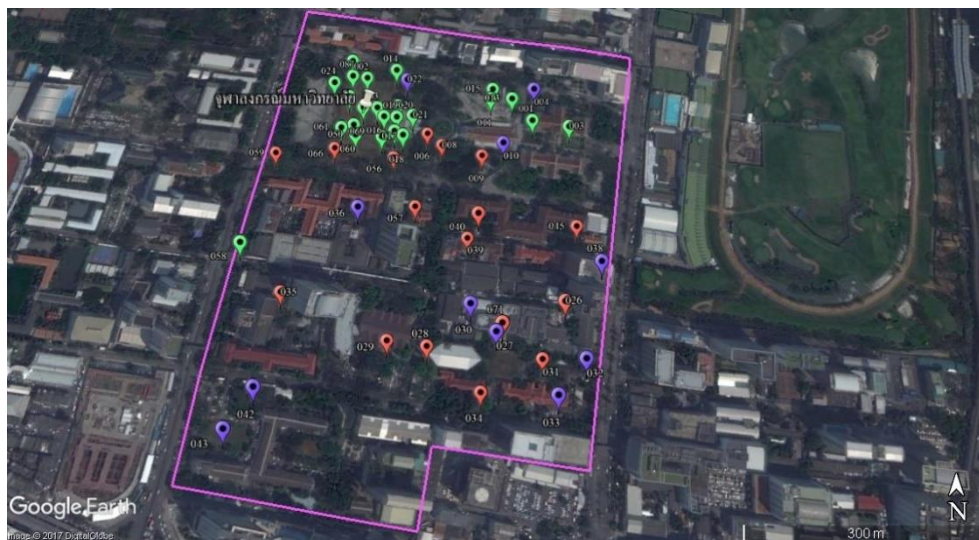
1.3.1.1 พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แบ่งพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม, พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง และพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น ทำการรังวัดที่จุดบนพื้นดินกรณีละ 30 จุด ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ก. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (พิกัด 13°44'18.4"N, 100°31'55.4"E)



รูปที่ 1.1 ข. ฝั่งสนามจ๊อบ



รูปที่ 1.1 ค. ฟังจุฬารุา ใหญ่

รูปที่ 1. 1 รูปแสดงพื้นที่การศึกษา ภายในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Google Earth)

หมายเหตุ จุดสีเขียวอ่อน แสดงจุดบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะโล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม

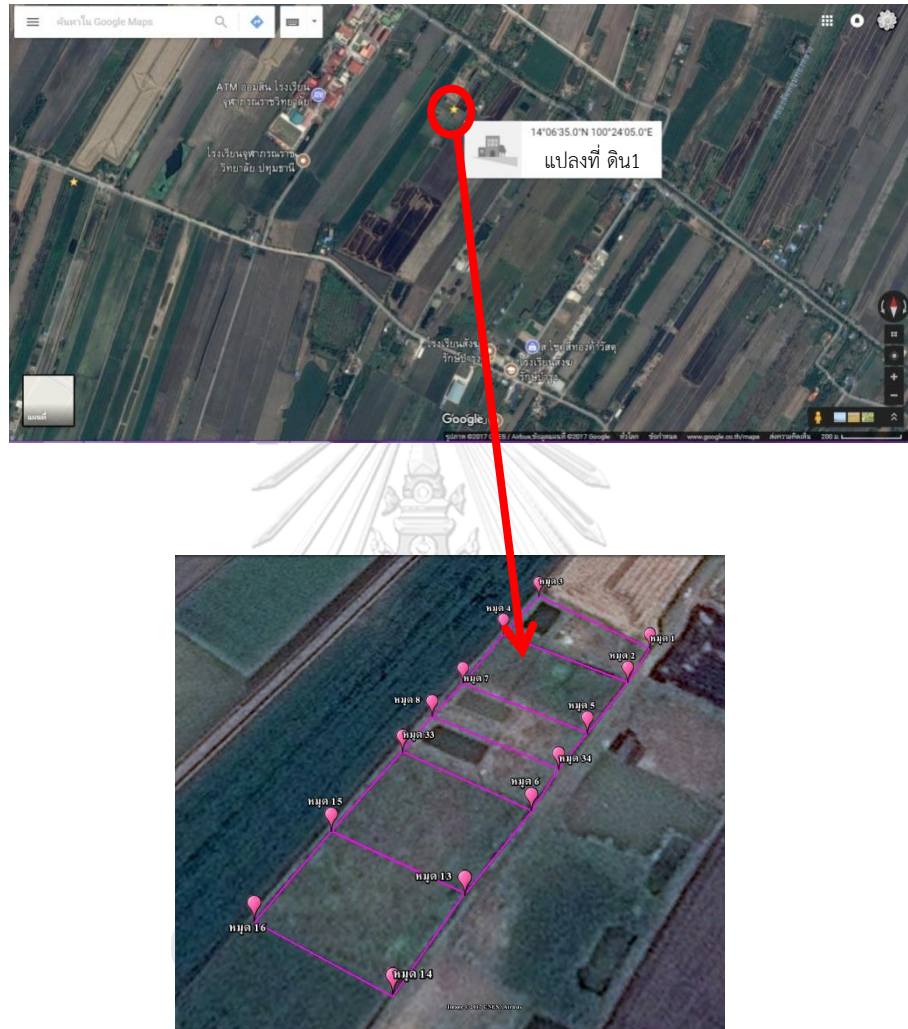
จุดสีม่วง แสดงจุดบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น

ปานกลาง

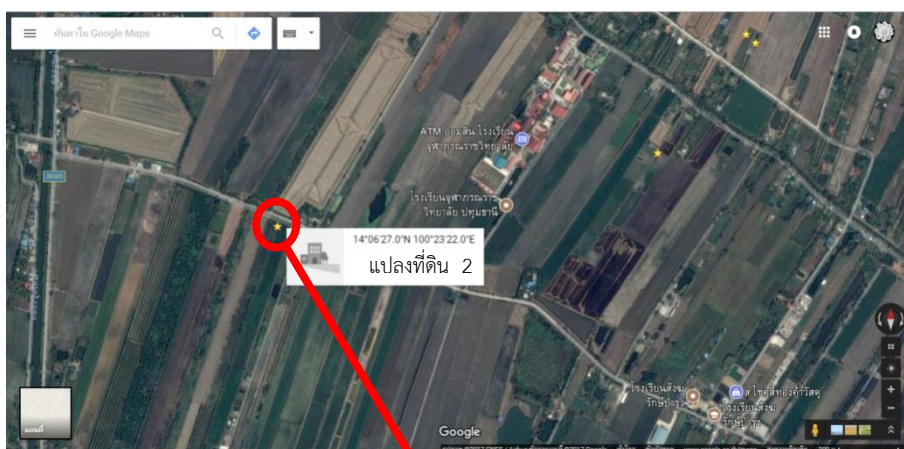
จุดสีแดง แสดงจุดบริเวณพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

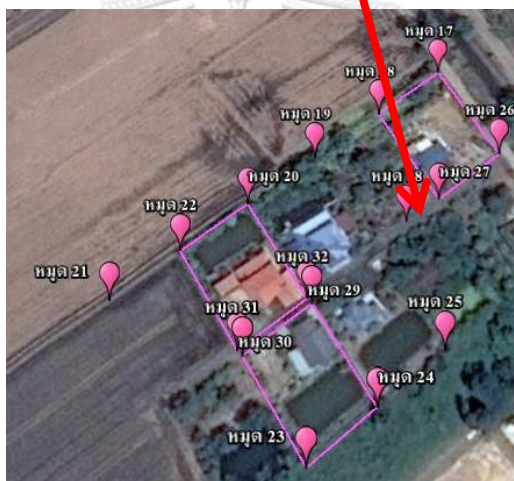
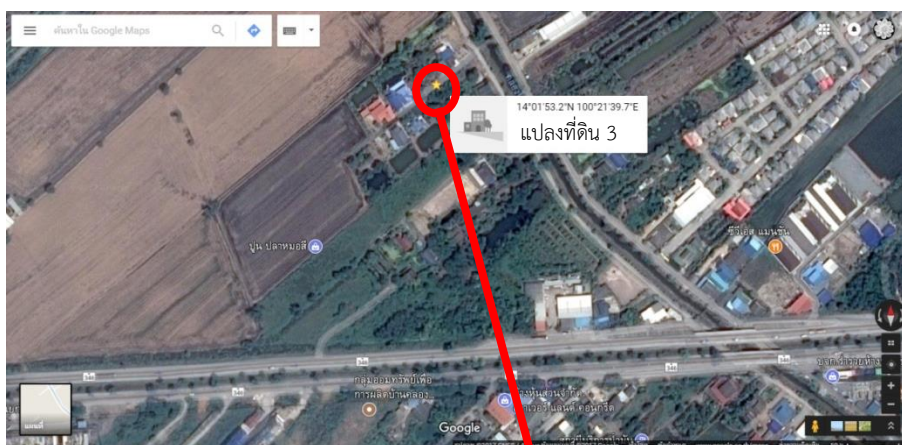
1.3.1.2 พื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ทำการรังวัดโดยตรง
ที่หัวมุมหลักเขตที่ดินจำนวน 34 มุม ดั่งแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 ก. แปลงที่ดิน 1 (พิกัด $14^{\circ}06'35.0''N$, $100^{\circ}24'05.0''E$)



รูปที่ 1.2 ข. แปลงที่ดิน 2 (พิกัด $14^{\circ}06'27.0''N$, $100^{\circ}23'22.0''E$)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 1.2 ค. แปลงที่ดิน 3 (พิกัด $14^{\circ}01'53.2''N$, $100^{\circ}21'39.7''E$)

รูปที่ 1. 2 รูปแสดงพื้นที่การศึกษา บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี
(Google Earth) จำนวน 34 หมด

1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

1.3.2.1 พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) ศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยเทคนิค Static ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที และข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมนาน 30 นาที ใช้จุดควบคุมค่าพิกัดจากสถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) ถ่ายค่าพิกัดมายังสถานี CUSV ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล และทำการ Fixed Ambiguity โดยใช้สถานีฐาน (Base Station) จากสถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT)

3) ศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค VRS ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล ใช้สถานีอ้างอิงของกรมที่ดินจำนวน 3 สถานี คือ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาคร สาขากระทุ่มแบน (KTBN) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) โดยระยะห่างระหว่างสถานีอ้างอิงไม่เกิน 70 km ดังแสดงในรูปที่ 1.3

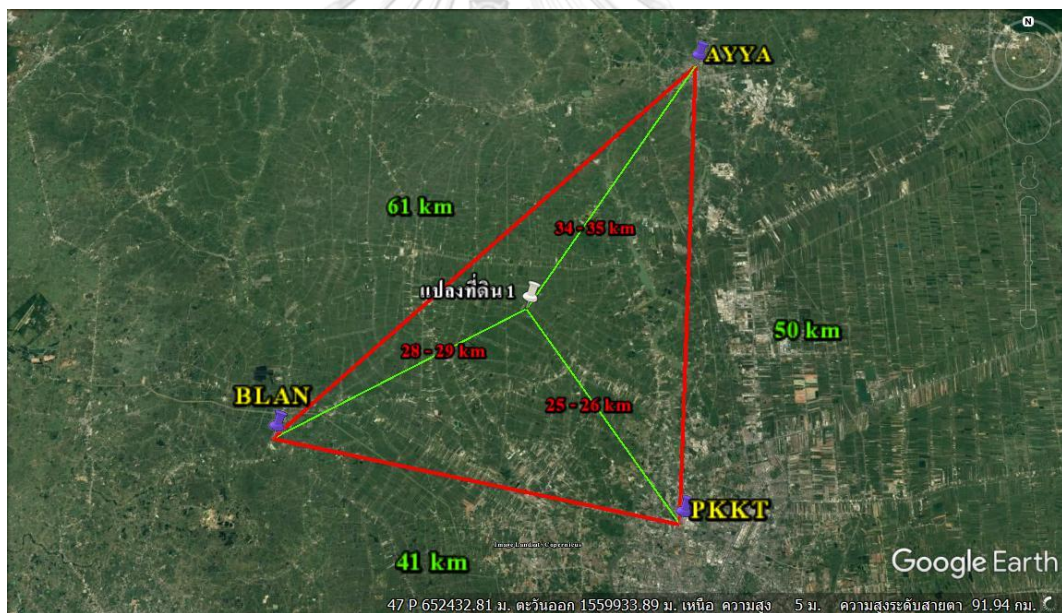


รูปที่ 1. 3 รูปแสดงสถานีอ้างอิงของกรมที่ดินล้อมรอบจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (Google Earth)

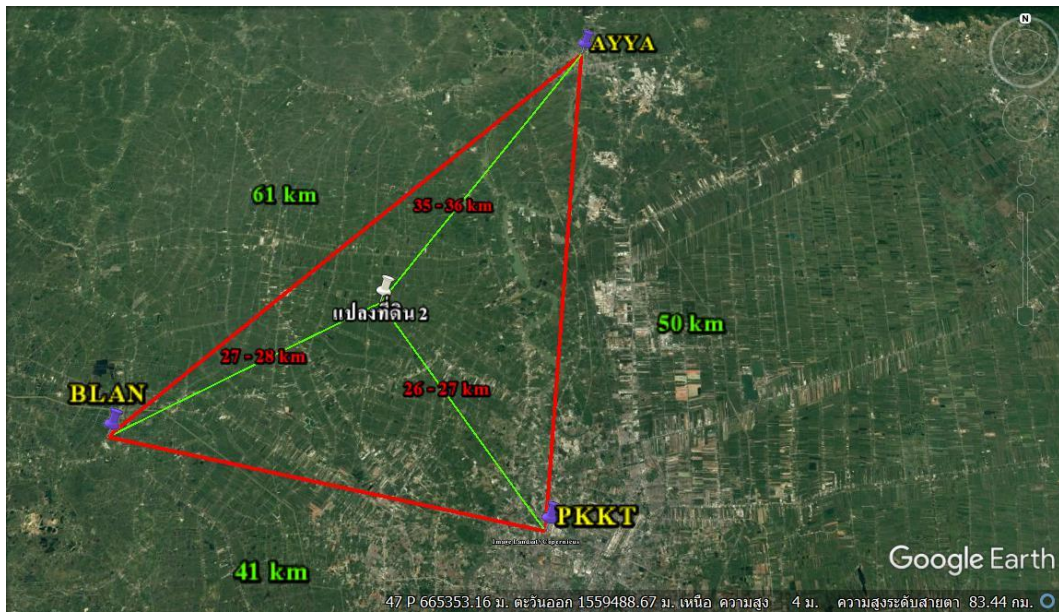
1.3.2.2 พื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

1) ศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยเทคนิค Static ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมนาน 30 นาที ใช้จุดควบคุมค่าพิกัดจากสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN)

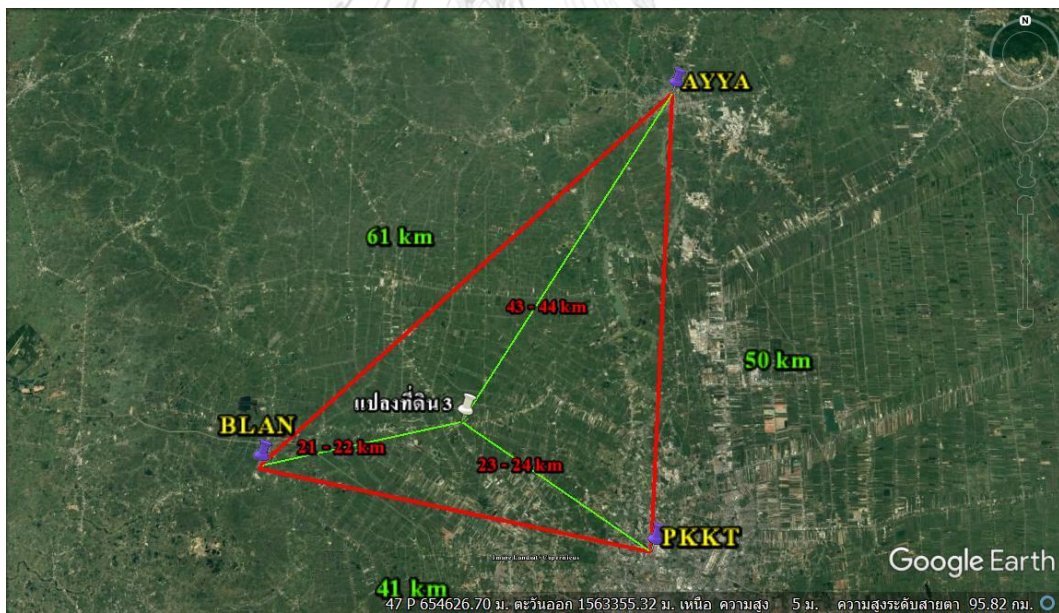
2) ศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค VRS ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล ใช้สถานีอ้างอิงของกรมที่ดินจำนวน 3 สถานี คือ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) โดยระยะห่างระหว่างสถานีอ้างอิงไม่เกิน 70 km ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 ก. แปลงที่ดิน 1



รูปที่ 1.4 ข. แปลงที่ดิน 2



รูปที่ 1.4 ค. แปลงที่ดิน 3

รูปที่ 1. 4 รูปแสดงสถานีอ้างอิงของกรมที่ดินล้อมรอบอำเภอลาดหลุมแก้ว
จังหวัดปทุมธานี (Google Earth)

1.3.3 การเปรียบเทียบผลการศึกษา

เปรียบเทียบผลความแตกต่างของค่าพิกัดจากค่า Means, Standard Deviations และ Root Mean Square ดังนี้

- ระหว่างเทคนิค Static กับเทคนิค Single Base RTK Positioning
- ระหว่างเทคนิค Static กับวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค VRS
- ระหว่างเทคนิค Single Base RTK Positioning กับวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค VRS

เพื่อประเมินและเปรียบเทียบค่า Precision (การกระจายตัวของค่าที่ได้จากการรังวัดเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยของค่าที่รังวัดได้ทั้งหมด) และค่า Accuracy (ค่าที่บอกถึงความถูกต้องของค่าที่วัดได้ว่าใกล้เคียงกับค่าจริงเพียงใด (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2557) ของการปฏิบัติงานทางด้านงานสำรวจจากเทคนิคการสำรวจต่างๆ และวิเคราะห์ความเหมาะสมของการเลือกใช้เทคนิคการสำรวจในสภาพพื้นที่ต่างๆ อีกด้วย

1.3.4 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียม

ในการทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที สำหรับงานรังวัดที่ดินในครั้งนี้ใช้เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80 สามารถรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ได้ครอบคลุมโครงข่าย GPS, GLONASS, BEIDOU, GALILEO และ SBAS สามารถทำงานได้ทั้งหมด Static ด้วยความละเอียดทางราบ 2.5 mm+ 0.5 ppm RMS, RTK ด้วยความละเอียดทางราบ 8 mm + 1 ppm RMS และ Network RTK ด้วยความละเอียดทางราบ 8 mm + 0.5 ppm RMS www.chcnav.com/upload/i80_DS_EN.pdf

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ประเมินประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดิน

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบดาวเทียมนำหน GNSS

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) เป็นชื่อที่ใช้เรียกระบบดาวเทียมที่มีมากกว่าหนึ่งกลุ่ม ซึ่งหน่วยงานด้านอวกาศได้นิยามความหมายของระบบนำร่องดาวเทียมว่า GNSS เพื่อให้ครอบคลุมระบบดาวเทียมที่มีลักษณะการใช้งานคล้ายคลึงกับระบบดาวเทียม GPS เช่น ระบบดาวเทียม GLONASS ของประเทศสหพันธรัฐเซีย, ระบบดาวเทียม Galileo ของสหภาพยุโรป ระบบดาวเทียม Compass ของประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน, ระบบดาวเทียม QZSS ของประเทศญี่ปุ่นและระบบดาวเทียม IRNSS ของประเทศอินเดีย เป็นต้น ซึ่งเป็นระบบดาวเทียมนำทางทั่วโลก เพื่อสนับสนุนการให้บริการทางตำแหน่งสามมิติตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งทำหน้าที่ให้ข้อมูลพิภคบนผิวโลก โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณดาวเทียม เพื่อคำนวณและแสดงพิกัดตำแหน่ง ณ จุดที่รับสัญญาณตั้งอยู่ โดยประกอบด้วยสามส่วนหลักๆ คือ

2.1.1 Space Segment เพื่อให้สามารถใช้งานได้ในทุกพื้นที่ จึงต้องมั่นใจว่า GNSS มีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง การเลือกกลุ่มดาวเทียมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพต้องคำนึงถึงความแม่นยำทางตำแหน่งผู้ใช้งาน, ดาวเทียมที่พร้อมใช้งาน, พื้นที่ให้บริการ และ Satellite Geometry สัญญาณของดาวเทียมแต่ละดวงจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวัด Pseudorange R ไปยังดาวเทียม และ Broadcasts ของดาวเทียมจะช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนด ρ^s ของดาวเทียมได้ ความสามารถนี้ทำให้ผู้ใช้งานสามารถกำหนด ρ_r บนหรือเหนือพื้นโลกได้โดยการ Resection

2.1.2 Control Segment หรือที่เรียกว่าส่วนของภาคพื้นดิน รับผิดชอบในการควบคุมทั้งระบบ รวมถึงการปรับใช้งานและการบำรุงรักษาระบบ การติดตามดาวเทียมสำหรับการวัดและคำนวณวงโคจรและ Clock Parameters การตรวจสอบข้อมูลเสริม (เช่น Ionosphere Parameters) และอัปเดตข้อมูลดาวเทียม ส่วนการควบคุมยังเป็นผู้รับผิดชอบสำหรับการเข้ารหัสข้อมูลและการป้องกันการให้บริการกับผู้ใช้งานไม่ได้รับอนุญาตโดยทั่วไปส่วนควบคุมประกอบด้วยสถานีควบคุมหลัก, Monitor Stations และ Ground Antennas ที่มีการเชื่อมโยงการสื่อสารไปยังดาวเทียม

2.1.3 User Segment ส่วนผู้ใช้สามารถจำแนกเป็นประเภทผู้ใช้ ตัวรับสัญญาณชนิดและบริการข้อมูลต่าง ๆ ประเภทผู้ใช้จะถูกแบ่งออกเป็นผู้ใช้ทางทหาร และพลเรือน ผู้ใช้พลเรือนจะไม่ได้รับอนุญาตให้สามารถเข้าถึงสัญญาณหรือบริการของ GNSS ทั้งหมดได้ ปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมีความหลากหลายอย่างมาก ลักษณะหนึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการรับวัด ได้แก่ ชนิดของ Pseudoranges การรับสัญญาณความถี่แบบหนึ่งความถี่ สองความถี่ หรือมากกว่านั้น โดยทั่วไปแล้วจะให้ข้อมูลสถานะกลุ่มดาวเทียม กำหนดเวลาและข้อมูลการโคจร

ระบบ GNSS จะนำมาประยุกต์ใช้ในการคำนวณหาความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต้องการความแม่นยำสูง เนื่องจากการทำงานระหว่างระบบดาวเทียม GPS ร่วมกับระบบดาวเทียมอื่นๆ ทำให้มีดาวเทียมที่มีสภาพพร้อมใช้งานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ได้ค่าทางตำแหน่งที่ดีขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงอย่างเดียว ส่งผลให้การหาตำแหน่งมีความถูกต้องสูงและลดเวลาในการปฏิบัติงานด้านการรับวัด อีกทั้งยังช่วยลดผลกระทบจากข้อจำกัดเรื่องสภาพแวดล้อมที่เป็นอุปสรรคในขณะปฏิบัติงานด้านการรับวัดอีกด้วย (Hofmann – Wellenhof & Lichtenegger and Wastle, 2008a; Lechner & Baumann, 2000; อัครวิณี วงษ์สุวรรณ, 2557)

2.2 วิธีการรับวัดด้วยดาวเทียมจากสมการค่าสังเกต (Observation Equation)

ค่ารับวัดที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่งมี 2 ชนิด คือ ซูโดเรนจ์ (Code Pseudorange) และเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ซูโดเรนจ์ (Code Pseudorange) คือ ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ที่วัดระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ โดยหาได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งออกจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยจะทำการเลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน ทำให้ทราบระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ เมื่อนำระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณมาคูณกับความเร็วแสง จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณเรียกว่า ซูโดเรนจ์ ค่ารับวัดที่ได้จากซูโดเรนจ์นี้ จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อน

วงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น ดังในสมการ

$$R_r^S(t_r, t_e) = \rho_r^S(t_r, t_e) + c(\Delta\delta^S - \Delta\delta_r) + \Delta^{orbit} + \Delta^{iono} + \Delta^{Trop} + \Delta^{Tide} + \Delta^{Mul} + \epsilon \quad (1)$$

โดยที่

R_r^S	คือ	ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัสจากดาวเทียม S ถึงเครื่องรับ r (เมตร)
ρ_r^S	คือ	ระยะทางจากดาวเทียม S ถึงเสาอากาศของเครื่องรับ r (เมตร)
t_r	คือ	เวลาขณะที่คลื่นถึงเครื่องรับ (วินาที)
t_e	คือ	เวลาขณะที่คลื่นถูกส่งออกมาจากดาวเทียม (วินาที)
c	คือ	ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
$\Delta\delta^S$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
$\Delta\delta_r$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
Δ^{orbit}	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
Δ^{iono}	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)
Δ^{Trop}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
Δ^{Tide}	คือ	ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงจากแผ่นดินและแรงจากมหาสมุทร (Earth Tide and Ocean Loading) (เมตร)
Δ^{Mul}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
ϵ	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัสและค่าคลาดเคลื่อนแฝงอื่นๆ (เมตร) (ธีรทัต เจริญภาลัญญูตา, 2555)

2.2.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase)

การวัดเฟสของคลื่นส่งใช้สำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูงในระดับเซนติเมตร ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมากับเฟสของคลื่นความถี่ f_0 ที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสร้างขึ้นมา โดยดาวเทียม

จะแยกคลื่นส่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนของสัญญาณคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer Cycle Part) เรียกว่า จำนวนลูกคลื่นปริศนา (Integer Cycle Ambiguity) หรือเลขปริศนา (Ambiguity) กับส่วนที่สัญญาณไม่เต็มรอบ (Fractional Part) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549; อัศวินี วงษ์สุวรรณ, 2557)

การคำนวณหาจำนวนลูกคลื่นปริศนา (Integer Cycle Ambiguity) หรือเลขปริศนา (Ambiguity) สามารถคำนวณหาได้จากขบวนการหาเลขปริศนา (Ambiguity Resolution : AR) เป็นการคำนวณที่เกิดขึ้นภายหลังในขั้นตอนของการประมวลผลของข้อมูล โดยทั่วไปสามารถแบ่งขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาได้ 2 แบบ โดยแบบที่ 1 คือการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity - Float Solution) และการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity - Fixed Solution) ซึ่งวิธีนี้ได้รับการยอมรับว่าให้ค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริงและเป็นที่ยอมรับใช้กันในซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ทั่วไป (อัศวินี วงษ์สุวรรณ, 2557)

$$\lambda\varphi_r^s(t_r, t_e) = \varrho_r^s(t_r, t_e) + c(\Delta\delta^s - \Delta\delta_r) + \lambda N_r^s + \Delta^{orbit} - \Delta^{iono} + \Delta^{trop} + \Delta^{Tide} + \Delta^{Mul} + \epsilon \quad (2)$$

โดยที่

φ_r^s	คือ	ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่งจากดาวเทียม S ถึงเครื่องรับ r (เมตร)
ϱ_r^s	คือ	ระยะทางจากดาวเทียม S ถึงเสาอากาศของเครื่องรับ r (เมตร)
t_r	คือ	เวลาที่คลื่นถึงเครื่องรับ (วินาที)
t_e	คือ	เวลาที่คลื่นถูกส่งออกมาจากดาวเทียม (วินาที)
c	คือ	ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
$\Delta\delta^s$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
$\Delta\delta_r$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
Δ^{orbit}	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
Δ^{iono}	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (เมตร)
Δ^{trop}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (เมตร)
Δ^{Tide}	คือ	ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากแรงจากแผ่นดินและแรงจากมหาสมุทร (Earth Tide and Ocean Loading) (เมตร)

Δ^{Mul}	คือ	ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
ϵ	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในชุดข้อมูลที่วัดได้ของรหัสและค่าคลาดเคลื่อนแฝงอื่นๆ (เมตร)
λ	คือ	ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
N_r^s	คือ	ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่ง (หน่วยนับ)

จากสมการของชุดโหนด (1) และเฟสของคลื่นส่ง(2) จะเห็นว่าสมการทั้งสอง มีความแตกต่างกันอยู่สองตัวแปร คือ λ และ N_r^s ที่จะมีอยู่ในเฉพาะสมการเฟสของคลื่นส่ง และเครื่องหมายของค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะมีเครื่องหมายตรงข้ามกัน และไม่ว่าจะทำการรังวัดดาวเทียมด้วยชุดโหนดหรือเฟสของคลื่นส่ง ก็ยังพบว่ามี ความคลาดเคลื่อนแฝงอยู่หลายชนิด ดังนั้นจึงต้องมีการขจัดหรือลดค่าความคลาดเคลื่อนเหล่านั้นลง ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันได้แก่ เทคนิคการรวมข้อมูลดาวเทียม (Data Combination) และเทคนิคการหาค่าต่างของข้อมูล ดาวเทียม (Data Differencing) (ธีรทัต เจริญกาลัญญูตา, 2555)

2.3 เทคนิคค่าต่างครั้งที่สอง (Double Differencing)

คือ การหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุดและดาวเทียมสองดวง เช่น ระหว่างจุด A กับจุด B และดาวเทียม 1 กับ ดาวเทียม 2 ดังสมการ

$$(\phi_A^1 - \phi_B^1) - (\phi_A^2 - \phi_B^2) = (\rho_A^1 - \rho_B^1) - (\rho_A^2 - \rho_B^2) + \lambda(N_A^1 - N_B^1) - \lambda(N_A^2 - N_B^2) \quad (3)$$

การหาค่าต่างวิธีนี้ สามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ ประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

2.4 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียม

2.4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1.1 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรดาวเทียม เกิดจากการทำนายวงโคจรล่วงหน้าและส่งข้อมูลที่ทำนายไปยังตัวดาวเทียม โดยข้อมูลวงโคจรดาวเทียมเหล่านี้ จะถูกคำนวณที่สถานีควบคุมหลัก ซึ่งจะมีการอาศัยข้อมูลที่รับได้จากสถานีติดตามดาวเทียมที่กระจายตัวอยู่ เพื่อให้ดาวเทียมส่งข้อมูลนำหน้มาพร้อมกับคลื่นสัญญาณดาวเทียมมายังผู้ใช้งาน การทำนายวงโคจรดาวเทียมยังมีความคลาดเคลื่อนอยู่เนื่องจากมีแรงต่างๆ มากกระทำกับตัวดาวเทียมมากมายหลายชนิด การลดค่าความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรสามารถทำได้ โดยการใช้ข้อมูลวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูงจาก IGS หรือการใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมหรือเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สอง เพื่อขจัดค่าความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียมออกไป รวมทั้งการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพสูง

2.4.1.2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม ค่าความคลาดเคลื่อนนี้ เกิดจากการเทียบเวลา และความถี่มาตรฐานที่แตกต่างไปจากเวลาของจีพีเอส และยังมีความคลาดเคลื่อนระยะยาวที่เกิดจากความไม่เสถียรของมาตรฐานความถี่ที่เรียกว่า ดริฟท์ของนาฬิกา และอัตราดริฟท์ของนาฬิกา ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมเป็นค่าที่คำนวณได้จากการคำนวณล่วงหน้าจากสถานีควบคุมหลัก ค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมสามารถลดได้ โดยการใช้ข้อมูลค่าแก่นาฬิกาดาวเทียมจาก IGS หรือการใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อขจัดค่าคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม

2.4.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

2.4.2.1 ค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับ เกิดจากความเสถียรของระบบนาฬิกาที่ใช้ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมีความเสถียรต่ากว่านาฬิกาที่ใช้ในดาวเทียมอยู่มาก ทำให้เกิดความแตกต่างของเวลาค่อนข้างมาก ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลกระทบต่อระยะที่วัดได้ เช่นเดียวกันกับกรณีของค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียม เพียงแต่มีขนาดของความคลาดเคลื่อนมีขนาดใหญ่กว่าค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาเครื่องรับจึงถือว่าเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่ที่สุดสำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียววิธีการที่ใช้ลดค่าความคลาดเคลื่อนชนิดนี้

สำหรับการหาตำแหน่งจุดเดียว สามารถทำได้โดยการกำหนดตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและทำการประมาณค่าในขั้นตอนการประมวลผลข้อมูล หรือการใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ โดยเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างดาวเทียม

2.4.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ โดยทั่วไปข้อมูลระยะทางที่วัดได้จากสัญญาณดาวเทียม จะเป็นระยะทางที่วัดระหว่างจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวส่งคลื่นสัญญาณดาวเทียมกับจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์ของเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เนื่องจากจุดทั้งสองจุดนี้ไม่ใช่จุดเดียวกันและมีค่าต่างระหว่างสองจุด และเนื่องจากจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์จะแปรเปลี่ยนตามทิศทางและความแรงของคลื่นสัญญาณที่เข้ามาถึงเสาอากาศ การเปลี่ยนเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณก็จะส่งผลให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางอิเล็กทรอนิกส์มีการแปรเปลี่ยนไปด้วย ค่าการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศจะมีความมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของเสาอากาศที่ใช้โดยสามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ได้โดยการเลือกใช้เสาอากาศที่มีคุณภาพสูง และทำการรังวัดสอบหาค่าแก้ก่อน รวมทั้งการเลือกใช้แบบจำลองปรับแก้ค่าแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ

2.4.2.3 ค่าความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณรบกวนในเครื่องรับ เกิดจากปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น อัตราส่วนระหว่างความแรงของสัญญาณกับสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio) ในการวัดของเครื่องรับ Bias ระหว่างช่องรับสัญญาณ การประวิงของเฟส ความไม่เสถียรของออสซิลเลเตอร์ และจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ เป็นต้น การรับสัญญาณดาวเทียมบางครั้งอาจกินเวลานานถ้าอยู่ในบริเวณที่มีความเข้มสัญญาณไม่พอ หรือมี Noise รบกวนมากเกินไป อย่างไรก็ตามเครื่องรับสัญญาณรุ่นใหม่ ๆ ระดับสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดเฟสของคลื่นส่งจะอยู่ต่ำกว่าระดับ 1 มิลลิเมตร และระดับของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับจากการวัดซูโดเรนจ์ โดยใช้รหัส C/A จะอยู่ระดับเดซิเมตร ค่าความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ไม่สามารถขจัดออกไปได้ด้วยแบบจำลองการปรับแก้ต่างๆ ดังนั้นจึงทำได้เพียงลดสัญญาณรบกวนในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมโดยการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีคุณภาพสูง

2.4.2.4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดของสถานีฐาน เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเฉพาะกับวิธีการรังวัดหาตำแหน่งสัมพัทธ์เท่านั้น เนื่องจากวิธีการหาตำแหน่งสัมพัทธ์จะต้อง

ทราบตำแหน่งสัมบูรณ์อย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อใช้หาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่นๆ โดยตำแหน่งของสถานีฐานควรมีความถูกต้องและอ้างอิงในระบบเดียวกัน สำหรับผลของค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าพิกัดของสถานีฐานต่อการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์จะขึ้นกับระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองเครื่อง ส่งผลให้การคำนวณระยะเส้นฐานไม่ถูกต้อง ส่งผลให้ค่าพิกัดของสถานีผู้ใช้งานเกิดความผิดพลาดตามไปด้วยสำหรับวิธีการลดค่าความคลาดเคลื่อนนี้ สามารถทำได้โดยการถ่ายค่าพิกัดจากจุดที่ทราบค่าพิกัด (หมุดควบคุมของหน่วยงานรัฐ) มายังสถานีฐาน แต่หากสถานีฐานมีการติดตั้งและใช้งานมาเป็นเวลานาน ควรพิจารณาถึงเรื่องการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกด้วย

2.4.3 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ

2.4.3.1 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ในชั้นบรรยากาศนี้จะมีอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งมีผลทำให้คลื่นสัญญาณดาวเทียมเดินทางด้วยความเร็วที่ต่างจากความเร็วแสงจะมีผลทำให้ซูโดเรนจ์เดินทางได้ช้าลงทำให้วัดระยะได้ยาวกว่าที่ควรจะเป็น ในทางกลับกันเฟสของคลื่นส่งจะเดินทางได้เร็วขึ้น ทำให้ระยะที่วัดได้สั้นลง ค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นทางที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ สามารถลดค่าความคลาดเคลื่อนนี้ได้โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบสองความถี่, ใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมหรือค่าต่างครั้งที่สอง ซึ่งประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน, หากใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบความถี่เดียวให้เลือกใช้แบบจำลองปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์

2.4.3.2 ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ในชั้นบรรยากาศนี้มีการเปลี่ยนแปลงช้าและราบเรียบ เมื่อเทียบกับค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เนื่องจากชั้นบรรยากาศนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนประกอบแห้งและส่วนประกอบชื้น ส่วนประกอบทั้งสองส่วนนี้ทำให้คลื่นจากดาวเทียมเดินทางมาถึงเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมช้ากว่าความเป็นจริง ค่าความคลาดเคลื่อนเกิดจากความยาวของคลื่นที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ความล่าช้านี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความถี่ของสัญญาณการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบสองความถี่จึงไม่สามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนนี้ได้ การลดค่าความคลาดเคลื่อนนี้ได้โดยอาศัยเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง

ระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมหรือค่าต่างครั้งที่สอง, การเลือกใช้แบบจำลองปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนจากการล่าช้าของการเดินทางของคลื่นผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์, การกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและทำการประมาณค่าในขั้นตอนของการประมวลผล

2.4.3.3 ค่าความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี คือการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนตั้งแต่หนึ่งครั้งขึ้นไป พื้นผิวที่สะท้อนอาจจะอยู่ในแนวตั้ง ราบ หรือเอียงก็ได้ เช่น ผงนึ่งตึก ถนน ผิวน้ำหรือยานพาหนะ เป็นต้น คลื่นสะท้อนมีผลกับทั้งรหัสและคลื่นส่ง ผลของคลื่นสะท้อนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดคลื่นหลุด (Cycle Slip) เพราะช่องสัญญาณไม่สามารถล็อกสัญญาณดาวเทียมไว้ได้ ดังนั้นการรังวัดเป็นเวลานานจะทำให้ผลของคลื่นสะท้อนลดลง ค่าความคลาดเคลื่อนชนิดนี้ขจัดออกไปได้ยาก เนื่องจากเป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นไม่มีแบบแผน สามารถทำการลดค่าความคลาดเคลื่อนได้โดยการเลือกใช้เสาอากาศแบบป้องกันคลื่นหลายวิถีที่เรียกว่า Choke Ring, พยายามเลือกบริเวณที่ไม่มีพื้นผิวสะท้อนอยู่ใกล้กับจุดที่ทำการรังวัด หรือเลือกใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถกรองคลื่นหลายวิถีออกไปได้

2.4.4 ค่าความคลาดเคลื่อนอื่นๆ

2.4.4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด เนื่องจากการรับสัญญาณดาวเทียมไม่สามารถรับสัญญาณต่อเนื่องได้ สาเหตุอาจเกิดมาจากมีสิ่งกีดขวางมาบังเสาอากาศของเครื่องรับสัญญาณ เช่น ต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น หรืออาจเกิดจากการที่มีคลื่นรบกวนขนาดใหญ่ เช่น การเกิดความแปรปรวนขนาดใหญ่ในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ เป็นต้น ผลจากการเกิดคลื่นหลุดจะทำให้ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่งเปลี่ยนไปจากเดิม โดยทั่วไปการตรวจหาและซ่อมแซมคลื่นหลุดจะทำในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นสามารถตรวจหาเวลาคลื่นหลุดได้ โดยการใช้เทคนิคครั้งที่สาม หรือป้องกันการเกิดคลื่นหลุดโดยการเลือกพื้นที่โล่งแจ้งและใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีประสิทธิภาพสูง

2.4.4.2 ค่าเลขปริศนา เป็นการคำนวณหาในภายหลังในขั้นตอนของการประมวลผลข้อมูลหลังจากที่ได้ขจัดค่าคลาดเคลื่อนต่างๆ และซ่อมแซมคลื่นหลุดในข้อมูลแล้ว เนื่องจากซึ่งในทางทฤษฎีค่าเลขปริศนาจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็ม ค่าเลขปริศนาจะเป็นค่าคงที่ที่ทราบได้ที่มีการรับสัญญาณดาวเทียมอย่างต่อเนื่องและไม่เกิดคลื่นหลุด ซึ่งขั้นตอนของการหาค่าเลขปริศนาจะเรียกกันโดยทั่วไปว่า การแยกความกำกวม (Ambiguity Resolution : AR) วิธีที่ใช้ขจัดหรือหาค่าเลขปริศนา

สามารถทำได้โดยใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่หนึ่งระหว่างเวลา, เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สาม หรือการกำหนดให้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าและทำการประมาณค่าในขั้นตอนของการประมวลผล ข้อมูลแบบ Ambiguity – Free Solution หรือแบบ Ambiguity – Fixed Solution (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549; อีรทัต เจริญภาลัญญูตา, 2555; สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน) & สมาคมสำรวจข้อมูลระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์ แห่งประเทศไทย, 2552)

2.5 เทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียม

ในปัจจุบันการทำงานด้านการรังวัด เพื่อการหาค่าพิกัดทางตำแหน่งด้วยดาวเทียมกำลังเป็นที่นิยมและแพร่หลายมากขึ้น โดยการหาค่าตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียม สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่

2.5.1 การหาค่าตำแหน่งจุดเดียว (Single Point Positioning) หรือการหาค่าตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ (Absolute Positioning) เป็นการหาค่าตำแหน่งของจุดเดียว โดยใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบนำหนเพียงเครื่องเดียว ไปวางที่จุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดตำแหน่ง หลังจากนั้นเมื่อเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้ครบ 4 ดวง เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะก็แสดงค่าพิกัดของตำแหน่งได้ทันที ซึ่งค่าความถูกต้องของการหาค่าตำแหน่งจุดเดียวโดยใช้รหัส C/A อยู่ในเกณฑ์ประมาณ + 10 ถึง 25 เมตร ซึ่งมีความคลาดเคลื่อนในตำแหน่งค่อนข้างมาก

2.5.2 การหาค่าตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) หรือที่เรียกกันว่าวิธี Differential Positioning เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงมากกว่าการหาค่าตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ โดยวิธีนี้จะเป็นการหาค่าตำแหน่งแบบเปรียบเทียบระหว่างสองจุด โดยใช้ตำแหน่งสัมบูรณ์ที่ทราบค่าแล้วอย่างน้อยหนึ่งจุด เพื่อคำนวณหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่นๆ การหาค่าตำแหน่งแบบสัมพัทธ์มีหลักการที่สำคัญคือ จำเป็นต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งจะวางอยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เรียกว่า สถานีฐาน (Base Station) หรือสถานีอ้างอิง (Reference Station) ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอีกเครื่องจะถูกนำไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด เรียกว่า สถานีผู้ใช้ (User Station) หรือสถานีจร (Roving Station) การหาค่าพิกัด

ตำแหน่งจุดต่างๆ ด้วยวิธีนี้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน

โดยทั่วไปการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์อาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier Phase – Based Differential Positioning) โดยเทคนิคการวัดข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งมากับเฟสของคลื่นที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสร้างขึ้นมา จึงเป็นวิธีที่ให้ความถูกต้องสูง เทคนิคการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยการใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งที่ใช้ในปัจจุบัน มีวิธีดังนี้ (อัศวิน วงษ์สุวรรณ, 2557)

2.5.2.1 วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static) วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งจะถูกวางเอาไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดหรือสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับที่สองจะถูกนำไปวางรับสัญญาณดาวเทียมตามจุดที่ต้องการทราบค่าหรือสถานีจริง วิธีการนี้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองเครื่องจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และช่วงเวลาเดียวกัน อย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่งๆ โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1 – 2 ชั่วโมง เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะที่เพียงพอที่จะใช้ในการประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ โดยวิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้องตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร – 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 20 เซนติเมตร) (ธีรทัต เจริญกาศัญญา, 2555)

2.5.2.2 วิธีการรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic : RTK) วิธีการนี้มักถูกเรียกว่า RTK มีข้อดีคือ ใช้เวลาการรังวัดค่อนข้างเร็ว สามารถประมวลผลข้อมูลในขณะที่กำลังรับสัญญาณดาวเทียมได้พร้อมกับส่งผล ทำให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งในทันที แต่มีข้อจำกัดในเรื่องความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้ โดยจะลดลงเมื่อระยะเส้นฐานระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อยสองเครื่อง โดยเครื่องหนึ่งถูกวางไว้บนตำแหน่งหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือที่เรียกว่าสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณดาวเทียม ณ ตำแหน่งที่ต้องการค่าพิกัดหรือเรียกว่าสถานีผู้ใช้งาน แต่ในวิธีการนี้สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับดาวเทียมเครื่องที่สองได้ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสอง ซึ่งอุปกรณ์สื่อสารนั้นอาจเป็นเครื่องรับและส่งคลื่นวิทยุ หรือโทรศัพท์มือถือ ตลอดจนอุปกรณ์ที่สามารถติดต่อกับระบบ

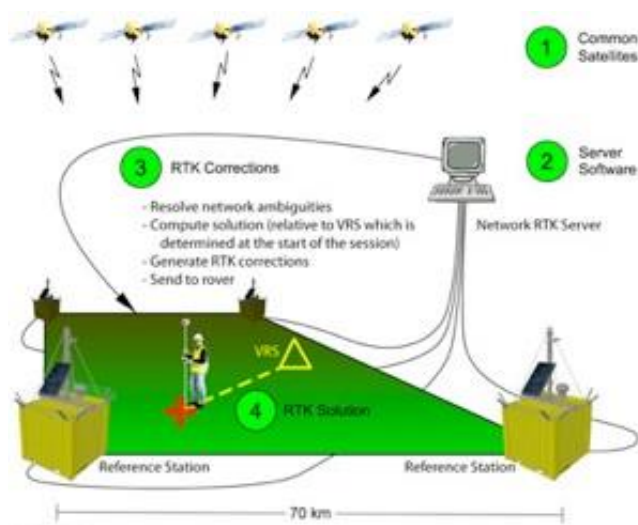
อินเตอร์เน็ตได้ จะได้ค่าพิกัดของตำแหน่งได้ทันทีในสนาม เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สถานีฐาน และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ผู้ใช้งานต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกันอย่างน้อย 5 ดวง ที่สำคัญเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 15 กิโลเมตร วิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1 – 5 เซนติเมตร (อัศวินี วงษ์สุวรรณ, 2557)

2.5.2.3 วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network – Based RTK : NRTK) หรือเรียกสั้นๆ ว่า NRTK ข้อดีคือ ผลกระทบที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่น้อยกว่าเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) ซึ่งความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่จะถูกขจัดในขั้นตอนของการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่ง วิธีนี้ สามารถลดข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดเมื่อมีระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การหาค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีนั้น มีประสิทธิภาพและทำให้กระบวนการประมาณค่าเลขปริศนาทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า วิธีการนี้ต้องประกอบด้วย สถานีฐานถาวร, ศูนย์ควบคุมกลาง และสถานีผู้ใช้งานโดยหลักการทำงานจะเริ่มจากสถานีฐานถาวรที่มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดคุณภาพสูงชนิดหลายความถี่ อย่างน้อยจำนวน 3 สถานี ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่เป็นการถาวร ในบริเวณที่ติดตั้งสถานีต้องโล่งแจ้งต้องไม่มีสิ่งกีดขวางสามารถเว้นระยะห่างประมาณ 70 กิโลเมตร ระยะห่างระหว่าง Base Station และ Rover สามารถขยับได้ และจากผลกระทบของชั้นบรรยากาศโลก สามารถจำลองและค่าแก้ที่ยอมให้สำหรับตำแหน่งคือ ± 20 mm และสามารถใช้อินเตอร์เน็ตเชื่อมต่อกับระบบได้ตลอดเวลา เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมกลางได้ในทันที เมื่อศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้รับข้อมูลมาจากทุกสถานีฐานถาวรแล้วจะทำการประมวลผลของข้อมูลที่ได้รับ เพื่อคำนวณหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ เพื่อส่งให้สถานีผู้ใช้งานต่อไป เมื่อผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพิกัดของตำแหน่ง สามารถทำได้โดยการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพียงเครื่องเดียวไปวางที่ตำแหน่งที่ต้องการก็จะทราบทราบค่าพิกัดนั้น (อัศวินี วงษ์สุวรรณ : www.sage.unsw.edu.au)

2.5.2.4 เทคนิค Virtual Reference Station หรือ VRSเป็นเทคนิคหนึ่งของวิธีการรังวัด NRTKและจากการประมวลข้อมูลพื้นฐาน ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และความคลาดเคลื่อนเนื่องจาก

ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับความยาวของ Baseline หากอยากจะลดผลกระทบดังกล่าวลง สามารถทำได้โดยการสร้างความแตกต่างของ Observables เช่นวิธี Double Differences เป็นต้นจากหลักการที่ว่า การปฏิบัติงานที่ดี คือ การใช้เส้น Baselines ที่สั้นๆ เพื่อให้ Reference Station ใกล้กับ Rover ทำให้เกิดการพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่มีอยู่ทำให้เกิดการสร้างเครือข่ายสถานีอ้างอิงเพื่อช่วยลดระยะของ Baseline ลง จนเกิดเป็นแนวคิดการสร้างสถานีเสมือนจริง จากการรังวัดจริงของเครือข่ายสถานีที่อ้างอิงที่หลากหลายอย่างน้อยสามสถานีที่อยู่ล้อมรอบ และส่งข้อมูลเหล่านั้นกลับไปยังสถานี Rover ผลของแนวคิดนี้ทำให้มีความแม่นยำทางราบอยู่ที่ระดับ 5 cm .สำหรับ Baseline ที่ไม่เกิน 35 km (Hofmann – Wellenhof & Lichtenegger and Wasle, 2008b)

ระบบ VRS เป็นวิธีที่ใช้ในการแก้ไขข้อมูลที่ได้จาก Network RTK โดยอาศัยเทคนิคของการสร้างข้อมูลสถานีอ้างอิง GNSS จาก Virtual Reference Station ในวิธีการนี้ Janssen (2009) ได้อธิบายไว้ว่า เครือข่าย Virtual Reference Station เป็นการเชื่อมโยงอย่างต่อเนื่องไปยัง Control Centre เพื่อที่ใช้ในการคำนวณค่าแก้ไขของพื้นที่ตามภูมิภาคทั่วทั้งระบบ เครือข่าย Virtual Reference Station จะถูกสร้างขึ้นห่างจากตำแหน่งของ Rover ประมาณ 2 - 3 เมตร หลังจากนั้น Rover จะตีความข้อมูลนี้เป็นในลักษณะเดียวกันราวกับว่าตัว Rover เองเป็นสัญญาณและสถานีอ้างอิงจริง หลังจากนั้น VRS จะมีการทำงานเป็นแบบสลับ แต่ถ้าทำการเคลื่อนย้าย Rover จะทำให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพของค่าตรวจแก้ ทำให้จำเป็นต้องสร้าง VRS ขึ้นมาใหม่ ในพื้นที่อีกครั้งดังแสดงในรูปที่ 2.1 (www.sage.unsw.edu.au)



รูปที่ 2. 1 รูปแสดงวิธีการทำงานของระบบ Virtual Reference Station

แหล่งที่มา: www.sage.unsw.edu.au

ข้อดีของระบบ VRS คือ ใช้เวลาการรังวัดค่อนข้างเร็ว และได้ค่าพิกัดในทันที สถานีผู้ใช้งานไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษหรือซอฟต์แวร์เพิ่มเติม เนื่องจากระบบ VRS จะใช้ซอฟต์แวร์ของสถานีผู้ใช้งานในกระบวนการประมวลผลเส้นฐาน เพื่อหาค่าตำแหน่งที่ถูกต้องของสถานีผู้ใช้งาน (ธีรทัต เจริญกาลัญญาตนา, 2555) มีค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือสูง ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม (Rover) เครื่องเดียวก็ทำงานได้ สามารถบริหารจัดการข้อมูลดาวเทียมได้ และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในระยะยาวจะคุ้มทุนกว่า (กองเทคโนโลยีทำแผนที่, 2558)

ส่วนข้อจำกัดของระบบ VRS คือ ประสิทธิภาพของการรังวัดจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสถานีฐานเพิ่มขึ้น โดยสาเหตุเกิดค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ระบบการทำงานของ VRS ต้องการการสื่อสารแบบสองทาง (Two Way Communication) และต้องมีสถานีอ้างอิงอย่างน้อย 3 สถานี

สมการของระบบ VRS มีวัตถุประสงค์คือการแปลงการรังวัดที่สถานีอ้างอิงที่แท้จริงให้กับสถานที่ตั้งของ VRS เช่น ตำแหน่งที่แตกต่างกันนั้นหมายถึงสมการเงื่อนไขของ Model ขึ้นอยู่กับสถานที่ตั้ง Reference Receiver โดยทั่วไปใช้ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง ณ เวลาใดๆ สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\varphi_r^s(t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) \quad (4)$$

โดยที่

$\varphi_r^s(t)$	คือ	ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่ง ณ เวลาใดๆ (เมตร)
λ	คือ	ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
$\rho_r^s(t)$	คือ	ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ ณ เวลาใดๆ (เมตร)
N	คือ	Ambiguity หรือ ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่ง (หน่วยนับ)
f^s	คือ	เท่ากับ $\frac{c}{\lambda}$ มีหน่วยเป็นเฮิรต และเมื่อ c คือความเร็วแสง มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที
$\Delta \delta_r^s(t)$	คือ	ค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ (เมตร)

หากกำหนดให้ตำแหน่งของ Reference Station A ของเครื่องรับ r เท่ากับ เวกเตอร์ X_A และตำแหน่งของสถานีเสมือน (VRS) เท่ากับ เวกเตอร์ X_V เมื่อแทนค่าในสมการที่ (4) จะได้สมการดังนี้

$$\varphi_r^s(X_A, t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(X_A, t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) \quad (5)$$

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(X_V, t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) \quad (6)$$

โดยที่

$\varphi_r^s(X_A, t)$	คือ	ข้อมูลการวัดเฟสของ Reference Station A ณ เวลาใดๆ (เมตร)
$\varphi_r^s(X_V, t)$	คือ	ข้อมูลการวัดเฟสของสถานีเสมือน (VRS) ณ เวลาใดๆ
$\rho_r^s(X_A, t)$	คือ	ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ ณ ตำแหน่งของ Reference Station A (เมตร)
$\rho_r^s(X_V, t)$	คือ	ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ ณ ตำแหน่งของสถานีเสมือน (VRS) (เมตร)

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่ (6) และสมการที่ (5) มาลบกันจะได้สมการดังนี้

$$\varphi_r^s(X_V, t) - \varphi_r^s(X_A, t) = \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(X_V, t) - \frac{1}{\lambda} \rho_r^s(X_A, t) \quad (7)$$

จากสมการที่ (7) จะเห็นว่าเทอมของค่าเลขปริศนา (N) และค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกา ดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ ($\Delta\delta_r^s(t)$) จะหายไป แล้วทำการจัดสมการใหม่จะได้สมการดังนี้

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_A, t) + \frac{1}{\lambda} [e_r^s(X_V, t) - e_r^s(X_A, t)] \quad (8)$$

จากสมการข้างต้น $\varphi_r^s(X_V, t)$ คือ ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่งของสถานี VRS ซึ่งข้อมูลนี้ ไม่จำเป็นต้องทำการรังวัดจริง เนื่องจากสมการทางด้านขวามือสามารถหาค่าได้ แต่เนื่องจากข้อมูล ดาวเทียมที่ได้จากสถานีฐานยังมีค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และค่าความคลาดเคลื่อน จากวงโคจรดาวเทียมดังที่แสดงในสมการที่ (9)

$$\Delta_r^s(X_A, t) = \Delta^{orbit}(X_A, t) + \Delta^{iono}(X_A, t) + \Delta^{Trop}(X_A, t) \quad (9)$$

โดยที่

$\Delta_r^s(X_A, t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ที่ Reference Station A (เมตร)

$\Delta^{orbit}(X_A, t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวงโคจรดาวเทียม ที่ Reference Station A (เมตร)

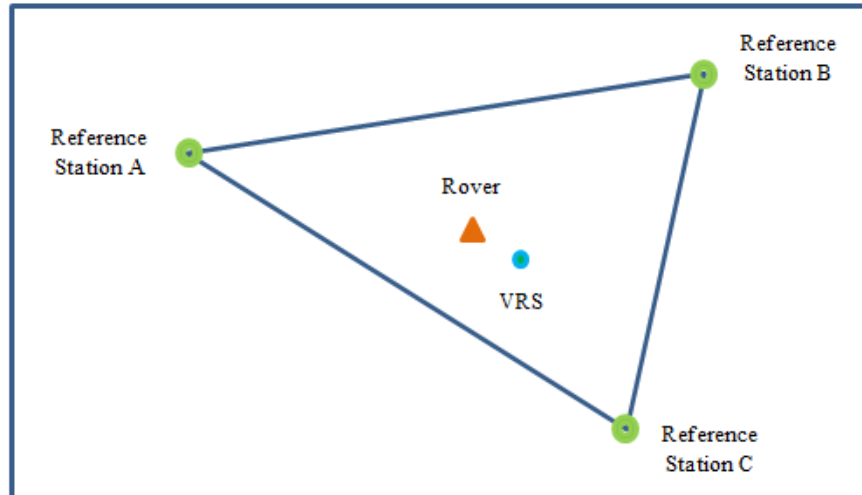
$\Delta^{iono}(X_A, t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ที่ Reference Station A (เมตร)

$\Delta^{Trop}(X_A, t)$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ที่ Reference Station A (เมตร)

ซึ่งในความเป็นจริงจำเป็นต้องพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ด้วย ดังนั้นจาก สมการที่ (5) เมื่อเพิ่มสมการของค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\varphi_r^s(X_A, t) = \frac{1}{\lambda} e_r^s(X_A, t) + N + f^s \Delta\delta_r^s(t) + \Delta_r^s(X_A, t) \quad (10)$$

และจากสมการข้างต้นของสถานีอ้างอิง A สมการที่ (10) จะถูกนำไปใช้ในสถานีอ้างอิงอื่นๆ อย่างเช่นในรูปแสดงแนวคิดการทำงานของระบบ VRS รูปที่ 2.2 ที่มีสถานีอ้างอิง B และสถานีอ้างอิง C ค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ก็จะเป็น $\Delta_r^s(X_B, t)$ และ $\Delta_r^s(X_C, t)$ ตามลำดับ ค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ นี้จะมีทุกสถานีอ้างอิง และทุก Epoch ที่ทำการรังวัด



รูปที่ 2. 2 แสดงแนวคิดการทำงานระบบ VRS

$$\varphi_r^s(X_B, t) = \frac{1}{\lambda} \varphi_r^s(X_B, t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) + \Delta_r^s(X_B, t) \quad (11)$$

$$\varphi_r^s(X_C, t) = \frac{1}{\lambda} \varphi_r^s(X_C, t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) + \Delta_r^s(X_C, t) \quad (12)$$

ดังนั้น ในทำนองเดียวกัน สมการของสถานีเสมือน (VRS) สมการที่ (8) เมื่อเพิ่มในส่วน
ของค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_A, t) + \frac{1}{\lambda} [\varphi_r^s(X_V, t) - \varphi_r^s(X_A, t)] + \Delta_r^s(X_V, t) \quad (13)$$

ค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ตามสมการที่ (10) - (12) $\Delta_r^s(X_A, t)$, $\Delta_r^s(X_B, t)$
และ $\Delta_r^s(X_C, t)$ สามารถคำนวณหาได้ เนื่องจากทราบตำแหน่งของทุกสถานีอ้างอิง ในส่วนของ N
สามารถคำนวณหาได้โดยวิธีการหาค่าเลขปริศนา และ $f^s \Delta \delta_r^s(t)$ หาได้จากเทคนิคการหาค่าต่าง
ครั้งที่สองของคู่สถานี

ดังนั้นเมื่อทราบค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ของสถานีอ้างอิงแล้ว ก็จะสามารถหาค่า
ความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ของสถานี VRS ได้จากการ interpolate ในรูปแบบต่างๆ หรือการจำลอง
Error Residuals ของสถานีอ้างอิง จะได้สมการดังนี้

$$\Delta_r^s(X_i, t) = aX_i + bY_i + cZ_i \quad (14)$$

โดยที่

X_i, Y_i, Z_i คือ ค่าพิกัดตำแหน่งของสถานีอ้างอิงทั้งสามทิศทาง ในระบบพิกัด Earth Center Earth Fix (ECEF Coordinates) หรือระบบพิกัดระนาบที่ประกอบด้วยค่าความสูง

a, b, c คือ ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้จากสถานีอ้างอิง A, B, C โดยการแก้สมการเชิงเส้น ถ้าสถานีอ้างอิงมีมากกว่า 3 สถานี สามารถคำนวณหาได้จากเทคนิค Least Square Adjustment (Hofmann – Wellenhof&Lichtenegger and Wasle , 2008 : จีรทัต เจริญกาลัญญา, 2555)

2.6 องค์ประกอบของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network – Based RTK : NRTK)

การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานนั้น จะต้องมีการติดตั้งเครื่องมือสำหรับระบบเครือข่ายของสถานีฐาน และจำเป็นต้องมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถสื่อสารกับระบบเครือข่ายสถานีฐานสำหรับผู้ใช้งาน ดังต่อไปนี้

2.6.1 สถานีฐานถาวร (CORS)

ส่วนของสถานีฐานถาวรต้องมีอย่างน้อย 3 สถานี โดยสถานีถาวรจำเป็นต้องติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดคุณภาพสูงชนิดหลายความถี่ และเสาอากาศรับสัญญาณดาวเทียมควรจะต้องติดตั้งอุปกรณ์ที่เรียกว่า Choke Ring เพื่อลดการเกิดคลื่นสะท้อน โดยจำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ในสถานที่มั่นคงถาวร และสภาพพื้นที่จะต้องเป็นที่โล่งแจ้ง ปราศจากสิ่งกีดขวาง โดยรอบเพื่อการรับสัญญาณดาวเทียมได้รอบทิศทางและในมุมต่ำ รวมถึงสถานีถาวรต้องเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลางในทันทีและตลอดเวลา

2.6.2 ศูนย์ควบคุมส่วนกลาง (Control Center)

ส่วนนี้จะประกอบไปด้วยซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลการรังวัดโดยอาศัยระบบสถานีฐาน โดยซอฟต์แวร์ดังกล่าวจะรับข้อมูลดิบมาจากทุกสถานีฐานถาวรแล้วทำการประมวลผลข้อมูลเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ เช่น แล้วส่งข้อมูลที่ได้รับการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนแล้วส่งไปยังสถานีของผู้ใช้งานเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้งานต่อไป

2.6.3 สถานีผู้ใช้งาน (Rover Station)

เป็นการเลือกใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดสำหรับสถานีผู้ใช้งานจะขึ้นอยู่กับความถูกต้องของตำแหน่งตามความต้องการของผู้ใช้งานเอง โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมดังกล่าว จำเป็นจะต้องมีอุปกรณ์สื่อสารที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ (ธีรทัต เจริญกาลัญญา, 2555)

2.7 มาตรฐานการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรีว่าด้วยมาตรฐานระวางแผนที่ และแผนที่รูปแปลงที่ดินในที่ดินของรัฐ พ.ศ.2550

เป็นการกำหนดมาตรฐานการรังวัด โดยการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม สำหรับใช้ในการรังวัดหมุดหลักฐานแผนที่เพื่อสร้างโครงข่ายหมุดควบคุม และในการรังวัดหลักเขตที่ดินเพื่อเก็บรายละเอียดรูปแปลงที่ดิน

2.7.1 มาตรฐานการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ Rapid Static หรือ Fast Static มีข้อกำหนดดังนี้

2.7.1.1 ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 1 หรือ 2 ความถี่ จำนวนช่องสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ในเวลาเดียวกันไม่น้อยกว่า 8 ช่อง จำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 5 ดวง มุมกันฟ้าไม่น้อยกว่า 15 องศา ค่า GDOP ไม่เกิน 8 ทำการรังวัดบันทึกข้อมูลไม่น้อยกว่า 15 วินาทีต่อครั้ง มีการรับข้อมูลทั้งที่เป็นรหัส และเฟสคลื่นส่งสถานีฐานต้องเป็นหมุดที่รับสัญญาณ แบบ Static ไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง

2.7.1.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดไม่เกิน 5 mm + 1 ppm ของระยะเส้นฐาน โดยเส้นฐานไม่เกิน 15 กิโลเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในกรณีที่เป็นเส้นฐาน ไม่เกิน 0.05 เมตร ในกรณีที่เป็นโครงข่ายไม่เกิน 0.10 เมตร

2.7.1.3 ระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียมดังแสดงในตารางที่ 2.1

การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 1 ความถี่		การรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่	
ระยะเส้นฐาน	การรับสัญญาณ	ระยะเส้นฐาน	การรับสัญญาณ
ไม่เกิน 5 กิโลเมตร	15 – 25 นาที	ไม่เกิน 5 กิโลเมตร	5 – 10 นาที
5 – 10 กิโลเมตร	25 – 50 นาที	5 – 10 กิโลเมตร	10 – 20 นาที
10 – 15 กิโลเมตร	มากกว่า 60 นาที	10 – 15 กิโลเมตร	มากกว่า 30 นาที

ตารางที่ 2.1 ตารางระยะเวลาการรับสัญญาณดาวเทียม

2.7.2 มาตรฐานการรังวัดด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ RTK มีข้อกำหนดดังนี้

2.7.2.1 ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ 2 ความถี่เท่านั้น จำนวนช่องสัญญาณดาวเทียมที่รับได้ในเวลาเดียวกันไม่น้อยกว่า 12 ช่อง จำนวนดาวเทียมไม่น้อยกว่า 5 ดวง มุมกันฟ้าไม่น้อยกว่า 15 องศา ค่า GDOP ไม่เกิน 8 ทำการรังวัดบันทึกข้อมูลไม่น้อยกว่า 5 วินาทีต่อครั้ง มีการรับข้อมูลทั้งที่เป็นรหัส และเฟสคลื่นส่ง ค่าพิกัดได้จาก Ambiguity Fixed Solution และค่าพิกัดในรูปแบบ Text File ควรรับสัญญาณดาวเทียม ณ จุดที่ทราบค่าพิกัดเพื่อตรวจสอบก่อนเริ่มปฏิบัติงาน

2.7.2.2 ค่าความคลาดเคลื่อนของการรังวัดไม่เกิน 10 mm + 1 ppm ของระยะเส้นฐาน โดยเส้นฐานไม่เกิน 30 กิโลเมตร และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในกรณีที่เป็นเส้นฐานไม่เกิน 0.20 เมตร (คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานระวางแผนที่และแผนที่รูปแปลงที่ดินในที่ดินของรัฐ, 2553)

2.8 การสำรวจรังวัดแปลงที่ดินของกรมที่ดิน ตามระเบียบกรมที่ดิน ว่าด้วยการรังวัดโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย พ.ศ. 2558

เป็นระเบียบที่ได้ปรับเปลี่ยนเพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่ใช้ในการรังวัดและทำแผนที่ในปัจจุบัน ด้วยการหาค่าพิกัดฉากโดยระบบดาวเทียม Global Navigation Satellite System (GNSS) ในประเทศไทย และเป็นการยกระดับมาตรฐานการรังวัดเฉพาะรายให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงในทางค่าพิกัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการแก่ประชาชน

โดยให้ทำการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมที่หมดดาวเทียม RTK Network เพื่อใช้ในการโยกยึดหลักเขตที่ดิน หรือใช้สำหรับเป็นหมุดออก และหมุดเข้าบรรจบเส้นโครงงานหมุดหลักฐานแผนที่เพื่อเก็บรายละเอียดแปลงที่ดิน และในระเบียบฯ นี้ ไม่อนุญาตให้ทำการรังวัดโดยการรับสัญญาณดาวเทียมที่หลักเขตที่ดินโดยตรง ยกเว้นกรณีตรวจสอบค่าพิกัดฉากของหลักเขตที่ดิน

2.8.1 วิธีปฏิบัติงานรังวัดเฉพาะรายโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ มีเงื่อนไขของการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม ดังนี้

2.8.1.1 ให้ใช้วิธีการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม ในพื้นที่ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์แบบสถานีโครงข่าย

2.8.1.2 ให้ใช้ค่า PDOP (Position Dilution of Precision) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการบ่งชี้ความถูกต้องทางตำแหน่งของจุดที่ทำการรับสัญญาณดาวเทียมที่คำนวณได้ ณ เวลาใดๆ ขณะทำการรังวัดไม่เกิน 5

2.8.1.3 ให้ใช้ค่า RMS (Root Mean Square) คือค่ารากที่สองของความแปรปรวนของข้อมูล การรับสัญญาณดาวเทียม ไม่เกิน 3 เซนติเมตร

2.8.1.4 ให้ใช้ผลการรังวัดเป็นแบบ Fixed ซึ่งเป็นการคำนวณลูกคลื่นที่ได้ผลลัพธ์เป็นจำนวนเต็ม ขณะทำการรับสัญญาณดาวเทียม ณ เวลาใดๆ

2.8.1.5 ทำการรังวัดบันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที และข้อมูลการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม ไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล

2.8.2 เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งจากการรังวัดเฉพาะรายโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ลำดับ	รายการ	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่ง
1.	การตรวจสอบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมโดยรับสัญญาณดาวเทียม Static ซึ่งทราบค่าพิกัดฉาก	±4เซนติเมตร
2.	การตรวจสอบการรับสัญญาณดาวเทียม โดยให้ทำการรับสัญญาณดาวเทียม ซ้ำ 2 ครั้ง	± 4 เซนติเมตร
3.	การตรวจสอบค่าพิกัดฉากเดิม และค่าพิกัดฉากใหม่ของหลักเขตที่ดิน	± [4 เซนติเมตร + $\left(\frac{D*100}{5000}\right)]$ D = ผลรวมของระยะระหว่างหมุดหลักฐาน แผนที่ กับโยงยึดหน่วยเป็นเมตร

ตารางที่ 2. 2 ตารางเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งฯ
(กรมที่ดิน, 2558)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 การสำรวจรังวัดเกี่ยวกับที่ดินและการทำแผนที่ด้วยเทคนิคและวิธีการต่างๆ

Rizos and Satirapod (2010) ได้กล่าวว่า Geodesy เป็นวิทยาศาสตร์ของการรังวัดและทำแผนที่รูปทรงเรขาคณิต, เขตแนวและแรงโน้มถ่วงของโลกรวมถึงการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องกับเวลา และยังเป็นพื้นฐานสำหรับงานสำรวจรังวัดและทำแผนที่ ที่ต้องการค่า High Accuracy รวมถึงความหลากหลายของเทคโนโลยีสมัยใหม่ในปัจจุบัน ทำให้การสำรวจรังวัดต่างๆ บนพื้นผิวโลกที่เกี่ยวข้องกับงานแผนที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น และการเพิ่มโครงสร้างพื้นฐานด้วย Continuously Operating Reference Stations (CORS) โดยเทคนิคการสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS นี้เป็นการเพิ่มระดับความแม่นยำให้ดียิ่งขึ้นและเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่จำเป็น ที่ช่วยตอบสนองความต้องการของงานทางด้าน Geodesy , Geosciences, งานสำรวจรังวัดและทำแผนที่ และยังช่วยในเรื่องของการวัดการเคลื่อนตัวของเปลือกโลกและการกำหนดกรอบอ้างอิงทั่วโลกอีกด้วย

Janssen, Grinter, and Roberts (2011) ได้ศึกษาแนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับกระบวนการรวบรวมข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ใช้แสดงตำแหน่งของวัตถุหรือขอบเขตที่ดินในประเทศออสเตรเลีย เพื่อระบุความเป็นเจ้าของ หรือมูลค่าของแปลงที่ดินด้วยระบบดาวเทียม GPS โดยดำเนินการศึกษาด้วยเทคนิค Real Time Kinematic (RTK) ระหว่างวันที่ 15 มกราคม ถึง 27 สิงหาคม 2552 บันทึกข้อมูลทุก 1 วินาที มุมกันฟ้า 13° ในการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานของหมุดควบคุมงานสำรวจรังวัดที่มีอยู่ให้ครอบคลุมงานด้านสำรวจ แบ่งออกเป็น 8 Class (3A = Special High Precision Surveys, 2A = High Precision National Geodetic Surveys, A = National and State Geodetic Surveys, B = State Survey Control Networks, C = Survey Coordination Projects, D = Approximate and Lower Order Surveys, E = Approximate and Lower Order Surveys, U = Unknown or Unreliable) ซึ่งการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเทคนิค RTK GPS เป็นเทคนิคที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงโครงสร้างพื้นฐานของหมุดควบคุมทางงานสำรวจสำหรับงานสำรวจรังวัดแปลงที่ดินโดยเทคนิค RTK สามารถสำรวจแปลงที่ดินในระยะทางที่สั้นลงสามารถรังวัดได้ค่าพิกัดในสนามในเวลาจริง สามารถค้นหาหมุดหลักเขตที่ดินที่มีอยู่ และสามารถใช้งานสำรวจในภูมิประเทศที่ยากได้ เช่นเนินเขาหรือต้นไม้ปกคลุมหนาแน่น เป็นต้น ซึ่งค่าที่ได้จะแสดง

ความถูกต้อง (RMS) ทางราบเท่ากับ 11 mm และทางตั้ง 34 mm และ 55% ของหมุดควบคุม
 ทางงานสำรวจที่มีอยู่ สามารถพัฒนาเป็นหมุดควบคุมงานสำรวจรังวัดแปลงที่ดินที่มีคุณภาพได้

Cina, Manzano, and Manzano (2016) ได้ศึกษาการปรับปรุงขอบเขตแปลงที่ดิน
 ด้วยระบบดาวเทียม GNSS จากแผนที่ต้นฉบับเริ่มแรกทำโดย Catography ที่สร้างขึ้นโดยตรง
 จากอุปกรณ์การวัดด้วยเทคนิค Implantion เรียกว่า Implant Map ของที่ดินในประเทศอิตาลี
 เนื่องจากสำนักงานที่ดินของประเทศอิตาลีได้ดำเนินการลงรูปแปลงที่ดินในรูปแบบแผนที่ที่มีความ
 ละเอียดยิ่งสูง พบว่าปัญหาในการปรับปรุงดังกล่าว คือความหลากหลายของระบบอ้างอิงและการฉาย
 แผนที่ เนื่องจากระบบดาวเทียม GNSS ใช้ทรงรี WGS84 เป็น Geocentric การฉายแผนที่
 แบบ Gauss แต่พื้นที่ศึกษาเป็นทรงรีท้องถิ่นคือ Bessel ellipsoid ที่ใช้ในท้องถิ่น ในเมือง
 Genova ประเทศอิตาลี และการฉายแผนที่แบบ Cassini – Soldner ซึ่งเป็นการยากในการระบุจุด
 ในระบบอ้างอิงทั้งสอง และเป็นสิ่งที่จำเป็นในการรังวัดเพื่อหาค่าพิกัดของจุดเหล่านั้นบนแผนที่
 และบนพื้นดิน ซึ่งหมุดหลักเขตที่ดินมักสูญหายไปตามกาลเวลา Cina, Manzano, and Manzano
 จึงได้ใช้ข้อมูลทางเรขาคณิตของหมุดที่เหลืออยู่ให้สอดคล้องกับการดำเนินการแปลงค่าพิกัดระหว่าง
 สองระบบ และการประมาณค่าพารามิเตอร์ของ Roto—Translation

Erenoglu (2017) ได้ศึกษาทฤษฎีด้านการสำรวจและทำแผนที่ ในสาธารณรัฐตุรกี
 โดยการนำเอาระบบ Satellite – Based Global Positioning เข้ามาใช้งาน เพื่อให้ได้ค่าความ
 ถูกต้องทางตำแหน่งดียิ่งขึ้น จนสามารถทำให้การสำรวจรังวัดด้วยเทคนิค Real-Time Kinematic
 (RTK) ยกระดับค่าความถูกต้องเป็น High – Precision ด้วยเทคนิคการ Fix Base Station
 และ Rover Antenna ในส่วนของการศึกษาทางด้านภาคสนาม Erenoglu (2017) ได้กำหนด
 การสำรวจที่หลากหลายเพื่อที่จะให้มีข้อมูลเพียงพอในการวิเคราะห์และประยุกต์ให้เข้ากับการสำรวจ
 เกี่ยวกับที่ดิน โดยเลือกพื้นที่ในส่วนที่เป็นที่อยู่อาศัยของประชาชน โดยเทคนิคที่แตกต่างกัน
 ของเทคนิคด้านการสำรวจทั้งสิ้น 4 วิธี คือ 1) วิธีการ Static GNSS โดยกำหนดเป็นจุด P1, P2, P3
 และ P4) (ความยาวเส้นฐานประมาณ 108-295 เมตร) มุมกันฟ้า 5° และบันทึกข้อมูลทุก 30 วินาที
 นาน 4 ชั่วโมง ในวันที่ 6 ตุลาคม 2013 และ Processed ร่วมกับสถานี ISTA ซึ่งเป็นสถานี IGS
 ที่รังวัด 24 ชม.ต่อเนื่อง 2) วิธีการ Single Base RTK Positioning โดยออกแบบระบบการใช้งาน
 แบบ Fixed Base Station และ Rover Antenna เป็นการ Fix Station ค่าพิกัดของพื้นที่ P1, P2,

P3 และ P4 ในการ Process Static GPS และกำหนดจุดบนพื้นที่จำนวน 32 จุด จำนวน 10 Epoch 3) วิธีการ A CORS Solution ด้วยเทคนิค VRS รั้วจุดจำนวน 32 จุด (จุดเดียวกับวิธี RTK) จำนวน 10 Epoch แล้วเฉลี่ยเป็นค่าพิกัดและวิธีการที่ 4) วิธีการ Terrestrial Positioning ที่ได้จากการรั้วจุดด้วยกล้อง Total Station โดยใช้จุดอ้างอิงพื้นที่ P1, P2, P3 และ P4 เช่นเดียวกับวิธี RTK รั้วจุดจำนวน 32 จุด (จุดเดียวกับวิธี RTK) ผลการทดลองจากการศึกษาสรุปได้ว่าทั้ง 4 วิธีการสามารถให้ค่า Precision และค่า Accuracy สำหรับการสำรวจรั้วจุดเกี่ยวกับที่ดินที่สอดคล้องกันของค่าพิกัดในทางราบและทางตั้ง และผลจากการรั้วจุดที่ได้จากวิธีการ Real - Time Kinematic/GNSS จะได้ค่าความถูกต้องดีกว่าค่าความถูกต้องของวิธี Continuously Operating Reference Station เพียงเล็กน้อย เนื่องจากผลจากระยะทางที่ใกล้กันของ Base Sites สำหรับวิธีการ Terrestrial Surveys เป็นกระบวนการสำรวจรั้วจุดที่ใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานภาคสนาม แต่ก็ให้ค่า Accuracy ดีกว่าวิธีการอื่นสำหรับพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างบดบังหรือพื้นที่ป่า ในส่วนของวิธี Real-Time Kinematic หรือ Continuously Operating Reference Station ใช้ได้ดีในพื้นที่โล่งแจ้ง

Hu, Khoo, Goh, and Law (2003) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาและประเมินผลของการรั้วจุดจาก GPS Virtual Reference Stations สำหรับค่าทางตำแหน่งของ RTK ในสาธารณรัฐสิงคโปร์ ผลปรากฏว่าเครือข่ายสถานีอ้างอิง VRS ให้ความถูกต้องที่ดีกว่าข้อกำหนดของเทคนิค RTK ประมาณ 3 cm ในทางราบ การใช้สถานีอ้างอิงที่หลากหลายทำให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ และทำให้ความแม่นยำทางตำแหน่งสูงขึ้น และเป็นวิธีการที่มีการส่งค่าแก้ผ่านการเชื่อมโยงเครือข่ายสำหรับผู้ใช้งานในทันที

2.9.2 ผลกระทบจาก Ionospheric

Teeratat Charoenkalunyuta et al. (2012) ได้ศึกษาระบบ Network - Based Real Time Kinematic (NRTK) ในประเทศไทยโดยใช้แนวคิดสถานีอ้างอิงเสมือน (VRS) โดยใช้ข้อมูลจากองค์กรต่างๆ ของประเทศไทย ระหว่างวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2553 ถึงวันที่ 3 มีนาคม 2553 (31 วัน) โดยเก็บข้อมูลจีพีเอสทุกๆ 30 วินาที ทั้งหมด 89,280 Epochs โดยมีระยะห่างของสถานีอ้างอิงที่แตกต่างกัน (10-20, 30-50, 50-60 and 60-80 กม.) ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการดำเนินงานของ NRTK ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อระยะห่างของสถานีอ้างอิงเพิ่มขึ้นนอกจากนี้ยังพบว่า

Ionospheric Bias มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ NRTK ในประเทศไทยถึงแม้จะมีระยะห่างจากสถานีอ้างอิง 10-20 กม. Ionospheric Bias ก็มีผลต่อ Ambiguity-Fixed Solutions ของ VRS เช่นกันในช่วงที่ High Ionospheric Variation ดังนั้น ระยะห่างของสถานีอ้างอิงควรอยู่ต่ำกว่า 30 กม. โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคละติจูดต่ำเช่นประเทศไทย

Teeratat Charoenkalunyuta and Chalermchon Satirapod (2014) ได้ศึกษา Thai Ionospheric Map (THIM) model ที่สร้างขึ้นโดยซอฟต์แวร์ Bernese เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของ NRTK ในประเทศไทย เนื่องจากการศึกษาข้างต้นพบว่า Ionospheric Bias มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ NRTK การศึกษานี้ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของ NRTK ในสามกรณี คือ กรณีแรกไม่ใช้แบบจำลอง Ionospheric ใดๆกรณีที่สองและสามใช้ Global Ionospheric Maps (GIM) และ THIM. ตามลำดับโดยใช้ระยะห่างสถานีอ้างอิงที่แตกต่างกัน คือ 10-20, 30-50, 50-60 และ 60-80 กม. ใช้ข้อมูลการรังวัด GPS จำนวน 31 วันติดต่อกัน และใช้ Continuous GPS (CGPS) ทุกสถานีในภูมิภาคภาคกลางของประเทศไทยผลการทดสอบบ่งชี้ว่า THIM เพิ่มประสิทธิภาพทางตำแหน่งของ NRTK ดีที่สุด เมื่อเทียบกับ GIM และการไม่ใช้แบบจำลอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของการสถานีอ้างอิง 30-50 และ 50-60 กม.แบบจำลอง Ionospheric สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพ NRTK โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่รูปแบบ local Ionospheric สามารถใช้ได้แต่ Ambiguity Fixed Solution ไม่สามารถใช้ได้เมื่ออยู่ในช่วง ที่ Ionospheric สูง แม้จะใช้ local Ionospheric Model

บทที่ 3

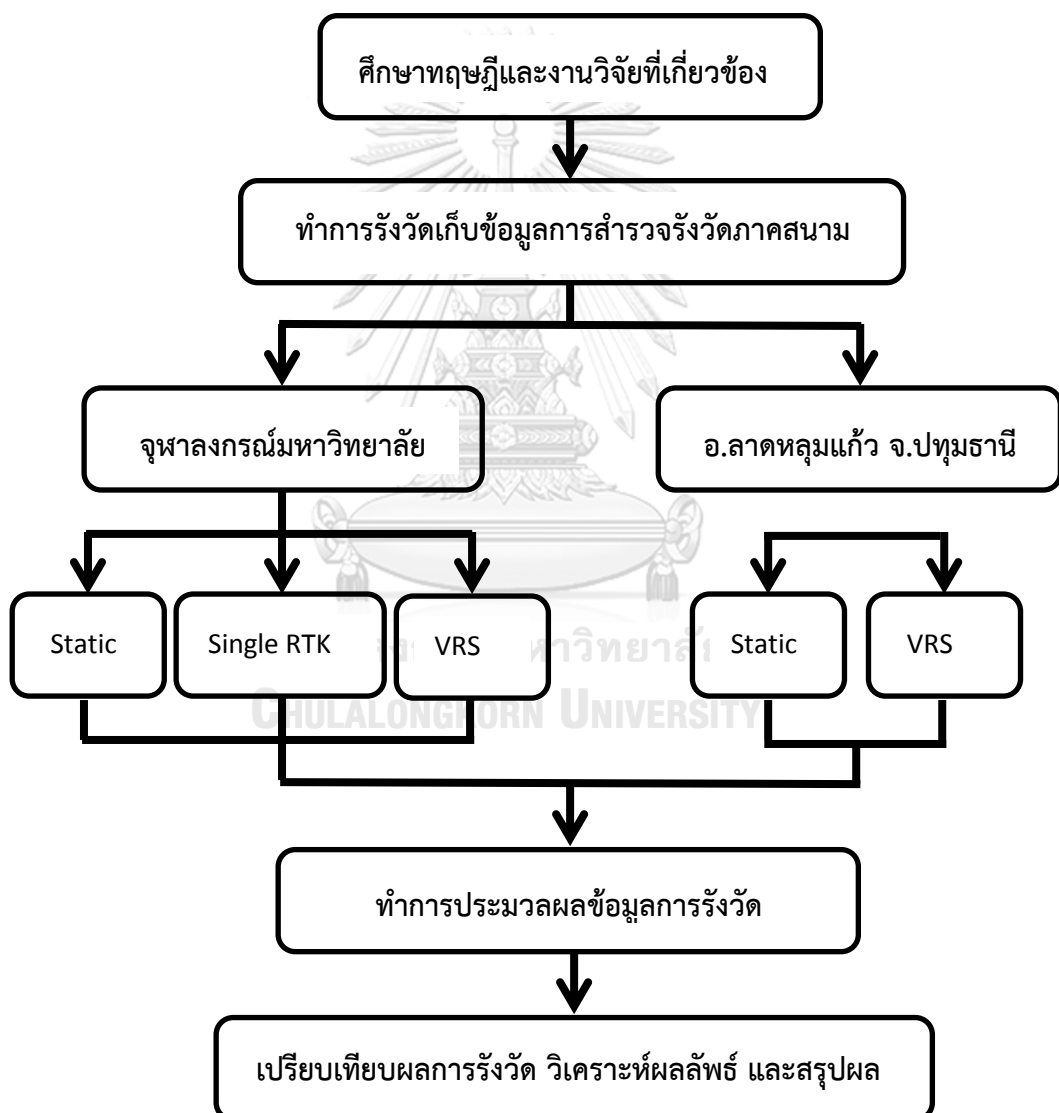
วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความถูกต้องของค่าพิกัดใน 3 มิติ ของเทคนิคการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม GNSS ด้วยเทคนิค Static, Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค VRS ในทางปฏิบัติ และทดลองการสำรวจงานรังวัดที่ดินด้วยระบบดาวเทียม GNSS โดยเทคนิค VRS ในพื้นที่ปฏิบัติงานจริง เป็นการประเมินประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดินของประเทศไทย ในงานวิจัยครั้งนี้มีพื้นที่ศึกษาแบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ศึกษา คือ พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และพื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน การประมวลผล และการวิเคราะห์ข้อมูล สำหรับการประเมินประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดินของประเทศไทย ดังแสดงในรูป 3.1 ดังนี้

- ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS จำนวน 3 เทคนิค คือ เทคนิค Static, Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค Virtual Reference Station โดยศึกษาขั้นตอนการสำรวจรังวัด ข้อดี ข้อจำกัดของแต่ละเทคนิค ค่าความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS และกฎระเบียบที่เกี่ยวข้องกับงานรังวัดที่ดินของประเทศไทย เพื่อให้การศึกษามีความสอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงตามมาตรฐานของการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม แต่จะมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพปัจจุบันและงานวิจัย

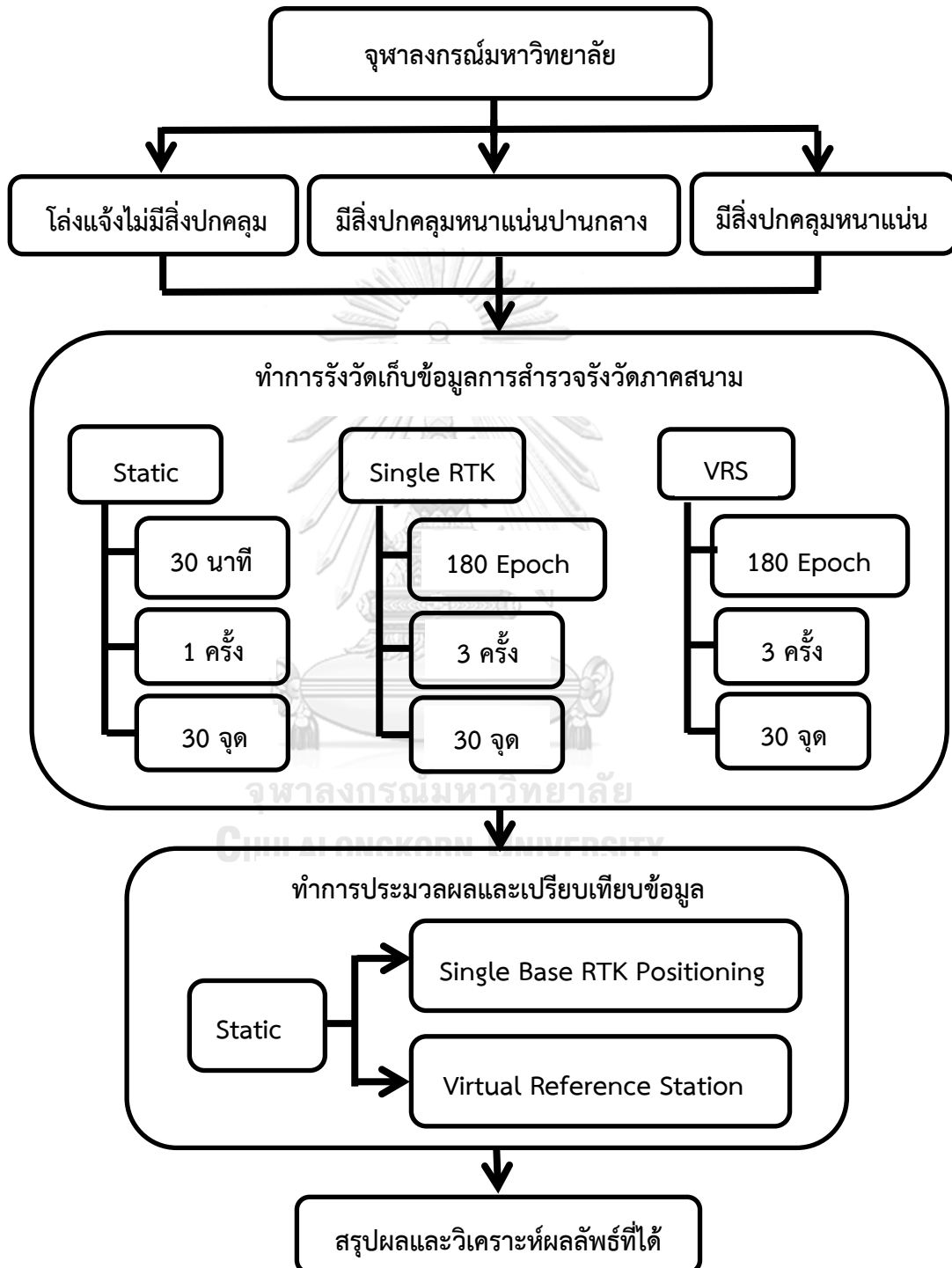
- ทำการรังวัดเก็บข้อมูลการสำรวจรังวัดภาคสนาม โดยใช้เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80 ในพื้นที่ศึกษาจำนวน 2 พื้นที่ คือ 1. พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเป็น 3 กรณี คือ พื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม, พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง 2. พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น และพื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ซึ่งจะทำการรังวัดโดยตรงที่หัวหมุดโดยตรงในพื้นที่แปลงที่ดินของประชาชน

- ทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการรังวัดภาคสนามด้วยเทคนิค Static, Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK ด้วยเทคนิค Virtual Reference Station จากการศึกษาวิจัยสัญญาณระบบดาวเทียม GNSS
- เปรียบเทียบผลการรังวัด วิเคราะห์ผลลัพธ์ และสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาวิจัย การประเมินประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลนในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดิน



รูปที่ 3. 1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งพื้นที่ศึกษาครอบคลุมพื้นที่โล่งแจ้ง ไม่มีสิ่งปกคลุม, พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง และพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น โดยรังวัดที่จุดบนพื้นดินกรณีละ 30 จุด ดังแสดงในรูป 3.2 ดังนี้



รูปที่ 3. 2 วิธีการดำเนินการวิจัยในพื้นที่บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.1 ทำการรังวัดภาคสนามเก็บข้อมูลการสำรวจรังวัด ระหว่างวันที่ 10 - 16 กุมภาพันธ์ 2560 พื้นที่กรณีศึกษาภายในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีสภาพพื้นที่แตกต่างกันไป โดยให้มีพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม ดังแสดงในรูป 3.3 พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น ปานกลาง ดังแสดงในรูป 3.4 และพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น ดังแสดงในรูป 3.5 กรณีละ 30 จุด โดยใช้เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1.1 เทคนิค Static ทำการรังวัดโดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมนาน 30 นาที ใช้จุดควบคุมค่าพิกัดจากสถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) โดยทำการรังวัดจำนวน 1 ครั้ง จากนั้นทำการถ่ายค่าพิกัดมายังสถานี CUSV ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อลดระยะของ Base Line ลง และสถานี CUSV เป็น International GPS Service (IGS) จะช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม และค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกา ดาวเทียมลงได้

3.1.1.2 เทคนิค Single Base RTK Positioning ทำการรังวัดโดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที และข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล และทำการ Fixed Ambiguity โดยใช้สถานีฐาน (Base Station) จากสถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) โดยทำการรังวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง

3.1.1.3 วิธี Network RTK ด้วยเทคนิค Virtual Reference Station ทำการรังวัดโดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที และข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล พื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอยู่ภายในสถานีอ้างอิงของกรมที่ดินจำนวน 3 สถานี คือ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาคร สาขากระทุ่มแบน (KTBN) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) โดยทำการรังวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง



รูปที่ 3. 3 รูปตัวอย่างพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม



CHULALONGKORN UNIVERSITY

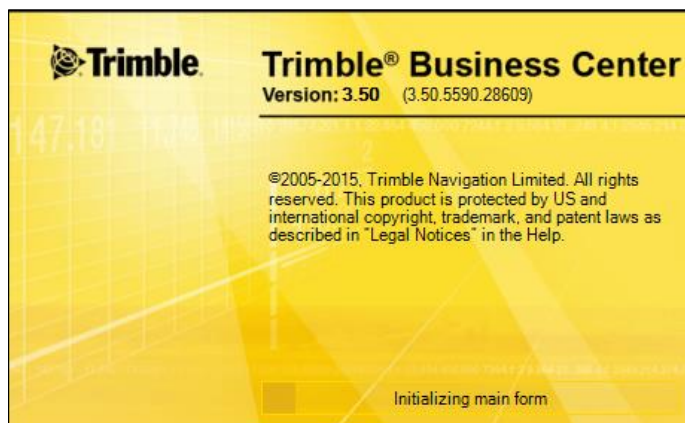
รูปที่ 3. 4 รูปตัวอย่างพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง



รูปที่ 3. 5 รูปตัวอย่างพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น

3.1.2 ทำการประมวลผลการรังวัดที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS ที่ได้จากการรังวัดภาคสนามด้วยเทคนิคต่างๆ มีรายละเอียดของ Software ที่ใช้ในการประมวลผลดังนี้

3.1.2.1 เทคนิค Static ทำการประมวลผลด้วย Trimble Business Center (TBC) Version : 3.50 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม แบบ Post Processing สำหรับข้อมูลที่บันทึกจากการรังวัดจากภาคสนาม โดย Static ที่นำมาเป็น Reference จะต้องสามารถ Fix Ambiguity ได้ ในคลื่นความถี่ L1 หรือ คลื่นความถี่ L1&L2, ค่า Horizontal Precision น้อยกว่า 1.5 cm, ค่า RMS น้อยกว่า 4 cm และ ค่า PDOP ไม่เกิน 5 เท่านั้น



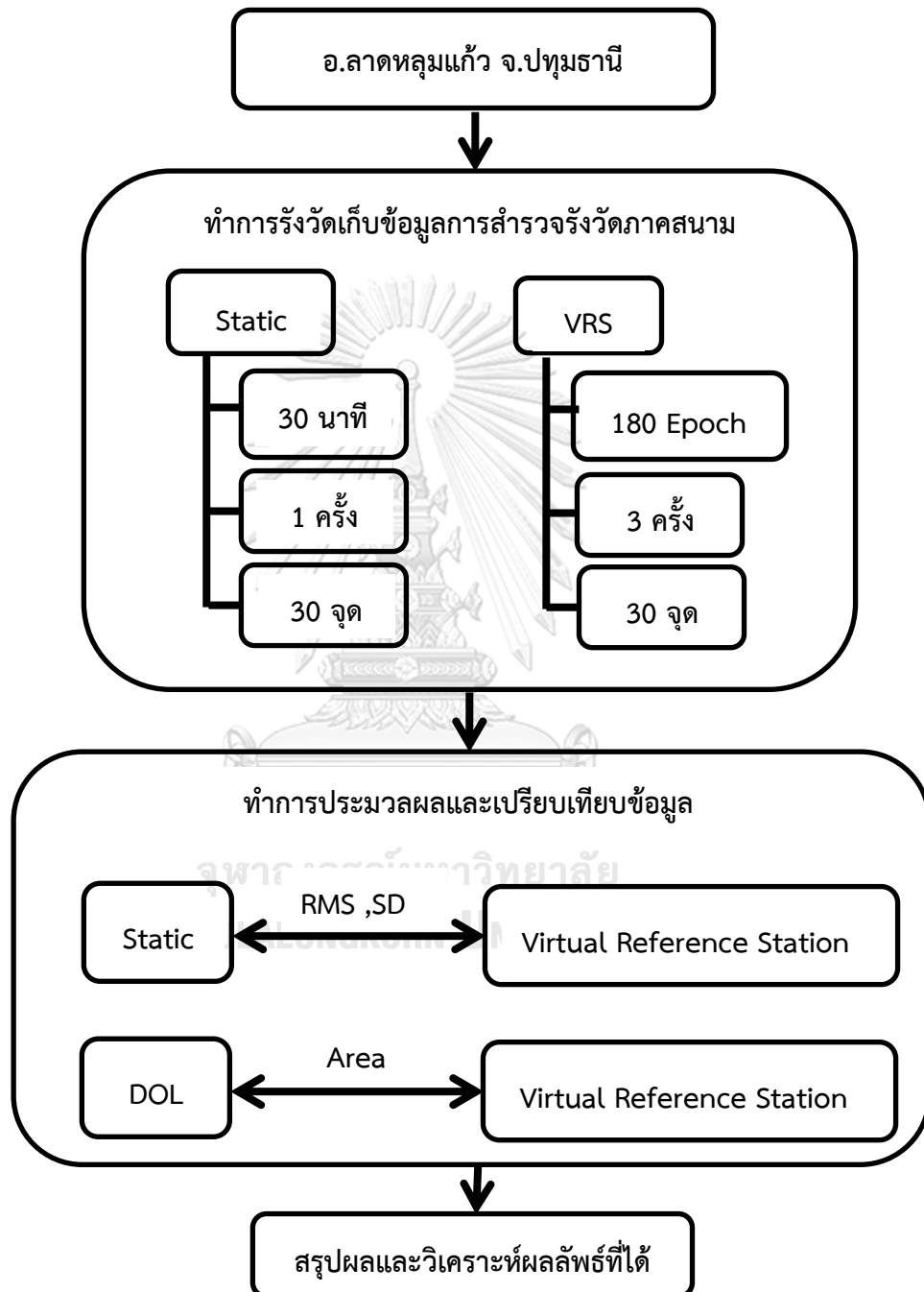
รูปที่ 3. 6 รูปโปรแกรมคำนวณ Trimble Business Center

3.1.2.2 เทคนิค Single Base RTK Positioning ทำการประมวลผลด้วย Software Land Star ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลและสั่งการจากภาคสนามเพื่อใช้สำหรับควบคุมการรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS

3.1.2.3 วิธี Network RTK โดยเทคนิค Virtual Reference Station ทำการประมวลผลด้วย Software CHC Precision Service (CPS) เป็นโปรแกรมสำหรับประมวลผลส่วนกลาง (Control Center) ในการรวบรวมข้อมูลแบบ Real Time จากสถานีฐานถาวร (CORS Station) มาประมวลผลแล้วส่งค่าแก่ผ่านระบบ RTCM และระบบอื่นๆ ไปยังผู้รับสัญญาณ (www.chcthailand.com/software-39965.pape)

3.1.3 เปรียบเทียบผลการรังวัดจาก 3 เทคนิคโดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดจากค่า Root Mean Square และค่า Standard Deviations เพื่อดูค่าความต่างของค่าพิกัดที่ได้ทำการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning และเทคนิค VRS จากการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม GNSS ที่ทำการรังวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง เพื่อดูว่าค่าที่รังวัดได้มีความสอดคล้องและแตกต่างกันอย่างไรในด้านเทคนิคและสภาพพื้นที่ที่ทำการรังวัด

3.2 พื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี จำนวน 34 จุด โดยทำการรังวัด
หาค่าพิกัดที่หั่วหมุดโดยตรง ดังแสดงในรูป 3.7 ดังนี้

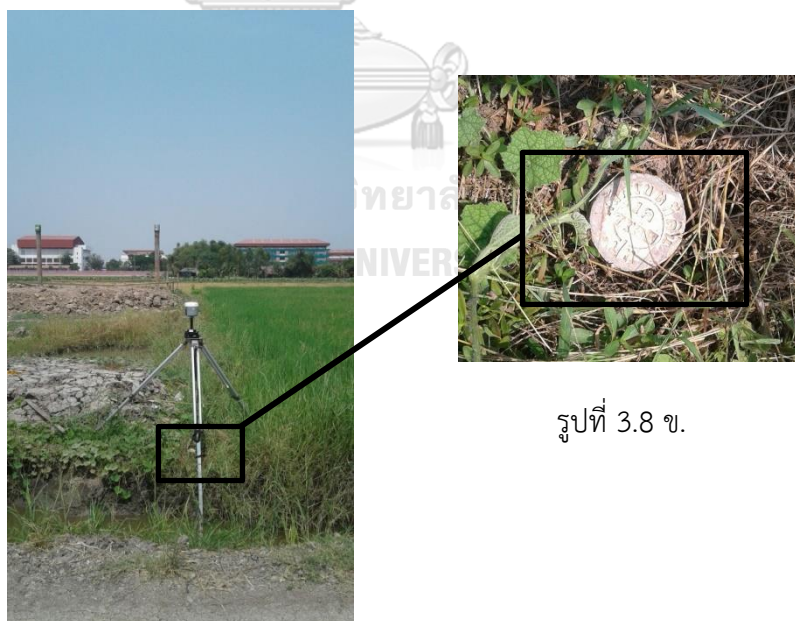


รูปที่ 3. 7 วิธีการดำเนินการวิจัยในพื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

3.2.1 ทำการรังวัดเก็บข้อมูลการสำรวจรังวัดภาคสนาม ระหว่างวันที่ 14 - 17 มีนาคม 2560 และ วันที่ 3, 10 มิถุนายน 2560 พื้นที่กรณีศึกษาพื้นที่บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีสภาพพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่อยู่อาศัยและที่นา ทำการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน ดังแสดงในรูป 3.7 จำนวนทั้งสิ้น 34 จุด โดยใช้เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80 โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.2.1.1 เทคนิค Static ทำการรังวัดโดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมนาน 30 นาที โดยเลือกใช้จุดควบคุมค่าพิกัดจากสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) โดยทำการรังวัดจำนวน 1 ครั้ง

3.2.1.2 วิธี Network RTK โดยเทคนิค Virtual Reference Station ทำการรังวัดโดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล พื้นที่อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานีอยู่ในสถานีอ้างอิงของกรมที่ดินจำนวน 3 สถานี คือ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) โดยทำการรังวัดซ้ำจำนวน 3 ครั้ง



รูปที่ 3.8 ข.

รูปที่ 3.8 ก.

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน (มุม 1)

3.2.2 ทำการประมวลผลการรังวัดที่ได้จากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS ที่ได้จากการรังวัดภาคสนามด้วยเทคนิคต่างๆ มีรายละเอียดของ Software ที่ใช้ในการประมวลผลดังนี้

3.2.2.1 เทคนิค Static ทำการประมวลผลด้วย Trimble Business Center (TBC) Version : 3.50 ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ซึ่งเป็นโปรแกรมประมวลผลข้อมูลดาวเทียม แบบ Post Processing สำหรับข้อมูลที่บันทึกจากการรังวัดจากภาคสนาม โดย Static ที่นำมาเป็น Reference จะต้องสามารถ Fix Ambiguity ได้ ในคลื่นความถี่ L1 หรือ คลื่นความถี่ L1&L2, ค่า Horizontal Precision น้อยกว่า 1.5 cm, ค่า RMS น้อยกว่า 4 cm และ ค่า PDOP ไม่เกิน 5 เท่านั้น

3.2.2.2 วิธี Network RTK โดยเทคนิค Virtual Reference Station ทำการประมวลผลด้วย Software CHC Precision Service (CPS) เป็นโปรแกรมสำหรับประมวลผลส่วนกลาง (Control Center) ในการรวบรวมข้อมูลแบบ Real Time จากสถานีฐานถาวร (CORS Station) มาประมวลผลแล้วส่งค่าแก้ผ่านระบบ RTCM และระบบอื่นๆ ไปยังผู้รับสัญญาณ (www.chcthailand.com/software-39965.pape)

3.2.3 เปรียบเทียบผลการรังวัดจากเทคนิค Static และเทคนิค Static โดยเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดจากค่า Root Mean Square และค่า Standard Deviations เพื่อดูผลการสำรวจด้วยเทคนิค Virtual Reference Stationจากการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS ที่ทำการรังวัดซ้ำ จำนวน 3 ครั้ง เพื่อดูว่าค่าพิกัดที่ได้การสำรวจรังวัดแปลงที่ดินโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน มีความสอดคล้องหรือแตกต่างกันอย่างไร และในสภาพพื้นที่ปฏิบัติงานจริงสามารถทำการสำรวจรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดินได้หรือไม่

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการศึกษาประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในพื้นที่สำหรับงานรังวัดที่ดิน โดยการสำรวจรังวัดตำแหน่งจุดบนพื้นดินด้วยเทคนิคการสำรวจด้วยระบบดาวเทียม GNSS และนำค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดทั้งสามมิติจากการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK โดยเทคนิค Virtual Reference Station (VRS) มาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static เพื่อเปรียบเทียบหาค่าความต่าง เพื่อหาค่า Root Mean Square และ Standard Deviations เพื่อวิเคราะห์เทคนิคการสำรวจรังวัดและสภาพพื้นที่ที่แตกต่างกันสำหรับการรังวัดที่ดินในพื้นที่ศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 พื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกำหนดพื้นที่ศึกษาเป็น 3 กรณี คือ พื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม, พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง และพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นกรณีละ 30 จุด

การรังวัดตำแหน่งด้วยเทคนิค Static ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที และข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมนาน 30 นาที ใช้จุดควบคุมค่าพิกัดจากสถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) ระยะห่างจากสถานีอ้างอิงถึงพื้นที่ศึกษาประมาณ 20 km จากนั้นทำการถ่ายค่าพิกัดมายังสถานี CUSV ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อลดระยะของ Base Line ลง และยังช่วยลดค่าความคลาดเคลื่อนจากวงโคจรดาวเทียม และค่าความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมลงได้ เนื่องจาก สถานี CUSV เป็น IGS

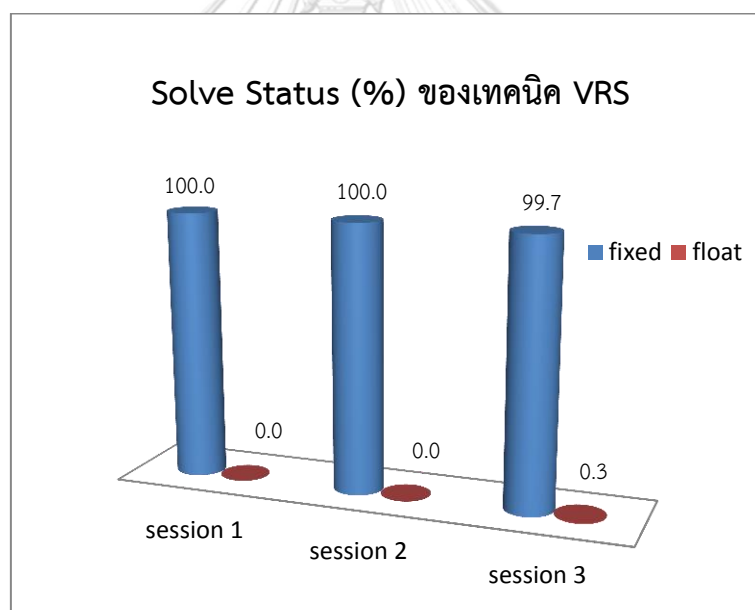
การรังวัดตำแหน่งโดยเทคนิค Single Base RTK Positioning ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล และทำการ Fixed Ambiguity โดยใช้สถานีฐาน (Base Station) จากสถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) ระยะห่างจากสถานีอ้างอิงถึงพื้นที่ศึกษาประมาณ 20 km

และการรังวัดตำแหน่งด้วยวิธี Network RTK โดยเทคนิค VRS ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล ใช้สถานีอ้างอิงของกรมที่ดินจำนวน 3 สถานี คือ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาคร

สาขากระทุ่มแบน (KTBN) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) โดยระยะห่างระหว่างสถานีอ้างอิงไม่เกิน 70 km โดยมีผลการศึกษาดังนี้

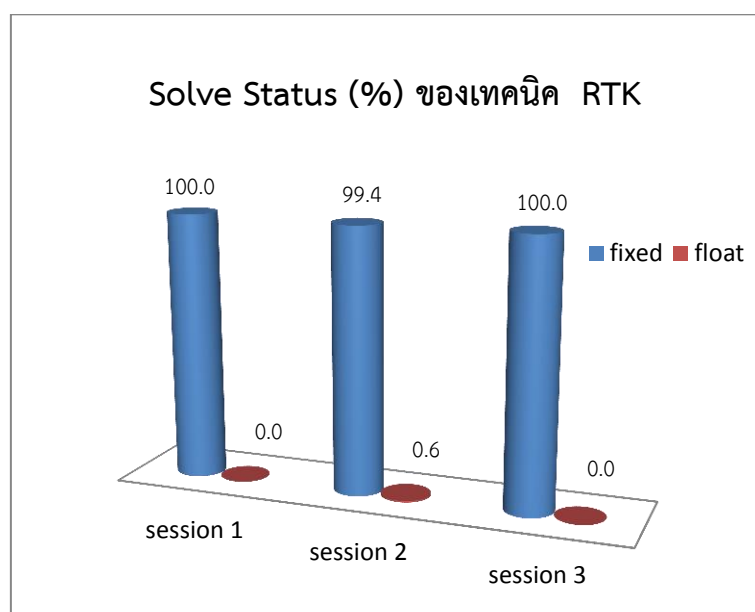
4.1.1 พื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม

ในกรณีการศึกษาพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม ได้ทำการทดสอบจำนวน 30 จุด โดยบันทึกข้อมูลจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 180 Epoch จากการศึกษาด้วยเทคนิค VRS ใน Session ที่ 1 และ 2 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 30 จุด คิดเป็น 100% ส่วนใน Session ที่ 3 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 29 จุด และมี Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 1 จุด คิดเป็น 99.7% (เทคนิค VRS สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้ง 3 Session จำนวน 29 จุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4. 1 แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station

ส่วนการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ใน Session ที่ 1 และ Session 3 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 30 จุดคิดเป็น 100% ส่วนใน Session ที่ 2 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 29 จุด และมี Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 1 จุดคิดเป็น 99.4% (เทคนิค Single Base RTK Positioning สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้ง 3 Session จำนวน 29 จุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4. 2 แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning

และเมื่อนำค่าพิกัดที่รังวัดได้ใน 3 มิติ ของเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning มาทำการเปรียบเทียบกับ เทคนิค Static ที่เป็น Reference ในพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม โดย Static ที่นำมาเป็น Reference จะต้องสามารถ Fix Ambiguity ได้ ในคลื่นความถี่ L1 หรือ คลื่นความถี่ L1&L2, ค่า Horizontal Precision น้อยกว่า 1.5 cm, ค่า RMS น้อยกว่า 4 cm และค่า PDOP ไม่เกิน 5 เท่านั้น ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4. 1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม

จุด	Horizontal (m)						Vertical (m)					
	RMS (VRS)			RMS (Single RTK)			RMS (VRS)			RMS (Single RTK)		
	Session			Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
001	0.034	0.036	0.032	0.047	0.036	0.040	0.128	0.111	0.129	0.223	0.210	0.178
002	0.040	0.034	0.031	0.027	0.023	0.017	0.175	0.167	0.171	0.223	0.220	0.238
003	0.028	0.022	0.017	0.031	0.084	0.029	0.206	0.197	0.186	0.362	0.508	0.273
005	0.056	0.040	0.047	0.042	0.023	0.050	0.075	0.089	0.077	0.356	0.238	0.147
011	0.015	0.023	0.019	0.038	0.029	0.020	0.185	0.184	0.201	0.260	0.258	0.230
013	0.033	0.041	0.046	0.035	0.031	0.025	0.167	0.143	0.139	0.201	0.187	0.196
*014	0.028	0.019	0.043	0.027	0.030	0.018	0.214	0.210	0.292	0.284	0.267	0.285
015	0.030	0.029	0.027	0.033	0.029	0.028	0.165	0.127	0.153	0.109	0.148	0.184
016	0.019	0.024	0.024	0.028	0.025	0.022	0.182	0.190	0.194	0.252	0.242	0.235
017	0.047	0.045	0.036	0.029	0.043	0.035	0.193	0.182	0.189	0.245	0.239	0.235
018	0.029	0.033	0.028	0.029	0.031	0.031	0.161	0.158	0.157	0.160	0.127	0.157
019	0.030	0.028	0.028	0.021	0.026	0.029	0.180	0.177	0.165	0.263	0.260	0.249
020	0.037	0.039	0.038	0.039	0.035	0.031	0.194	0.181	0.184	0.212	0.215	0.206
021	0.012	0.019	0.013	0.037	0.029	0.027	0.177	0.180	0.191	0.260	0.248	0.250
024	0.013	0.027	0.028	0.021	0.020	0.022	0.210	0.212	0.182	0.251	0.232	0.232
025	0.038	0.035	0.044	0.045	0.042	0.040	0.220	0.230	0.216	0.235	0.257	0.267
050	0.020	0.021	0.022	0.022	0.019	0.021	0.174	0.175	0.167	0.229	0.257	0.218
*058	0.012	0.011	0.010	0.017	0.019	0.015	0.163	0.143	0.159	0.227	0.244	0.211
060	0.026	0.026	0.029	0.030	0.030	0.023	0.169	0.179	0.189	0.240	0.258	0.230
061	0.030	0.033	0.027	0.027	0.022	0.026	0.215	0.208	0.218	0.246	0.269	0.226
062	0.033	0.022	0.022	0.019	0.012	0.018	0.124	0.175	0.165	0.224	0.224	0.224
063	0.031	0.026	0.027	0.030	0.023	0.027	0.137	0.159	0.170	0.217	0.248	0.247
069	0.035	0.024	0.024	0.015	0.020	0.016	0.125	0.179	0.170	0.225	0.238	0.260
070	0.043	0.039	0.042	0.032	0.022	0.028	0.174	0.186	0.186	0.275	0.271	0.238
079	0.032	0.026	0.020	0.020	0.015	0.019	0.152	0.135	0.134	0.197	0.213	0.231
080	0.030	0.037	0.031	0.044	0.041	0.041	0.175	0.183	0.184	0.213	0.189	0.226

ตารางที่ 4.1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม (ต่อ)

จุด	Horizontal (m)						Vertical (m)					
	RMS (VRS)			RMS (Single RTK)			RMS (VRS)			RMS (Single RTK)		
	Session			Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
081	0.034	0.022	0.022	0.012	0.020	0.026	0.207	0.209	0.211	0.303	0.274	0.286
084	0.025	0.028	0.025	0.028	0.026	0.032	0.198	0.194	0.212	0.265	0.253	0.225
085	0.029	0.032	0.038	0.029	0.026	0.028	0.172	0.141	0.139	0.371	0.229	0.247
087	0.027	0.028	0.026	0.012	0.014	0.012	0.181	0.173	0.156	0.269	0.279	0.271
Avg.	0.031	0.030	0.029	0.029	0.028	0.027	0.172	0.172	0.173	0.246	0.243	0.229

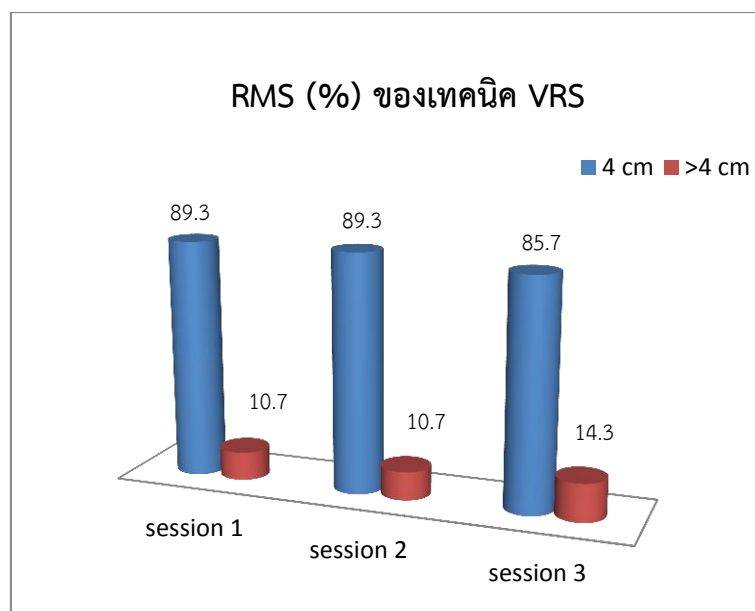
หมายเหตุ RMS เกิน 4 cm Fixed + Float

***จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค**

จากตารางที่ 4.1 จุด 014 และจุด 058 ไม่นำค่าพิกัดตำแหน่งที่รังวัดได้มาใช้เปรียบเทียบกับเทคนิค Static ได้ เนื่องจากไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ในเทคนิค VRS และ/หรือเทคนิค Single Base RTK Positioning ทำให้ในพื้นที่ศึกษานี้สามารถนำค่าพิกัดตำแหน่งที่รังวัดได้มาใช้เปรียบเทียบได้ทั้งสิ้นจำนวน 28 จุดเท่านั้น สาเหตุอาจเนื่องจากขณะทำการรังวัดการรับสัญญาณดาวเทียมไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่อง การเชื่อมต่อสัญญาณทำได้ยากและเกิดสัญญาณหลุดทำให้ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้งที่เป็นสถานที่โล่งแจ้ง

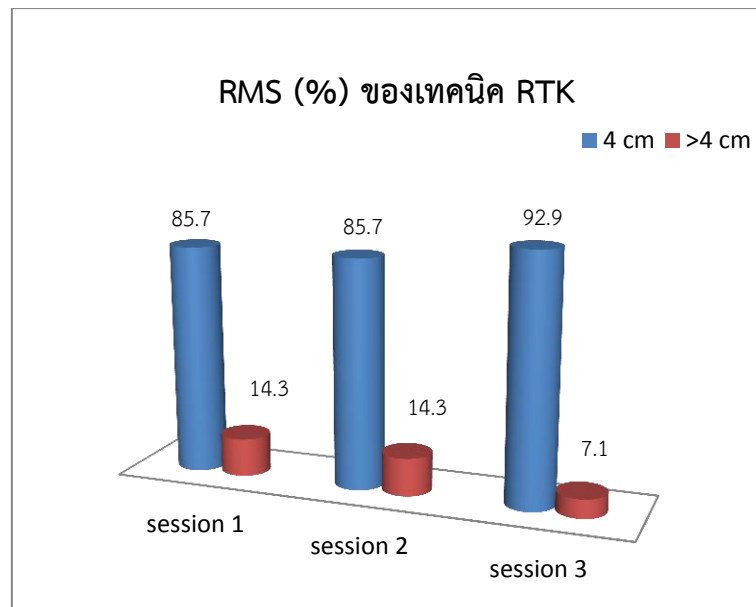
การรังวัดด้วยเทคนิค VRS เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm มีจำนวนจุดตรวจสอบใน Session ที่ 1 และ Session ที่ 2 จำนวน 25 จุด หรือคิดเป็น 89.3 % ส่วน Session ที่ 3 จำนวน 24 จุด หรือคิดเป็น 85.7 % ที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และจากการรังวัดซ้ำจำนวน 3 Session เพื่อตรวจหาความคลาดเคลื่อนของการสำรวจ พบว่า ค่าพิกัดตำแหน่งที่รังวัดได้ในแต่ละ Session ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกัน เมื่อเทียบกับเทคนิค Static

ค่าความถูกต้องในทางราบอยู่ที่ประมาณ 29 – 31 mm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งอยู่ที่ประมาณ 172 - 173 mm



รูปที่ 4. 3 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้

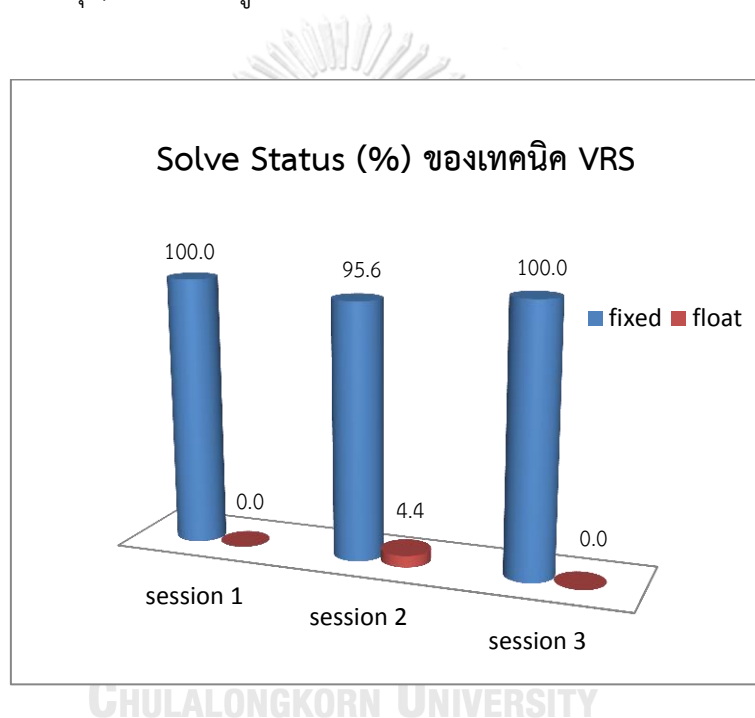
ส่วนการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm พบว่ามีจำนวนจุดตรวจสอบใน Session ที่ 1 และ Session ที่ 2 จำนวน 24 จุด หรือคิดเป็น 85.7 % ส่วน Session ที่ 3 จำนวน 26 จุด หรือคิดเป็น 92.9 % ที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และจากการรังวัดซ้ำจำนวน 3 Session เพื่อตรวจหาความคลาดเคลื่อนของการสำรวจ พบว่า Session ส่วนใหญ่จะมีความสอดคล้องใกล้เคียงกัน แต่จุดที่ 003 Session ที่ 2 เกิดค่ากระโดดทำให้ ค่า RMS ในทางราบและทางตั้ง แตกต่าง Session อื่นอย่างมาก ทั้งที่เป็นพื้นที่โล่งแจ้ง เมื่อเทียบกับเทคนิค Static ให้ค่าความถูกต้องในทางราบอยู่ที่ประมาณ 27 – 29 mm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งอยู่ที่ประมาณ 229 - 246 mm



รูปที่ 4. 4 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้

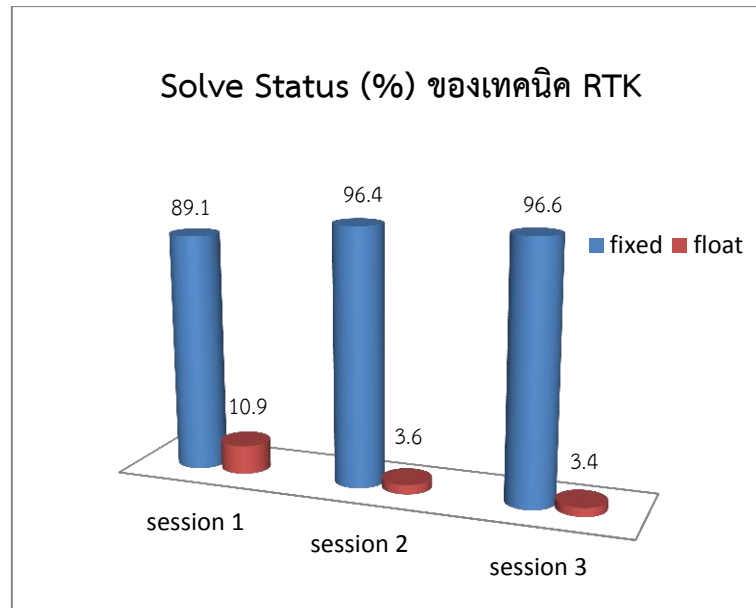
4.1.2 พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ในกรณีการศึกษาพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง ได้ทำการทดสอบจำนวน 30 จุด โดยบันทึกข้อมูลจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 180 Epoch จากการศึกษาด้วยเทคนิค VRS ใน Session ที่ 1 และ Session ที่ 3 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้ทั้งสิ้น 30 จุด คิดเป็น 100% ส่วนใน Session ที่ 2 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 26 จุดและมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 3 จุด คิดเป็น 95.6 % (เทคนิค VRS สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้ง 3 Session จำนวน 25 จุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4. 5 แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station

ส่วนการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ใน Session ที่ 1 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 24 จุดและมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 4 จุด คิดเป็น 89.1% ส่วนใน Session ที่ 2 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 27 จุด และมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกัน อีกจำนวน 2 จุดคิดเป็น 96.4% ส่วนใน Session ที่ 3 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 28 จุดและมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกัน อีกจำนวน 1จุด คิดเป็น 96.6% (เทคนิค Single Base RTK Positioning สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้ง 3 Session จำนวน 23 จุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4. 6 แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning

และเมื่อนำค่าพิกัดที่รังวัดได้ใน 3 มิติ ของเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning มาทำการเปรียบเทียบกับ เทคนิค Static ที่เป็น Reference ในพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง โดย Static ที่นำมาเป็น Reference จะต้องสามารถ Fix Ambiguity ได้ในคลื่นความถี่ L1 หรือ คลื่นความถี่ L1&L2, ค่า Horizontal Precision น้อยกว่า 1.5 cm, ค่า RMS น้อยกว่า 4 cm และค่า PDOP ไม่เกิน 5 เท่านั้น ได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4. 2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

จุด	Horizontal (m)						Vertical (m)					
	RMS (VRS)			RMS (Single RTK)			RMS (VRS)			RMS (Single RTK)		
	Session			Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
*004	0.361	0.362	0.362	0.356	0.362	0.363	0.094	0.086	0.117	0.078	0.051	0.045
010	0.010	0.017	0.018	0.037	0.022	0.020	0.211	0.220	0.228	0.257	0.250	0.200
012	0.061	0.048	0.054	0.034	0.023	0.045	0.296	0.290	0.257	0.320	0.460	0.369
022	0.026	0.032	0.018	0.023	0.038	0.030	0.137	0.190	0.130	0.243	0.172	0.151
*027	0.042	0.036	0.024	0.077	0.047	0.040	0.228	0.195	0.211	0.447	0.263	0.227
030	0.039	0.037	0.032	0.041	0.084	0.047	0.183	0.189	0.247	0.305	0.407	0.228
*032	0.149	0.150	0.126	0.121	0.134	0.132	0.529	0.578	0.494	0.526	0.528	0.513
033	0.038	0.040	0.035	0.023	0.019	0.015	0.227	0.203	0.220	0.240	0.248	0.261
**036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
*038	0.209	0.232	0.348	1.456	0.284	0.256	1.353	1.359	1.420	1.932	1.430	1.426
**042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
044	0.030	0.029	0.030	0.033	0.021	0.025	0.195	0.194	0.186	0.238	0.235	0.248
048	0.033	0.066	0.033	0.029	0.047	0.036	0.220	0.167	0.191	0.244	0.251	0.244
*053	0.037	0.060	0.056	0.070	0.034	0.056	0.260	0.234	0.210	0.282	0.419	0.345
054	0.019	0.017	0.025	0.023	0.030	0.032	0.178	0.230	0.210	0.333	0.384	0.280
064	0.039	0.047	0.041	0.039	0.033	0.033	0.213	0.229	0.257	0.341	0.449	0.282
*067	0.044	0.043	0.021	0.035	0.024	0.040	0.054	0.150	0.178	0.194	0.187	0.168
*068	0.078	0.087	0.080	0.218	0.193	0.336	0.028	0.031	0.038	0.508	0.330	0.489
072	0.044	0.036	0.029	0.018	0.017	0.030	0.133	0.160	0.235	0.231	0.204	0.205
073	0.061	0.049	0.049	0.038	0.042	0.064	0.170	0.201	0.210	0.236	0.198	0.256
074	0.027	0.033	0.028	0.023	0.021	0.020	0.188	0.171	0.166	0.161	0.184	0.204
076	0.021	0.032	0.056	0.073	0.072	0.059	0.188	0.159	0.171	0.248	0.278	0.283
*077	0.021	0.021	0.028	0.029	0.041	0.050	0.184	0.195	0.165	0.433	0.236	0.199
078	0.023	0.033	0.030	0.058	0.071	0.107	0.143	0.170	0.130	0.267	0.325	0.294

ตารางที่ 4.2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง (ต่อ)

จุด	Horizontal (m)						Vertical (m)					
	RMS (VRS)			RMS (Single RTK)			RMS (VRS)			RMS (Single RTK)		
	Session			Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
082	0.029	0.021	0.023	0.029	0.034	0.020	0.261	0.208	0.198	0.272	0.260	0.264
*083	0.463	0.436	0.454	0.421	0.427	0.382	0.027	0.036	0.013	0.110	0.056	0.046
086	0.048	0.027	0.033	0.074	0.022	0.020	0.167	0.262	0.203	0.282	0.328	0.334
089	0.020	0.030	0.022	0.052	0.043	0.029	0.103	0.111	0.129	0.179	0.230	0.173
*090	0.171	0.176	0.292	0.286	0.269	0.252	0.234	0.474	0.476	0.407	0.325	0.260
Avg.	0.033	0.035	0.033	0.038	0.037	0.037	0.189	0.197	0.198	0.259	0.286	0.252

หมายเหตุ RMS เกิน 4 cm Fixed + Float
 RMS เกิน 4 cm + (Fixed + Float) RMS เกิน 4 cm + Float

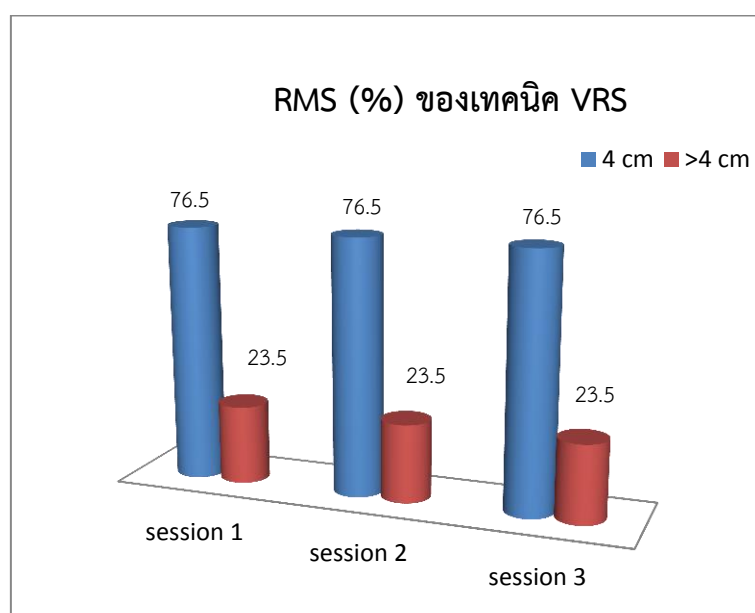
*จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค

**จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากไม่สามารถ Process Static ได้

จากตารางที่ 4.2 พบว่าจุด 004 เทคนิค Static ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้จุด 027, 032, 038, 053, 067, 068, 077, 083 และจุด 090 ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ในเทคนิค VRS และ/หรือเทคนิค Single Base RTK Positioning สาเหตุอาจเนื่องจากขณะทำการ รังวัดการรับสัญญาณดาวเทียมไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่องพื้นที่ส่วนใหญ่จะใกล้สิ่งปลูก สร้างหรือต้นไม้ในบางส่วน ทำให้เกิด Multipath ขณะทำการรังวัดได้ จุด 036, 042, 043 ไม่สามารถ Process Static ได้ สาเหตุอาจเกิดจากวันที่ทำการรังวัด (11 ก.พ. 60) ไม่สามารถรับสัญญาณ ดาวเทียมคลื่นความถี่ L1 ได้ ทำให้ในพื้นที่ศึกษานี้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ทั้งสิ้นจำนวน 17 จุด

การรังวัดด้วยเทคนิค VRS เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm ทั้ง 3 Session สามารถผ่านเกณฑ์เท่ากันจำนวน 13 จุด คิดเป็น 76.5 % ดังแสดงในรูปที่ 4.7

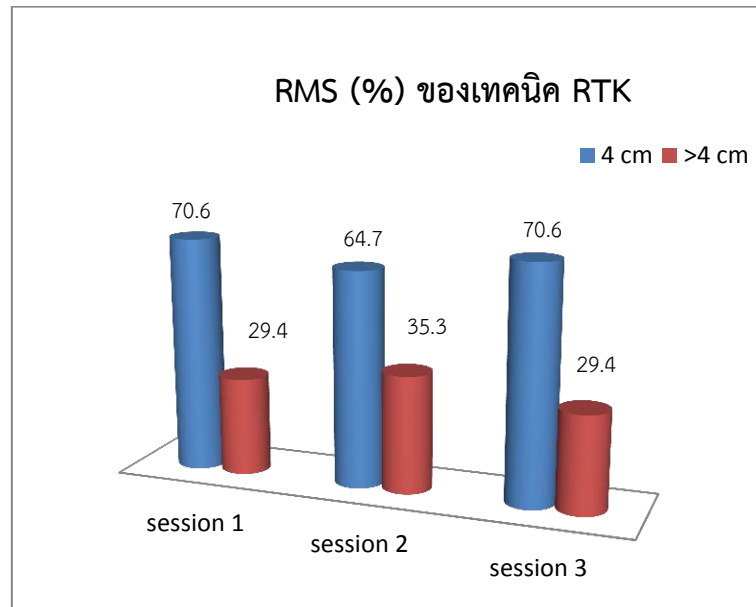
และจากการรังวัดซ้ำจำนวน 3 Session เพื่อตรวจหาความคลาดเคลื่อนของการสำรวจ พบว่า Session ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกันมีบางจุดที่เกิดค่ากระโดด เมื่อเทียบกับเทคนิค Static ค่าความถูกต้องในทางราบอยู่ที่ประมาณ 33 – 35 mm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งอยู่ที่ประมาณ 189 - 198 mm



รูปที่ 4. 7 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้

CHULALONGKORN UNIVERSITY

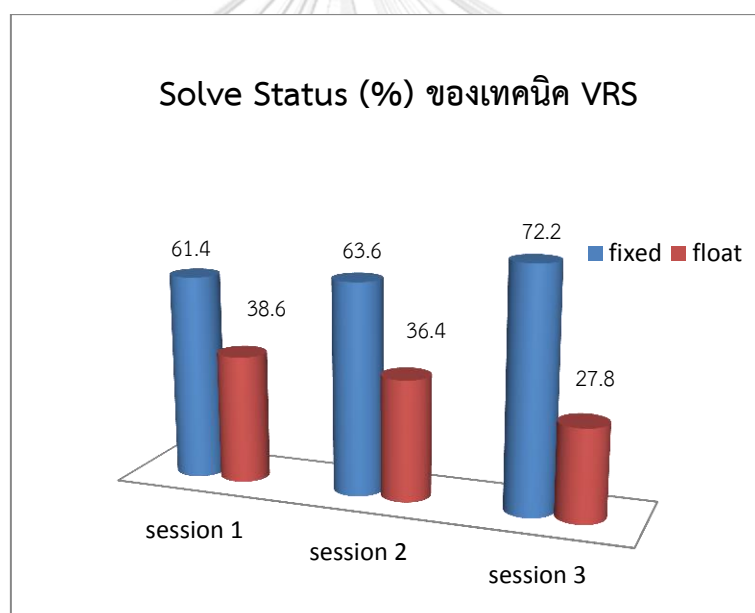
ส่วนการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm พบว่ามีจำนวนจุดตรวจสอบใน Session ที่ 1 และ Session ที่ 3 จำนวน 12 จุด หรือคิดเป็น 70.6 % และ Session ที่ 2 จำนวน 11 จุด หรือคิดเป็น 64.7 % ที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.8 และจากการรังวัดซ้ำจำนวน 3 Session เพื่อตรวจหาความคลาดเคลื่อนของการสำรวจ พบว่าส่วนใหญ่จะมีความสอดคล้องใกล้เคียงกัน แต่บางจุดที่ตั้งอยู่บริเวณที่จอตรงทำให้เกิด Multipath ทำให้เกิดคลื่นหลุดเมื่อเทียบกับเทคนิค Static ให้ค่าความถูกต้องในทางราบอยู่ที่ประมาณ 37 – 38 mm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งอยู่ที่ประมาณ 252 - 286 mm



รูปที่ 4. 8 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้

4.1.3 พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น

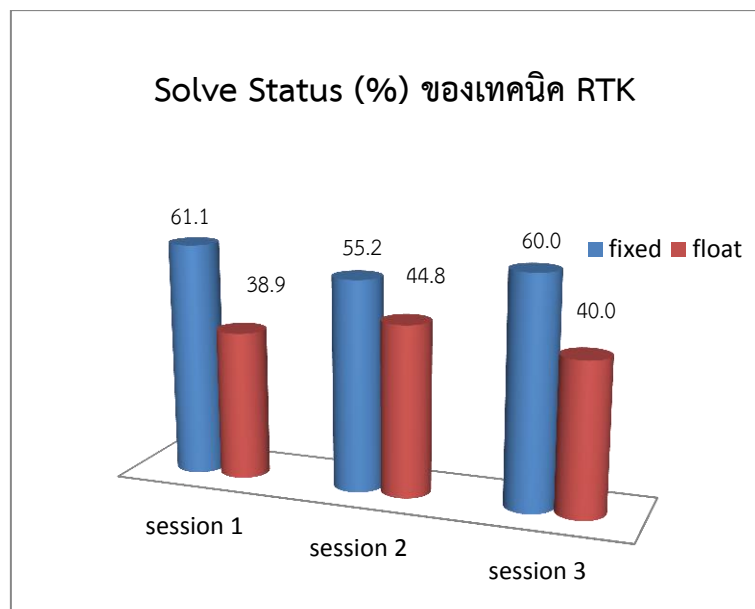
ในกรณีการศึกษาพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น ได้ทำการทดสอบจำนวน 30 จุด โดยบันทึกข้อมูลจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 180 Epoch จากการศึกษาด้วยเทคนิค VRS ใน Session ที่ 1 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 16 จุดและมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 5 จุด คิดเป็น 61.4% ส่วน Session ที่ 2 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 18 จุด และมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 2 จุด คิดเป็น 63.6% และใน Session ที่ 3 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 16 จุด และมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 8 จุด คิดเป็น 72.2% (เทคนิค VRS สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้ง 3 Session จำนวน 10 จุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4. 9 แสดง Solve Status (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station

ส่วนการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ใน Session ที่ 1 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 16 จุดและมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 4 จุด คิดเป็น 61.1% ส่วนใน Session ที่ 2 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 16 จุด และมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 3 จุด คิดเป็น 55.2% และใน Session ที่ 3

ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 18 จุด คิดเป็น 60.0% (เทคนิค Single Base RTK Positioning สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้ง 3 Session จำนวน 15 จุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4. 10 แสดง Solve Status ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning

และเมื่อนำค่าพิกัดที่รังวัดได้ใน 3 มิติ ของเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning มาทำการเปรียบเทียบกับ เทคนิค Static ที่เป็น Reference ในพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น โดย Static ที่นำมาเป็น Reference จะต้องสามารถ Fix Ambiguity ได้ ในคลื่นความถี่ L1 หรือ คลื่นความถี่ L1&L2, ค่า Horizontal Precision น้อยกว่า 1.5 cm, ค่า RMS น้อยกว่า 4 cm และค่า PDOP ไม่เกิน 5 เท่านั้น ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4. 3 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น

จุด	Horizontal (m)						Vertical (m)					
	RMS (VRS)			RMS (Single RTK)			RMS (VRS)			RMS (Single RTK)		
	Session			Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
*006	0.038	0.329	0.129	0.154	0.084	0.043	0.178	1.556	0.576	0.411	0.384	0.308
*007	0.433	0.201	0.221	1.901	3.473	1.993	0.269	0.020	0.055	3.064	6.479	3.824
008	0.026	0.021	0.042	0.043	0.044	0.027	0.101	0.116	0.104	0.104	0.152	0.205
009	0.026	0.038	0.026	0.073	0.074	0.060	0.213	0.163	0.187	0.228	0.211	0.203
*023	0.437	2.128	0.837	4.101	1.494	3.656	0.969	5.514	2.827	4.598	1.591	6.221
*026	0.352	0.551	0.740	0.251	0.449	0.134	0.554	0.854	2.247	0.820	0.776	0.386
*028	0.279	0.309	0.347	1.038	0.213	0.149	0.035	0.159	0.195	0.758	0.332	1.057
*029	0.732	0.745	0.790	0.729	0.766	0.738	0.264	0.247	0.178	0.141	0.318	0.202
***031	0.059	0.059	0.061	0.043	0.030	0.058	0.215	0.208	0.229	0.347	0.386	0.386
*034	0.137	0.131	0.170	0.135	0.105	2.552	0.092	0.085	0.022	0.141	0.344	1.060
**035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
*037	0.019	0.316	0.038	0.009	0.023	0.026	0.157	0.767	0.204	0.254	0.303	0.236
*039	1.329	0.724	0.588	0.570	0.598	0.565	5.366	3.094	0.089	0.211	0.456	0.316
*040	0.016	0.012	0.035	0.019	0.026	0.034	0.193	0.199	0.170	0.325	0.233	0.200
*041	0.772	0.971	2.000	2.089	1.063	1.289	1.775	1.211	4.100	4.078	1.612	1.900
*045	2.717	0.978	6.781	2.672	1.302	1.784	8.636	4.126	20.678	17.191	6.866	4.456
*046	0.673	1.336	2.430	2.862	2.301	1.713	0.283	1.451	4.426	3.169	1.902	1.617
047	0.045	0.024	0.031	0.013	0.026	0.028	0.172	0.145	0.255	0.039	0.061	0.081
*049	0.938	0.494	0.363	0.323	0.300	0.337	1.240	0.373	0.269	0.060	0.076	0.135
*051	0.058	0.067	0.440	0.065	0.150	0.241	0.100	0.091	1.698	0.064	0.256	0.245
*052	0.288	0.116	0.167	0.163	0.185	0.145	1.132	0.091	0.127	0.152	0.109	0.148
*055	3.199	0.197	0.375	0.797	0.189	0.210	5.348	0.279	0.646	0.816	0.331	0.387
056	0.028	0.023	0.033	0.030	0.074	0.072	0.324	0.280	0.294	0.393	0.411	0.289
*057	0.249	2.692	0.209	1.001	0.968	0.652	0.357	3.749	0.423	1.374	0.797	0.452
*059	0.069	0.047	0.057	0.063	0.053	0.067	0.234	0.260	0.221	0.321	0.275	0.268

ตารางที่ 4.3 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ในสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น (ต่อ)

จุด	Horizontal (m)						Vertical (m)					
	RMS (VRS)			RMS (Single RTK)			RMS (VRS)			RMS (Single RTK)		
	Session			Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
065	0.043	0.027	0.027	0.029	0.027	0.035	0.223	0.160	0.211	0.316	0.336	0.379
*066	0.059	0.040	0.041	0.075	0.043	0.052	0.282	0.220	0.210	0.314	0.302	0.302
***071	0.844	0.884	0.887	0.896	0.863	0.862	1.575	1.617	1.568	1.552	1.521	1.517
*075	0.101	0.105	0.112	0.101	0.105	0.112	0.143	0.102	0.122	0.223	0.225	0.227
*088	0.026	0.747	0.176	0.033	0.925	0.033	0.262	1.368	0.734	0.310	1.214	0.284
Avg.	0.034	0.027	0.032	0.037	0.049	0.044	0.206	0.173	0.210	0.216	0.234	0.231

หมายเหตุ RMS เกิน 4cm Fixed + Float Float

RMS เกิน 4 cm + (Fixed + Float) RMS เกิน 4 cm + Float

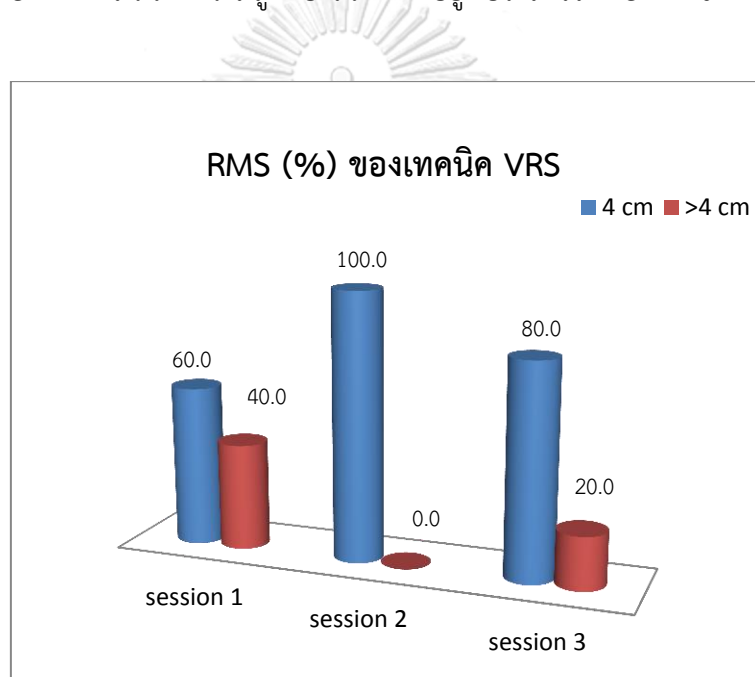
*จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค

**จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากไม่สามารถ Process Static ได้

***จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากค่า PDOP เกิน 5

จากตารางที่ 4.3 พบว่าจุด 006, 007, 023, 026, 028, 029, 034, 037, 039, 040, 041, 045, 046, 049, 051, 052, 055, 057, 059, 066, 075 และจุด 088 ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้งสามเทคนิคหรือบางเทคนิค จุด 035 ไม่สามารถ Process Static ได้ สาเหตุอาจเกิดจากวันที่ทำการรังวัด (11 ก.พ. 60) ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมคลื่นความถี่ L1 ได้ จุด 031 และ 077 ค่า PDOP เกิน 5 ในสภาพพื้นที่นี้ พื้นที่ส่วนใหญ่จะมีต้นไม้ปกคลุมอยู่หรือมีตึกสูงล้อมรอบทำให้เกิด Multipath การรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่อง และเกิดการบดบังสัญญาณดาวเทียม ทำให้ในพื้นที่ศึกษาสามารถนำมาเปรียบเทียบได้ทั้งสิ้นจำนวน 5 จุด

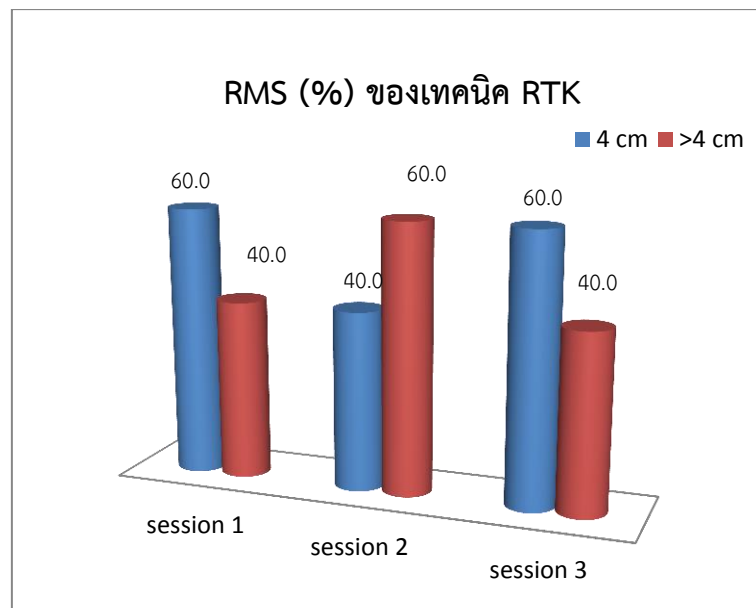
การรังวัดด้วยเทคนิค VRS เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm มีจำนวนจุดตรวจสอบใน Session ที่ 1 จำนวน 3 จุด หรือคิดเป็น 60.0 % Session ที่ 2 จำนวน 5 จุด หรือคิดเป็น 100 % และ Session ที่ 3 จำนวน 4 จุด หรือคิดเป็น 80.0 % ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และจากการรังวัดซ้ำจำนวน 3 Session เพื่อตรวจหาความคลาดเคลื่อนของการสำรวจ พบว่าใน Session ที่สามารถ Fix Ambiguity ค่า RMS จะไปในทิศทางเดียวกัน แต่ด้วยในสภาพพื้นที่ที่มีปัจจัยที่กระทบต่อผลการรับสัญญาณดาวเทียม อาจทำให้เกิดการแกว่งของการรับสัญญาณดาวเทียม เมื่อเทียบกับเทคนิค Static ค่าความถูกต้องในทางราบอยู่ที่ประมาณ 27 – 34 mm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งอยู่ที่ประมาณ 173 - 210 mm



รูปที่ 4. 11 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้

ส่วนการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm พบว่ามีจำนวนจุดตรวจสอบใน Session ที่ 1 และ Session ที่ 3 จำนวน 3 จุด หรือคิดเป็น 60.0 % และ Session ที่ 2 จำนวน 2 จุด หรือคิดเป็น 40.0 % ที่ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และจากการรังวัดซ้ำจำนวน 3 Session เพื่อตรวจหาความ

คลาดเคลื่อนของการสำรวจ พบว่าใน Session ที่สามารถ Fix Ambiguity ค่า RMS จะไปในทิศทางเดียวกันและมีความสอดคล้องกับเทคนิค VRS แต่เทคนิค VRS อาจจะมีค่า RMS ที่ดีกว่าเล็กน้อยในบางจุด เนื่องจากเทคนิค VRS ได้รับค่าแก้จากสถานีอ้างอิงในขณะทำการรังวัด เมื่อเทียบกับเทคนิค Static ให้ค่าความถูกต้องในทางราบอยู่ที่ประมาณ 37 – 49 mm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งอยู่ที่ประมาณ 216 - 234 mm



รูปที่ 4. 12 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้

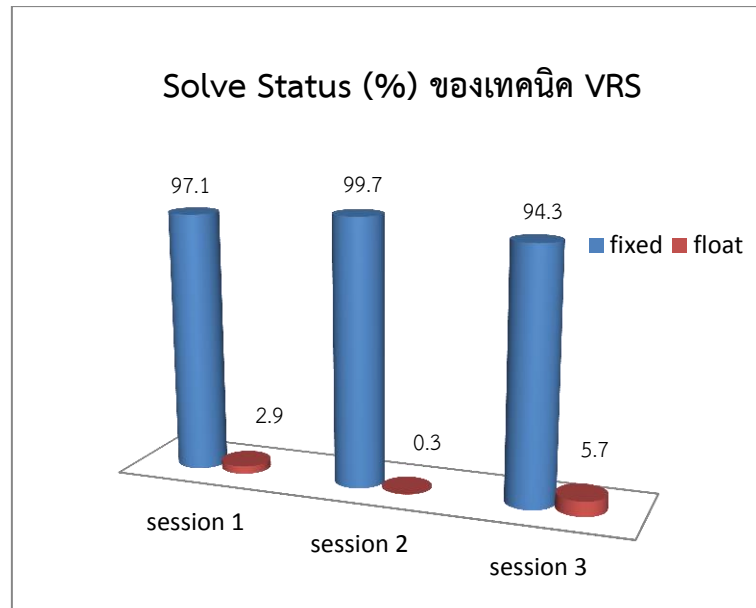
4.2 พื้นที่ศึกษาบริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี จำนวน 34 หมู่

4.2.1 การสำรวจจริงวัดพื้นที่

การรังวัดตำแหน่งด้วยเทคนิค Static โดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมนาน 30 นาที ใช้จุดควบคุมค่าพิกัดจากสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) ระยะห่างจากสถานีอ้างอิงถึงพื้นที่ศึกษาถึงแปลงที่ 1 ประมาณ 29 km แปลงที่ 2 ประมาณ 28 km และแปลงที่ 3 ประมาณ 22 km

การรังวัดตำแหน่งด้วยวิธี Network RTK โดยเทคนิค VRS ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที ข้อมูลการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 180 ข้อมูล ใช้สถานีอ้างอิงของกรมที่ดินจำนวน 3 สถานี คือ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) โดยระยะห่างระหว่างสถานีอ้างอิงไม่เกิน 70 km โดยมีผลการศึกษาดังนี้

จากการศึกษาด้วยเทคนิค VRS ใน Session ที่ 1 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 33 จุด คิดเป็น 97.1% ส่วน Session ที่ 2 ทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 32 จุด และมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 2 จุด คิดเป็น 99.7% และใน Session ที่ 3 สามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้จำนวน 32 จุด และมีทั้ง Fix และ Float Ambiguity ร่วมกันจำนวน 1 จุด คิดเป็น 94.3% (เทคนิค VRS สามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้ง 3 Session จำนวน 32 จุด) ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4. 13 แสดง Solve Status ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station

และเมื่อนำค่าพิกัดที่รังวัดได้ใน 3 มิติ ของเทคนิค VRS มาทำการเปรียบเทียบกับ เทคนิค Static ที่เป็น Reference ในพื้นที่อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี โดย Static ที่นำมาเป็น Reference จะต้องสามารถ Fix Ambiguity ได้ใน คลื่นความถี่ L1 หรือ L1&L2, ค่า Horizontal Precision น้อยกว่า 1.5 cm , ค่า RMS น้อยกว่า 4 cm และค่า PDOP ไม่เกิน 5 เท่านั้น ได้ผล ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS
ในอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

หมวด	Horizontal (m)			Vertical (m)		
	Session			Session		
	1	2	3	1	2	3
1	0.021	0.027	0.028	0.124	0.106	0.120
2	0.017	0.018	0.021	0.133	0.134	0.154
**3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.035	0.033	0.039	0.148	0.135	0.152
6	0.037	0.034	0.033	0.205	0.203	0.193
7	0.020	0.026	0.028	0.109	0.126	0.135
8	0.033	0.036	0.032	0.136	0.145	0.139
**9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.047	0.038	0.035	0.212	0.185	0.177
14	0.033	0.023	0.019	0.192	0.172	0.158
**15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.008	0.007	0.012	1.346	1.346	1.362
18	0.027	0.023	0.021	0.194	0.214	0.205
**19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.007	0.005	0.015	0.180	0.176	0.160
**22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
*23	0.132	0.158	0.165	0.453	0.458	0.443

ตารางที่ 4.4 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS
ในอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (ต่อ)

หมุด	Horizontal (m)			Vertical (m)		
	Session			Session		
	1	2	3	1	2	3
**24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
**25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	0.023	0.022	0.015	0.155	0.142	0.158
27	0.007	0.011	0.024	0.140	0.180	0.180
**28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.018	0.013	0.020	0.271	0.241	0.191
30	0.011	0.014	0.016	0.197	0.187	0.195
31	0.011	0.006	0.015	0.166	0.172	0.183
**32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	0.041	0.039	0.035	0.150	0.136	0.118
34	0.016	0.020	0.021	0.184	0.173	0.173
Avg.	0.023	0.022	0.024	0.236	0.232	0.231

หมายเหตุ  RMS เกิน 4 cm  Fixed + Float  Float

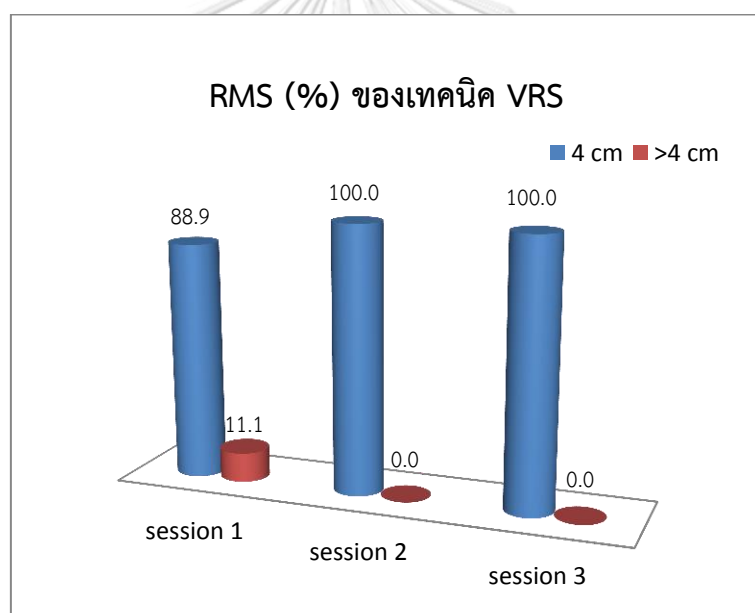
 RMS เกิน 4 cm + (Fixed + Float)

*จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสองเทคนิค

**จุดที่ไม่นำมาหาค่า Average เนื่องจากไม่สามารถ Process Static ได้

จากตารางที่ 4.4 พบว่าหมุด 23 และหมุด 24 เทคนิค VRS ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ อาจเกิดจากหมุดที่ทำการรังวัดอยู่ติดกับสิ่งปลูกสร้าง ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนหมุด 9, 10, 11, 12, 15, 16, 19, 20, 22, 24, 25, 28 และหมุด 32

(ทำการรังวัดวันที่ 14 – 17 มี.ค. 60) ไม่สามารถ Process Static อาจเกิดจากระบบของสถานีอ้างอิง ยังไม่มีความเสถียรเพียงพอ ทำให้ในพื้นที่ศึกษานี้สามารถนำมาเปรียบเทียบได้ทั้งสิ้นจำนวน 18 หมุด และจากการศึกษาพบว่าเทคนิค VRS เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm มีจำนวนจุดตรวจสอบใน Session ที่ 1 จำนวน 16 หมุด หรือคิดเป็น 88.9 % Session ที่ 2 และ Session ที่ 3 จำนวน 18 หมุด หรือคิดเป็น 100.0 % ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 4.14 และจากการรังวัดซ้ำจำนวน 3 Session เพื่อตรวจหาความคลาดเคลื่อนของการสำรวจ พบว่า ค่า RMS ในแต่ละ Session ส่วนใหญ่มีความสอดคล้องกันใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับเทคนิค Static ค่าความถูกต้องในทางราบอยู่ที่ประมาณ 22 – 24 mm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งอยู่ที่ประมาณ 231 - 236 mm



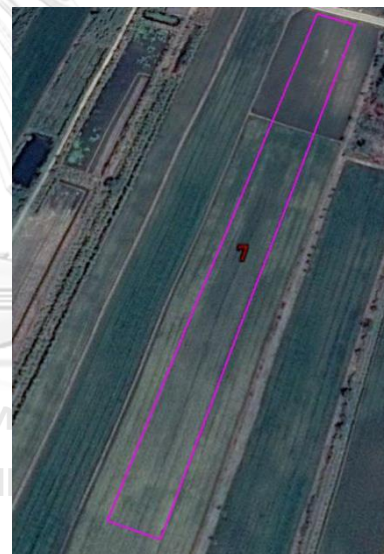
รูปที่ 4. 14 แสดง RMS (%) ของการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station ที่สามารถ Fixed Ambiguity ได้

4.2.2 การเปรียบเทียบเนื้อที่

การเปรียบเทียบเนื้อที่ที่คำนวณได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ที่ทำการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน กับเนื้อที่ที่คำนวณได้จากการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบประมวลผลของกรมที่ดิน ซึ่งหมุดที่จะนำมาเปรียบเทียบจะใช้เฉพาะหมุดที่สามารถ Process Static ได้ด้วยเท่านั้น ผลการเปรียบเทียบเนื้อที่แสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งจากการศึกษาพื้นที่ที่สามารถรังวัดแปลงที่ดินได้จำนวน 3 แปลง คือ แปลงหมายเลข 3, 4 และหมายเลข 8 ดังแสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ก.



รูปที่ 4.15 ข.



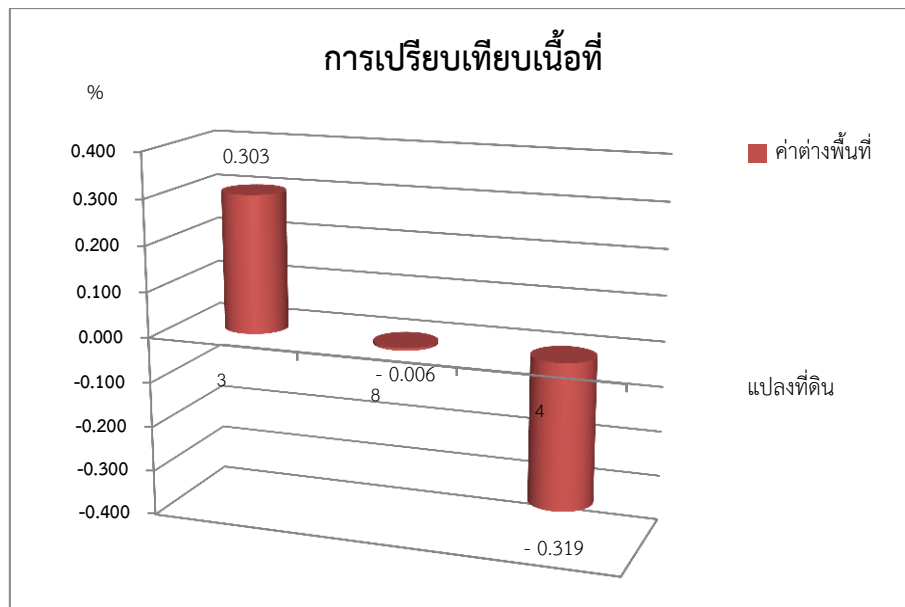
รูปที่ 4.15 ค.

รูปที่ 4. 15 รูปแสดงแปลงที่ดินของพื้นที่การศึกษา บริเวณอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี
(Google Earth)

ตารางที่ 4. 5 ตารางเปรียบเทียบเนื้อที่คำนวณได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ที่ทำการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดินกับเนื้อที่ที่คำนวณได้จากการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบประมวลผลของกรมที่ดิน

แปลง	หมวด	Indian 1975 (DOL)		เนื้อที่ DOL			เนื้อที่คำนวณได้			VRS (WGS 1984)	
		E	N	ไร่	งาน	ตารางวา	ไร่	งาน	ตารางวา	E	N
3	7	651552.047	1560017.101	0	2	0.000	0	1	99.394	651219.371	1560320.015
	8	651542.388	1560002.734							651209.775	1560305.651
	34	651583.621	1559981.308							651250.910	1560284.254
	5	651593.324	1559995.653							651260.679	1560298.510
4	8	651542.388	1560002.734	0	2	0.020	0	2	0.658	651209.775	1560305.651
	33	651532.718	1559988.348							651200.050	1560291.225
	6	651573.907	1559966.947							651241.113	1560269.793
	34	651583.621	1559981.308							651250.910	1560284.254
8	17	647317.491	1551394.219	0	3	68.300	0	3	68.321	646984.716	1551697.120
	18	647292.073	1551373.457							646959.275	1551676.360
	26	647340.794	1551354.403							647008.017	1551657.335
	27	647316.652	1551334.077							646983.900	1551636.985

จากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการรังวัดด้วยเทคนิค VRS โดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน เมื่อคำนวณเนื้อที่แล้วนำมาเปรียบเทียบกับเนื้อที่ที่คำนวณได้จากการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบประมวลผลของกรมที่ดิน พบว่าพื้นที่แตกต่างกันไม่ถึง 1 ตารางวา อาจเป็นเพราะพื้นที่ศึกษามีขนาดเล็กจึงไม่ส่งผลต่อเนื้อที่มากนัก ซึ่งค่าต่างของการเปรียบเทียบเนื้อที่ระหว่างการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบประมวลผลกับการรังวัดด้วยเทคนิค VRS แสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4. 16 แสดงค่าความต่างของการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบประมวลผลของกรมที่ดินกับการรังวัดด้วยเทคนิค VRS (%)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในทันที (NETWORK – BASED GNSS RTK) สำหรับงานรังวัดที่ดิน โดยใช้สถานีอ้างอิงจากกรมที่ดินทั้งสิ้น 5 สถานีที่ล้อมรอบพื้นที่ศึกษา คือ สถานีอาคารรังวัดและทำแผนที่ (PKKT) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรสาคร สาขากระทุ่มแบน (KTBN) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดสมุทรปราการ สาขาบางพลี (BPLE) สถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (AYYA) และสถานีสำนักงานที่ดินจังหวัดนครปฐม สาขาบางเลน (BLAN) และทำการรังวัดด้วยเทคนิค Static, Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK โดยเทคนิค Virtual Reference Station ซึ่งบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผล ข้อจำกัด ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะในงานวิจัยนี้ เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อการนำผลการวิจัยหรือเทคนิควิธีการที่ใช้ในงานวิจัยไปปรับใช้ในงานด้านการสำรวจรังวัดด้านที่ดิน หรือทำการวิจัยในงานที่เกี่ยวข้องต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 พื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5. 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่า Root Mean Square ทั้ง 3 Session ที่ได้จากการเปรียบเทียบจากเทคนิค Static

สภาพพื้นที่	ค่าความถูกต้อง	RMS (Average)					
		VRS			RTK		
		Session			Session		
		1	2	3	1	2	3
โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม (28 จุด)	ทางราบ	0.031	0.030	0.029	0.029	0.028	0.027
	ทางตั้ง	0.172	0.172	0.173	0.246	0.243	0.229
ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น ปานกลาง (17 จุด)	ทางราบ	0.033	0.035	0.033	0.038	0.037	0.037
	ทางตั้ง	0.189	0.197	0.198	0.259	0.286	0.252

ตารางที่ 5. 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่า Root Mean Square ทั้ง 3 Session ที่ได้จากการเปรียบเทียบจากเทคนิค Static (ต่อ)

สภาพพื้นที่	ค่าความถูกต้อง	RMS (Average)					
		VRS			RTK		
		Session			Session		
		1	2	3	1	2	3
ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น (5 จุด)	ทางราบ	0.034	0.027	0.032	0.037	0.049	0.044
	ทางตั้ง	0.206	0.173	0.210	0.216	0.234	0.231

จุดที่นำมาหาค่า Average ซึ่งเป็นจุดสามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค และค่า PDOP ไม่เกิน 5 เท่านั้น

จากตารางที่ 5.1 การศึกษากรณีที่ 1 สภาพพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม การรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning ค่าความถูกต้องมีความใกล้เคียงกันในทางราบ ประมาณ 2 – 3 cm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งของการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ประมาณ 17 - 18 cm และการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ประมาณ 22 – 25 cm เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm (28 จุด) พบว่าเทคนิค VRS และ เทคนิค Single Base RTK Positioning ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวคิดเป็น 88.1 % เท่ากัน

กรณีที่ 2 พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง การรังวัดด้วยเทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning มีค่าความถูกต้องใกล้เคียงกันในทางราบ ประมาณ 3 – 4 cm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้งของการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ประมาณ 18 - 20 cm และการรังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning มีค่าความถูกต้องประมาณ 25 - 29 cm เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm (17 จุด) พบว่าเทคนิค VRS ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวคิดเป็น 76.5 % ส่วนเทคนิค Single Base RTK Positioning คิดเป็น 68.6 %

และในกรณีที่ 3 สภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น การรังวัดด้วยเทคนิค VRS ค่าความถูกต้องในทางราบประมาณ 2 - 4 cm ค่าความถูกต้องทางตั้งประมาณ 17 - 21 cm ส่วนการ

รังวัดด้วยเทคนิค Single Base RTK Positioning ค่าความถูกต้องในทางราบประมาณ 3 - 5 cm ค่าความถูกต้องทางดิ่งประมาณ 21 - 24 cm เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm (5 จุด) พบว่าเทคนิค VRS ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวคิดเป็น 80.0 % ส่วนเทคนิค Single Base RTK Positioning คิดเป็น 53.3 %

จากการศึกษาข้างต้นพบว่า หากสามารถทำการ Fixed Ambiguity ได้ เทคนิค VRS และเทคนิค Single Base RTK Positioning จะให้ค่าความถูกต้องในทางราบจะใกล้เคียงกัน แต่ค่าความถูกต้องทางดิ่ง เทคนิค VRS จะให้ค่าความถูกต้องที่ดีกว่า อาจเกิดจากระยะเส้นฐานที่ใกล้กว่า และเทคนิค VRS สามารถจำลองสถานีอ้างอิงเสมือนได้ ทั้งสองเทคนิคนี้จะทำงานได้ดีในพื้นที่โล่งแจ้ง และบริเวณต้นไม้ที่ไม่หนาแน่นมาก ส่วนพื้นที่ที่มีตึกสูงจะกลายเป็นพื้นที่อับสัญญาณทั้งสัญญาณดาวเทียมและสัญญาณ Internet ทำให้การรับสัญญาณดาวเทียมและการจำลองสถานีอ้างอิงเสมือนทำได้ยากมาก และเกิดการสะท้อนจาก Multipath ทั้งในแนวดิ่ง ราบ หรือเอียงก็ได้ ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างต่อเนื่อง การเชื่อมต่อสัญญาณทำได้ยากและเกิดสัญญาณหลุดบ่อยครั้ง และการรถที่สัญจรผ่านตลอดก็ทำให้เกิดค่ากระโดดอีกด้วย อีกสาเหตุหนึ่งก็คือความไม่เสถียรของระบบเครือข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลนในทันที เนื่องจากในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาระบบที่เดินได้ทำการ Upgrade ระบบโครงข่ายฯ จึงทำให้ข้อมูลบางส่วนไม่สามารถนำมาทำการเปรียบเทียบได้ อย่างเช่นในกรณีสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นสามารถนำมาเปรียบเทียบได้เพียง 5 จุด จากการเก็บข้อมูล 30 จุด

5.1.2 พื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

ตารางที่ 5. 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่า Root Mean Square ที่ได้จากการเปรียบเทียบจากเทคนิค Static (18 จุด)

ค่าความถูกต้อง	RMS (Average)		
	VRS		
	Session		
	1	2	3
ทางราบ	0.023	0.022	0.024
ทางตั้ง	0.236	0.232	0.231

จุดที่นำมาหาค่า Average ซึ่งเป็นจุดสามารถ Fixed Ambiguity ได้ทั้งสองเทคนิคเท่านั้น

จากตารางที่ 5.2 การศึกษาการรังวัดด้วยเทคนิค VRS มีค่าความถูกต้องในทางราบ ประมาณ 2 - 3 cm ส่วนค่าความถูกต้องในทางตั้ง ประมาณ 23 - 24 cm ในพื้นที่ศึกษานี้เป็นการสำรวจรังวัดในสภาพพื้นที่จริงทำการรังวัดโดยตรงที่หัวมุมหลักเขตที่ดิน การตั้งรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบางมุมหลักเขตที่ดิน จึงอาจมีอุปสรรคจากสิ่งปลูกสร้างที่ถูกสร้างขึ้นจากเจ้าของที่ดินที่ล้อมรอบมุมหลักเขตที่ดินที่ทำการศึกษา และสภาพภูมิประเทศของพื้นที่ศึกษาที่เป็นที่อยู่อาศัยและที่ทำกิน ทำให้บางครั้งต้องใช้เวลาในการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา กรมที่ดินได้ทำการ Upgrade ระบบโครงข่ายฯ จึงทำให้ข้อมูลบางส่วนไม่สามารถนำมาทำการเปรียบเทียบได้ (สามารถนำมาเปรียบเทียบได้เพียง 18 จุด จากการเก็บข้อมูล 34 จุด) เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบ 4 cm พบว่าเทคนิค VRS ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวคิดเป็น 96.3 %

และเมื่อทำการคำนวณเปรียบเทียบเนื้อที่ที่ได้ระหว่างการรังวัดด้วยกล้องรังวัดแบบประมวลผลของกรมที่ดินกับเนื้อที่จากการรังวัดด้วยเทคนิค VRS พบว่าในสภาพพื้นที่ที่แปลงที่ดินมีขนาดเล็กเนื้อที่คำนวณได้มีความใกล้เคียงและสอดคล้องกัน แต่เนื่องจากข้อมูลบางส่วนไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบได้จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบได้เพียง 3 แปลง จาก 10 แปลง

5.2 ข้อจำกัด

5.2.1 สภาพพื้นที่ในการสำรวจรังวัดที่ดิน มีความแตกต่างกันทางด้านลักษณะภูมิประเทศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน หรือที่อยู่อาศัย การตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อสำรวจรังวัดโดยตรงที่ห้วงมุมหลักเขตที่ดิน บางมุมหลักเขตที่ดินสภาพพื้นที่ไม่เอื้ออำนวยในการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม หรือบางมุมหลักเขตที่ดินไม่สามารถตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมได้

5.2.2 ค่าที่แสดงในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมขณะทำการรังวัดคือ ค่า Precision ซึ่งบ่งบอกถึงความแม่นยำในการรังวัด แต่ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่จะเข้าใจว่าเป็นค่า Accuracy ที่บ่งบอกถึงความถูกต้องของค่าที่ได้จากการรังวัด แต่ที่จริงแล้วทั้งสองค่านี้ไม่มีความสัมพันธ์กัน (วิชัย เยี่ยงวีรชน, 2557)

5.2.3 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80 เมื่อทำการสำรวจรังวัดด้วยเทคนิค VRS ไม่สามารถแสดงได้ว่า มีสถานีอ้างอิงใดบ้างที่ล้อมรอบพื้นที่ทำการสำรวจอยู่ในขณะนั้น

5.2.4 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80 ใช้ตลับเมตรในการวัดความสูงจากจุดที่ทำการรังวัดถึงเครื่องรับสัญญาณ ผู้ใช้งานจึงต้องคอยดูว่าเวลาวัดระยะ ตลับเมตรเกิดการบิดหรือไม่ ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าทางตั้งได้สำหรับงานที่ต้องใช้ค่าทางตั้ง

5.2.4 โครงสร้างพื้นฐานของสถานีอ้างอิงที่ใช้สำหรับการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมมีระยะห่างของเส้นฐานระหว่างสถานีอ้างอิงห่างกันมากกว่า 30 km ทำให้ความสามารถในการ Fix Ambiguity น้อยลง และอาจมีค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก Ionospheric Bias ได้ (Teeratat Charoenkalunyuta et al., 2012)

5.2.5 มุมหลักเขตที่ดินที่ใช้ในการศึกษา ไม่มีเครื่องหมายแสดงกึ่งกลางที่ห้วงมุมหลักเขตที่ดิน จึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตั้งเครื่องรับสัญญาณของผู้ปฏิบัติงานได้

5.2.6 ในการสำรวจรังวัดที่ดินในสภาพพื้นที่จริงที่ต้องรังวัดโดยตรงที่ห้วงมุมหลักเขตที่ดินพบว่าบางมุมหลักเขตที่ดินอยู่ชิดเสาหรือสิ่งปลูกสร้างที่เจ้าของที่สร้างขึ้น ทำให้ยากต่อการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม และสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างนี้จะเกิด Multipath ขึ้น ส่งผลต่อค่าความถูกต้องที่ทำการรังวัดด้วยเทคนิค VRS ที่ทำการรังวัดโดยตรงที่ห้วงมุมหลักเขตที่ดิน

5.3 ปัญหาที่พบ

5.3.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

- ต้องทำการตรวจสอบการ Setting ค่าสำหรับการรับสัญญาณของเครื่อง Controller เสมอ เนื่องจากบางครั้งค่าที่ทำการ Setting ไว้ มีการเปลี่ยนไปใช้การ Setting แบบ Default
- เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบางเครื่องเมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่ง การต่อ Bluetooth ทำได้ยาก และเกิดปัญหาสัญญาณหลุดบ่อย
- บางครั้งเครื่อง Receiver แสดงสถานะว่า Static On แต่เมื่อทำการ Output Data พบว่าเครื่อง Receiver ไม่ทำการบันทึกข้อมูล Rinex
- เมื่อทำการสั่งให้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบันทึกข้อมูลการสำรวจรังวัดเป็นไฟล์ Rinex (Version 2) พบว่าไฟล์ Rinex ไม่บันทึกตามแบบมาตรฐาน

5.3.2 ระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลนในทันที

- ในการสำรวจรังวัดรับสัญญาณดาวเทียมในช่วงเดือนกุมภาพันธ์และเดือนมีนาคม บางวันไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่อง บางวันสัญญาณเครือข่ายของระบบล่มทั้งวัน อาจเกิดมาจากในช่วงระยะเวลาดังกล่าว กรมที่ดินได้ทำการ Upgrade ระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลนในทันที ทำให้ระบบเครือข่ายฯ ยังไม่มีความเสถียร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 การสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียมมีประโยชน์ต่อประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากจะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน และลดระยะเวลาในการทำงานลงได้ บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงานด้านงานสำรวจรังวัดควรได้รับการพัฒนาศักยภาพการรังวัดด้วยระบบดาวเทียมอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้งานมีความถูกต้องและมีประสิทธิภาพ และจรรยาบรรณของผู้ปฏิบัติงานก็เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งเช่นกัน

5.4.2 ผลการศึกษาจากพื้นที่ศึกษาทั้งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ทั้งสองพื้นที่อยู่ใน Loop ของสถานีอ้างอิงที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าค่าคลาดเคลื่อนจากการ

รังวัดมีความแตกต่างกัน ดังนั้น ควรมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมเพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องเชิงพื้นที่ (Spatial Analysis) ของสถานีอ้างอิงอื่นๆ ต่อไป

5.4.3 ผลการศึกษาครั้งนี้ พบว่า การเปรียบเทียบเนื้อมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดเล็กและพื้นที่ที่นำมาเปรียบเทียบมีแค่ 3 แปลง จาก 10 แปลง เนื่องจากข้อมูลที่รังวัดมาได้ไม่ผ่านเกณฑ์ที่จะนำมาเปรียบเทียบทั้งหมด จึงไม่ปรากฏว่าหากพื้นที่มีขนาดใหญ่ หรือลักษณะพื้นที่แตกต่างออกไป ผลจะเป็นเช่นไร จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม

5.4.4 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่บริเวณตั้งเสาไฟฟ้าหรือเสาไฟฟ้าแรงสูง เพื่อดูว่าเทคนิคการสำรวจรังวัดด้วยระบบดาวเทียมสามารถทำได้หรือไม่

5.4.5 การแบ่งพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่โล่งแจ้งหรือมีสิ่งปกคลุม ควรมีเกณฑ์การแบ่งให้ชัดเจน อาจแบ่งจากจำนวนดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณได้ เป็นต้น เนื่องจากวิจารณ์ของแต่บุคคลไม่เหมือนกัน

รายการอ้างอิง



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาษาไทย

กนก วีรวงศ์. เอกสารคำสอนวิชา 2108512 Adjustment Computation for Geomatics.
กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558 (อัดสำเนา)

กรมที่ดิน. โครงการพัฒนาระบบสารสนเทศที่ดิน.วารสารที่ดิน ฉบับพิเศษ, ปีที่ 57 ฉบับที่ 1 (ครบรอบ
110 ปี กรมที่ดิน) (มกราคม – กุมภาพันธ์ 2554a): 5-16.

กรมที่ดิน. เหลี่ยมหลังแลหน้า 110 ปี. หน้า 2 – 6, 38 – 42. กรุงเทพมหานคร: กองการพิมพ์,
2554b. (จัดทำเป็นที่ระลึกในวาระครบรอบ 110 ปีของกรมที่ดิน)

กรมที่ดิน. ระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์
(RTK Network) ในงานรังวัดเฉพาะราย พ.ศ. 2558, 2558

กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน. โครงข่ายงานรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ตามโครงการจัดทำ
แผนที่เพื่อรองรับการบริหารจัดการข้อมูลที่ดินบนแผนที่มาตราส่วน 1:4,000 (กองเทคโนโลยี
ทำแผนที่). ข่างสำรวจสัมพันธ์ 2/2558 (พฤษภาคม – สิงหาคม 2558) :8.

คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานระวางแผนที่และแผนที่รูปแปลงที่ดินในที่ดินของรัฐ. รายงานผล
การดำเนินการตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรี ว่าด้วยมาตรฐานระวางแผนที่ และแผนที่รูปแปลง
ที่ดินในที่ดินของรัฐ พ.ศ.2550. กรุงเทพมหานคร: กองการพิมพ์, 2553.

ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์. การกำหนดกลุ่มตัวอย่าง
[Online]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. แหล่งที่มา: <http://www.pioneer.netserv.chula.ac.th/~jaimorn/re6.htm>[10 ตุลาคม 2559]

เฉลิมชนม์ สลิระพจน์. เอกสารคำสอนวิชา 2108631 Advanced GPS Satellite Surveying
งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549 (อัด
สำเนา)

ชัชวาล สมจิตต์. แนวทางการดูแลรักษาและคุ้มครองป้องกันที่ดินอันเป็นสาธารณสมบัติของแผ่นดิน.
วารสารที่ดิน ปีที่ 57 ฉบับที่ 4 (2554), 19-24.

ธีรทัต เจริญกาศัญญา. ผลกระทบของค่าตลาดเคลื่อนขึ้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อประสิทธิภาพ
จากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในพื้นที่โดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอส

ในประเทศไทย สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญา ดุษฎีบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555

วิชัย เยี่ยงวีรชน. การสำรวจทางวิศวกรรม 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557. หน้า 22.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), &สมาคมสำรวจข้อมูล ระยะไกลและสารสนเทศภูมิศาสตร์แห่งประเทศไทย. ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิ สารสนเทศศาสตร์. จำนวน 2000 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน),

อัศวิน วังษ์สุวรรณ. การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่เหมาะสม สำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

ภาษาอังกฤษ

Cina, A. Manzano, A.M. and Manzano, G. (2016) Recovery of cadastral boundaries with GNSS equipment, *Survey Review*, 48, 338 – 346.


CHC. (2016) I80 GNSS, CHC Navigation Co., http://www.chcnv.com/upload/i80_DS_EN.pdf

Erenoglu, R. C. (2017) A comprehensive evaluation of GNSS – and CORS – based positioning and terrestrial surveying for cadastral surveys. *Survey Review*, 49, 28 - 38.

Hofmann – Wellenhof, B. Lichtenegger, H. and Wasle, E. (2008) *GNSS Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo & more.* Austria: SpringerWienNewYork, 537pp

- Hu, G.R. Khoo, H.S. Goh, P.C. and Law, C.L. (2003) Development and assessment of GPS virtual reference stations for RTK positioning. *Journal of Geodesy*, 77, 292 - 302.
- Janssen, V. Grinter ,T. and Roberts, C. (2011) Can RTK GPS be Used to Improve Cadastral Infrastructure?. *Engineering Journal*, 15, 43-54.
- Lechner, W. and Baumann, S. (2000) Global navigation satellite systems. *Computers and Electronics in Agriculture (Vol. 25)*, Issues 1 – 2, January, 67 - 85.
- Rizos, C. and Satirapod, C. (2011) CONTRIBUTION OF GNSS CORS INFRASTRUCTURE TO THE MISSION OF MODERN GEODESY AND STATUS OF GNSS CORS IN THAILAND. *ENGINEERING JOURNAL*, 15, 25 – 42.
- South Australian CORS Network. (2016) What is a CORS Network?, www.sage.unsw.edu.au
- Charoenkalunyuta, T. and Satirapod, C. (2014) Effect of Thai Ionospheric Maps (THIM) model on the performance of network based RTK GPS in Thailand. *Survey Review*, 46, 1 - 6.
- Charoenkalunyuta, T. Satirapod, C. Lee, H. K. and Choi, Y.S. (2012) Performance of Network-Based RTK GPS in Low-Latitude Region: A Case Study in Thailand. *Engineering Journal*, 16, 95 - 103

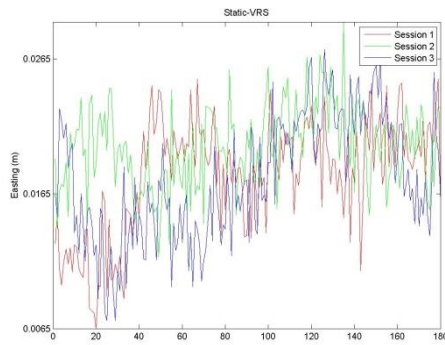




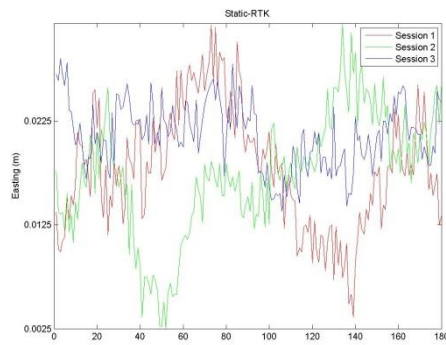
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างค่าต่าง ๆ ที่ทำการเปรียบเทียบการรังวัดด้วยเทคนิค Virtual Reference Station และเทคนิค Single Base RTK Positioning กับเทคนิค Static เพื่อให้ได้ค่าต่าง ๆ สำหรับนำมาคำนวณหาค่า RMS และ ค่า SD

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

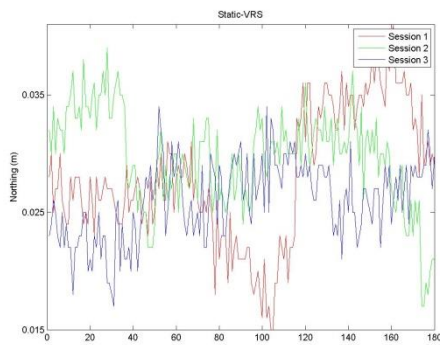
- สำหรับสภาพพื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุมพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ยกตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ก.1



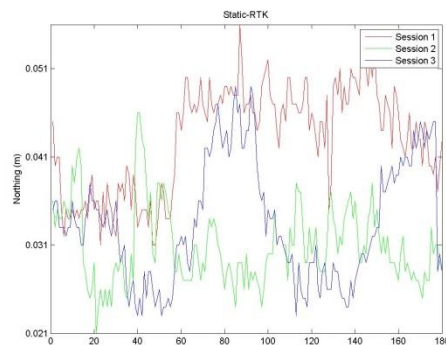
รูปที่ ก.1.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (VRS)



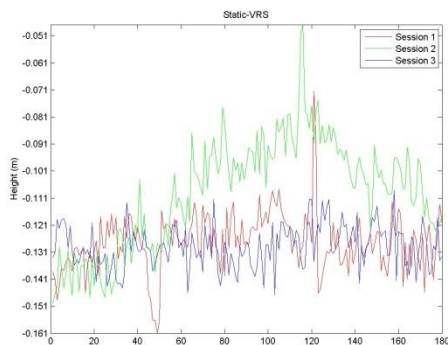
รูปที่ ก.1.ง ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (Single RTK)



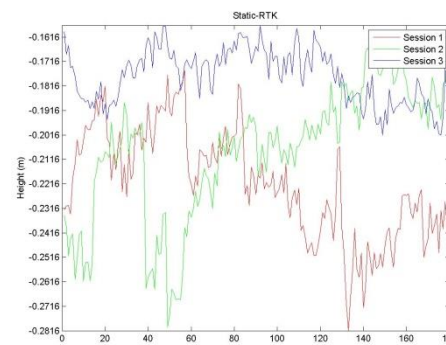
รูปที่ ก.1.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (VRS)



รูปที่ ก.1.จ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (Single RTK)



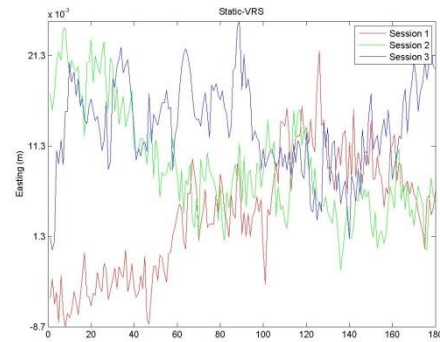
รูปที่ ก.1.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (VRS)



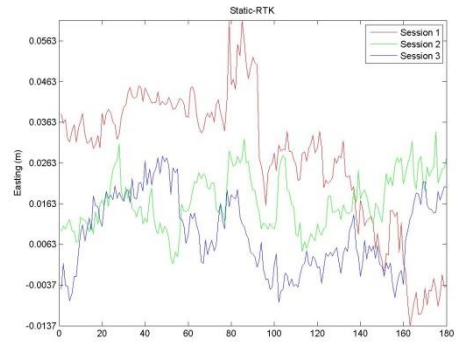
รูปที่ ก.1.ด ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (Single RTK)

รูปที่ ก. 1 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมวด 001

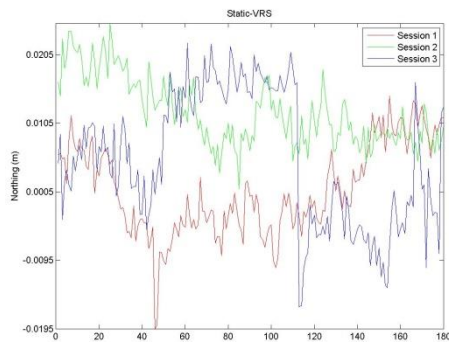
- สำหรับสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลางพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ยกตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ก.2



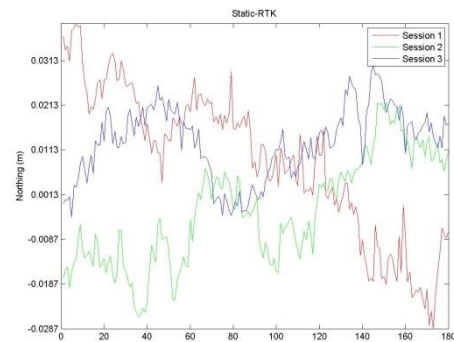
รูปที่ ก.2.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (VRS)



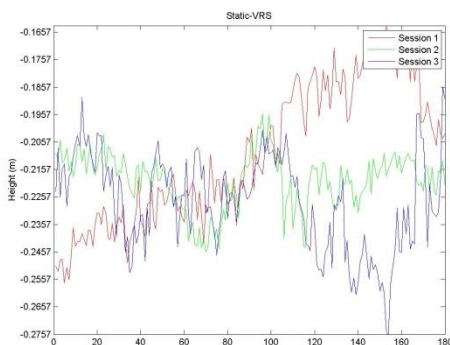
รูปที่ ก.2.ง ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (Single RTK)



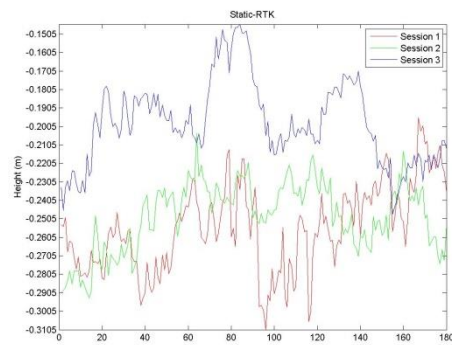
รูปที่ ก.2.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (VRS)



รูปที่ ก.2.จ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (Single RTK)



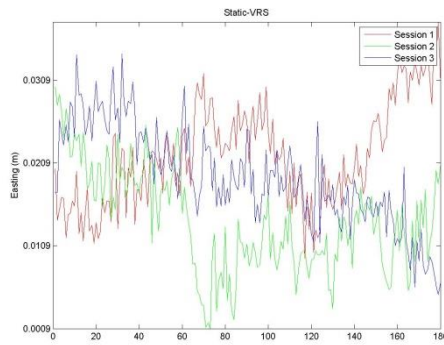
รูปที่ ก.2.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (VRS)



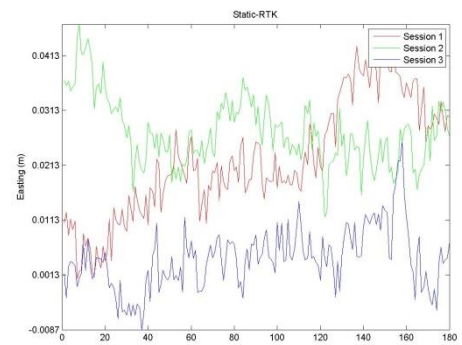
รูปที่ ก.2.ฉ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (Single RTK)

รูปที่ ก. 2 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมุด 010

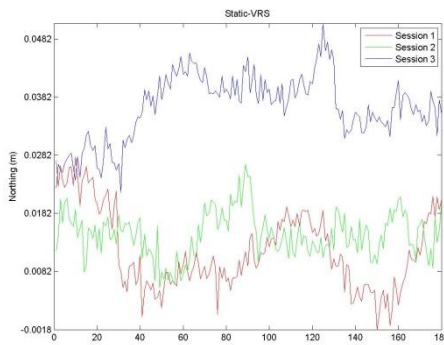
- สำหรับสภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ยกตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ก.3



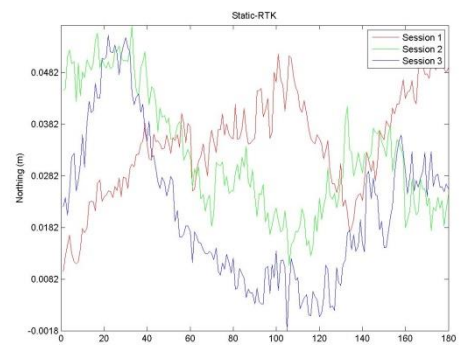
รูปที่ ก.3.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (VRS)



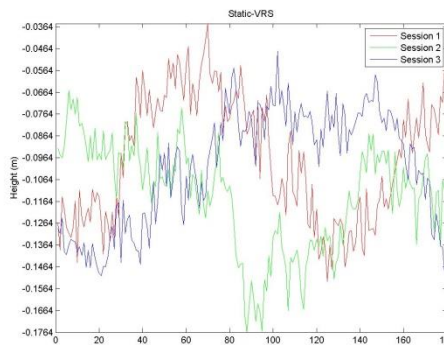
รูปที่ ก.3.ง ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (Single RTK)



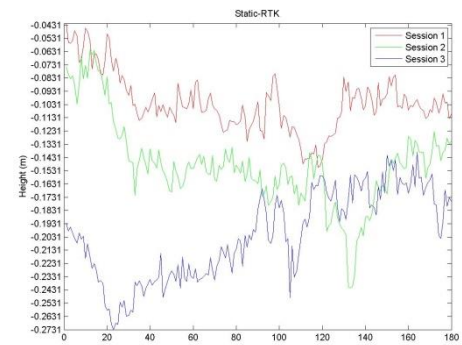
รูปที่ ก.3.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (VRS)



รูปที่ ก.3.จ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (Single RTK)



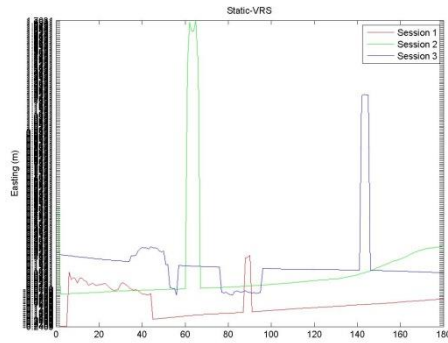
รูปที่ ก.3.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (VRS)



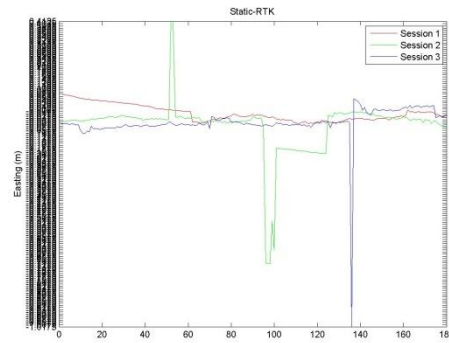
รูปที่ ก.3.ฉ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (Single RTK)

รูปที่ ก. 3 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมวด 008

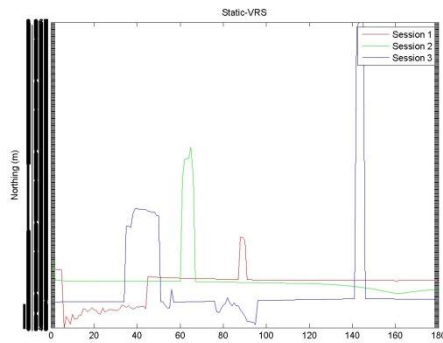
- สำหรับพื้นที่อับสัญญาณ ในสภาพพื้นที่เป็นตึกล้อมรอบสี่ทิศทางและเป็นลานจอดรถ
พื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ยกตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ก.4



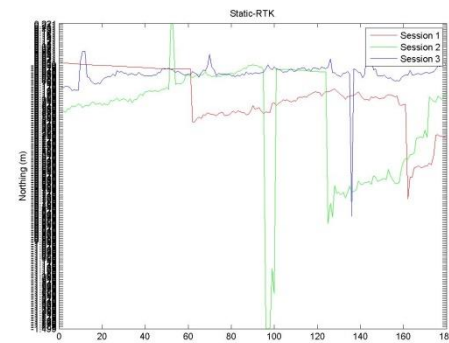
รูปที่ ก.4.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (VRS)



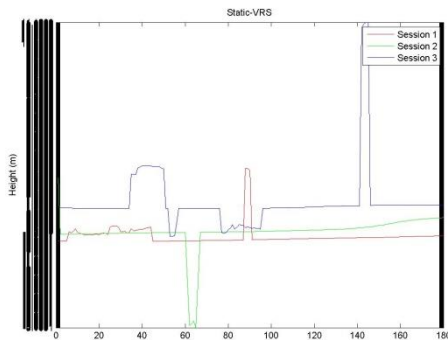
รูปที่ ก.4.ง ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (Single RTK)



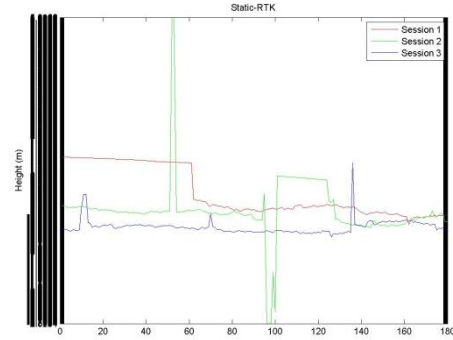
รูปที่ ก.4.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (VRS)



รูปที่ ก.4.จ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (Single RTK)



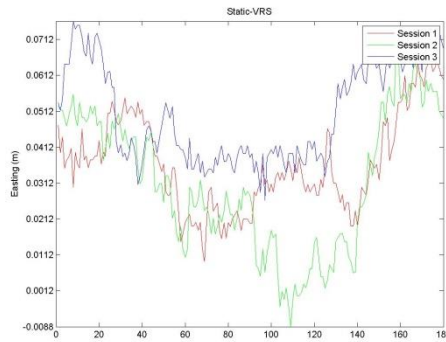
รูปที่ ก.4.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (VRS)



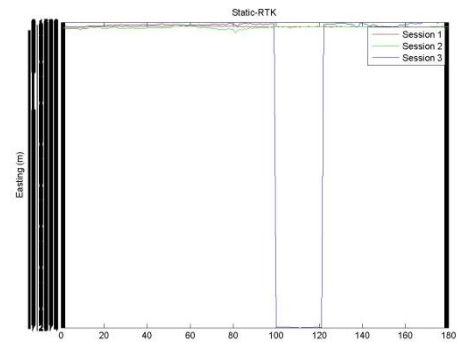
รูปที่ ก.4.ฉ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (Single RTK)

รูปที่ ก. 4 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมวด 026

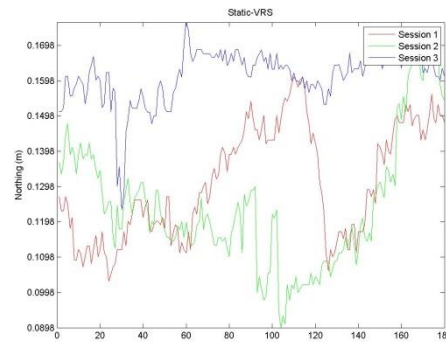
- สำหรับสภาพพื้นที่ที่มีรถสัญจรผ่านตลอด พื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ยกตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ ก.5



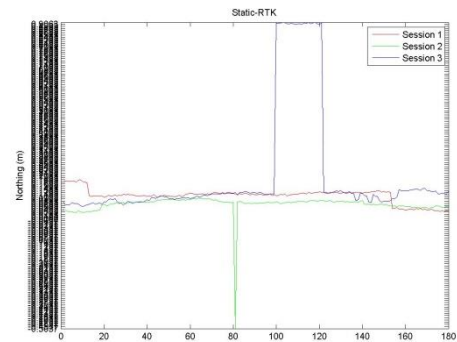
รูปที่ ก.5.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (VRS)



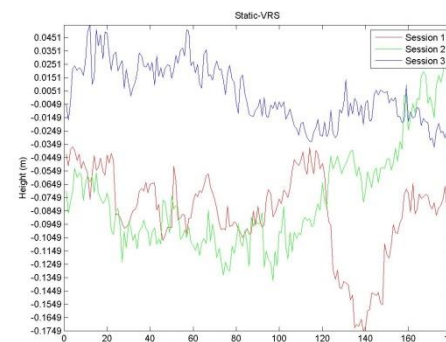
รูปที่ ก.5.ง ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (Single RTK)



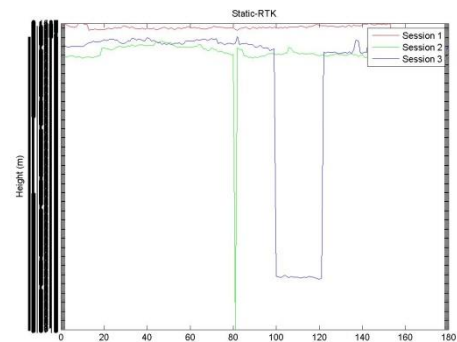
รูปที่ ก.5.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (VRS)



รูปที่ ก.5.จ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (Single RTK)



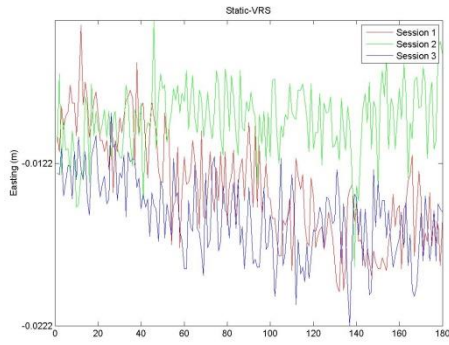
รูปที่ ก.5.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (VRS)



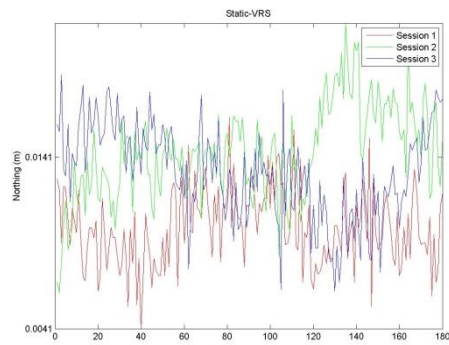
รูปที่ ก.5.ฉ ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (Single RTK)

รูปที่ ก. 5 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัดหมุด 034

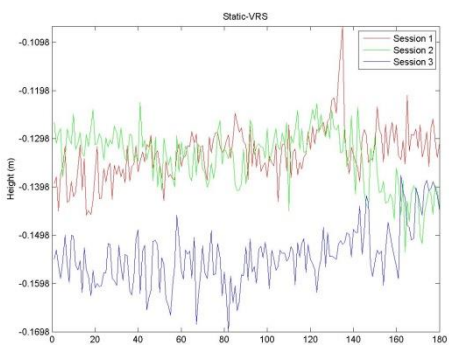
- สภาพพื้นที่หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ในที่โล่งแจ้ง พื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ดังแสดงในรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (VRS)



รูปที่ ก.6.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (VRS)



รูปที่ ก.6.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (VRS)



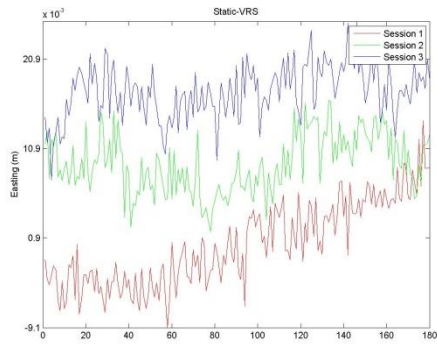
รูปที่ ก.6.ง.



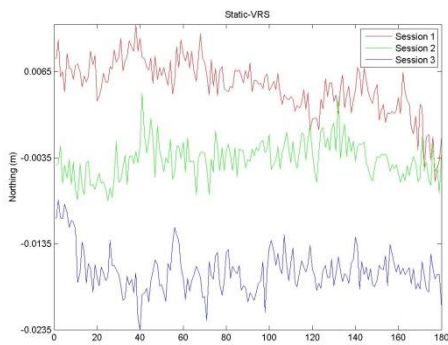
รูปที่ ก.6.จ.

รูปที่ ก. 6 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด และสภาพพื้นที่หมุด 002

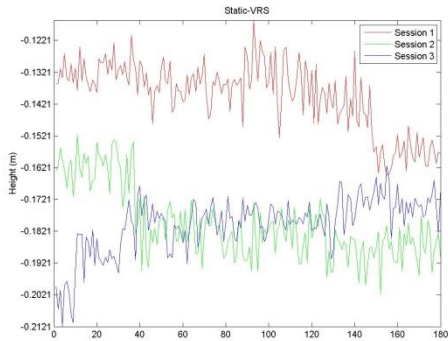
- สภาพพื้นที่หมุดหลักเขตที่ดินใกล้สิ่งปลูกสร้างพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ดังแสดงในรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Easting (VRS)



รูปที่ ก.7.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Northing (VRS)



รูปที่ ก.7.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด Height (VRS)



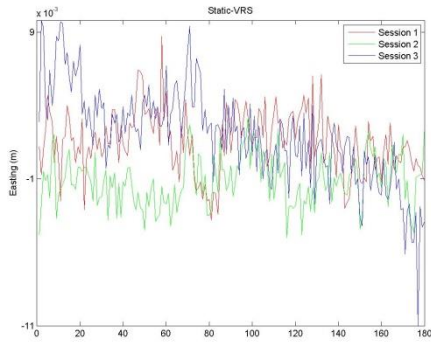
รูปที่ ก.7.ง.



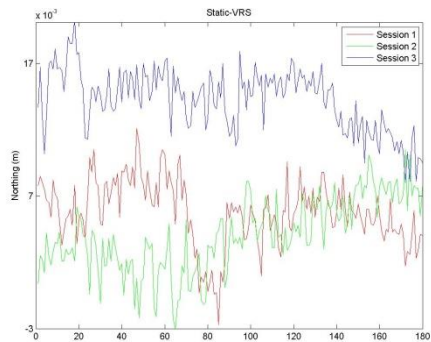
รูปที่ ก.7.จ.

รูปที่ ก. 7 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด และสภาพพื้นที่หมุด 027

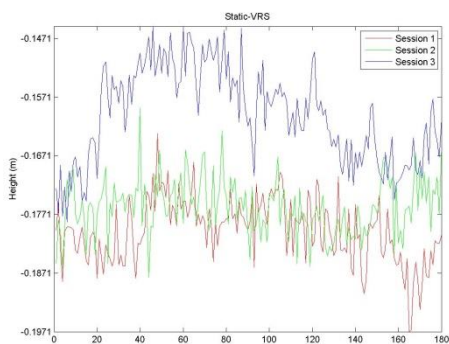
- สภาพพื้นที่หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ในน้ำพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี
 ดังแสดงในรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด
 Easting (VRS)



รูปที่ ก.8.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด
 Northing (VRS)



รูปที่ ก.8.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด
 Height (VRS)



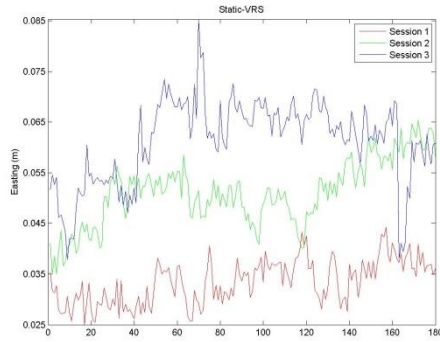
รูปที่ ก.8.ง.



รูปที่ ก.8.จ.

รูปที่ ก. 8 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด
 และสภาพพื้นที่หมุด 021

- สภาพพื้นที่หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ติดสิ่งปลูกสร้างพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ดังแสดงในรูปที่ ก.9

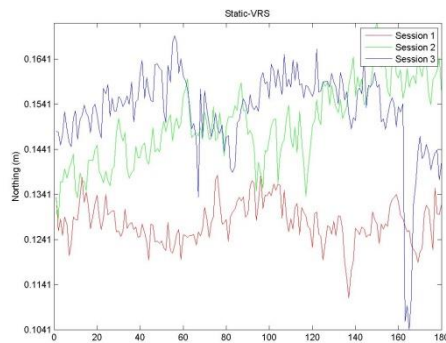


รูปที่ ก.9.ก ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด

Easting (VRS)



รูปที่ ก.9.ง.

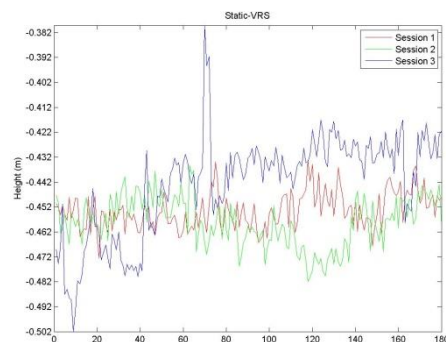


รูปที่ ก.9.ข ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด

Northing (VRS)



รูปที่ ก.9.จ.



รูปที่ ก.9.ค ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด

Height (VRS)

รูปที่ ก. 9 ตัวอย่างค่าความต่างของค่าพิกัด และสภาพพื้นที่หมุด 023

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่า Root Mean Square ทั้ง 3 Session
ของเทคนิค VRS และเทคนิค RTK

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข. 1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมวด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
001	0.018	0.020	0.018	0.029	0.030	0.026	0.128	0.111	0.129	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
002	0.007	0.003	0.003	0.039	0.034	0.031	0.175	0.167	0.171	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
003	0.005	0.008	0.009	0.027	0.020	0.015	0.206	0.197	0.186	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
005	0.047	0.027	0.038	0.030	0.030	0.027	0.075	0.089	0.077	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
008	0.023	0.015	0.020	0.014	0.015	0.037	0.101	0.116	0.104	ปกคลุมหนาแน่น
009	0.015	0.035	0.019	0.022	0.015	0.018	0.213	0.163	0.187	ปกคลุมหนาแน่น
010	0.008	0.011	0.014	0.007	0.013	0.011	0.211	0.220	0.228	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
011	0.007	0.004	0.007	0.014	0.022	0.018	0.185	0.184	0.201	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
012	0.013	0.025	0.020	0.059	0.041	0.050	0.296	0.290	0.257	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
013	0.006	0.009	0.009	0.033	0.040	0.045	0.167	0.143	0.139	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
015	0.016	0.015	0.009	0.025	0.024	0.025	0.165	0.127	0.153	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
016	0.010	0.003	0.006	0.017	0.023	0.023	0.182	0.190	0.194	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
017	0.003	0.004	0.005	0.047	0.045	0.036	0.193	0.182	0.189	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
018	0.021	0.022	0.017	0.020	0.025	0.023	0.161	0.158	0.157	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
019	0.023	0.020	0.018	0.020	0.020	0.022	0.180	0.177	0.165	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
020	0.004	0.003	0.005	0.037	0.039	0.037	0.194	0.181	0.184	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
021	0.003	0.003	0.003	0.012	0.019	0.012	0.177	0.180	0.191	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
022	0.016	0.013	0.008	0.020	0.029	0.016	0.137	0.190	0.130	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
024	0.004	0.009	0.009	0.012	0.025	0.027	0.210	0.212	0.182	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
025	0.027	0.027	0.032	0.026	0.023	0.030	0.220	0.230	0.216	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ข.1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

หมวด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
030	0.036	0.031	0.029	0.015	0.020	0.013	0.183	0.189	0.247	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
033	0.020	0.025	0.013	0.033	0.031	0.032	0.227	0.203	0.220	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
044	0.005	0.004	0.003	0.029	0.029	0.029	0.195	0.194	0.186	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
047	0.019	0.012	0.023	0.040	0.020	0.020	0.172	0.145	0.255	ปกคลุมหนาแน่น
048	0.028	0.050	0.023	0.017	0.044	0.024	0.220	0.167	0.191	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
050	0.014	0.014	0.012	0.014	0.016	0.019	0.174	0.175	0.167	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
054	0.006	0.012	0.020	0.018	0.013	0.015	0.178	0.230	0.210	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ข.1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

หมวด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
056	0.024	0.019	0.017	0.015	0.014	0.028	0.324	0.280	0.294	ปกคลุมหนาแน่น
057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
060	0.019	0.016	0.013	0.018	0.021	0.026	0.169	0.179	0.189	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
061	0.016	0.013	0.009	0.026	0.030	0.025	0.215	0.208	0.218	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
062	0.025	0.014	0.013	0.022	0.017	0.018	0.124	0.175	0.165	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
063	0.021	0.018	0.020	0.023	0.018	0.017	0.137	0.159	0.170	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
064	0.011	0.008	0.007	0.038	0.046	0.040	0.213	0.229	0.257	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
065	0.020	0.010	0.014	0.038	0.025	0.023	0.223	0.160	0.211	ปกคลุมหนาแน่น
066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
069	0.026	0.016	0.018	0.023	0.018	0.016	0.125	0.179	0.170	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
070	0.007	0.007	0.008	0.043	0.038	0.041	0.174	0.186	0.186	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
072	0.010	0.022	0.008	0.043	0.029	0.028	0.133	0.160	0.235	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
073	0.007	0.006	0.012	0.060	0.049	0.047	0.170	0.201	0.210	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
074	0.010	0.008	0.017	0.026	0.032	0.021	0.188	0.171	0.166	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
075	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
076	0.010	0.016	0.012	0.019	0.028	0.055	0.188	0.159	0.171	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
078	0.015	0.023	0.027	0.017	0.023	0.014	0.143	0.170	0.130	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
079	0.019	0.016	0.017	0.026	0.021	0.012	0.152	0.135	0.134	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
080	0.005	0.008	0.004	0.030	0.036	0.031	0.175	0.183	0.184	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
081	0.013	0.008	0.010	0.031	0.021	0.020	0.207	0.209	0.211	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม

ตารางที่ ข.1 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

หมุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
082	0.021	0.014	0.021	0.020	0.016	0.009	0.261	0.208	0.198	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
084	0.018	0.018	0.012	0.018	0.021	0.021	0.198	0.194	0.212	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
085	0.013	0.015	0.024	0.026	0.029	0.029	0.172	0.141	0.139	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
086	0.009	0.014	0.021	0.047	0.023	0.026	0.167	0.262	0.203	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
087	0.017	0.016	0.015	0.020	0.023	0.021	0.181	0.173	0.156	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
088	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
089	0.007	0.010	0.008	0.019	0.028	0.021	0.103	0.111	0.129	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

จุดที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ คือจุดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค, ไม่สามารถ Process Static ได้ และค่า PDOP เกิน 5

ตารางที่ ข. 2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

หมวด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
001	0.019	0.018	0.021	0.043	0.031	0.034	0.223	0.210	0.178	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
002	0.004	0.006	0.003	0.027	0.022	0.017	0.223	0.220	0.238	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
003	0.028	0.075	0.014	0.015	0.038	0.026	0.362	0.508	0.273	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
005	0.034	0.017	0.045	0.026	0.015	0.023	0.356	0.238	0.147	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
008	0.025	0.028	0.007	0.036	0.034	0.026	0.104	0.152	0.205	ปกคลุมหนาแน่น
009	0.059	0.064	0.053	0.043	0.036	0.027	0.228	0.211	0.203	ปกคลุมหนาแน่น
010	0.033	0.018	0.013	0.019	0.012	0.015	0.257	0.250	0.200	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
011	0.006	0.008	0.015	0.037	0.028	0.013	0.260	0.258	0.230	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
012	0.014	0.015	0.014	0.031	0.017	0.043	0.320	0.460	0.369	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
013	0.004	0.012	0.009	0.035	0.028	0.023	0.201	0.187	0.196	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
015	0.024	0.021	0.011	0.023	0.020	0.025	0.109	0.148	0.184	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
016	0.016	0.017	0.014	0.023	0.019	0.017	0.252	0.242	0.235	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
017	0.010	0.008	0.005	0.028	0.042	0.035	0.245	0.239	0.235	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
018	0.021	0.023	0.024	0.019	0.021	0.019	0.160	0.127	0.157	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
019	0.009	0.011	0.015	0.018	0.023	0.025	0.263	0.260	0.249	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
020	0.003	0.005	0.005	0.039	0.035	0.031	0.212	0.215	0.206	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
021	0.007	0.007	0.008	0.037	0.028	0.026	0.260	0.248	0.250	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
022	0.018	0.032	0.023	0.014	0.020	0.019	0.243	0.172	0.151	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
024	0.011	0.010	0.005	0.017	0.018	0.022	0.251	0.232	0.232	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
025	0.029	0.027	0.025	0.034	0.032	0.032	0.235	0.257	0.267	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ข.2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

หมวด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
030	0.040	0.081	0.042	0.009	0.022	0.021	0.305	0.407	0.228	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
033	0.013	0.010	0.011	0.019	0.016	0.011	0.240	0.248	0.261	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
044	0.007	0.008	0.014	0.032	0.019	0.020	0.238	0.235	0.248	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
047	0.012	0.026	0.057	0.024	0.027	0.017	0.169	0.215	0.302	ปกคลุมหนาแน่น
048	0.017	0.038	0.027	0.024	0.026	0.023	0.244	0.251	0.244	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
050	0.009	0.007	0.007	0.020	0.017	0.020	0.229	0.257	0.218	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
054	0.022	0.021	0.013	0.007	0.022	0.029	0.333	0.384	0.280	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ข.2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

หมวด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
056	0.025	0.039	0.032	0.017	0.062	0.065	0.393	0.411	0.289	ปกคลุมหนาแน่น
057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
060	0.019	0.020	0.013	0.024	0.022	0.020	0.240	0.258	0.230	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
061	0.013	0.007	0.012	0.023	0.021	0.023	0.246	0.269	0.226	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
062	0.012	0.003	0.007	0.014	0.011	0.016	0.224	0.224	0.224	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
063	0.027	0.019	0.021	0.013	0.013	0.017	0.217	0.248	0.247	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
064	0.009	0.031	0.020	0.038	0.011	0.026	0.341	0.449	0.282	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
065	0.018	0.020	0.017	0.022	0.018	0.030	0.316	0.336	0.379	ปกคลุมหนาแน่น
066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
069	0.012	0.016	0.010	0.009	0.012	0.013	0.225	0.238	0.260	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
070	0.013	0.009	0.020	0.029	0.020	0.019	0.275	0.271	0.238	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
072	0.015	0.012	0.018	0.009	0.012	0.024	0.231	0.204	0.205	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
073	0.010	0.014	0.027	0.037	0.039	0.058	0.236	0.198	0.256	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
074	0.020	0.013	0.011	0.011	0.016	0.017	0.161	0.184	0.204	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
075	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
076	0.017	0.017	0.011	0.071	0.070	0.058	0.248	0.278	0.283	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
078	0.018	0.013	0.034	0.055	0.069	0.102	0.267	0.325	0.294	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
079	0.011	0.007	0.005	0.017	0.013	0.018	0.197	0.213	0.231	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
080	0.013	0.016	0.013	0.042	0.038	0.038	0.213	0.189	0.226	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
081	0.009	0.009	0.010	0.007	0.018	0.024	0.303	0.274	0.286	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม

ตารางที่ ข.2 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

หมุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
082	0.021	0.014	0.011	0.020	0.031	0.018	0.272	0.260	0.264	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
084	0.015	0.014	0.016	0.024	0.023	0.027	0.265	0.253	0.225	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
085	0.027	0.014	0.013	0.008	0.022	0.024	0.371	0.229	0.247	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
086	0.067	0.018	0.011	0.031	0.012	0.017	0.282	0.328	0.334	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
087	0.005	0.008	0.006	0.011	0.011	0.010	0.269	0.279	0.271	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
088	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
089	0.012	0.032	0.021	0.051	0.029	0.019	0.179	0.230	0.173	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

จุดที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ คือจุดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค, ไม่สามารถ Process Static ได้ และค่า PDOP เกิน 5

ตารางที่ ข. 3 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (ต่อ)

หมุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)		
	Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0.014	0.018	0.020	0.016	0.020	0.020	0.124	0.106	0.120
2	0.014	0.010	0.016	0.010	0.015	0.013	0.133	0.134	0.154
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.026	0.022	0.029	0.024	0.025	0.026	0.148	0.135	0.152
6	0.007	0.006	0.011	0.036	0.033	0.031	0.205	0.203	0.193
7	0.006	0.007	0.004	0.019	0.025	0.028	0.109	0.126	0.135
8	0.005	0.005	0.009	0.033	0.036	0.031	0.136	0.145	0.139
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.045	0.036	0.031	0.013	0.012	0.016	0.212	0.185	0.177
14	0.029	0.019	0.009	0.015	0.012	0.016	0.192	0.172	0.158
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.005	0.005	0.007	0.006	0.005	0.009	1.346	1.346	1.362
18	0.020	0.005	0.008	0.019	0.022	0.020	0.194	0.214	0.205
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.003	0.002	0.004	0.006	0.005	0.014	0.180	0.176	0.160
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.034	0.052	0.062	0.128	0.150	0.153	0.453	0.458	0.443
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	0.005	0.008	0.007	0.022	0.020	0.013	0.155	0.142	0.158
27	0.005	0.010	0.018	0.006	0.004	0.017	0.140	0.180	0.180

ตารางที่ ข.3 ตารางค่า Root Mean Square ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (ต่อ)

หมุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)		
	Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.017	0.012	0.015	0.005	0.006	0.013	0.271	0.241	0.191
30	0.009	0.009	0.009	0.006	0.010	0.013	0.197	0.187	0.195
31	0.008	0.004	0.004	0.008	0.005	0.014	0.166	0.172	0.183
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	0.033	0.029	0.026	0.024	0.026	0.023	0.150	0.136	0.118
34	0.006	0.008	0.013	0.015	0.018	0.016	0.184	0.173	0.173

จุดที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ คือจุดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสองเทคนิค, และไม่สามารถ Process Static ได้

ภาคผนวก ค. ตารางแสดงค่า Standard Deviations ทั้ง 3 Session ของเทคนิค VRS
และเทคนิค RTK

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค. 1 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
001	0.004	0.003	0.005	0.006	0.004	0.003	0.011	0.020	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
002	0.006	0.002	0.003	0.004	0.002	0.002	0.008	0.008	0.010	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
003	0.004	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.009	0.011	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
005	0.009	0.013	0.008	0.007	0.006	0.005	0.015	0.020	0.015	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
008	0.006	0.006	0.006	0.007	0.004	0.006	0.028	0.024	0.026	ปกคลุมหนาแน่น
009	0.008	0.008	0.008	0.008	0.007	0.006	0.015	0.022	0.016	ปกคลุมหนาแน่น
010	0.007	0.006	0.005	0.007	0.005	0.010	0.025	0.010	0.017	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
011	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.007	0.013	0.013	0.015	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
012	0.012	0.012	0.011	0.005	0.004	0.007	0.014	0.012	0.017	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
013	0.003	0.006	0.005	0.004	0.005	0.009	0.015	0.015	0.020	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
015	0.005	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.012	0.019	0.024	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
016	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.006	0.006	0.006	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
017	0.003	0.004	0.003	0.003	0.006	0.006	0.011	0.017	0.010	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
018	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.012	0.011	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
019	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.007	0.005	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
020	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.012	0.009	0.005	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
021	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.004	0.009	0.005	0.012	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
022	0.015	0.013	0.007	0.009	0.008	0.006	0.030	0.052	0.025	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
024	0.004	0.006	0.004	0.004	0.009	0.003	0.009	0.015	0.007	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
025	0.003	0.003	0.003	0.004	0.002	0.003	0.006	0.007	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ค. 1 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
030	0.005	0.009	0.007	0.015	0.003	0.003	0.018	0.020	0.015	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
033	0.005	0.008	0.003	0.004	0.005	0.008	0.023	0.017	0.015	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
044	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	0.010	0.012	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
047	0.015	0.012	0.013	0.011	0.010	0.011	0.033	0.026	0.032	ปกคลุมหนาแน่น
048	0.015	0.039	0.020	0.010	0.022	0.008	0.017	0.041	0.024	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
050	0.003	0.004	0.005	0.004	0.003	0.004	0.011	0.009	0.012	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
054	0.005	0.008	0.009	0.004	0.003	0.007	0.018	0.009	0.012	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ค. 1 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
056	0.011	0.019	0.008	0.007	0.005	0.011	0.054	0.042	0.016	ปกคลุมหนาแน่น
057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
060	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.008	0.008	0.006	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
061	0.003	0.004	0.005	0.003	0.003	0.003	0.008	0.009	0.011	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
062	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.011	0.011	0.010	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
063	0.005	0.004	0.004	0.002	0.002	0.002	0.010	0.010	0.007	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
064	0.008	0.006	0.006	0.007	0.005	0.005	0.017	0.021	0.024	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
065	0.012	0.009	0.006	0.011	0.007	0.012	0.017	0.018	0.025	ปกคลุมหนาแน่น
066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
069	0.004	0.004	0.004	0.002	0.003	0.002	0.007	0.013	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
070	0.005	0.007	0.007	0.005	0.008	0.006	0.015	0.017	0.024	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
072	0.010	0.010	0.007	0.010	0.004	0.004	0.050	0.018	0.011	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
073	0.007	0.006	0.007	0.007	0.007	0.009	0.017	0.018	0.014	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
074	0.007	0.007	0.005	0.007	0.006	0.004	0.031	0.023	0.017	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
075	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
076	0.009	0.007	0.009	0.011	0.010	0.018	0.023	0.024	0.032	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
078	0.013	0.009	0.007	0.014	0.011	0.005	0.024	0.028	0.027	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
079	0.010	0.005	0.004	0.006	0.008	0.005	0.027	0.012	0.013	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
080	0.003	0.008	0.004	0.005	0.012	0.006	0.017	0.017	0.015	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
081	0.004	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.013	0.006	0.005	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม

ตารางที่ ค. 1 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
082	0.007	0.006	0.004	0.008	0.006	0.004	0.020	0.024	0.029	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
084	0.006	0.005	0.004	0.005	0.003	0.003	0.009	0.012	0.015	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
085	0.004	0.004	0.006	0.004	0.003	0.003	0.014	0.011	0.017	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
086	0.009	0.008	0.011	0.005	0.006	0.009	0.019	0.026	0.027	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
087	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.007	0.007	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
088	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
089	0.006	0.010	0.008	0.006	0.005	0.005	0.022	0.021	0.021	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

จุดที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ คือจุดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค, ไม่สามารถ Process Static ได้ และค่า PDOP เกิน 5

ตารางที่ ค. 2 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
001	0.006	0.006	0.003	0.006	0.004	0.007	0.022	0.027	0.011	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
002	0.003	0.005	0.003	0.003	0.002	0.003	0.010	0.008	0.007	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
003	0.014	0.006	0.007	0.003	0.004	0.009	0.050	0.015	0.015	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
005	0.011	0.015	0.009	0.010	0.009	0.011	0.046	0.050	0.024	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
008	0.011	0.006	0.006	0.010	0.012	0.014	0.022	0.033	0.034	ปกคลุมหนาแน่น
009	0.015	0.009	0.018	0.018	0.006	0.017	0.050	0.024	0.023	ปกคลุมหนาแน่น
010	0.017	0.007	0.009	0.017	0.012	0.008	0.024	0.019	0.023	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
011	0.004	0.004	0.004	0.005	0.008	0.006	0.011	0.011	0.014	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
012	0.013	0.011	0.012	0.010	0.009	0.006	0.028	0.039	0.049	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
013	0.004	0.006	0.009	0.010	0.008	0.005	0.012	0.027	0.035	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
015	0.003	0.005	0.004	0.004	0.003	0.005	0.009	0.028	0.018	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
016	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.009	0.008	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
017	0.005	0.006	0.005	0.005	0.016	0.005	0.014	0.019	0.013	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
018	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.018	0.011	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
019	0.002	0.005	0.003	0.002	0.002	0.002	0.005	0.009	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
020	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.007	0.009	0.011	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
021	0.002	0.003	0.003	0.004	0.005	0.004	0.009	0.006	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
022	0.012	0.009	0.012	0.008	0.005	0.006	0.032	0.019	0.022	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
024	0.008	0.008	0.003	0.009	0.010	0.007	0.019	0.017	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
025	0.003	0.005	0.005	0.003	0.003	0.003	0.007	0.010	0.011	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ค.2 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
030	0.015	0.036	0.014	0.007	0.019	0.010	0.052	0.095	0.050	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
032	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
033	0.006	0.003	0.006	0.006	0.009	0.010	0.019	0.017	0.028	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
036	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
038	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
039	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
040	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
044	0.007	0.007	0.011	0.010	0.006	0.007	0.025	0.018	0.029	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
045	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
047	0.010	0.023	0.024	0.008	0.011	0.013	0.039	0.061	0.081	ปกคลุมหนาแน่น
048	0.017	0.038	0.022	0.010	0.015	0.013	0.025	0.049	0.023	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
050	0.004	0.005	0.006	0.003	0.005	0.002	0.008	0.012	0.010	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
053	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
054	0.012	0.014	0.011	0.007	0.006	0.006	0.051	0.027	0.034	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

ตารางที่ ค.2 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
055	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
056	0.018	0.020	0.026	0.011	0.060	0.059	0.040	0.061	0.024	ปกคลุมหนาแน่น
057	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
059	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
060	0.004	0.005	0.009	0.003	0.003	0.003	0.008	0.007	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
061	0.005	0.004	0.006	0.004	0.004	0.003	0.010	0.009	0.010	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
062	0.007	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.008	0.006	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
063	0.004	0.004	0.005	0.003	0.002	0.003	0.008	0.010	0.009	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
064	0.007	0.014	0.019	0.006	0.011	0.020	0.038	0.040	0.024	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
065	0.008	0.006	0.014	0.006	0.010	0.009	0.022	0.022	0.038	ปกคลุมหนาแน่น
066	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
069	0.004	0.004	0.004	0.002	0.003	0.002	0.008	0.012	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
070	0.011	0.007	0.014	0.007	0.010	0.006	0.038	0.029	0.035	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
071	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
072	0.008	0.009	0.007	0.009	0.007	0.008	0.030	0.020	0.043	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
073	0.009	0.012	0.014	0.011	0.008	0.009	0.031	0.024	0.024	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
074	0.010	0.008	0.009	0.006	0.008	0.006	0.026	0.021	0.027	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
075	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
076	0.015	0.017	0.009	0.014	0.011	0.009	0.040	0.053	0.030	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
077	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
078	0.009	0.006	0.013	0.013	0.013	0.016	0.036	0.059	0.049	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
079	0.007	0.006	0.005	0.006	0.005	0.004	0.018	0.014	0.013	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
080	0.013	0.010	0.007	0.016	0.010	0.009	0.023	0.023	0.029	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
081	0.004	0.003	0.003	0.005	0.005	0.004	0.009	0.009	0.008	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม

ตารางที่ ค.2 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค RTK ในพื้นที่ศึกษาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

จุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)			สภาพพื้นที่
	Session			Session			Session			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
082	0.006	0.012	0.011	0.006	0.005	0.009	0.021	0.026	0.037	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
084	0.006	0.006	0.008	0.003	0.004	0.006	0.014	0.015	0.021	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
085	0.015	0.008	0.004	0.008	0.005	0.004	0.057	0.020	0.011	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
086	0.056	0.012	0.011	0.019	0.007	0.006	0.049	0.027	0.022	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
087	0.004	0.004	0.006	0.003	0.004	0.003	0.008	0.008	0.013	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม
088	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่น
089	0.012	0.018	0.009	0.028	0.026	0.010	0.036	0.089	0.035	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง
090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง

จุดที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ คือจุดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค, ไม่สามารถ Process Static ได้ และค่า PDOP เกิน 5

ตารางที่ ค. 3 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี

หมุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)		
	Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.007	0.008	0.009
2	0.003	0.002	0.002	0.002	0.003	0.003	0.006	0.006	0.006
3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.005	0.006	0.005
6	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.005	0.005	0.006
7	0.005	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.006	0.004	0.005
8	0.004	0.005	0.005	0.002	0.002	0.004	0.006	0.006	0.006
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.007	0.007	0.008
14	0.003	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002	0.008	0.006	0.006
15	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.003	0.006	0.006	0.010
18	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.010	0.007	0.007
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
21	0.002	0.002	0.003	0.002	0.003	0.002	0.005	0.005	0.008
22	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
25	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
26	0.004	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003	0.010	0.009	0.010
27	0.005	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.011	0.011	0.009

ตารางที่ ค.3 ตารางค่า Standard Deviations ที่ทำการเปรียบเทียบระหว่างการรังวัดด้วยเทคนิค Static กับเทคนิค VRS ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี (ต่อ)

หมุด	Easting (m)			Northing (m)			Height (m)		
	Session			Session			Session		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
29	0.004	0.004	0.002	0.004	0.003	0.007	0.023	0.017	0.009
30	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.009	0.008	0.009
31	0.003	0.002	0.002	0.005	0.003	0.002	0.013	0.006	0.006
32	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
33	0.004	0.002	0.002	0.006	0.003	0.005	0.007	0.004	0.006
34	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.003	0.008	0.004	0.012

จุดที่ไม่นำมาเปรียบเทียบ คือจุดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสองเทคนิค, และไม่สามารถ Process Static ได้

ภาคผนวก ง. ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ของพื้นที่ศึกษา



ตารางที่ ง. 1 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษา
จุดพลาถรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static

หมวด	Easting	Northing	สภาพพื้นที่	วันที่ทำการรังวัด
001	665785.805	1519299.256	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
002	665535.949	1519376.398	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
003	665839.397	1519289.506	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
*004	665788.858	1519353.135	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	10/2/2017
005	665511.99	1519406.327	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
*006	665631.577	1519280.473	ปกคลุมหนาแน่น	10/2/2017
*007	664966.052	1519617.649	ปกคลุมหนาแน่น	15/2/2017
008	665652.89	1519260.518	ปกคลุมหนาแน่น	10/2/2017
009	665711.714	1519242.589	ปกคลุมหนาแน่น	10/2/2017
010	665742.391	1519261.426	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	10/2/2017
011	665723.602	1519338.271	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
012	665317.561	1519799.528	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	16/2/2017
013	665755.507	1519337.782	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
*014	665579.453	1519390.554	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
015	665726.939	1519354.346	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
016	665581.048	1519282.033	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	13/2/2017
017	665563.162	1519272.298	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
018	665594.053	1519275.131	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
019	665583.398	1519307.826	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
020	665584.182	1519327.264	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
021	665607.341	1519310.291	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
022	665596.288	1519373.464	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	10/2/2017
*023	665108.077	1519683.323	ปกคลุมหนาแน่น	15/2/2017
024	665486.958	1519367.034	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017

ตารางที่ ง. 1 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static (ต่อ)

หมุด	Easting	Northing	สภาพพื้นที่	วันที่ทำการรังวัด
025	665565.004	1519309.022	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	10/2/2017
*026	665826.335	1519013.8	ปกคลุมหนาแน่น	13/2/2017
*027	665733.189	1518970.541	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	10/2/2017
*028	665641.747	1518954.033	ปกคลุมหนาแน่น	10/2/2017
*029	665588.789	1518958.189	ปกคลุมหนาแน่น	10/2/2017
030	665699.027	1519010.743	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	10/2/2017
*031	665794.219	1518935.347	ปกคลุมหนาแน่น	10/2/2017
*032	665852.349	1518934.31	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	10/2/2017
033	665814.368	1518885.483	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	10/2/2017
*034	665713.779	1518890.696	ปกคลุมหนาแน่น	10/2/2017
**035	665437.338	1519020.583	ปกคลุมหนาแน่น	11/2/2017
**036	665535.283	1519156.242	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	11/2/2017
*037	665043.783	1519713.574	ปกคลุมหนาแน่น	15/2/2017
*038	665878.304	1519073.285	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	13/2/2017
*039	665692.181	1519109.667	ปกคลุมหนาแน่น	13/2/2017
*040	665707.511	1519145.795	ปกคลุมหนาแน่น	13/2/2017
*041	665178.428	1519665.714	ปกคลุมหนาแน่น	15/2/2017
**042	665418.228	1518894.671	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	11/2/2017
**043	665385.395	1518840.339	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	11/2/2017
044	665177.361	1519188.769	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
*045	665846.365	1519129.864	ปกคลุมหนาแน่น	13/2/2017
*046	665004.47	1519002.391	ปกคลุมหนาแน่น	14/2/2017
047	665122.057	1519497.363	ปกคลุมหนาแน่น	15/2/2017
048	665257.995	1519789.267	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017

ตารางที่ ง. 1 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static (ต่อ)

หมุด	Easting	Northing	สภาพพื้นที่	วันที่ทำการรังวัด
*049	665340.662	1519362.817	ปกคลุมหนาแน่น	14/2/2017
050	665524.489	1519275.642	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
*051	665032.54	1519131.533	ปกคลุมหนาแน่น	14/2/2017
*052	664940.313	1519079.232	ปกคลุมหนาแน่น	14/2/2017
*053	664916.629	1519285.885	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	14/2/2017
054	664974.999	1519320.861	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	14/2/2017
*055	665046.917	1519209.982	ปกคลุมหนาแน่น	14/2/2017
056	665582.967	1519239.106	ปกคลุมหนาแน่น	16/2/2017
*057	665617.749	1519159.516	ปกคลุมหนาแน่น	13/2/2017
*058	665377.826	1519098.16	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	13/2/2017
*059	665410.292	1519246.729	ปกคลุมหนาแน่น	13/2/2017
060	665520.523	1519293.722	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
061	665502.828	1519288.061	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
062	665543.171	1519299.103	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
063	665553.546	1519324.017	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
064	665225.846	1519442.018	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
065	665209.048	1519479.599	ปกคลุมหนาแน่น	15/2/2017
*066	665495.128	1519255.124	ปกคลุมหนาแน่น	16/2/2017
*067	665250.141	1519291.827	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
*068	665306.914	1518990.176	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
069	665532.624	1519324.602	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
070	665247.714	1519494.854	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	15/2/2017
***071	665741.263	1518981.345	ปกคลุมหนาแน่น	14/2/2017
072	665374.038	1519474.171	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017

ตารางที่ ง. 1 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษา
จุดพิกัดมหาวิทยาลัย ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static (ต่อ)

หมวด	Easting	Northing	สภาพพื้นที่	วันที่ทำการรังวัด
073	665360.955	1519490.394	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
074	665321.176	1519495.505	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
*075	665234.565	1519333.936	ปกคลุมหนาแน่น	15/2/2017
076	665376.4	1519746.731	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
*077	665389.312	1519789.534	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
078	665426.818	1519779.117	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
079	665396.818	1519768.491	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	15/2/2017
080	665380.933	1519733.251	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	15/2/2017
081	665510.589	1519343.027	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
082	665197.399	1519298.888	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
*083	664956.312	1519452.764	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
084	665285.957	1519807.776	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
085	665298.434	1519766.039	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
086	665302.218	1519720.543	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	16/2/2017
087	665513.893	1519379.574	โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม	16/2/2017
*088	665339.981	1519672.312	ปกคลุมหนาแน่น	16/2/2017
089	665179.659	1519134.671	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017
*090	665125.292	1519143.554	ปกคลุมหนาแน่นปานกลาง	15/2/2017

*ค่าพิกัดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค

**ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดเทคนิค VRS เนื่องจากไม่สามารถ Process ค่าพิกัดจากเทคนิค Static ได้

***ค่าพิกัดที่ค่า PDOP จากการ Process ค่าพิกัดจากเทคนิค Static เกิน 5

ตารางที่ ง. 2 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษาอำเภอ
ลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static

หมวด	Easting	Northing	วันที่ทำการรังวัด
001	651284.521	1560334.003	10/6/2017
002	651274.865	1560319.729	10/6/2017
**003	651246.139	1560359.952	14/3/2017
**004	651233.815	1560341.557	14/3/2017
005	651260.654	1560298.535	10/6/2017
006	651241.105	1560269.826	10/6/2017
007	651219.378	1560320.039	10/6/2017
008	651209.779	1560305.684	10/6/2017
**009	650214.657	1559993.213	15/3/2017
**010	650246.943	1559980.540	15/3/2017
**011	650070.981	1559565.998	15/3/2017
**012	650104.668	1559554.541	15/3/2017
013	651221.79	1560241.228	10/6/2017
014	651201.904	1560212.506	10/6/2017
**015	651180.708	1560262.406	15/3/2017
**016	651161.270	1560233.428	15/3/2017
017	646984.715	1551697.118	3/6/2017
018	646959.285	1551676.38	3/6/2017
**019	646933.238	1551655.287	16/3/2017
**020	646907.575	1551634.161	16/3/2017
021	646857.077	1551592.586	3/6/2017
**022	646882.214	1551613.016	16/3/2017
*023	646934.079	1551529.832	3/6/2017
**024	646959.249	1551551.205	16/3/2017
**025	646984.442	1551573.305	16/3/2017

ตารางที่ ง.2 ตารางแสดงค่าพิกัด Easting และค่าพิกัด Northing ในพื้นที่ศึกษาอำเภอลาดหลุมแก้ว จ.ปทุมธานี ที่ได้จากการรังวัดด้วยเทคนิค Static (ต่อ)

หมุด	Easting	Northing	วันที่ทำการรังวัด
026	647008.018	1551657.353	3/6/2017
027	646983.909	1551636.98	3/6/2017
**028	646970.942	1551626.071	17/3/2017
029	646932.672	1551593.866	3/6/2017
030	646909.053	1551570.133	3/6/2017
031	646907.501	1551572.672	3/6/2017
**032	646934.233	1551591.365	17/3/2017
033	651200.021	1560291.249	10/6/2017
034	651250.901	1560284.27	10/6/2017

*ค่าพิกัดที่ไม่สามารถ Fixed Ambiguity ได้ ทั้งสามเทคนิค

**ค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดเทคนิค VRS เนื่องจากไม่สามารถ Process ค่าพิกัดจากเทคนิค Static ได้

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ : นางสาวเจนพิธิกร สุนทรรัตน์

วันเดือนปีเกิด : 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2528

คุณวุฒิทางการศึกษา :

พ.ศ. 2549 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างสำรวจ

พ.ศ. 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตนครราชสีมา

พ.ศ. 2556 นิติศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

ประสบการณ์ทำงาน:

พ.ศ. 2552 - 2553 นางช่างรังวัดปฏิบัติงาน กรมที่ดิน

พ.ศ. 2553 ถึงปัจจุบัน วิศวกรรังวัดปฏิบัติการ กรมที่ดิน

ผลงานทางวิชาการ

เจนพิธิกร สุนทรรัตน์ และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์ (2560) “การทดสอบประสิทธิภาพเทคนิคแบบจลน์ในทันทีด้วยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีเอ็นเอสเอสสำหรับการสำรวจเพื่องานที่ดิน”การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22 “เทคโนโลยีเขียวเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน” ประจำปี 2560, 18 – 20 กรกฎาคม 2560



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY