

การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดติก
ที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PERFORMANCE TEST OF GEODETIC GNSS RECEIVER WITH MEMS AND IMU SENSORS
USING NETWORK-BASED GNSS RTK METHOD



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

Department of Survey Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่
โดย	น.ส.จิตราณูช พัสตุธาร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ดร.ชัยโชค ไวกาษา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พุทธิพล ดำรงชัย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จิตรานุช พัสตุธาร : การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลนในทันที. (PERFORMANCE TEST OF GEODETIC GNSS RECEIVER WITH MEMS AND IMU SENSORS USING NETWORK-BASED GNSS RTK METHOD) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งเมื่อรังวัดขณะเอียงเสาเครื่องรับด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลนในทันที กรณีแรกทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุม โดยการทดสอบเครื่องรับจีเอ็นเอสเอสในพื้นที่เปิดโล่งและบนตาดฟ้าอาคาร ซึ่งจุดทดสอบอยู่ห่างจากผนัง 2 เมตร กรณีที่สองดำเนินการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน กรณีที่สามทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน การทดสอบนี้แบ่งออกเป็น 3 กรณีย่อยคือ (1) โกล์ก่าพวงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง (2) โกล์ก่าพวงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่นและ (3) สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้หนาแน่น ซึ่งทดสอบเก็บข้อมูลทั้งหมด 20 จุดต่อกรณี รวมเป็น 120 จุด โดยการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง และเปรียบเทียบความถูกต้องระหว่างค่าพิกัดอ้างอิงกับเครื่องรับจีเอ็นเอสเอสที่มีเซนเซอร์ MEMS และเซนเซอร์ IMU การเปรียบเทียบความถูกต้องนั้น ทำการเปรียบเทียบค่าพิกัดทั้งทางราบและทางตั้ง จากการศึกษาพบว่าเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ผลลัพธ์ในการกำหนดตำแหน่งถูกต้องสูงกว่าเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS สำหรับการทดสอบในพื้นที่เปิดโล่งที่มีสัญญาณชัดเจนและสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งบดบัง แม้ว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะมีผลลัพธ์ในการกำหนดตำแหน่งถูกต้องสูงกว่าเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS แต่ผลค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยเฉพาะตำแหน่งในทางราบยังไม่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติ ดังนั้นผู้ใช้งานจะต้องมีความระมัดระวังในการนำเครื่องรับสัญญาณไปรังวัดรับสัญญาณด้วยการเอียงเสาในงานรังวัดจริง และสุดท้ายนี้สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรมีการเปรียบเทียบความถูกต้องการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้ง ในขณะที่เสาเอียงกับเครื่องรับจีเอ็นเอสเอสยี่ห้อต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ
ปีการศึกษา 2564

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370042321 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: MEMS, IMU, tilted measurement

Jittranud Patsadutarn : PERFORMANCE TEST OF GEODETIC GNSS RECEIVER WITH MEMS AND IMU SENSORS USING NETWORK-BASED GNSS RTK METHOD. Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

This thesis aims to study and test the performance of the geodetic GNSS receiver equipped with MEMS and IMU sensors for determining horizontal and vertical positions. The antenna tilt was measured at 15°, 25°, 35° and 45° using Network-based GNSS RTK method. It was firstly tested in controlled environment in which the GNSS receiver was set up in an open space and on the roof that the points were two meters away from the wall. For the second case, was tested on RTK survey marks of the Department of Lands. The third case the GNSS receiver was directly set up on the land boundary pins. This test was divided into three sub-cases: (1) near the wall with clear obstacle environment (2) near the wall with densely obstructed environment and (3) densely planted trees environment. Data was collected up to twenty points per case with a total of one hundred twenty points using a purposive sampling technique. By comparing between the reference coordinates and the GNSS receiver with MEMS and GNSS receiver with IMU, the accuracy comparison was made in both horizontal and vertical components. This study found that GNSS receiver with IMU produced the more accurate positioning results than GNSS receiver with MEMS for both the open area with clear signal and the obstructed environment. Although GNSS receiver with IMU have higher positioning accuracy results than GNSS receiver with MEMS but horizontal positioning accuracy results are practically unacceptable. Therefore, the user must be aware of bringing the receiver to the survey by tilting the antenna in the actual surveying. Finally, the future researches will focus on a comparison of horizontal and vertical positioning accuracy while the pole is tilted with different GNSS receiver brands.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี อันเนื่องมาจากการได้รับความอนุเคราะห์จากบุคคลสำคัญหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศ.ดร. เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้แนวคิด และชี้แนะการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้แก่ข้าพเจ้าจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อ.ดร. ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รศ.ดร. พุทธิพล ดำรงชัย กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง ตลอดจนคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ เพื่อประยุกต์ใช้ในการดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณนายนิสิต จันท์สมวงศ์ อธิบดีกรมที่ดิน นายวราพงษ์ เกียรตินิยมรุ่ง ที่ปรึกษาด้านวิศวกรรมสำรวจ และนายเอกสิทธิ์ ชนะสิทธิ์ ผู้อำนวยการกองเทคโนโลยีทำแผนที่ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม CHC รุ่น i80 และ i90 ตลอดจนอนุญาตให้เข้าใช้สถานที่ตัดฟ้า อาคารรังวัดและทำแผนที่ ในการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงข้าราชการประจำกองเทคโนโลยีทำแผนที่ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกในระหว่างที่ข้าพเจ้าดำเนินการเก็บข้อมูล และให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าพนักงานที่ดินจังหวัดนนทบุรี สาขาปากเกร็ด ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุญาตให้ข้าพเจ้าติดตามช่างรังวัดเพื่อเก็บข้อมูลสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ในแปลงที่ดิน และนายวิบูลย์ จูปรานค์ ช่างรังวัดอาวุโส นายนันทชา เกสร ช่างรังวัดปฏิบัติงาน ที่ให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้าขณะในการติดตามไปในแปลงที่ดิน

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและให้กำลังใจในทุกด้านโดยเฉพาะอย่างยิ่งการแนะนำความรู้แนวทางในการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ทุนสนับสนุนการศึกษา ตลอดจนมอบกำลังใจ มอบความรัก ให้แก่ข้าพเจ้าเสมอมา ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ และเป็นแนวทางสำหรับผู้ทำงานด้านสำรวจรังวัดต่อไป

จิตรานุช พัสตุธาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....	4
1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา.....	8
1.3.3 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียม	9
1.3.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล static	10
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	11
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	12
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ.....	12
2.1.1 การรังวัดด้วยสมการค่าสังเกต.....	12
2.1.1.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange).....	12
2.1.1.2 เฟสคลื่นส่ง (Carrier phase).....	13
2.1.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสำรวจรังวัดดาวเทียม.....	14

2.1.3	เทคนิคค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing)	17
2.1.4	การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning).....	17
2.1.4.1	วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static).....	18
2.1.4.2	วิธีการรังวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network Based RTK : NRTK).....	18
2.1.4.3	วิธีการรังวัดแบบระบบสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station : VRS).....	19
2.1.5	การหาความสูงของภูมิประเทศจากระบบดาวเทียมนำหนาสากล	21
2.1.6	เรขาคณิตดาวเทียม (Satellite Geometry)	22
2.1.7	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่มี tilt sensor.....	23
2.1.7.1	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ MEMS	23
2.1.7.2	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ IMU	25
2.1.8	การประเมินความถูกต้องของงานวิจัย	29
2.1.8.1	การสำรวจรังวัดกรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) พ.ศ. 2562	29
2.1.8.2	ค่าต่างรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error- RMSE)	31
2.2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	32
2.2.1	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องสัญญาณดาวเทียมขณะเอียงเสา.....	32
2.2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ เทคนิค VRS ใน งานของกรมที่ดิน.....	36
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	37
3.1	ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	38
3.2	กำหนดพื้นที่ศึกษา.....	38

3.3 กำหนดหมวดอ้างอิง	38
3.4 ทดสอบภาคสนามและเก็บข้อมูล.....	41
3.5 ประมวลผลข้อมูล	43
3.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบ.....	44
3.7 สรุปผลการทำวิจัย	48
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	49
4.1 พื้นที่ดาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี	49
4.1.1 ผลการทดสอบตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามตามระเบียบกรมที่ดิน..	49
4.1.1.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	50
4.1.1.2 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)	51
4.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU.....	52
4.1.2.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)	53
4.1.2.2 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)	56
4.1.2.3 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบและทางตั้งระหว่างเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU... ..	59
4.2 พื้นที่ในเขตอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน. 64	
4.2.1 ผลการทดสอบตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามตามระเบียบกรมที่ดิน..	64
4.2.1.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) 64	
4.2.1.2 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)..	65

4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นไอเอสแบบยี่ห้อเดดิกทีฟที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU.....	65
4.3 พื้นที่แปลงที่ดินในเขตอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี.....	72
4.3.1 ผลการทดสอบตามเงื่อนไขของระเบียบกรมที่ดิน.....	72
4.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นไอเอสแบบยี่ห้อเดดิกทีฟที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU	73
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	84
5.1 อภิปรายผลการวิจัย.....	84
5.1.1 อภิปรายผลความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบ (Horizontal positioning).....	84
5.1.2 อภิปรายผลความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางตั้ง (Vertical positioning).....	91
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	94
5.3 ข้อจำกัด.....	96
5.4 ปัญหาที่พบ.....	96
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	97
บรรณานุกรม.....	98
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงเสาบริเวณดาดฟ้า กรณีหมุดอยู่ห่างจากผนัง 2 เมตร	103
ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่าพิกัดอ้างอิงบริเวณดาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่กรมที่ดิน.....	109
ภาคผนวก ค. ตารางแสดงค่าพิกัดอ้างอิงของหมุดหลักเขตที่ดิน.....	111
ภาคผนวก ง. ตารางแสดงค่าพิกัดหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินจำนวน 20 หมุด	114
ภาคผนวก จ. ตารางแสดงค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) กรณีทดสอบบริเวณดาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน	115
ภาคผนวก ฉ. ตารางแสดงค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) ที่ได้จากการรังวัดขณะเอียงเสา 15°, 25°, 35° และ 45° โดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน 3 กรณี กรณีละ 20 จุด.....	151

ภาคผนวก ข. สำหรับหมวดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง จำนวน 20 หมวด .	167
ภาคผนวก ค. สำหรับหมวดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่นจำนวน 20 หมวด	174
ภาคผนวก ต. สำหรับหมวดหลักเขตที่ดินที่สภาพแวดล้อมมีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น จำนวน 20 หมวด.....	181
ภาคผนวก ถ. สำหรับการรับสัญญาณบนหมวดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน.....	188
ประวัติผู้เขียน.....	195



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1	สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	50
ตารางที่ 2	สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยืดหดเดดทีที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)	52
ตารางที่ 3	สรุปค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบที่โล่งและทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	53
ตารางที่ 4	สรุปค่า RMSE ทางตั้ง กรณีทดสอบที่โล่งและทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	54
ตารางที่ 5	สรุปค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบที่โล่ง และทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	56
ตารางที่ 6	สรุปค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบที่โล่ง และทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	58
ตารางที่ 7	สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบและทางตั้งตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบในที่โล่งบนดาดฟ้า ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)	63
ตารางที่ 8	สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบและทางตั้งตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)	63
ตารางที่ 9	สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยืดหดเดดทีที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	64
ตารางที่ 10	สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยืดหดเดดทีที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)	65
ตารางที่ 11	ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK	66
ตารางที่ 12	ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK	67

ตารางที่ 13 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบและทางดิ่งตามที่กรมที่ดินยอมรับกรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)	69
ตารางที่ 14 สรุปค่า RMSE ทางราบ ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	70
ตารางที่ 15 สรุปค่า RMSE ทางดิ่ง ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)	71
ตารางที่ 16 สรุปอัตราการย่อยละเอียดข้อมูลการรังวัดตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินกรณีทดสอบโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทั้งหมด 3 กรณี.....	72
ตารางที่ 17 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 1 ใกล้กับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง	74
ตารางที่ 18 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 2 ใกล้กับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น	76
ตารางที่ 19 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 3 สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น	78
ตารางที่ 20 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทั้งหมด 3 กรณี	80
ตารางที่ 21 ค่า RMSE หน่วย เมตร ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน โดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทั้งหมด 3 กรณี.....	81
ตารางที่ 22 สรุปค่า RMSE ของค่า Horizontal (ทางราบ) กรณีทดสอบที่โล่ง รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90).....	85
ตารางที่ 23 สรุปค่า RMSE ของค่า Horizontal (ทางราบ) กรณีทดสอบห่างจากผนังสองเมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90).....	86
ตารางที่ 24 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบในที่โล่งบนดาดฟ้าและทดสอบห่างจากผนังสองเมตร ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ...	87
ตารางที่ 25 สรุปค่า RMSE ทางราบ จากการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90).....	88

ตารางที่ 26 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบตามที่กรมที่ดินยอมรับ จากการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)	88
ตารางที่ 27 สรุปค่า RMSE ของค่า Vertical (ทางตั้ง) กรณีทดสอบที่โล่ง รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90).....	91
ตารางที่ 28 สรุปค่า RMSE ของค่า Vertical (ทางตั้ง) กรณีทดสอบห่างจากผนังสองเมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)	92
ตารางที่ 29 สรุปค่า RMSE ของค่า Vertical (ทางตั้ง) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90).....	93
ตารางที่ 30 สรุปร้อยละความถูกต้องทางตั้งตามที่กรมที่ดินยอมรับ จากการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90).....	93
ตารางที่ 31 ค่าพิกัดอ้างอิงการทดสอบบริเวณดาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน กรณีทดสอบในที่โล่ง.....	109
ตารางที่ 32 ค่าพิกัดอ้างอิงการทดสอบบริเวณดาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	110
ตารางที่ 33 ค่าพิกัดอ้างอิงหมุดหลักเขตที่ดินที่อยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง.....	111
ตารางที่ 34 ตารางแสดงค่าพิกัดอ้างอิงหมุดหลักเขตที่ดินที่อยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น	112
ตารางที่ 35 ค่าพิกัดอ้างอิงหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น	113
ตารางที่ 36 ค่าพิกัดหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน	114
ตารางที่ 37 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 0° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)	115
ตารางที่ 38 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	117
ตารางที่ 39 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	119

ตารางที่ 53 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	147
ตารางที่ 54 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	149
ตารางที่ 55 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีมุมหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	151
ตารางที่ 56 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีมุมหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	153
ตารางที่ 57 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีมุมหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	155
ตารางที่ 58 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีมุมหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	157
ตารางที่ 59 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีมุมหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	159
ตารางที่ 60 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีมุมหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	161
ตารางที่ 61 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	163
ตารางที่ 62 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90).....	165
ตารางที่ 63 ข้อมูลและรูปภาพหมุดหลักเขตที่ดินกรณีอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง (หมุด C1-1 ถึง C1-20).....	167

ตารางที่ 64 ข้อมูลและรูปภาพหมุดหลักเขตที่ดินกรณีอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น (หมวด C2-1 ถึง C2-20)	174
ตารางที่ 65 ตารางแสดงข้อมูลและรูปภาพหมุดหลักเขตที่ดินกรณีที่มีสภาพแวดล้อมมีต้นไม้และ สิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่นจำนวน (หมวด C3-1 ถึง C3-20)	181
ตารางที่ 66 ตารางแสดงข้อมูลและรูปภาพหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน (หมวด V-1 ถึง V-20)	188



สารบัญญภาพ

หน้า

รูปที่ 1 พื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี	5
รูปที่ 2 พื้นที่ทดสอบบริเวณตาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน สำหรับทดสอบ กรณีพื้นที่โล่ง.....	5
รูปที่ 3 พื้นที่ทดสอบบริเวณตาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน สำหรับทดสอบ กรณีห่างจากผนังตาดฟ้า 2 เมตร	5
รูปที่ 4 ตัวอย่างสภาพแวดล้อมบริเวณหมุดดาวเทียม RTK และตัวอย่างหมุดดาวเทียม RTK.....	6
รูปที่ 5 ตัวอย่างหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง.....	6
รูปที่ 6 ตัวอย่างสภาพพื้นที่ของหมุดหลักเขตที่ดิน ที่อยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น	7
รูปที่ 7 ตัวอย่างสภาพพื้นที่ของหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้ และสิ่งก่อสร้างบดบัง หนาแน่น	7
รูปที่ 8 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i80	9
รูปที่ 9 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i90	10
รูปที่ 10 ไอคอนโปรแกรม CHC Geomatics Office 2.....	10
รูปที่ 11 การเกิดคลื่นหลายวิถี	15
รูปที่ 12 หลักการทำงานของระบบสถานีอ้างอิงเสมือนโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบ จลน์ (RTK GNSS Network).....	20
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงออร์โธเมตริกความสูงเหนือทรวงรี และความสูงยิปซอด์	21
รูปที่ 14 การวางตัวของดาวเทียมที่มีผลต่อค่า GDOP.....	22
รูปที่ 15 ทิศทางพิกัด (X, Y, Z) และ การวางแนวของเครื่องบิน (roll, pitch)	23
รูปที่ 16 มุมของเซนเซอร์เอียงอ้างอิงกับระนาบแนวนอนโดยแรงโน้มถ่วง	23
รูปที่ 17 แผนภาพระบบเข็มทิศ.....	24
รูปที่ 18 แผนภาพการทำงานร่วมกันของระบบ INS/GNSS และตัวกรองคามาลในระบบ	26

รูปที่ 19	โครงสร้างระบบการกำหนดตำแหน่ง INS/GPS.....	27
รูปที่ 20	กรอบอ้างอิง ECEF และกรอบอ้างอิงแนวนอนเฟรม NED.....	27
รูปที่ 21	การทำงานของ IMU ที่มีเซนเซอร์สามประเภทในระบบ	29
รูปที่ 22	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Topcon รุ่น Hiper HR.....	32
รูปที่ 23	การทำงานร่วมกันของระบบ GNSS/INS ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ทรัพย์สินของ Leica	33
รูปที่ 24	การลดของ elevation angle ของสัญญาณ GNSS เมื่อเอียงเสาออกจากดาวเทียม.....	34
รูปที่ 25	การชดเชยการเอียงของเสาขณะรับสัญญาณดาวเทียม ของเครื่องรับแบบ IMU.....	34
รูปที่ 26	แผนภาพขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย.....	37
รูปที่ 27	การรับสัญญาณ static บริเวณพื้นที่โล่ง (a) และห่างจากผนังตาดฟ้า 2 เมตร (b).....	39
รูปที่ 28	ที่ตั้งของสถานีฐานถาวร PKKT ของกรมที่ดินบนตาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น	39
รูปที่ 29	ตัวอย่างหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน.....	40
รูปที่ 30	เว็บไซต์สำหรับค้นหาหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน (DOL - RTK Network).....	40
รูปที่ 31	ตัวอย่างหมุดหลักเขตที่ดิน	40
รูปที่ 32	การรังวัดขณะเอียงเสาบริเวณตาดฟ้า กรณีรังวัดในพื้นที่โล่ง ด้วยมุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° (จากรูปซ้ายไปขวา ตามลำดับ).....	41
รูปที่ 33	ตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงบนหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน.....	42
รูปที่ 34	ตัวอย่างการรังวัดโดยการเอียงเสา ด้วยมุมขนาด 0°, 15°, 25°, 35° และ 45°.....	42
รูปที่ 35	ตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน	43
รูปที่ 36	การประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิงบนตาดฟ้าโดยวิธี Single base static.....	44
รูปที่ 37	แผนภาพขั้นตอนการเปรียบเทียบพื้นที่ทดสอบบนตาดฟ้า.....	45
รูปที่ 38	แผนภาพขั้นตอนการเปรียบเทียบสำหรับการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK	46
รูปที่ 39	แผนภาพขั้นตอนการเปรียบเทียบพื้นที่ทดสอบในแปลงที่ดิน.....	47
รูปที่ 40	กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีพื้นที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80).....	53

รูปที่ 41 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) 54

รูปที่ 42 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบพื้นที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)..... 55

รูปที่ 43 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)..... 55

รูปที่ 44 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบในที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)..... 56

รูปที่ 45 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) 57

รูปที่ 46 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบพื้นที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)..... 58

รูปที่ 47 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) 58

รูปที่ 48 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และ ทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีพื้นที่โล่ง 59

รูปที่ 49 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีพื้นที่โล่ง 60

รูปที่ 50 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีห่างจากผนัง 2 เมตร 61

รูปที่ 51 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และ ทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีห่างจากผนัง 2 เมตร 62

รูปที่ 52 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE Horizontal มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK..... 71

รูปที่ 53 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE Vertical 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK 71

รูปที่ 54 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน กรณีที่ 1	82
รูปที่ 55 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน กรณีที่ 2	82
รูปที่ 56 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน กรณีที่ 3	83
รูปที่ 58 การรังวัดขณะเอียงเสา 15° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	103
รูปที่ 59 การรังวัดขณะเอียงเสา 25° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	103
รูปที่ 60 การรังวัดขณะเอียงเสา 35° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	104
รูปที่ 61 การรังวัดขณะเอียงเสา 45° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	104
รูปที่ 62 การรังวัดขณะเอียงเสา 15° (ซ้าย) และ 25° (ขวา) โดยหันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	105
รูปที่ 63 การรังวัดขณะเอียงเสา 35° โดยหันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	105
รูปที่ 64 การรังวัดขณะเอียงเสา 45° โดยหันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	106
รูปที่ 65 การรังวัดขณะเอียงเสา 15° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	107
รูปที่ 66 การรังวัดขณะเอียงเสา 25° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	107
รูปที่ 67 การรังวัดขณะเอียงเสา 35° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร	108

รูปที่ 68 การรังวัดขณะเอียงเสา 45° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร 108



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยี GNSS (Global Navigation Satellite System) ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน ทำให้การรังวัดมีความรวดเร็วและแม่นยำขึ้นมากกว่าในอดีต ซึ่งการรังวัดโดยเทคนิคการรังวัดแบบจลนในทันที (Real Time Kinematic : RTK) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในงานรังวัด เนื่องจากได้ค่าพิกัดในทันที ณ ที่รังวัด (Danijel Šugar et al., 2018) โดยไม่ต้องทำการประมวลผลภายหลัง ในอดีตการทำงานโดยวิธี RTK จะหาค่าพิกัดตำแหน่งจากการประมวลผลร่วมกันของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมสองเครื่อง โดยการใช้คลื่นวิทยุรับส่งข้อมูลระหว่างกัน เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องแรกจะเป็นเครื่องรับที่อยู่บนจุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เป็นจุดที่รับสัญญาณดาวเทียมได้ ส่วนเครื่องรับอีกเครื่องเป็นเครื่องรับที่วางบนตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัด ซึ่งจะรับข้อมูลแล้วนำไปประมวลผล และแสดงค่าพิกัดในทันที ระยะห่างระหว่างจุดจะต้องไม่เกิน 20 กิโลเมตร (วัฒนวงศ์ รัตนวรราช & ธนัช สุขวิมลเสรี, 2559) และให้ความแม่นยำในระดับเซนติเมตร ต่อมาได้มีการพัฒนา RTK เป็นเทคนิคการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสระบบเครือข่ายแบบจลนในทันที (Network-Based RTK : NRTK) มีข้อดีคือ มีความถูกต้องทางตำแหน่งในระดับเซนติเมตรเช่นกัน และมีความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดสูงโดยความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดตลอดจนขอบเขตในการทำงานนั้น เป็นอันหนึ่งอันเดียวกันตลอดทั้งเครือข่ายจีพีเอส ทำให้มีพื้นที่ในการทำงานเพิ่มมากขึ้น การรังวัดด้วยเทคนิค NRTK ประกอบไปด้วย สถานีฐานถาวร (Permanent reference station) ศูนย์ควบคุมส่วนกลาง (Control center) และส่วนของสถานีผู้ใช้งาน (Rover station) (ธีรทัต เจริญกาลัญญูตา & เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2009) ในขณะเดียวกันบริษัทผู้ผลิตเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ได้มีการพัฒนาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมให้มีความสามารถรองรับการใช้งานภายใต้เทคนิคการรังวัดดาวเทียมระบบ NRTK ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่จะเกิดอันเนื่องมาจากระบบ เช่น เกิดจากระบบดาวเทียม การส่งสัญญาณ การรับสัญญาณ และสถานีฐาน หรือเกิดจากตัวผู้รังวัด เช่น การวางตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม การเลือกสถานีอ้างอิง การวัดความสูงของเสาอากาศ ซึ่งค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากตัวผู้รังวัด จะทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่มากกว่าค่าคลาดเคลื่อนจากระบบ ในงานรังวัดจริงบางจุดไม่สามารถรังวัดให้เสาตั้งตรงได้เนื่องจากข้อจำกัดของภูมิประเทศและเครื่องมือ ตัวอย่างเช่น การรังวัดสำรวจที่ดินซึ่งไม่สามารถรังวัดบริเวณที่หมุดอยู่ชดิมรั้ว หรือกำแพงได้ (Bo Nie et al., 2019) ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการหาวิธีสำหรับการคำนวณค่าพิกัดเมื่อรังวัดรับสัญญาณแบบเอียงเสา (pole) จากนักวิจัย และมีการพัฒนาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจากบริษัทผู้ผลิตให้สามารถรังวัดโดยการเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมได้

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถรับวัดแบบเอียงเสาเริ่มแรกนั้น ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจะมีระบบชดเชยการเอียงจากเซนเซอร์เฉื่อยในตัว (Microelectromechanical system: MEMS) และมีฟองกลมอเล็กทรอนิกส์ซึ่งใช้งานแทนฟองกลมแบบเดิม ทำงานร่วมกับเข็มทิศอเล็กทรอนิกส์เพื่อรับวัดให้ได้มุมเอียงไม่เกินตามที่เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมกำหนดไว้สูงสุด (Bo Nie et al., 2019) ซึ่งโดยมากจะกำหนดให้การรับวัดสามารถเอียงเสาได้ไม่เกิน 30 องศา โดยมีงานวิจัยทดสอบความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Topcon รุ่น Hiper HR ซึ่งเป็นเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบ MEMS ทดสอบรับวัดในโหมด Autonomous base start และ Tilt option โดยใช้เทคนิค Single base RTK กับ Network base RTK ทำการรับวัดในแนวตั้ง 1 ค่า และรับวัดในแนวเอียงสี่ทิศทางได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก และนำค่าพิกัดที่รับวัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงที่ได้มาจากการถ่ายค่าพิกัดโดยวิธี total station (Danijel Šugar et al., 2018) เครื่องรับประเภทนี้มีข้อเสียคือ ต้องมีการสอบเทียบก่อนรับวัดซึ่งใช้เวลานาน และไวต่อการรบกวนของแม่เหล็กที่เกิดจากโลหะ เช่น รถยนต์ อาคารที่มีโครงสร้างเหล็ก รวมไปถึงการรบกวนของกระแสไฟฟ้า เพื่อหลีกเลี่ยงข้อเสียข้างต้น ได้มีการนำเทคโนโลยีที่ใช้ในการบินและการเดินเรือทางทะเลมาใช้ โดยนำข้อดีจากการประมาณตำแหน่งและความเร็วของ GNSS ทำงานร่วมกับ INS ซึ่งมีเซนเซอร์ IMU ทำหน้าที่บอกความเร่งและอัตราการหมุน โดยมีงานวิจัยทดสอบประสิทธิภาพการรับวัดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น GST18 T ซึ่งเป็นเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ชดเชยการเอียงแบบ IMU โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งจากการรับวัดโดยเทคนิค static กับ RTK และรับวัดด้วยเทคนิค RTK ตั้งเสาตรงในแนวตั้ง เทียบกับการรับวัดแบบเอียงเสาโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น GS18 T กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไป ภายใต้ท้องฟ้าเปิดโล่งเพื่อทดสอบปริมาณจุดที่รับวัดได้ของเครื่องรับภายในระยะเวลารับวัดที่เท่ากัน และนำไปทดสอบรับวัดกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการรบกวนสัญญาณสูง เช่น ใกล้กับอาคารที่เป็นโครงสร้างเหล็ก การรบกวนสัญญาณจากรถยนต์ เป็นต้น (Xiaoguang LUO et al., 2018)

งานวิจัยที่ผ่านมาล้วนแล้วแต่ทดสอบการรับวัดขณะเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีระบบชดเชยการเอียง เพียงแค่นั้นในพื้นที่เปิดโล่ง พื้นที่รับสัญญาณได้ยาก และพื้นที่ใกล้ multipath เท่านั้น แต่ยังไม่มีการทดสอบเครื่องรับในจุดที่ไม่สามารถตั้งเสาให้ตรงได้ ตัวอย่างเช่นบริเวณริมรั้ว หรือริมกำแพง โดยส่วนมากจะเป็นกรณีที่พบเจอในงานสำรวจรับวัดที่ดินซึ่งบนแปลงที่ดินบางแปลงมุมหลักเขตที่ดินจะอยู่ชิดกับริมรั้วหรือกำแพง หรือไม่สามารรับวัดโดย

ตั้งเสาให้ตรงได้ ในปัจจุบันยังไม่มีการรังวัดโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินในกรณีนี้ ซึ่งในงานวิจัย Danijel Šugar et al. (2018) ได้ทดสอบการเอียงของเครื่องรับแบบ MEMS โดยวิธี Single base RTK เปรียบเทียบกับวิธี Network base RTK โดยเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายสถานีอ้างอิง CROPOS ในประเทศสาธารณรัฐโครเอเชีย และในปีเดียวกันได้มีการทดสอบเครื่องรับแบบ IMU ของ Xiaoguang LUO et al. (2018) สามารถรังวัดขณะเอียงเสาได้มากถึง 60° แต่ในงานวิจัยทั้งสองนั้น ไม่ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งเปรียบเทียบกับเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ชดเชยการเอียงต่างชนิดกัน ในปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ชดเชยการเอียงและรองรับระบบ NRTK มีหลายบริษัทที่เปิดตัวรุ่นล่าสุด ซึ่งมีเซนเซอร์ชดเชยการเอียงแบบ IMU สามารถรังวัดโดยการเอียงเสาได้มากกว่า 30° หนึ่งในนั้นคือเครื่องรับรุ่น i90 ของบริษัท Shanghai Huance Navigation Technology (CHC) เมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน เป็นบริษัทผู้ผลิตเครื่องรับที่ผู้รังวัดนิยมใช้อีกบริษัทหนึ่งในการรังวัดด้วยระบบ GNSS ในประเทศไทย ซึ่งประเทศไทยมีสถานีฐานถาวรที่เปิดใช้งานในระบบ NRTK ครอบคลุมทั่วประเทศจากหน่วยงานภาคีรัฐยกตัวอย่างเช่น กรมที่ดิน ซึ่งให้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบไม่เกิน 4 เซนติเมตร (T. Charoenkalunyuta et al., 2019)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบประสิทธิภาพความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU จากการรังวัดด้วยระบบ NRTK โดยเทคนิค VRS (Virtual Reference Station) และใช้สถานีฐานถาวรของกรมที่ดินรับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกจากบริษัท CHC ในพื้นที่ศึกษาอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ในกรณีสภาพแวดล้อมควบคุมจะทดสอบบนดาดฟ้าอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน โดยรังวัดขณะเสาตรงมีมุมจากแนวตั้ง 0° และรังวัดขณะเอียงเสาจากแนวตั้งด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° ทั้งหมดสี่ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์สองแบบ ได้แก่ เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (CHC i80) และ IMU (CHC i90) ซึ่งจะรังวัดในสภาพแวดล้อมสองกรณี ได้แก่ บริเวณที่มีสิ่งบดบัง โดยทดสอบห่างจากผนังดาดฟ้า 2 เมตร และบริเวณที่โล่ง โดยจะทดสอบกรณีละ 20 หมุด ซึ่งค่าพิกัดอ้างอิงของหมุดทดสอบได้มาจากการรังวัดด้วยเทคนิค static เป็นเวลาหมุดละ 35 นาที สำหรับหมุดที่ทดสอบบริเวณที่โล่ง และ 45 นาทีสำหรับหมุดที่ทดสอบห่างจากผนังดาดฟ้า เพื่อเป็นค่าพิกัดอ้างอิงในการเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการทดสอบ จากนั้นนำเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ทั้งสองแบบ ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน ดำเนินการรังวัดขณะเอียงเสาจากแนวตั้งด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° และใช้ค่าพิกัดของหมุดดาวเทียม RTK

เป็นค่าพิกัดอ้างอิง และสุดท้ายนำเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์เซนเซอร์ทั้งสองแบบ ไปทดสอบรับวัด โดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินในพื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี โดยหมุดหลักเขตที่ดินมีสภาพแวดล้อมเข้าถึงได้ยากและไม่สามารถรับวัดในแนวตั้งได้ สามารถแบ่งเป็นกรณีศึกษาที่พบได้ทั่วไปในการรับวัดได้ทั้งหมด 3 กรณี คือ หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น เช่น รั้วไม้หนาที่บ หลังคาคอนกรีต และหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น ดำเนินการรับวัดกรณีละ 20 หมุด โดยรับวัดขณะเอียงเสาจากแนวตั้งด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° ซึ่งหมุดหลักเขตที่ดินเหล่านี้จะเป็นหมุดหลักเขตที่ดิน ที่อยู่บนระวางแผนที่ชั้นหนึ่ง RTK และใช้ค่าพิกัดของหมุดหลักเขตที่ดินเป็นค่าพิกัดอ้างอิง โดยผลการทดสอบการรับวัดขณะเอียงเสาค่าพิกัดจะต้อง มีค่าความคลื่อนทางราบไม่เกิน 4 เซนติเมตร (กรมที่ดิน, 2562) และค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งไม่เกิน 10 เซนติเมตร (กรมที่ดิน, 2563)

1.2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรับวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลนในทันที บนหมุดที่อยู่ในสภาพแวดล้อมควบคุม

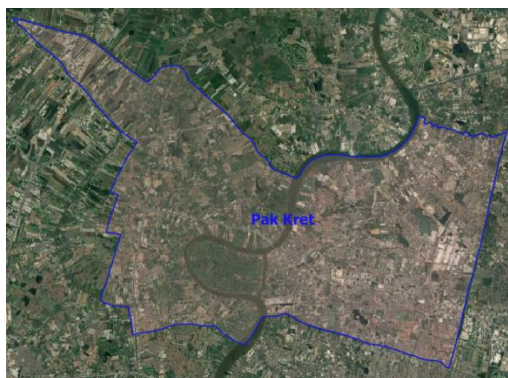
2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ด้วยการรับวัดโดยตรงบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน โดยวิธีการรับวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลนในทันที

2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ด้วยการรับวัดโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินจากกรณีศึกษาที่พบได้ทั่วไป โดยวิธีการรับวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลนในทันที

1.3. ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

งานวิจัยในครั้งนี้ดำเนินการเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยพิจารณาจากการตัดสินใจของผู้วิจัยเอง เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ และเพียงพอในทางด้านสถิติ (เจนพิธิกรสุนทรรัตน์, 2560) และจะดำเนินการทดสอบในพื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ซึ่งมีพื้นที่สำหรับการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 พื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

1.3.1.1 พื้นที่ดาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ในพื้นที่ส่วนนี้จะเป็นการทดสอบในสภาพแวดล้อมควบคุมซึ่งถูกกำหนดขึ้นมาโดยผู้วิจัย สามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ ส่วนที่เป็นพื้นที่โล่ง และส่วนที่มีสิ่งบดบัง โดยจะทดสอบห่างจากผนังดาดฟ้าสูงประมาณ 3 เมตร วางมุมทดสอบห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร



รูปที่ 2 พื้นที่ทดสอบบริเวณดาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน สำหรับทดสอบกรณีพื้นที่โล่ง



รูปที่ 3 พื้นที่ทดสอบบริเวณดาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน สำหรับทดสอบกรณีห่างจากผนังดาดฟ้า 2 เมตร

1.3.1.2 พื้นที่ส่วนนี้จะเป็นการทดสอบสำหรับพื้นที่ ๆ มีการใช้งานจริงของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิก ได้แก่

- 1) พื้นที่ในเขตอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี บริเวณที่มีหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน



รูปที่ 4 ตัวอย่างสภาพแวดล้อมบริเวณหมุดดาวเทียม RTK และตัวอย่างหมุดดาวเทียม RTK

- 2) แปลงที่ดินในเขตอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี สามารถแบ่งกรรมศึกษาตามที่ได้ทั่วไปในงานรังวัด 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

- i. หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง



รูปที่ 5 ตัวอย่างหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง

- ii. หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น



รูปที่ 6 ตัวอย่างสภาพพื้นที่ของหมุดหลักเขตที่ดิน
ที่อยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น

- iii. หมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น



รูปที่ 7 ตัวอย่างสภาพพื้นที่ของหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้
และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น

1.3.2 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

1.3.2.1 ดาดฟ้าอาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน อำเภอปากเกร็ด

จังหวัดนนทบุรี

1) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธี Network Based RTK (NRTK) เทคนิค VRS โดยใช้ระบบ NRTK ของกรมที่ดิน รังวัดในโหมดเอียง (compensate mode) ด้วยมุม 0° และขณะเอียงเสาด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° จากแนวตั้ง สี่ทิศทาง คือ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก รับสัญญาณทุก ๆ 1 วินาที และได้ข้อมูลการรับสัญญาณ 60 วินาทีอย่างต่อเนื่อง จำนวน 3 ครั้ง จากสถานีอ้างอิงกรมที่ดิน จำนวนหมุดทดสอบทั้งหมด 40 หมุดแบ่งเป็นกรณีทดสอบในที่โล่งจำนวน 20 หมุด และห่างจากผนังดาดฟ้า 2 เมตร จำนวน 20 หมุด

2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งในทางราบและทางตั้ง ซึ่งเป็นค่าความสูงเหนือพื้นผิวทรงรี (ellipsoidal height) จากการทดสอบขณะเอียงเสาโดยใช้โหมดเอียง (compensated mode) จากเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU กับค่าพิกัดของหมุดอ้างอิงที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธี static (การรังวัดแบบสถิต) บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที นาน 35 นาทีสำหรับพื้นที่โล่ง และ 45 นาทีสำหรับพื้นที่ ๆ มีสิ่งบดบัง ซึ่งการทดสอบทั้งหมดจะทดสอบภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005

1.3.2.2 พื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

1) ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ทำการรังวัดบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินโดยวิธี Network Based RTK เทคนิค VRS โดยใช้ระบบ NRTK จากกรมที่ดิน และรังวัดขณะเสาเอียงด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° จากแนวตั้ง จำนวนทั้งหมด 20 หมุดรับสัญญาณทุก ๆ 1 วินาที และได้ข้อมูลการรับสัญญาณ 60 วินาทีอย่างต่อเนื่อง จำนวน 3 ครั้ง จากสถานีอ้างอิงกรมที่ดิน ซึ่งการทดสอบทั้งหมดจะทดสอบภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005

2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งที่ได้จากการรังวัดขณะเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU กับค่าตำแหน่งทางราบและทางตั้งของหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน

3) ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU รังวัดโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน โดยวิธี Network Based RTK เทคนิค VRS โดยใช้ระบบ NRTK จากกรมที่ดิน และรังวัดขณะเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° จากแนวตั้ง จากกรณีศึกษาทั่วไป 3 กรณี ดำเนินการรังวัดรับสัญญาณกรณีละ 20 หมุด รับสัญญาณทุก ๆ 1 วินาที และได้ข้อมูลการรับสัญญาณ 60 วินาทีอย่างต่อเนื่อง จำนวน 3 ครั้ง จากสถานีอ้างอิงกรมที่ดิน

4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบ ที่ได้จากการรังวัดแบบเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU กับค่าพิกัดของหมุดหลักเขตที่ดินจากการรังวัดโดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่ง ด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network)

1.3.3 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียม

1.3.3.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i80



รูปที่ 8 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i80

ที่มา (Shanghai HuaCe Navigation Technology Ltd., 2015)

คุณลักษณะของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i80

1. การตรวจจับสัญญาณ: เกินสองความถี่
2. ดาวเทียมระบบ GNSS ที่รับได้: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, SBAS
3. การชดเชยการเอียง: เซนเซอร์ชดเชยการเอียงแบบ MEMS
4. ความแม่นยำ Static ทางราบ: 2.5 mm + 0.1 ppm RMS
5. ความแม่นยำ RTK ทางราบ: 8 mm + 1 ppm RMS

1.3.3.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i90 PRO



รูปที่ 9 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i90
ที่มา (CHC | Shanghai Huace Navigation Technology Ltd., 2019)

คุณลักษณะของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ CHC รุ่น i90 PRO

1. การตรวจจับสัญญาณ: เกินสองความถี่
2. ดาวเทียมระบบ GNSS ที่รับได้: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo, SBAS, QZSS และ IRNSS
3. การชดเชยการเอียง: เซนเซอร์ชดเชยการเอียงแบบ IMU
4. ความแม่นยำ Static ทางราบ: 2.5 mm + 0.5 ppm RMS
5. ความแม่นยำ RTK ทางราบ: 8 mm + 1 ppm RMS (Initialization time < 10s)
6. ความแม่นยำ RTK tilt compensation ทางราบ: Less than 10 mm + 0.7 mm/° tilt

3.3.3 เสา (pole)

3.3.4 ขาตั้งกล้อง tripod

1.3.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล static

CHC Geomatics Office หรือ CGO เป็น software บนระบบปฏิบัติการ Windows ใช้สำหรับประมวลผลเส้นฐาน Baseline ทั้งจาก Broadcast และ Precise Ephemeris โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียมระบบ GPS, GLONASS และ BeiDou ในรูปแบบไฟล์ RINEX v.2 v.3, .HCN, .DAT ฯลฯ มาประมวลผลเส้นฐานและปรับแก้ (Adjustment) ผ่านระบบ Least Squares (CHC Navtech Thailand, 2017)



รูปที่ 10 ไอคอนโปรแกรม CHC Geomatics Office 2

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพและข้อจำกัดในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งจากการรังวัดขณะเอียงเสา ของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ในพื้นที่ใช้งานจริงซึ่งเป็นพื้นที่ ๆ มีจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถรังวัดรับสัญญาณโดยการตั้งเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกให้ตรงได้ และเป็นแนวทางเลือกสำหรับงานด้านสำรวจที่ต้องการหาค่าพิกัดทั้งทางราบและทางตั้งโดยเอียงเสาขณะรับสัญญาณ ซึ่งการรับสัญญาณโดยตรงบนหมุดจะได้ค่าพิกัดในทันทีและทำให้ประหยัดเวลาในการทำงาน



บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่สำคัญ

2.1.1 การรังวัดด้วยสมการค่าสังเกต

ค่ารังวัดที่ได้จากการรับสัญญาณดาวเทียมเพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่งมี 2 ชนิด ได้แก่ ซูโดเรนจ์ (Pseudorange) และเฟสคลื่นส่ง (Carrier phase) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1.1 ซูโดเรนจ์ (Pseudorange)

ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ หาค่าได้จากการถอดรหัสจากสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียมเปรียบเทียบกับรหัสที่เครื่องรับสัญญาณสร้างขึ้น โดยจะทำการเลื่อนไปมาจนกระทั่งได้รหัสที่ตรงกัน (เจนพีธีกร สุนทรรัตน์, 2560) ค่าเลื่อนระหว่างรหัสทั้งสองคือระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ เมื่อนำความเร็วของคลื่นวิทยุคูณด้วยระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างดาวเทียมมายังเครื่องรับสัญญาณ จะได้ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณซึ่งเรียกว่า ‘ซูโดเรนจ์’ นั่นเอง โดยซูโดเรนจ์ที่ได้นี้จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากระยะทางจริงระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ อันเนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนหลายชนิด เช่น ความคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ เป็นต้น (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) โดยมีสมการของซูโดเรนจ์ที่ได้จากรหัสและมีหน่วยเป็นระยะทางดังนี้คือ

$$R = \rho + \Delta r + d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_R + \epsilon_R \quad (1)$$

โดยที่

R	คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดรหัส (เมตร)
ρ	คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
Δr	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
d_{ion}	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
d_{trop}	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
c	คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)

- $\Delta\delta_r$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $\Delta\delta^S$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- dm_R คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (Multipath) (เมตร)
- ϵ_R คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของรหัส (เมตร) (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

2.1.1.2 เฟสคลื่นส่ง (Carrier phase)

สำหรับงานที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร ซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผล ซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมา กับเฟสของคลื่นความถี่ f_0 ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมา นั้นแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมาจำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มีชื่อเรียกว่า Ambiguity หรือ เลขปริศนา (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่งคือ

$$\phi = \rho + \Delta r - d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^S) + dm_\phi + \epsilon_\phi + \lambda N \quad (2)$$

โดยที่

- ϕ คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)
- ρ คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)
- Δr คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากวงโคจรดาวเทียม (เมตร)
- d_{ion} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของคลื่นส่ง (เมตร)
- d_{trop} คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (เมตร)
- c คือ ความเร็วของคลื่นส่งหรือความเร็วแสง (เมตร/วินาที)
- $\Delta\delta_r$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเครื่องรับ (วินาที)
- $\Delta\delta^S$ คือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียม (วินาที)
- dm_ϕ คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)

ϵ_0	คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของคลื่นส่ง (เมตร)
λ	คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)
N	คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

การคำนวณหาจำนวนลูกคลื่นปริศนา (Integer Cycle Ambiguity) หรือ เลขปริศนา (Ambiguity) สามารถคำนวณได้จากขบวนการหาเลขปริศนา (Ambiguity Resolution : AR) เป็นการคำนวณที่เกิดขึ้นภายหลังในขั้นตอนการประมวลผลของข้อมูล โดยทั่วไปสามารถแบ่งขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาได้ 2 แบบ โดยแบบที่ 1 คือการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (Ambiguity – Float Solution) และการประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี (Ambiguity – Fixed Solution) ซึ่งวิธีนี้ได้รับการยอมรับให้ค่าความถูกต้องสูงกว่าวิธีประมาณค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนจริง (เจนพิธิกร สุนทรรัตน์, 2560; อัศวินี วงษ์สุวรรณ, 2557)

เมื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างสมการที่ (1) และ (2) จะพบว่ามีความแตกต่างกันดังนี้ จะมีเทอมของ λN เฉพาะสมการที่ (2) ซึ่งเป็นสมการเฟสของคลื่นส่ง และเครื่องหมายหน้าเทอมของค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (d_{ion}) ของสมการที่ (1) และ (2) จะตรงกันข้ามกัน จากสมการทั้งสองจะเห็นว่ายังคงมีค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิด เพราะฉะนั้นจึงต้องหาวิธีเพื่อขจัดหรือลดค่าความคลาดเคลื่อนลงโดยเทคนิคการหาค่าต่างซึ่งเป็นวิธีที่นิยมสำหรับการขจัดหรือลดค่าคลาดเคลื่อนในข้อมูลดาวเทียม (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

2.1.2 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการสำรวจจริงวัดดาวเทียม

ค่าความคลาดเคลื่อนในการรังวัดดาวเทียมสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ และค่าคลาดเคลื่อนอื่นๆ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด ค่าเลขปริศนา เป็นต้น สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้จะสนใจเกี่ยวกับค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ และค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสัญญาณ ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอ

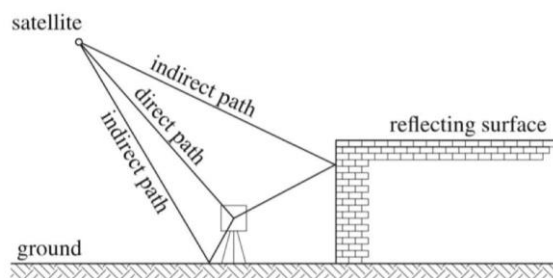
โนสเฟียร์ ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ และ ค่าความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด ซึ่งจะได้แสดงรายละเอียดต่อไป

2.1.2.1 ค่าคลาดเคลื่อนจากการแปรเปลี่ยนของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ (Antenna phase center variation error)

ปกติระยะทางที่วัดระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับเป็นระยะทางระหว่างจุดศูนย์กลางของตัวส่งคลื่นสัญญาณดาวเทียมกับศูนย์กลางเฟสเสาอากาศ ค่าการเปลี่ยนแปลงของเสาอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณภาพของเสาอากาศที่ใช้สำหรับวิธีการลดค่าคลาดเคลื่อนนี้สามารถทำได้โดยการใช้เสาอากาศที่มีคุณภาพสูง ถ้ามีการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ควรใช้เสาอากาศชนิดเดียวกันและการเลือกใช้แบบจำลองปรับแก้การเปลี่ยนแปลงของจุดศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศสำหรับการเกิดขึ้นของสัญญาณรบกวนในเครื่องรับนั้นเป็นค่าคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม จึงทำให้ไม่สามารถขจัดออกไปได้แต่การเลือกใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีคุณภาพดีถือเป็นวิธีการลดค่าคลาดเคลื่อนนี้ (สมเกียรติ ทิพย์สุมณฑา, 2560)

2.1.2.2 ค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถี (Multipath error)

คลื่นหลายวิถีหมายถึงการแพร่กระจายของคลื่นที่มีการสะท้อนตั้งแต่หนึ่งครั้งขึ้นไป โดยพื้นผิวที่สะท้อนอาจอยู่ในแนวตั้ง ราบหรือเอียง เช่น ผนังตึก ถนน ผิวหน้าหรือยานพาหนะ เป็นต้น โดยทั่วไปคลื่นสัญญาณดาวเทียมที่ส่งจากดาวเทียมที่มีค่ามุมสูงต่ำจะมีโอกาสเกิดคลื่นหลายวิถีมากกว่าดาวเทียมที่มีค่ามุมสูง อิทธิพลของคลื่นหลายวิถีจะมีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่น และเนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลายวิถีขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของเครื่องรับสัญญาณแต่ละเครื่อง จึงไม่สามารถใช้เทคนิคหาค่าต่างในการขจัดค่าคลาดเคลื่อนออกไปได้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) ซึ่งคลื่นสะท้อนที่เกิดจากคลื่นหลายวิถีมีผลกับทั้งรหัสและคลื่นส่ง ผลของการสะท้อนเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดคลื่นหลุด (Cycle Slip) (เจนพิธิกร สุนทรรัตน์, 2560)



รูปที่ 11 การเกิดคลื่นหลายวิถี

ที่มา (Hofmann-Wellenhof et al., 2008)

เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลายวิถีเกิดจากวัสดุโดยรอบของเครื่องรับสัญญาณ ด้วยเหตุนี้จึงมีงานวิจัยเพื่อทดสอบการสะท้อนของคลื่นหลายวิถีบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ซึ่งผลสรุปที่ได้คือ คลื่นหลายวิถีจะเกิดขึ้นมากที่สุดบนวัสดุออลูมิเนียมและคอนกรีต ต่อมาเป็นแก้ว และน้อยที่สุดคือไม้ (T. L. Dammalage et al., 2013) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ทำการทดสอบเพื่อหาระยะห่างระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมกับวัสดุสะท้อน และใช้วัสดุที่ทำให้เกิดคลื่นหลายวิถีมากที่สุดอย่างออลูมิเนียม โดยทำการทดสอบให้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอยู่ห่างจากวัสดุสะท้อนในระยะ 2, 4, 6, 8, 10, 20, 30, 40 และ 50 เมตรตามลำดับ พบว่าค่าพิกัดมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะทาง X และ Y ซึ่งมีการเปลี่ยนในระยะ 2 – 6 เมตรแรกเท่านั้น ซึ่งมีค่าความผิดพลาด 1 – 3 เซนติเมตร (Cetin Mekik & Ozer Can, 2010)

วิธีการลดค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลายวิถีทำได้โดยการเลือกบริเวณที่รับสัญญาณดาวเทียมให้อยู่ห่างจากพื้นผิวที่สะท้อน และใช้แผ่นกราวด์ติดกับเสาอากาศหรือเสาอากาศแบบ Choke ring เพื่อป้องกันคลื่นหลายวิถี หรือใช้เสาอากาศที่มีคุณภาพสูงที่มีคุณสมบัติในการป้องกันคลื่นหลายวิถี และเลือกเครื่องรับสัญญาณที่สามารถกรองคลื่นหลายวิถีได้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

2.1.2.3 ค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศ

ค่าคลาดเคลื่อนนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือการล่าช้าอันเนื่องมาจากการเดินทางผ่านชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionospheric delay) และการล่าช้าของคลื่นอันเนื่องมาจากการเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ (Tropospheric delay) เมื่อคลื่นเดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ โดยชั้นบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์มีขอบเขตอยู่เหนือพื้นโลกตั้งแต่ 50 กิโลเมตรถึง 1,000 กิโลเมตร ส่งผลให้การเดินทางของคลื่นนั้นต่างจากความเร็วแสง การเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้ส่งผลทำให้ซูโดเรนจ์เดินทางได้ช้าลงและในทางกลับกันทำให้เฟสของคลื่นส่งเดินทางได้เร็วขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อการวัดระยะระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ วิธีที่นำมาใช้ในการลดค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากไอโอโนสเฟียร์ ได้แก่ การใช้เครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่ การใช้เทคนิคการหาค่าต่างโดยประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับความยาวของเส้นฐาน การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยลดค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นไอโอโนสเฟียร์หรือเลือกรับสัญญาณในช่วงเวลากลางคืน สำหรับค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ชั้นบรรยากาศชั้นนี้แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแห้งและส่วนเปียก โดยส่วนแห้งคิดเป็น 90% และ

ส่วนเปียก 10% สองส่วนนี้ทำให้คลื่นเดินทางมาถึงข้างล่างทำให้ระยะที่วัดระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับนั้นยาวกว่าความเป็นจริง วิธีการลดค่าคลาดเคลื่อนจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ คือ การใช้เทคนิคการหาค่าต่าง การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (สมเกียรติ ทิพย์สุมณฑา, 2560)

2.1.2.4 ค่าความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด

ค่าความคลาดเคลื่อนจากคลื่นหลุด (Cycle slip) เกิดจากความแปรปรวนที่มีคลื่นรบกวนขนาดใหญ่ สาเหตุดังกล่าวทำให้เครื่องรับไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่อง จากการที่เกิดคลื่นหลุดทำให้ค่าเลขปริศนาเปลี่ยนไป (สมเกียรติ ทิพย์สุมณฑา, 2560) ตัวอย่างสัญญาณรบกวนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม เช่น บริเวณสายไฟแรงสูง เสาโทรศัพท์ หม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งไปรบกวนสัญญาณดาวเทียมที่ส่งมายังเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ทำให้ค่าพิกัดมีความคลาดเคลื่อนสูง (กรมที่ดิน, 2563)

2.1.3 เทคนิคค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างสองครั้ง กล่าวคือเป็นการหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุดและดาวเทียมสองดวง เช่น ระหว่างจุด A, B และดาวเทียม 1, 2 จะได้ดังสมการ

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

การหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถขจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ ทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ เช่นเดียวกับกับการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ ประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

2.1.4 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning)

หรือที่เรียกกันว่าวิธี Differential Positioning เป็นวิธีที่นิยมใช้สำหรับงานที่ต้องการความถูกต้องสูงมากกว่าการหาตำแหน่งแบบสัมบูรณ์ โดยวิธีนี้จะเป็นการหาตำแหน่งแบบเปรียบเทียบระหว่างสองจุด โดยใช้ตำแหน่งสัมบูรณ์ที่ทราบค่าแล้วอย่างน้อยหนึ่งจุดเพื่อคำนวณหาตำแหน่งสัมบูรณ์ของจุดอื่นๆ การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์มีหลักการที่สำคัญคือ จำเป็นต้องใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องหนึ่งจะวางอยู่ที่จุดที่ทราบค่าพิกัดแล้ว เรียกว่า สถานีฐาน (Base Station) หรือสถานีอ้างอิง (Reference

Station) ส่วนเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมอีกเครื่องจะถูกนำไปวางตรงจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัด เรียกว่า สถานีผู้ใช้ (User Station) หรือสถานีจร (Roving Station) การหาค่าพิกัดตำแหน่ง จุดต่างๆ ด้วยวิธีนี้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานจะต้องรับข้อมูล จากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน และอยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยต้องทำการรับสัญญาณจากดาวเทียม อย่างน้อย 4 ดวง ด้วยการทำงานในลักษณะดังกล่าว ความคลาดเคลื่อนมีระบบ (Systematic errors) หลายชนิด ดังเช่นความคลาดเคลื่อนจากวงโคจร ความคลาดเคลื่อน จากชั้นบรรยากาศ ความคลาดเคลื่อนจากนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ เป็นต้น จะถูกหักล้างกันไปทำให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้ดีขึ้น ในการหาค่าตำแหน่งแบบ สัมพัทธ์ด้วยการใช้ข้อมูลซูโดเรนจ์ ค่าความถูกต้องจะอยู่ระหว่าง 0.5 – 5 เมตร ในกรณีที่ต้องการความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตร ก็จะต้องใช้วิธีการวัดเฟสของคลื่นส่ง (นำพล ศักดิ์สินิท, 2562) สามารถแบ่งวิธีการรังวัดได้ดังนี้

2.1.4.1 วิธีการรังวัดแบบสถิต (Static)

วิธีการนี้ต้องใช้เครื่องรับ GNSS อย่างน้อย 2 เครื่อง โดยเครื่องที่หนึ่งจะถูก วางเอาไว้บนหมุดที่ทราบค่าพิกัดหรือสถานีฐาน ส่วนเครื่องที่สองจะถูกนำไป วางรับสัญญาณ GNSS ตามจุดที่ต้องการทราบค่าหรือสถานีจร วิธีการนี้เครื่องรับ สัญญาณดาวเทียมทั้งสองเครื่องจะต้องรับข้อมูลจากดาวเทียม GNSS กลุ่มเดียวกัน และช่วงเวลาเดียวกัน อย่างน้อย 4 ดวง และต้องตั้งอยู่กับที่เป็นระยะเวลาหนึ่ง ๆ โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1 – 2 ชั่วโมง เพื่อให้มีข้อมูลของการวัดระยะที่เพียงพอที่จะใช้ในการประมวลผลหาจำนวนคลื่นเต็มรอบที่ไม่สามารถวัดได้ โดยวิธีการนี้จะให้ค่าความถูกต้อง ตั้งแต่ 5 มิลลิเมตร – 2.5 เซนติเมตร (สำหรับเส้นฐานที่ยาวไม่เกิน 20 กิโลเมตร) (เจนพิธิกร สุนทรรัตน์, 2560)

2.1.4.2 วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network Based RTK : NRTK)

มีข้อดีคือ ผลกระทบที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่น้อยกว่าเทคนิค การรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) ซึ่งความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่จะถูกขจัด ในขั้นตอน ของการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่ง วิธีนี้ สามารถลดข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้อง ทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดเมื่อมีระยะทางระหว่างสถานีฐานและ สถานีผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การหาค่าเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีนั้น มีประสิทธิภาพและทำให้กระบวนการประมาณค่าเลขปริศนาทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่า วิธีการนี้ต้องประกอบด้วย สถานีฐานถาวร (CORS), ศูนย์ควบคุมกลาง (Control

Center) และสถานีผู้ใช้งาน (Rover Station) โดยหลักการทำงานจะเริ่มจากสถานีฐานถาวร ที่มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรับวัดคุณภาพสูงชนิดหลายความถี่ อย่างน้อย จำนวน 3 สถานี ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่เป็นการถาวร ในบริเวณที่ติดตั้งสถานีต้องโล่ง แจ่มต้องไม่มีสิ่งกีดขวาง และสามารถใช้อินเตอร์เน็ตเชื่อมต่อกับระบบได้ตลอดเวลา เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมกลางได้ในทันทีเมื่อศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้รับ ข้อมูลมาจากทุกสถานีฐานถาวรแล้วจะทำการประมวลผลของข้อมูลที่ได้รับ เพื่อ คำนวณหาค่าแก้ความคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ เพื่อส่งให้สถานี ผู้ใช้งานต่อไป เมื่อ ผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพิกัดของตำแหน่ง สามารถทำได้โดยการนำเครื่องรับ สัญญาณดาวเทียมเพียงเครื่องเดียวไปวางที่ตำแหน่งที่ต้องการก็จะทราบค่าพิกัด (เจนพิธิกร สุนทรรัตน์, 2560)

2.1.4.3 วิธีการรับวัดแบบระบบสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station : VRS)

เป็นเทคนิคหนึ่งของวิธีการรับวัดด้วย RTK GNSS Network และจากการ ประมวลผลข้อมูลพื้นฐานผลกระทบของความคลาดเคลื่อนของวงโคจรดาวเทียม, ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และความคลาดเคลื่อน เนื่องจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์จะเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับความยาวของ Baseline หากอยากจะลดผลกระทบ ดังกล่าวลง สามารถทำได้โดยการสร้างความแตกต่างของ Observables เช่นวิธี Double Differences เป็นต้นจากหลักการที่ว่า การปฏิบัติงานที่ดี คือ การใช้เส้น Baselines ที่สั้นๆ เพื่อให้ Reference Station ใกล้กับ Rover ทำให้ เกิดการพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์จากข้อมูลที่มีอยู่ทำให้เกิด การสร้างเครือข่ายสถานี อ้างอิงเพื่อช่วยลดระยะของ Baseline ลง จนเกิดเป็นแนวคิดการสร้างสถานีเสมือนจริง จากการรับวัดจริงของเครือข่ายสถานีที่อ้างอิงที่หลากหลายอย่างน้อยสามสถานีที่ อยู่ล้อมรอบ และส่งข้อมูลเหล่านั้นกลับไปยังสถานี Rover ผลของแนวคิดนี้ทำให้มี ความแม่นยำทางราบ อยู่ที่ระดับ 5 cm. สำหรับ Baseline ที่ไม่เกิน 35 km (เจนพิธิกร สุนทรรัตน์, 2560)

ข้อดีของระบบ VRS คือ ใช้เวลาการรับวัดค่อนข้างเร็ว และได้ค่าพิกัดในพื้นที่ สถานีผู้ใช้งานไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษหรือซอฟต์แวร์เพิ่มเติม เนื่องจากระบบ VRS จะใช้ซอฟต์แวร์ของสถานีผู้ใช้งานในกระบวนการประมวลผลเส้นฐานเพื่อหาค่าตำแหน่ง ที่ถูกต้องของสถานีผู้ใช้งาน ในส่วนของข้อจำกัดของระบบ VRS นั้นคือประสิทธิภาพ ของการของการรับวัดจะลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างสถานีฐานเพิ่มขึ้นโดยสาเหตุ

เกิดจากค่าคาดคลาดเคลื่อนชนิดต่างๆ และระบบการทำงานของ VRS จำเป็นต้องใช้การสื่อสารแบบสองทาง (Two Way Communication) และใช้ส่วนควบคุมที่มี Server ที่มีประสิทธิภาพในการรองรับการทำงาน รวมถึงระบบเครือข่ายสัญญาณในส่วนของการติดต่อสื่อสารที่มีความเสถียร เพื่อลดข้อจำกัดในด้านของความผิดพลาด (นำพล ศักดิ์สินิท, 2562)

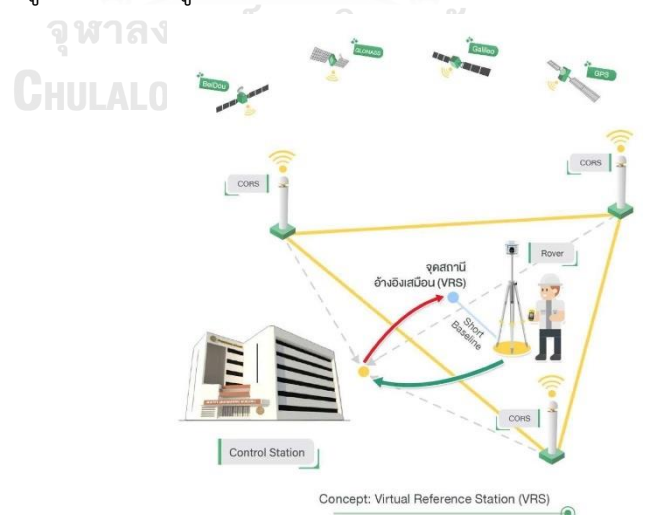
หลักการทำงานของระบบสถานีอ้างอิงเสมือนโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) มีดังนี้

1) สถานีรับสัญญาณดาวเทียมอ้างอิง (CORS) จะรับสัญญาณและบันทึกข้อมูลดาวเทียมทุก 1 วินาที ตลอด 24 ชั่วโมง และส่งข้อมูลดาวเทียมไปที่สถานีควบคุม (Control Station)

2) เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบเคลื่อนที่ (Rover) ของผู้ใช้งาน ต้องรับสัญญาณดาวเทียมในตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าพิกัด จากนั้นผู้ใช้งานจะเชื่อมต่อผ่านระบบสื่อสารเพื่อส่งค่าพิกัดโดยประมาณไปที่สถานีควบคุม (Control Station)

3) ระบบประมวลผลของสถานีควบคุม (Control Station) จะสร้างตำแหน่งสถานีอ้างอิงเสมือน (VRS) ใกล้เคียง ๆ กับตำแหน่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเคลื่อนที่ (Rover) ของผู้ใช้งาน

4) การคำนวณค่าพิกัดของผู้ใช้งานจากสถานีอ้างอิงเสมือน (VRS) จะเปรียบเสมือนการรังวัดด้วยระบบดาวเทียม GNSS ที่มีเสถียรแน่นอน ๆ ผู้ใช้งานจึงได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงและสะดวกรวดเร็ว (กรมที่ดิน, 2563)



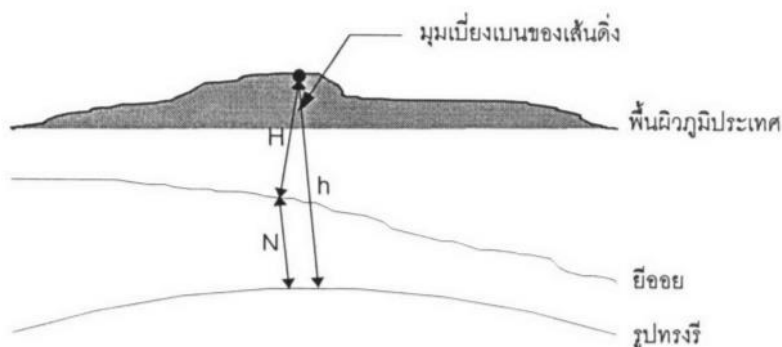
รูปที่ 12 หลักการทำงานของระบบสถานีอ้างอิงเสมือนโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network)

ที่มา (กรมที่ดิน, 2563)

การรังวัดโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) แบบระบบสถานีเสมือน (VRS) เป็นระบบที่กรมที่ดินใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งในปี พ.ศ. 2561 มีการร่วมกันกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จัดทำโครงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน เพื่อวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดินในเชิงพื้นที่ ทำให้สามารถเป็นหลักอ้างอิงทางวิชาการและแสดงความน่าเชื่อถือของโครงข่ายการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน (กรมที่ดิน, 2563)

2.1.5 การหาความสูงของภูมิประเทศจากระบบดาวเทียมนำหนาสากล

ในงานสำรวจและทำแผนที่ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยี GNSS มาประยุกต์ใช้มากขึ้นโดยค่าพิกัดทางดิ่งที่ได้จาก GNSS นั้น จะอ้างอิงอยู่กับพื้นผิวทรงรีอ้างอิง แต่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ใช้กันโดยทั่วไปในงานทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ จะอ้างอิงอยู่กับย็อยด์ หรือค่าความสูงภูมิประเทศ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเหนือทรงรีกับความสูงย็อยด์ได้ (วัชโรตม์ พันโยธา, 2561) ดังรูป 13



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงออร์โธเมตริกความสูงเหนือทรงรี

และความสูงย็อยด์

ที่มา (ธนัช สุขวิมลเสรี, 2540)

จากรูปที่ 13 การหาค่าระดับความสูงภูมิประเทศจะสามารถทำได้เมื่อทราบความต่างระหว่างผิวย็อยด์กับพื้นผิวทรงรีอ้างอิง (N) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสูงภูมิประเทศ ความสูงเหนือทรงรีอ้างอิงและค่า N ได้ตามสมการ (วัชโรตม์ พันโยธา, 2561)

$$h = H + N \quad (4)$$

h คือ ค่าความสูงเหนือทรวงรี

H คือ ค่าความสูงภูมิประเทศ

N คือ ค่าความต่างระหว่างพื้นผิวออยด์ และพื้นผิวทรวงรีอ้างอิง

จากสมการที่ 4 ค่าความสูงเหนือทรวงรี (h) ได้มาจากการรังวัดโดยวิธีการรับสัญญาณดาวเทียมในระบบ GNSS ซึ่งยังไม่ใช่ค่าพิกัดทางดิ่งที่ใช้กันโดยทั่วไปในงานทางด้านวิศวกรรม ถ้าหากต้องการทราบค่าความสูงดังกล่าวจากวิธีการรับสัญญาณดาวเทียม จำเป็นต้องทราบค่าความต่างระหว่างพื้นผิวออยด์ และพื้นผิวทรวงรีอ้างอิงเสียก่อน ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยเพื่อหาค่าดังกล่าวและมีความถูกต้องเพื่อให้สามารถหาค่าความสูงทางด้านวิศวกรรมหรือความสูงภูมิประเทศได้ จากการรังวัดรับสัญญาณดาวเทียม GNSS

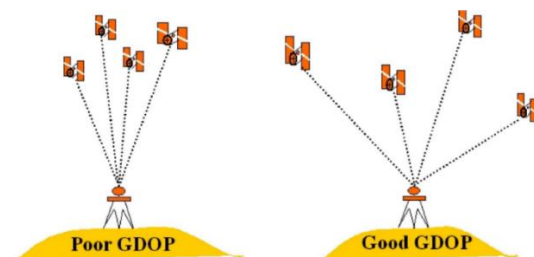
2.1.6 เรขาคณิตดาวเทียม (Satellite Geometry)

ค่าความถูกต้องของตำแหน่งที่ได้จะขึ้นอยู่กับเรขาคณิตของดาวเทียม ซึ่งสามารถบ่งชี้ด้วยค่า DOP (Dilution of Precision) โดย Leick (2004) ได้แสดงไว้ดังสมการ

$$\sigma = \sigma_0 * DOP \quad (5)$$

โดยที่ σ แสดงถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตำแหน่งที่ต้องการทราบ
 σ_0 แสดงถึงส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะที่วัดได้

ทั้งนี้ค่า DOP ยังแบ่งออกเป็นหลาย ๆ ชนิด HDOP (Horizontal Dilution of Precision), PDOP (Positional Dilution of Precision), TDOP (Time Dilution of Precision), GDOP (Geometric Dilution of Precision) เป็นต้น ซึ่งค่า GDOP จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความถูกต้องโดยรวม (รูปที่ 14 แสดงค่า GDOP ที่ดีและไม่ดี) จากสมการที่ (5) หากสมมติว่าความถูกต้องของระยะที่วัดได้เท่ากัน จะเห็นได้ว่ายิ่งค่า DOP ยิ่งต่ำก็จะทำให้ได้ความถูกต้องของตำแหน่งที่ต้องการสูง (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)



รูปที่ 14 การวางตัวของดาวเทียมที่มีผลต่อค่า GDOP

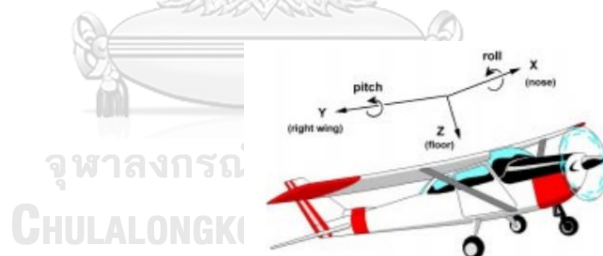
ที่มา (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

2.1.7 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS ที่มี tilt sensor

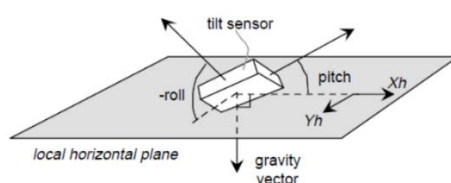
tilt sensor ช่วยตรวจสอบว่าเสาวางตั้งตรงระหว่างการรับสัญญาณ เพื่อให้ตัวรับสัญญาณอยู่ในแนวราบหรืออยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนสำหรับมุมเอียง ปัจจุบันเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมมีเซนเซอร์ที่ใช้งานสำหรับการชดเชยการเอียงสองประเภทคือ MEMS และ IMU ซึ่งช่วยให้สามารถรับสัญญาณเอียงเสาหรือเครื่องรับไม่ได้ระดับ (Trimble Inc., 2018–2021a) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนามาจากเทคโนโลยีการบิน และการเดินเรือในที่นี่จะแสดงการทำงานของเซนเซอร์ทั้งสองแบบในเทคโนโลยีการบิน ที่ประกอบด้วยมาตรวัดความเร่งและไจโรสโคป

2.1.7.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ MEMS

MEMS (Microelectromechanical system : ระบบเครื่องกลไฟฟ้าขนาดเล็ก) คือ เซนเซอร์สนามแม่เหล็กขนาดเล็กเป็นอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบ และการวัดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเป็นตัวให้ข้อมูลเข็มทิศ และใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการวางแผนการนำทาง และการจัดตำแหน่งของวัตถุ (P. Henkel, 2017) ต่อไปนี้จะเป็นการแสดงการวางแผนของอากาศยาน และกำหนดพารามิเตอร์ heading ระยะ pitch และ roll เป็นมุมอ้างอิงระนาบแนวนอนเฉพาะที่วัดตามเข็มนาฬิกาจากทิศทางเหนือจริง ระยะ pitch กำหนดให้เป็นมุมระหว่างแกนตามยาวของเครื่องบินกับระนาบแนวนอน และ roll เป็นมุมเกี่ยวกับแกนตามยาวระหว่างแนวนอนท้องถิ่นและทิศทางการบินจริง ดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 ทิศทางพิกัด (X, Y, Z) และ การวางแผนของเครื่องบิน (roll, pitch) ที่มา (M. J. Caruso, 2000)



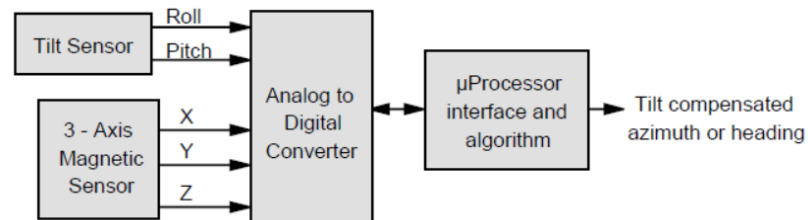
รูปที่ 16 มุมของเซนเซอร์เอียงอ้างอิงกับระนาบแนวนอนโดยแรงโน้มถ่วง ที่มา (M. J. Caruso, 2000)

ระนาบแนวนอนท้องถิ่นกำหนดให้เป็นระนาบปกติของเวกเตอร์แรงโน้มถ่วงของโลกดังรูปที่ 16 หากเข็มทิศอยู่ในระนาบแนวนอนท้องถิ่น มุม roll และระยะ pitch จะเป็นศูนย์ ซึ่งทิศทางจะคำนวณได้ดังสมการ 6

$$\text{Heading} = \text{arcTan}(Y_h/X_h) \quad (6)$$

เมื่อ X_h และ Y_h คือ องค์ประกอบสนามแม่เหล็กแนวนอนของโลก

เมื่อเครื่องบินหมุนส่วนหัวจะกวาด 0° ถึง 360° โดยอ้างอิงจากทิศเหนือแม่เหล็ก ถ้าหากเข็มทิศเอียง มุมเอียง (roll ,pitch) และองค์ประกอบสนามแม่เหล็ก (X, Y, Z) จะถูกนำมาคำนวณในสมการ 6



รูปที่ 17 แผนภาพระบบเข็มทิศ

ที่มา (M. J. Caruso, 2000)

ในการกำหนดมุม roll และ ระยะ pitch จะใช้เซนเซอร์ในการตรวจจับทิศทางของแรงโน้มถ่วงซึ่งได้แก่ มาตรวัดความเร่ง กับ ไจโรสโคป ซึ่งระบบเข็มทิศจะมีเซนเซอร์แม่เหล็กสามแกนและการเอียงแบบสองแกนดังรูปที่ 17 การคำนวณ heading ขึ้นอยู่กับส่วนประกอบแม่เหล็กสามแกน (X, Y, Z) จากนั้นคำนวณองค์ประกอบ X_h และ Y_h เพื่อกำหนดค่า heading ในสมการที่ 6 รูปที่ 16 เข็มทิศแสดงด้วยมุมเอียง (θ) และระยะ pitch (ϕ) การอ่านค่าแม่เหล็ก X, Y และ Z สามารถแปลงเป็นระนาบแนวนอน (X_h, Y_h) โดยใช้สมการการหมุนดังแสดงในสมการที่ 7

$$X_h = X \cdot \cos(\phi) + Y \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\phi) - Z \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\phi) \quad (7)$$

เมื่อพบส่วนประกอบแม่เหล็กในระนาบแนวนอน สามารถใช้สมการ 6 เพื่อกำหนดทิศทางได้ เพื่อเวลาในการประมวล ตารางการค้นหาไซน์และโคไซน์สามารถเก็บไว้ในหน่วยความจำของโปรแกรมได้ ในการบัญชีสำหรับขีดจำกัด arcTan การคำนวณ heading จะต้องคำนึงถึงเครื่องหมายของการอ่าน X_h และ Y_h ตามแสดงในสมการที่ 8 (M. J. Caruso, 2000)

$$\begin{aligned}
 \text{Heading for } (X_h < 0) &= 180 - \text{arcTan}(Y_h/X_h) \\
 \text{for } (X_h > 0, Y_h < 0) &= -\text{arcTan}(Y_h/X_h) \\
 \text{for } (X_h > 0, Y_h > 0) &= 360 - \text{arcTan}(Y_h/X_h) \\
 \text{for } (X_h = 0, Y_h < 0) &= 90 \\
 \text{for } (X_h = 0, Y_h > 0) &= 270
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

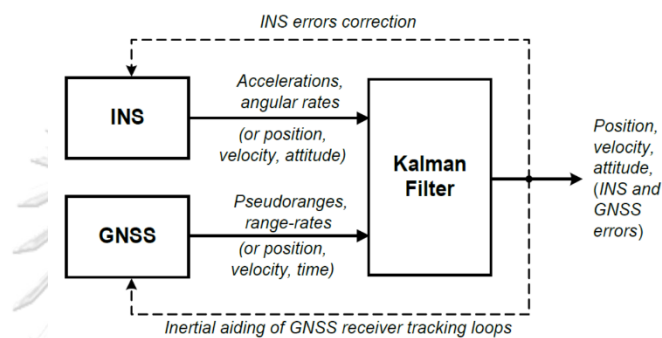
ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแต่ละรุ่นจะเลือกใช้เซนเซอร์ MEMS ที่มีการทำงานแตกต่างกันซึ่งจะทำงานร่วมกับเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กช่วยให้สามารถวัดมุมเอียงโดยใช้วิธีการวัดจุดที่มีการชดเชย โดยใช้เซนเซอร์ชดเชยการเอียงและเครื่องมือวัดค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กในเครื่องรับเพื่อคำนวณตำแหน่งปลายขั้ว แต่ข้อเสียของเครื่องรับประเภทนี้คือหากบริเวณโดยรอบเครื่องรับมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนค่าความถูกต้องทางตำแหน่งจะลดลง (Trimble Inc., 2018–2021b) จึงต้องมีการสอบเทียบก่อนการใช้งาน ซึ่งในเครื่องรับสัญญาณมี electronic bubble เพื่อแทนที่ฟองอากาศแบบเดิมเพื่อแสดงมุมเอียงของเครื่องรับและใช้ร่วมกับเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่า eBubble (ฟองกลมอิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งสร้างมาจากเซนเซอร์ที่ใช้ MEMS (Bo Nie et al., 2019)

2.1.7.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ IMU

IMU (Inertial Measurement Unit : หน่วยวัดแรงเฉื่อย) คือ อุปกรณ์หลักที่ใช้ใน INS (Inertial Navigation System) ซึ่งอยู่ในเทคโนโลยีที่ใช้ในเครื่องบิน อวกาศ และเรือ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ มาตรการเร่ง (accelerometers) 3 ทิศทางและไจโรสโคป (gyroscopes) 3 ทิศทาง ซึ่งจะทำงานโดยการตรวจจับอัตราการเร่ง รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงการหมุน pitch, roll และ yaw (D. Hazry et al., 2009)

เทคโนโลยีที่ใช้ในการบินเป็นการทำงานร่วมกันของระบบ GNSS และ INS โดย GNSS จะใช้สัญญาณจากดาวเทียมเพื่อคำนวณตำแหน่ง เวลา และความเร็ว ซึ่งมีความแม่นยำสูง เมื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมได้มากกว่า 4 ดวงขึ้นไป แต่ถ้าหากสัญญาณดาวเทียมขาดหายอันเกิดจากสิ่งบดบังเช่น ต้นไม้ อาคาร จะทำให้ค่าพิกัดไม่น่าเชื่อถือและไม่สามารถนำทางได้ ด้วยเหตุนี้จึงได้นำระบบ INS มาทำงานร่วมกับระบบ GNSS ซึ่งระบบ INS จะใช้ข้อมูลการหมุนและเร่งความเร็วจาก IMU ซึ่งจะประกอบด้วยเซนเซอร์เสริมที่จัดเรียงบนมุมฉากสามแกน ในแต่ละแกนทั้งสามจะมีมาตรวัดความเร่ง (accelerometers) เพื่อวัดความเร่งเชิงเส้น และ ไจโรสโคป (gyroscopes) วัดความเร่งในการหมุน ถ้าหากสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ขาดหาย

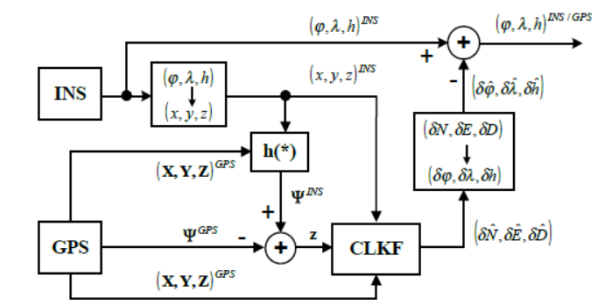
ระบบ INS จะรับสัญญาณที่หายไปแปลงเป็นพิกัดเชิงมุม roll, pitch, yaw (azimuth) ทำให้สามารถนำทางต่อได้จนกว่า GNSS จะดีขึ้น แต่ในขั้นตอนเริ่มต้นจะต้องใช้ข้อมูลจากระบบ GNSS ที่มีข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำระบุตำแหน่งให้กับระบบ INS ก่อน ดังนั้นเมื่อนำระบบ GNSS และ INS รวมกันจะเพิ่มประสิทธิภาพการนำทางได้ดี (Shanghai HuaCe Navigation Technology Ltd., 2015) ซึ่งทั้งสองระบบมีการทำงานประสานกันดังรูปที่ 18 ตามรูปแบบตัวกรองคามาล (Piotr KANIEWSKI, 2006)



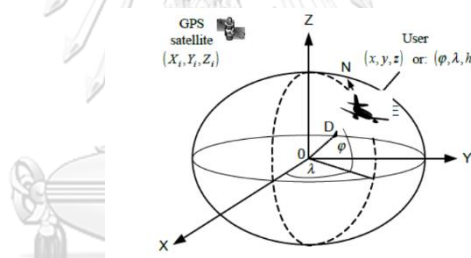
รูปที่ 18 แผนภาพการทำงานร่วมกันของระบบ INS/GNSS และตัวกรองคามาลในระบบที่สาม (Piotr KANIEWSKI, 2006)

และรูปที่ 18 เป็นการส่งข้อมูลในระบบ INS/GNSS ซึ่งมีการใช้ตัวกรองคามาลแบบ Complementary Linearized Kalman Filter (CLKF) ประมวลผลความแตกต่างระหว่างช่วงดาวเทียม (Ψ^{INS}) ที่คำนวณโดย INS และช่วงความถี่เทียมที่วัดโดย GPS (Ψ^{GPS}) ซึ่งประกอบไปด้วยค่าจริงของระยะทางดาวเทียมขณะใช้งานและข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ก่อนจะประมวลผลโดย CLKF ช่วงรวมของดาวเทียมจะถูกหักออกจากระยะการวัด z จากนั้นตัวกรองคามาลจะรับความแตกต่างระหว่างข้อผิดพลาดของ INS และ GPS ซึ่งเวกเตอร์การวัด z มีการแปรผันตามจำนวน m ของดาวเทียมที่ GPS รับผิดชอบ และข้อผิดพลาดจากการวางตำแหน่งที่ประเมินโดยตัวกรองคามาลจะถูกแก้ไขเป็น INS ในรูปการแก้ไขพิดฟอร์เวิร์ด ในทางกลับกันตำแหน่งการใช้งานที่ได้จาก INS $(x, y, z)^{INS}$ จะถูกนำไปใช้อ้างอิงใน CLKF และ บล็อก $h(*)$ แสดงการทำงานการคำนวณช่วงดาวเทียมโดยพิจารณาจากตำแหน่งขณะใช้งานที่ได้รับจาก INS และตำแหน่งดาวเทียม $(X, Y, Z)^{GPS}$ จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ข้อมูลตำแหน่งเครื่องบินและดาวเทียมจะแสดงในกรอบ

คาร์ทีเซียนที่ยึดกับโลกโดยยึดศูนย์กลางโลก (ECEF) ของการอ้างอิง WGS-84 ซึ่งพิกัด ECEF สามารถกำหนดเป็น (x, y, z) หรือ ละติจูด ลองจิจูด และความสูงเหนือพื้นโลก (j, l, h) แต่ข้อผิดพลาดของ INS ถูกจำลองในกรอบการนำทาง NED ซึ่งผู้ใช้เป็นศูนย์กลางและเคลื่อนตัวที่ไปพร้อมกับผู้ใช้ แกนของระบบพิกัด NED (Piotr KANIEWSKI, 2006) ดังรูปที่ 19



รูปที่ 19 โครงสร้างระบบการกำหนดตำแหน่ง INS/GPS
ที่มา (Piotr KANIEWSKI, 2006)



รูปที่ 20 กรอบอ้างอิง ECEF และกรอบอ้างอิงแนวอนเฟรม NED
ที่มา (Piotr KANIEWSKI, 2006)

ในการคำนวณการกำหนดตำแหน่งจากการทำงานร่วมกันของระบบ INS/GNSS มีสมการในการคำนวณหนึ่งคู่ (Piotr KANIEWSKI, 2006) ได้แก่

แบบจำลองไดนามิก

$$\dot{x}(t) = F(t)x(t) + G(t)u(t) \tag{9}$$

เมื่อ X คือ state vector

$$x = [\delta N \quad \delta v_N \quad \phi_E \quad \delta E \quad \delta v_E \quad \phi_N \quad \delta D \quad \delta v_D \quad b \quad d]^T$$

u คือ เวกเตอร์ของการรบกวนกระบวนการสุ่มอย่างต่อเนื่อง

$$u = [u_{vN} \quad u_{\phi E} \quad u_{vE} \quad u_{\phi N} \quad u_{vD} \quad u_b \quad u_d]^T$$

F คือ เมทริกซ์พื้นฐานของระบบ

$$F = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{R} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -g & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{R} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

G คือ เมทริกซ์การรบกวนกระบวนการต่อเนื่อง

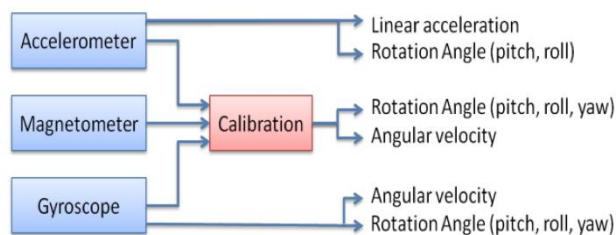
$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

และแบบจำลองค่าสังเกต

$$z(k) = H(k) + v(k) \quad (10)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ tilt sensor แบบ IMU ได้พัฒนามาจากเทคโนโลยีการบินและเดินเรือทางทะเล (Xiaoguang LUO et al., 2018) และปัจจุบัน IMU ถูกพัฒนาให้ทำงานร่วมกับเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก (Magnetometer) เพื่อวัดทิศทางสนามแม่เหล็กแบริ่ง ทำให้สามารถช่วยปรับปรุงการทำงานของไจโรสโคปได้ ซึ่ง IMU ประเภทนี้จะประกอบไปด้วย มาตรวัดความเร่ง ไจโรสโคป และเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็ก ทำให้พัฒนาจาก 3 แกน เป็น 9 แกน ซึ่งเครื่องวัดค่าความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กจะนำไปใช้ในการวัดการหมุนของมุมเอียง ดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบข้อมูลดังกล่าวกับไจโรสโคปได้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการเคลื่อนที่ (Norhafizan Ahmad et al., 2013) ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 การทำงานของ IMU ที่มีเซนเซอร์สามประเภทในระบบ
ที่มา (Norhafizan Ahmad et al., 2013)

IMU ประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานแบบเคลื่อนที่ มีข้อเสียคือ การนำไปใช้งานสภาพแวดล้อมที่มีโลหะ อาจจะได้รับผลกระทบเนื่องจากการรบกวนของสนามแม่เหล็ก (Norhafizan Ahmad et al., 2013) การใช้งานเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ IMU ซึ่งเป็นเซนเซอร์ตรวจสอบความเร่ง และการเอียงในทิศทางต่างๆ ได้แม่นยำขึ้น และลดข้อจำกัดการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า/โลหะ นอกจากนี้ทำให้ผู้ใช้งานมีขั้นตอนการ Calibrate ได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้นทำให้การใช้งานรังวัดตรวจสอบการเอียงหรือการรังวัดแบบ compensate topo รังวัดได้รวดเร็วมากขึ้น (CHC Navtech Thailand, 2019)

2.1.8 การประเมินความถูกต้องของงานวิจัย

2.1.8.1 การสำรวจรังวัดกรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) พ.ศ. 2562

ระเบียบนี้เป็นระเบียบใหม่ที่ประกาศใช้สำหรับการรังวัดทำแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบ RTK GNSS Network ซึ่งแตกต่างจากระเบียบ พ.ศ. 2558 เนื่องจากระเบียบปี 2562 สามารถทำการรังวัดโดยรับสัญญาณดาวเทียมที่หมดดาวเทียม RTK Network รับสัญญาณโดยตรงที่หลักเขตที่ดิน (กรมที่ดิน, 2562) และงานวิจัยนี้ได้นำข้อกำหนดในระเบียบฯ มาใช้ในงานวิจัยเพื่อเป็นเงื่อนไขสำหรับการรังวัดบนจุดทดสอบทั้งกรณีทดสอบบนดาดฟ้าอาคารรังวัดและทำแผนที่ และกรณีรังวัดบนหมุดหลักเขตที่ดินในพื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

ภาคผนวก ข การปฏิบัติงานรังวัดโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์
 ข้อที่ 2 รังวัดด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ โดยมีเงื่อนไข
 ในการรังวัด ดังนี้

- (1) ใช้วิธีการรังวัดตามรูปแบบหมุดดาวเทียม RTK Network
- (2) ค่าพีดีโอพี (PDOP) ขณะทำการรังวัดไม่เกิน 5.0
- (3) ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ในทางราบ ไม่เกิน 3.0 เซนติเมตร
- (4) ผลการรังวัดเป็นแบบฟิกซ์ (Fixed)

(5) รับสัญญาณดาวเทียมทุก 1 วินาที และได้ข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียม
 ไม่น้อยกว่า 60 วินาที อย่างต่อเนื่อง จำนวน 3 ครั้ง การรับสัญญาณดาวเทียมโดย
 ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ ณ สถานีจร ให้ใช้เครื่องรับสัญญาณ
 ดาวเทียมแบบประกอบเข้ากล่อง ตั้งให้ตรงศูนย์กลางหมุดดาวเทียม RTK Network
 หรือหลักเขตที่ดิน ก่อนการรับสัญญาณดาวเทียมทุกครั้ง ให้ปิดเครื่องรับแล้วเปิด
 เครื่องใหม่ เพื่อให้รับสัญญาณมีสภาพเริ่มต้นทำงานใหม่ โดยค่าความแตกต่างของค่า
 พิกัดต้องอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งทางราบ ± 4 เซนติเมตร และให้
 ใช้ค่าเฉลี่ย (กรมที่ดิน, 2562)

ภาคผนวก ค เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งจากการรังวัดโดยระบบ
โครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ในทางราบ

ลำดับที่ 3 การตรวจสอบค่าพิกัดเดิมและค่าพิกัดใหม่ของหลักเขตที่ดิน แบ่งตามเกณฑ์
 ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งตามลำดับ

ข้อที่ 3.1 การรับสัญญาณดาวเทียมโดยตรงที่หลักเขตที่ดิน

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งในทางราบ ± 4 เซนติเมตร (กรมที่ดิน, 2562)

จากเกณฑ์การรังวัดทำแผนที่ชั้นหนึ่งข้างต้นนั้น ในการรับสัญญาณดาวเทียมที่
 หมุดตรวจสอบ RTK Network ค่าระดับของค่าพิกัดรับสัญญาณดาวเทียมที่ได้เมื่อ
 เปรียบเทียบกับค่าพิกัดตรวจสอบ RTK Network จะต่างกันในระดับ 10 เซนติเมตร
 (กรมที่ดิน, 2563)

2.1.8.2 ค่าต่างรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error- RMSE)

ค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) คือ แสดงถึงค่าที่คลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยจากค่าจริงไปเท่าไร และควรมีค่าความคลาดเคลื่อนจากค่าจริงน้อยที่สุด หรือมีค่าเข้าใกล้ 0 – 1 จะดีที่สุด (กรมชลประทาน, 2560) ในงานวิจัยนำค่า RMSE วิเคราะห์ความถูกต้องทางด้านหนึ่งทั้งทางตั้ง และทางราบ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการตามมาตรฐาน FGDC (Federal Geographic Data Committee) ดังนี้

- ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทาง X และ Y

$$RMSE_X = \sqrt{\sum (X_{data,i} - X_{check,i})^2 / n} \quad (11)$$

$$RMSE_Y = \sqrt{\sum (Y_{data,i} - Y_{check,i})^2 / n} \quad (12)$$

เมื่อ $X_{data,i}$ และ $Y_{data,i}$ คือ ค่าพิกัดอ้างอิงในการตรวจสอบข้อมูล

$X_{check,i}$ และ $Y_{check,i}$ คือ ค่าพิกัดของจุดทดสอบ

n คือ จำนวนจุดทดสอบทั้งหมด

i คือ จำนวนจุดทดสอบตั้งแต่จุดที่ 1 ถึง n

- ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางราบ

$$RMSE_r = \sqrt{RMSE_X^2 + RMSE_Y^2} \quad (13)$$

- ค่าความคลาดเคลื่อนรากที่สองของค่าเฉลี่ยทางตั้ง

$$RMSE_z = \sqrt{\sum (z_{data,i} - z_{check,i})^2 / n} \quad (14)$$

เมื่อ $z_{data,i}$ คือ ค่าพิกัดอ้างอิงในการตรวจสอบข้อมูล

$z_{check,i}$ คือ ค่าพิกัดของจุดทดสอบ

n คือ จำนวนจุดทดสอบทั้งหมด

i คือ จำนวนจุดทดสอบตั้งแต่จุดที่ 1 ถึง n

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบเครื่องสัญญาณดาวเทียมขณะเอียงเสา

Danijel Šugar et al. (2018) ได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Topcon รุ่น Hiper HR ซึ่งเปิดตัวในปี 2016 มีเซนเซอร์ชดเชยการเอียงจากการรวมกันของ IMU กับเข็มทิศดิจิทัลสามารถชดเชยการเอียงได้มากที่สุด 15° ซึ่งจะทดสอบรังวัดในโหมด Autonomous base start และ Tilt option โดยใช้เทคนิค Single base RTK กับ Network base RTK ในการทดสอบจะแบ่งช่วงเวลาในการรังวัดทั้งหมดสองช่วง คือ ช่วงที่มีดาวเทียมเป็นจำนวนมาก ค่า DOP ในช่วงนั้นจะมีค่าประมาณ 1.5 กับช่วงที่มีจำนวนดาวเทียมน้อยจะมีค่า DOP ประมาณ 2.2 แต่ละจุดจะได้ค่าจากทดสอบการเอียงทั้งหมด 5 observation จากการวัดในแนวตั้ง 1 ค่า และรังวัดโดยการเอียงเสาสี่ทิศทางได้แก่ ทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตกอีก 4 ค่า รับข้อมูลหุดละ 5 epochs ทำการทดสอบทั้งหมด 8 หุด ได้แก่ หุด P1 ไปจนถึง P8 โดยค่าพิกัดอ้างอิงสำหรับหุดทดสอบแต่ละหุดนั้นได้มาจากการถ่ายค่าพิกัดโดยวิธี total station จากหุดอ้างอิง 2 หุด คือ หุด S1 และ S2 ซึ่งได้ค่าพิกัดอ้างอิงจากการรังวัดโดยเทคนิค static เป็นเวลาทั้งหมด 47 นาที มีมุมตัดดาวเทียม (elevation mask) 10 องศา และ interval 10 วินาที รับสัญญาณดาวเทียมจากระบบ GPS และ GLONASS และให้หุด S1 เป็นจุดตั้งกล้อง Sokkia set500 และ S2 ตั้ง prism เป็นหุดอ้างอิงในการถ่ายค่าพิกัดไปยังหุดทดสอบ และทำการเปรียบเทียบข้อมูล Coordinates accuracy และ Coordinates precision การวัดแบบเอียงเสาและขณะตั้งเสาตรง โดยเทคนิค Single base RTK กับ Network base RTK พบว่า ค่าพิกัดขณะเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Topcon Hiper HR ให้ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดทางตำแหน่งที่ 1 – 2 เซนติเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานจริงและทำให้การทำงานภาคสนามมีความรวดเร็วมากขึ้นเนื่องจากผู้ปฏิบัติงานไม่จำเป็นต้องตั้งเสาให้อยู่ในแนวตรง แต่การใช้งานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมรุ่นนี้มีข้อเสียคือต้องทำการปรับเทียบเข็มทิศดิจิทัลก่อนการใช้งาน



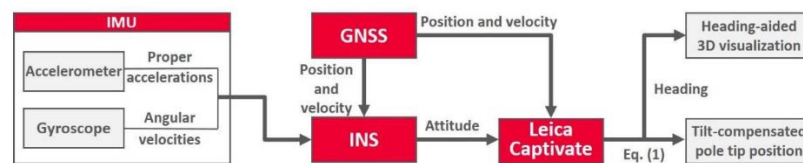
Figure 1. Topcon Hiper HR
(<https://www.topconpositioning.com>)



Figure 2. TILT technology
(<https://www.topconpositioning.com>)

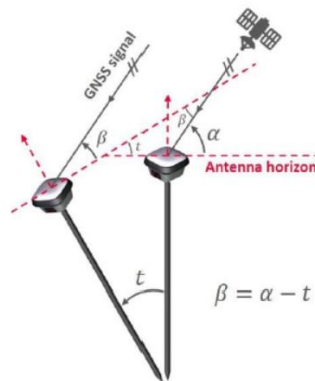
รูปที่ 22 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Topcon รุ่น Hiper HR
ที่มา (Danijel Šugar et al., 2018)

Xiaoguang LUO et al. (2018) ได้นำเสนอการทดสอบเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมยี่ห้อ Leica รุ่น GS18 T ที่มีความแม่นยำสูงในการรังวัดหาค่าพิกัดโดยไม่ต้องสอบเทียบ และมีเซนเซอร์ชดเชยการเอียงขณะรังวัด โดยสามารถรังวัดโดยการเสาที่มีมุมเอียงขนาดใหญ่ได้ ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยี IMU จากเซ็นเซอร์เครื่องกลไกไฟฟ้าขนาดเล็กระดับอุตสาหกรรม (MEMS) มาใช้ร่วมกับระบบ INS ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 การทำงานร่วมกันของระบบ GNSS/INS
ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม ธรณีของ Leica
ที่มา (Xiaoguang LUO et al., 2018)

โดยผู้วิจัยได้มีการแสดงหลักการชดเชยการเอียงของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่รังวัดโดยวิธี RTK การลดของ elevation angle ของสัญญาณ GNSS เมื่อเอียงเสาออกจากดาวเทียมดังรูปที่ 24 เมื่อ α คือ satellite elevation angle ในเครื่องรับสัญญาณบนเสาแนวตั้ง, β คือ satellite elevation angle ในเครื่องรับสัญญาณบนเสาแนวเอียงและ t คือ มุมเอียง พบว่าเมื่อเอียงเสาออกจากดาวเทียมด้วยมุม t องศา elevation angle ของสัญญาณ GNSS ที่เข้ามายังเครื่องรับเทียบกับ Antenna horizon จะลดลงด้วย t องศาเช่นกัน จากเสาดิ่งถึงเสาเอียง สำหรับมุม α ยิ่งมุม t เพิ่มมากขึ้นจะทำให้มุม β ลดลง สามารถบ่งชี้ได้ว่าสัญญาณ GNSS ที่ส่งมายังเครื่องรับ ที่มี high elevation angle ในการสำรวจ RTK แบบเดิมด้วยเสาแนวตั้งอาจกลายเป็นสัญญาณ low elevation angle ในกรณีรังวัดแบบเอียงเสา ซึ่งการชดเชยการเอียงจะขึ้นอยู่กับมุมเอียง นอกจากนี้เมื่อทำการรังวัด RTK ด้วยการชดเชยการเอียงที่มุมอาคารหรือใกล้รั้วและกำแพง สัญญาณรบกวนจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากคลื่นหลายวิถี

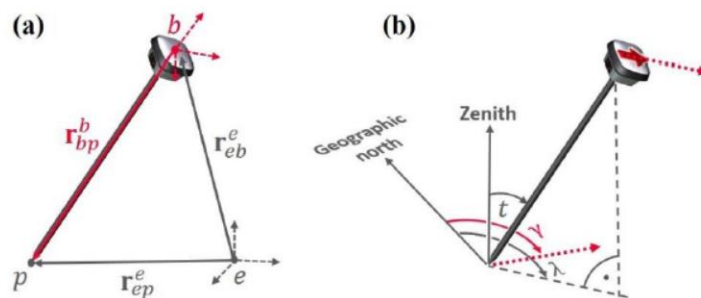


รูปที่ 24 การลดของ elevation angle ของสัญญาณ GNSS

เมื่อเอียงเสาออกจากดาวเทียม

ที่มา (Xiaoguang LUO et al., 2018)

และจากกรณีข้างต้นสามารถแสดงการชดเชยการเอียงของเสาขณะรับสัญญาณดาวเทียมของเครื่องรับแบบ IMU โดยสมมติว่าทราบความยาวของเสา ข้อผิดพลาดของตำแหน่งอันเนื่องมาจากการเอียงของเสาสามารถชดเชยได้ด้วยการกำหนดตำแหน่งการเอียงอย่างแม่นยำ ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 การชดเชยการเอียงของเสาขณะรับสัญญาณดาวเทียม

ของเครื่องรับแบบ IMU

ที่มา (Xiaoguang LUO et al., 2018)

จากรูปที่ 25a จุด b คือ จุดอ้างอิงคงที่ของเครื่องรับสัญญาณ (ศูนย์กลางเฟสของเสาอากาศ) และจุด e คือ จุดศูนย์กลางทางภูมิศาสตร์ของ GNSS (ECEF) ซึ่งจะให้พิกัดจุดอ้างอิง (b) จะได้เป็นเวกเตอร์ \mathbf{r}_{eb}^e โดยที่ \mathbf{r}_{ij}^k หมายถึงตำแหน่งของ j-frame เทียบกับ i-frame ซึ่งแสดงในรูปของ k-frame เวกเตอร์จากจุดอ้างอิงถึงปลายเสา (p) คือ \mathbf{r}_{bp}^b ส่วนเวกเตอร์ \mathbf{r}_{ep}^e สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mathbf{r}_{ep}^e = \mathbf{r}_{eb}^e + \mathbf{r}_{bp}^b = \mathbf{r}_{eb}^e + \mathbf{R}_b^e \mathbf{r}_{bp}^b \quad (16)$$

เมื่อ R_b^e คือ เมทริกซ์การหมุนจาก b-frame ไป e-frame สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 25b เมื่อมุม t คือมุมระหว่าง local zenith กับเสา ทิศทางการเอียงของ λ อธิบายการวางแนวเชิงมุมของการฉายภาพมุมฉากของเสาบนระนาบแนวนอนเทียบกับทิศเหนือทางภูมิศาสตร์ ส่วน γ แสดงทิศทางที่เซนเซอร์ชี้ไปและแสดงเกี่ยวกับทิศเหนือทางภูมิศาสตร์ ถ้าเสาอยู่ในแนวตั้ง γ ยังสามารถกำหนดได้ ในขณะที่ λ จะหยุดอยู่เนื่องจากการฉายภาพมุมฉากของเสาบนระนาบแนวนอนกลายเป็นจุดเดียวในกรณีนี้

โดยการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปทดสอบในงานวิจัยนี้นั้น ผู้วิจัยได้ทดสอบเปรียบเทียบความแม่นยำในการกำหนดตำแหน่งจากการรังวัดโดยเทคนิค static กับ RTK ในระยะเวลา 5 วินาที 15 วินาที และ 30 วินาที จากนั้นทดสอบรังวัดโดยเทคนิค RTK แบบปกติ เทียบกับการรังวัดแบบเอียงเสาโดยเปรียบเทียบระหว่างเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น GS18 T กับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไป ภายใต้ท้องฟ้าเปิดโล่ง โดยวัดจากจุดที่ทราบค่าพิกัดอยู่แล้วสองจุดซึ่งอยู่ห่างกัน 8 เมตรและนำเครื่องรับทั้งสองเครื่องวัดสลับกันในโหมด RTK เป็นเวลา 10 นาที ซึ่งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไปจะต้องทำการปรับระดับเสาให้แม่นยำก่อนแต่สำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม Leica รุ่น GS18 T สามารถรังวัดได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับระดับเสา ทำให้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมของ Leica สามารถรังวัดเก็บค่าพิกัดได้จำนวนจุดที่มากกว่าเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั่วไปภายในระยะเวลาการรังวัดที่เท่ากัน ต่อจากนั้นนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองไปรังวัดกับสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการรบกวนสัญญาณสูง เช่น ใกล้กับอาคารที่เป็นโครงสร้างเหล็ก พื้นที่ที่มีการรบกวนสัญญาณจากรถยนต์ เป็นต้น

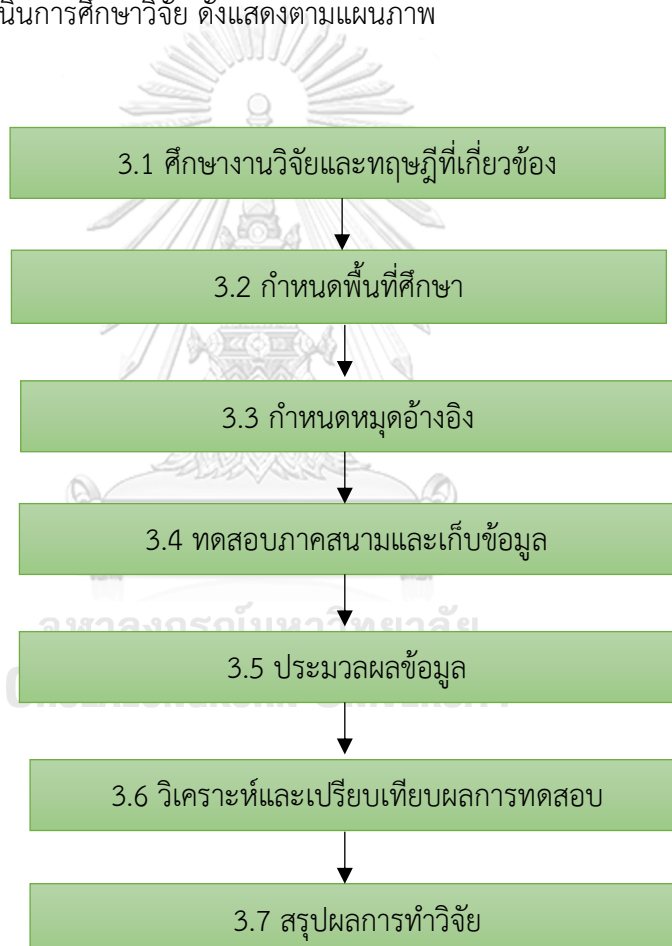
จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้ การรังวัดขณะเอียงเสาจากเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีให้ความแม่นยำใกล้เคียงกับการรังวัดแบบสถิต และสามารถรังวัดด้วยการเอียงเสาด้วยมุมเอียงมากกว่า 30 องศา โดยไม่ต้องสอบเทียบในสนาม ซึ่งผลลัพธ์ในการกำหนดตำแหน่งจะให้ความแม่นยำที่ 2 ซม. และสามารถรังวัดด้วยเทคนิค RTK ในสภาพแวดล้อมที่มีผลกระทบจากการรบกวนสัญญาณสูงได้เมื่อเทียบเครื่องรับสัญญาณทั่วไป

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดโดยวิธีโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ เทคนิค VRS ในงานของกรมที่ดิน

เจนพีธีกร สุนทรรัตน์ (2560) ได้ประเมินประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในทันที (Network – Based GNSS RTK) สำหรับงานรังวัดที่ดินโดยใช้สถานีอ้างอิงจากกรมที่ดิน ในการดำเนินการนั้นจะรังวัดด้วยเทคนิค static เทคนิค Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK โดยเทคนิค Virtual Reference Station ในสองพื้นที่ได้แก่ พื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แบ่งการทดสอบได้ 3 กรณี ดังนี้ พื้นที่โล่งแจ้งไม่มีสิ่งปกคลุม, พื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่นปานกลาง, สภาพพื้นที่ที่มีสิ่งปกคลุมหนาแน่น และพื้นที่ อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี พบว่า ในพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรณีพื้นที่โล่งแจ้งและบริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่นมาก เทคนิค Single Base RTK Positioning และวิธี Network RTK โดยเทคนิค Virtual Reference Station (VRS) จะทำงานได้ดีในพื้นที่โล่งแจ้งและบริเวณต้นไม้ที่ไม่หนาแน่นมาก ซึ่งให้ค่าความถูกต้องในทางราบใกล้เคียงกันในระดับ 4 เซนติเมตร ส่วนพื้นที่ที่ตึกสูงจะเป็นพื้นที่อับสัญญาณทั้งสัญญาณดาวเทียมและสัญญาณอินเทอร์เน็ต ทำให้การรับสัญญาณดาวเทียมและการจำลองสถานีอ้างอิงเสมือนทำได้ยาก และเกิดการสะท้อนจาก Multipath ทั้งในแนวราบและแนวตั้ง หรือแนวเอียงได้ ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่อง การเชื่อมต่อสัญญาณทำได้ยาก และเกิดสัญญาณหลุดบ่อยครั้ง รวมไปถึงการที่มีรถสัญจรผ่านตลอดก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดค่ากระโดดได้เช่นกัน ส่วนในพื้นที่อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี จะให้ค่าความถูกต้องในทางราบ 3 เซนติเมตร และเมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบ 4 เซนติเมตร เทคนิค VRS ผ่านเกณฑ์ดังกล่าว 96.3% ซึ่งการรังวัดโดยตรงบนหัวหมุดหลักเขตที่ดิน ในการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมบางหมุดหลักเขตที่ดินมีอุปสรรคจากสิ่งปลูกสร้างที่ล้อมรอบหมุดหลักเขตที่ดิน ทำให้ใช้เวลานานในการตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งขณะรังวัดแบบเอียงเสา โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU รังวัดโดยวิธีการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ (RTK GNSS Network) เทคนิค VRS (Virtual Reference Station) ซึ่งจะดำเนินการทดสอบทั้งในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมบนตาดฟ้าอาคาร และบนหมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดิน ซึ่งเป็นพื้นที่ปฏิบัติงานจริง นอกจากนี้ยังได้ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการศึกษาวิจัย ดังแสดงตามแผนภาพ



รูปที่ 26 แผนภาพขั้นตอนวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทำการค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการรังวัดขณะเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU พร้อมทั้งศึกษาข้อดี ข้อเสีย ในกระบวนการทดสอบของงานวิจัยที่ผ่านมาแล้ว และศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้ เพื่อออกแบบการทดสอบสำหรับการรับสัญญาณดาวเทียม ในเรื่องของการทดสอบใกล้กับวัสดุที่ทำให้เกิด multipath รวมไปถึงระยะห่างระหว่างเครื่องรับกับวัสดุที่ส่งผลให้เกิด multipath สูง ในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาเกณฑ์สำหรับการรังวัดในแปลงที่ดินของกรมที่ดิน และสำรวจเพื่อหากรณีศึกษาสำหรับการทดสอบขณะเอียงเสาในพื้นที่การใช้งานจริงจากช่างรังวัด กรมที่ดิน จากเขตพื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี และเขตสำนักงานที่ดินต่างจังหวัดบางส่วนซึ่งเป็นกรณีทั่วไปที่ช่างรังวัดพบและไม่สามารถรังวัดโดยตรงในแนวตั้งปกติได้ เพื่อสามารถคัดเลือกกรณีศึกษาให้ครอบคลุมสำหรับการทดสอบโดยการรังวัดขณะเอียงเสา รวมไปถึงการศึกษารายละเอียดการใช้งานเครื่องมือทั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม CHC i80 และ CHC i90

3.2 กำหนดพื้นที่ศึกษา

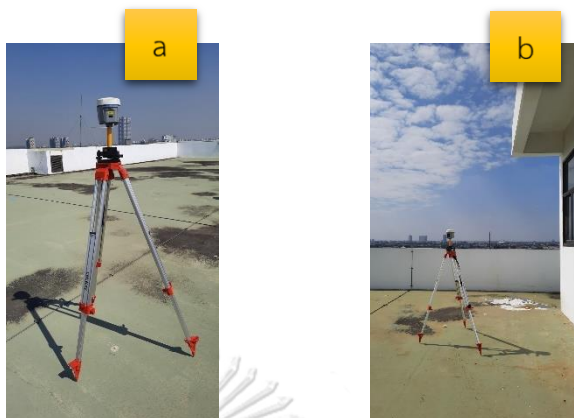
พิจารณาและเลือกพื้นที่สำหรับการทดสอบสำหรับการทดสอบในสภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้โดยเลือกทดสอบที่อาคารรังวัดและทำแผนที่กรมที่ดิน อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เนื่องจากมีพื้นที่กว้างเพียงพอสำหรับการสร้างหมุดทดสอบและครอบคลุมทั้งกรณีพื้นที่โล่ง และกรณีมีสิ่งบดบังนั่นคือ กำแพงบนดาดฟ้า ส่วนการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK และการทดสอบในพื้นที่จริงสำหรับกรณีศึกษาทดสอบในพื้นที่แปลงที่ดิน ดำเนินการทดสอบในเขตอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวสภาพแวดล้อมมีความหลากหลายครอบคลุมทั้งกรณีที่เป็นเขตเมือง มียานพาหนะหนาแน่น และกรณีที่เป็นพื้นที่สีเขียว

3.3 กำหนดหมุดอ้างอิง

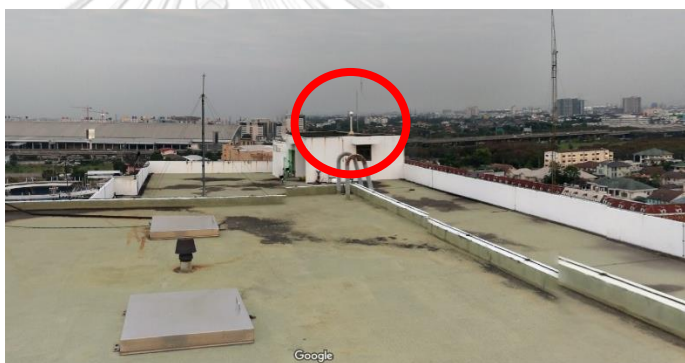
สำหรับการกำหนดหมุดอ้างอิงนั้นเพื่อนำค่าพิกัดจากหมุดอ้างอิงมาเป็นค่าพิกัดอ้างอิงสำหรับการตรวจสอบประสิทธิภาพในกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ที่ได้จากการรังวัดขณะเอียงเสา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 พื้นที่ทดสอบบนดาดฟ้า กรณีพื้นที่โล่ง และมีสิ่งบดบัง นำเครื่องรับสัญญาณ CHC รุ่น i80 รังวัดด้วยเทคนิค static โดยบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที รับสัญญาณดาวเทียมนาน 35 นาที สำหรับการทดสอบในพื้นที่โล่ง และ 45 นาที สำหรับการทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร โดยทำการรังวัดจุดละ 1 ครั้ง และเวลาในการรับสัญญาณของหมุดอ้างอิงทั้งสองกรณีนั้นพิจารณาจากระยะห่างของหมุดทดสอบกับ

สถานีฐานถาวร (CORS) ของกรมที่ดิน PKKT ซึ่งสถานีฐานถาวรตั้งอยู่บนดาดฟ้าบนอาคารเดียวกัน อยู่ห่างจากหมุดทดสอบประมาณ 5 – 30 เมตร



รูปที่ 27 การรับสัญญาณ static บริเวณพื้นที่โล่ง (a) และห่างจากผนังดาดฟ้า 2 เมตร (b)

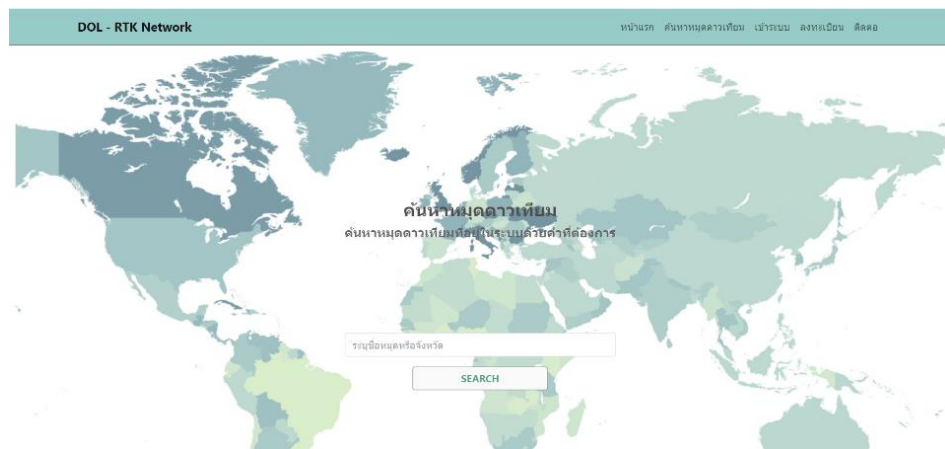


รูปที่ 28 ที่ตั้งของสถานีฐานถาวร PKKT ของกรมที่ดินบนดาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น
ที่มา (Teeradon Thongkam, 2017)

3.3.2 พื้นที่ทดสอบอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินทำการคัดเลือกหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินจำนวน 20 หมุด จากเว็บไซต์ “DOL-RTK network” ของกรมที่ดินในหมวด “ค้นหาหมุดดาวเทียม” ซึ่งการคัดเลือกหมุดจะเน้นหมุดที่มีบริเวณโดยรอบสามารถทำให้เกิดคลื่นหลายวิถี (multipath) ได้ และเป็นหมุดที่ผู้วิจัยสะดวกต่อการเข้าไปรังวัดรับสัญญาณ เนื่องจากในบางหมุดเป็นจุดที่อยู่ในพื้นที่ส่วนบุคคลจึงไม่สามารถเข้าไปได้



รูปที่ 29 ตัวอย่างหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน



รูปที่ 30 เว็บไซต์สำหรับค้นหาหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน (DOL - RTK Network)

และในกรณีทดสอบโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดิน ทำการคัดเลือกหมุดหลักเขตที่ดินตามกรณีศึกษาทั่วไปมีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 3 กรณี จากการติดตามช่างรังวัดที่ดินเข้าไปรังวัดในแปลงที่ดิน และเลือกหมุดหลักเขตที่ดินกรณีละ 20 หมุด



รูปที่ 31 ตัวอย่างหมุดหลักเขตที่ดิน
ที่มา (รุ่งโรจน์ เจริญยศ, 2562)

3.4 ทดสอบภาคสนามและเก็บข้อมูล

3.4.1 บริเวณดาดฟ้าดำเนินการรังวัดด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS จากเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU (CHC i90) และเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (CHC i80) บนหมุดทดสอบที่มีค่าพิกัดอ้างอิงจากการรังวัด static โดยการตั้งเสา สูง 2 เมตร กับ Bipod บนหมุดทดสอบ และรังวัดด้วยการเอียงเสามุม 0° , 15° , 25° , 35° และ 45° ดังรูปที่ 32 ซึ่งเป็นตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงเสาในบริเวณพื้นที่โล่ง ส่วนภาพตัวอย่างการรังวัดกรณีหมุดทดสอบห่างจากผนังดาดฟ้า 2 เมตรนั้นจะแสดงในภาคผนวก ข. ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที รับสัญญาณดาวเทียม 60 วินาที 3 ครั้ง และต้อง Fixed Ambiguity ตามระเบียบการรังวัดของกรมที่ดิน รังวัดทั้งหมด 4 ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก

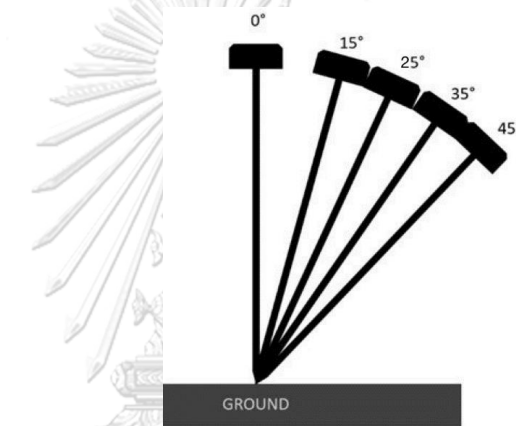


รูปที่ 32 การรังวัดขณะเอียงเสาบบริเวณดาดฟ้า กรณีรังวัดในพื้นที่โล่ง ด้วยมุม 0° , 15° , 25° , 35° และ 45° (จากรูปซ้ายไปขวา ตามลำดับ)

3.4.2 ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน และรังวัดด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS จากเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU (CHC i90) และ MEMS (CHC i80) โดยการตั้ง pole สูง 2 เมตร บนหมุดดาวเทียม RTK และรังวัดด้วยการเอียงเสามุม 15° , 25° , 35° และ 45° บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที รับสัญญาณดาวเทียม 60 วินาที 3 ครั้ง และต้อง Fixed Ambiguity ตามระเบียบของกรมที่ดิน โดยใช้สถานีฐานถาวรของกรมที่ดิน ทั้งนี้การเอียงเสาขณะทดสอบรับสัญญาณจะเป็นการเอียงเสาในทิศทางที่ผู้วิจัยสะดวกต่อการรับสัญญาณ และทิศทางนั้นต้องเป็นทิศทางที่หลีกเลี่ยงการเกิด multipath และเกิดการรบกวนของสัญญาณขณะรังวัด โดยพิจารณาทิศทางการเอียงเสาตามวิจารณ์ของผู้วิจัย



รูปที่ 33 ตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงบนหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน



รูปที่ 34 ตัวอย่างการรังวัดโดยการเอียงเสา
ด้วยมุมขนาด 0°, 15°, 25°, 35° และ 45°

3.4.3 ทดสอบโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดิน ดำเนินการรังวัดด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS จากเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU (CHC i90) และ MEMS (CHC i80) โดยการตั้ง pole สูง 2 เมตร บนหมุดหลักเขตที่ดิน และรังวัดโดยเปิดโหมดเอียงในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมและดำเนินการเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° บันทึกข้อมูลทุกๆ 1 วินาที รับสัญญาณดาวเทียม 60 วินาที 3 ครั้ง และต้อง Fixed Ambiguity ตามระเบียบของกรมที่ดิน โดยใช้ระบบ NRTK ของกรมที่ดิน ซึ่งแปลงที่ดินทั้งหมดอยู่ภายใต้การดูแลของสำนักงานเขตที่ดินจังหวัดนนทบุรี สาขาปากเกร็ด ทั้งนี้การเอียงเสาขณะทดสอบรับสัญญาณจะเป็นการเอียงเสาในทิศทางที่ผู้วิจัยสะดวกต่อการรับสัญญาณ และทิศทางนั้นต้องเป็นทิศทางที่หลีกเลี่ยงการเกิด multipath และเกิดการรบกวนของสัญญาณขณะรังวัด โดยพิจารณาทิศทางเอียงเสาตามวิจารณ์ญาณของผู้วิจัย

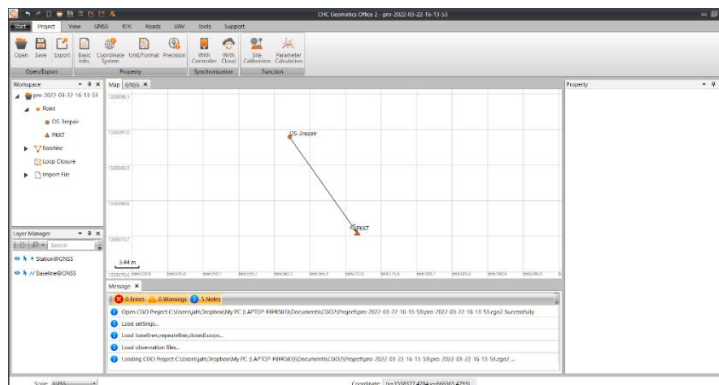


รูปที่ 35 ตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน

การทดสอบทั้งหมดจะทดสอบภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005 และในขณะรังวัดทดสอบบนหมุดทุกกรณี จะต้องให้เป็นไปตามการสำรวจรังวัดกรรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) พ.ศ. 2562 และการบอกมุมขณะเอียงของเครื่องรับนั้น ในตัว CHC i90 จะปรากฏมุมขณะเอียงตัวของเสาตัวบน หน้าจอ controller ขณะรังวัด ส่วน CHC i80 หลังการรับสัญญาณด้วยวิธี NRTK จะต้องเข้าไปที่ข้อมูลเพื่อตรวจสอบมุมหลังจากการรับสัญญาณ

3.5 ประมวลผลข้อมูล

นำข้อมูลจากการรังวัดหมุดทดสอบด้วยวิธี static ประมวลผลร่วมกับข้อมูลการรับสัญญาณดาวเทียมของสถานีฐานถาวร PKKT ของกรมที่ดิน ซึ่งดาวนำโหนดจาก CORS WEB ของกรมที่ดิน โดยเลือกช่วงเวลาการรังวัดให้ตรงกับช่วงเวลาการรังวัดด้วยวิธี static และดำเนินการประมวลผลด้วยโปรแกรม CGO ประมวลผลโดยวิธี Single base static ใช้สถานีฐานถาวร PKKT เป็น Base station เพื่อหาค่าพิกัดสำหรับใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทดสอบ

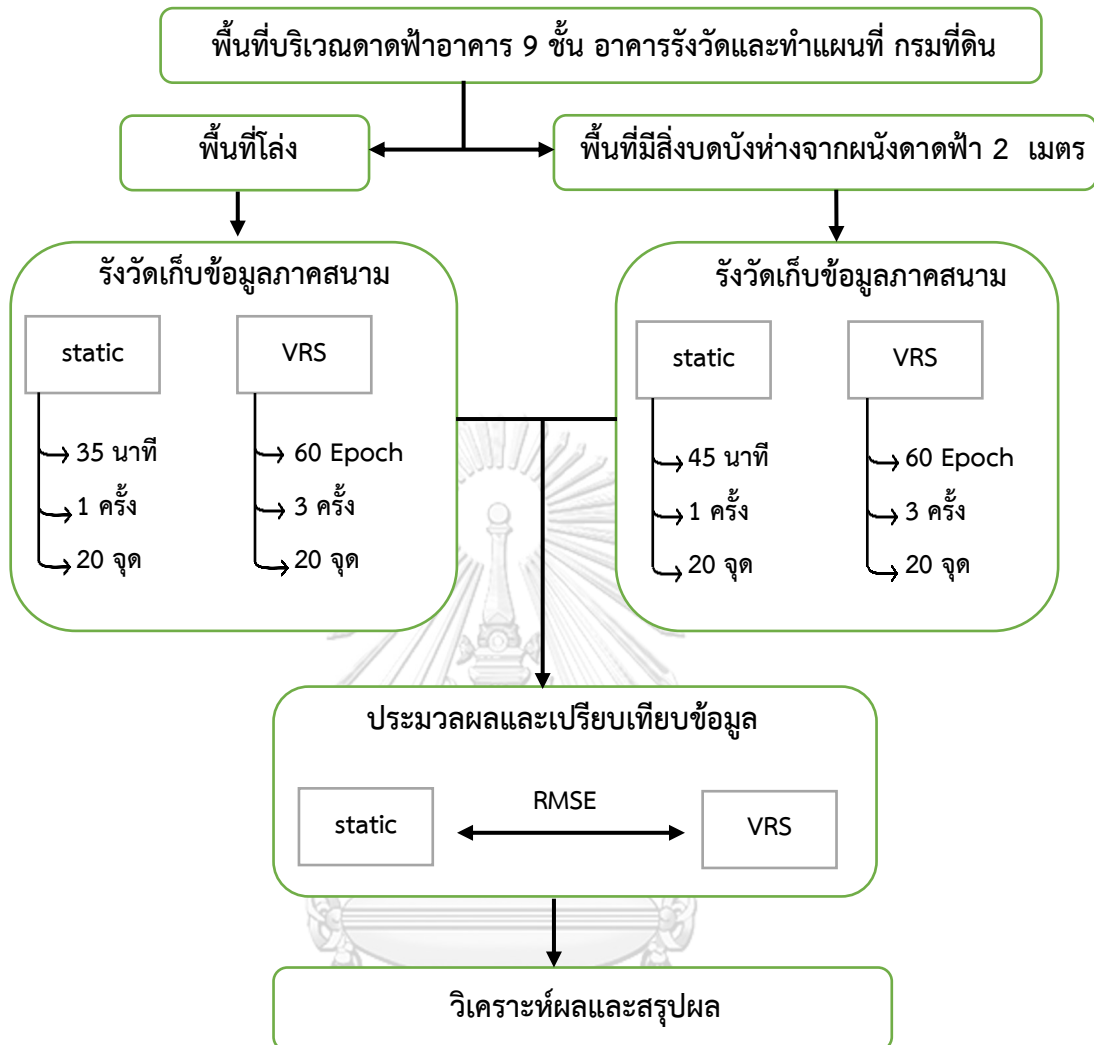


รูปที่ 36 การประมวลผลค่าพิกัดอ้างอิงบนดาวฟ้าโดยวิธี Single base static

จากนั้นคัดเลือกข้อมูลจากการรังวัดด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS ในแต่ละกรณีตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดิน ดังนี้ ผลการรังวัดเป็นแบบฟิกซ์ (Fixed) ค่าพีดอป (PDOP) ขณะทำการรังวัดไม่เกิน 5.0 และ ค่าอาร์เอ็มเอส (RMS) ในทางราบไม่เกิน 3.0 เซนติเมตร ซึ่งถ้าหากข้อมูลค่าพิกัดในสนามไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์ดังกล่าวจะไม่นำข้อมูลนั้นมาคำนวณค่า RMSE ในขั้นตอนต่อไปเนื่องจากข้อมูลที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลไม่เพียงพอ ซึ่งในสนามสามารถตรวจสอบตามหลักเกณฑ์เหล่านี้จากจอแสดงผลหลังจากรับสัญญาณได้ทันที ต่อมานำข้อมูลค่าพิกัดอ้างอิงบนดาวฟ้า ค่าพิกัดอ้างอิงจากหมุดหลักเขตที่ดินที่รังวัดโดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่ง ข้อมูลค่าพิกัดอ้างอิงจากหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน และข้อมูลค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดที่ผ่านเกณฑ์ของกรมที่ดิน มาดำเนินการบันทึกข้อมูล และนำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณค่าต่าง เพื่อคำนวณค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง แล้วนำไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพต่อไป

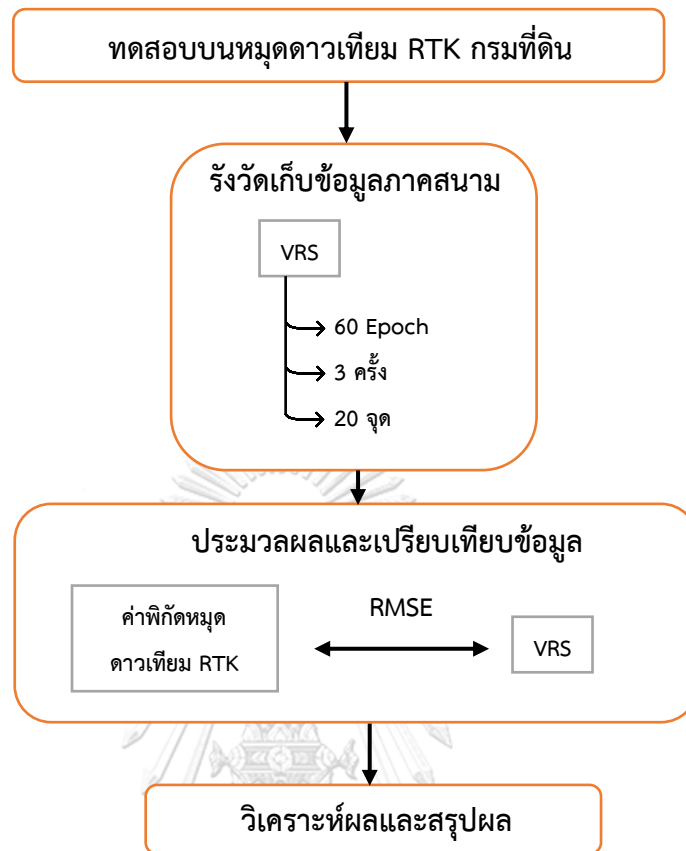
3.6 วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดสอบ

3.6.1 พื้นที่บริเวณดาวฟ้าดำเนินการเปรียบเทียบความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้ง ระหว่างวิธี static กับ Network RTK เทคนิค VRS จากการรังวัดขณะเอียงเสาเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU และเปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองในด้านการกำหนดตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้ง โดยการรังวัดด้วยการเอียงเสาซึ่งจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าความถูกต้องของค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง ในขณะที่มุมการรังวัดขณะเอียงเสามีขนาดเพิ่มมากขึ้นจากแนวตั้ง และเมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการรังวัด นอกจากนี้เปรียบเทียบความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU



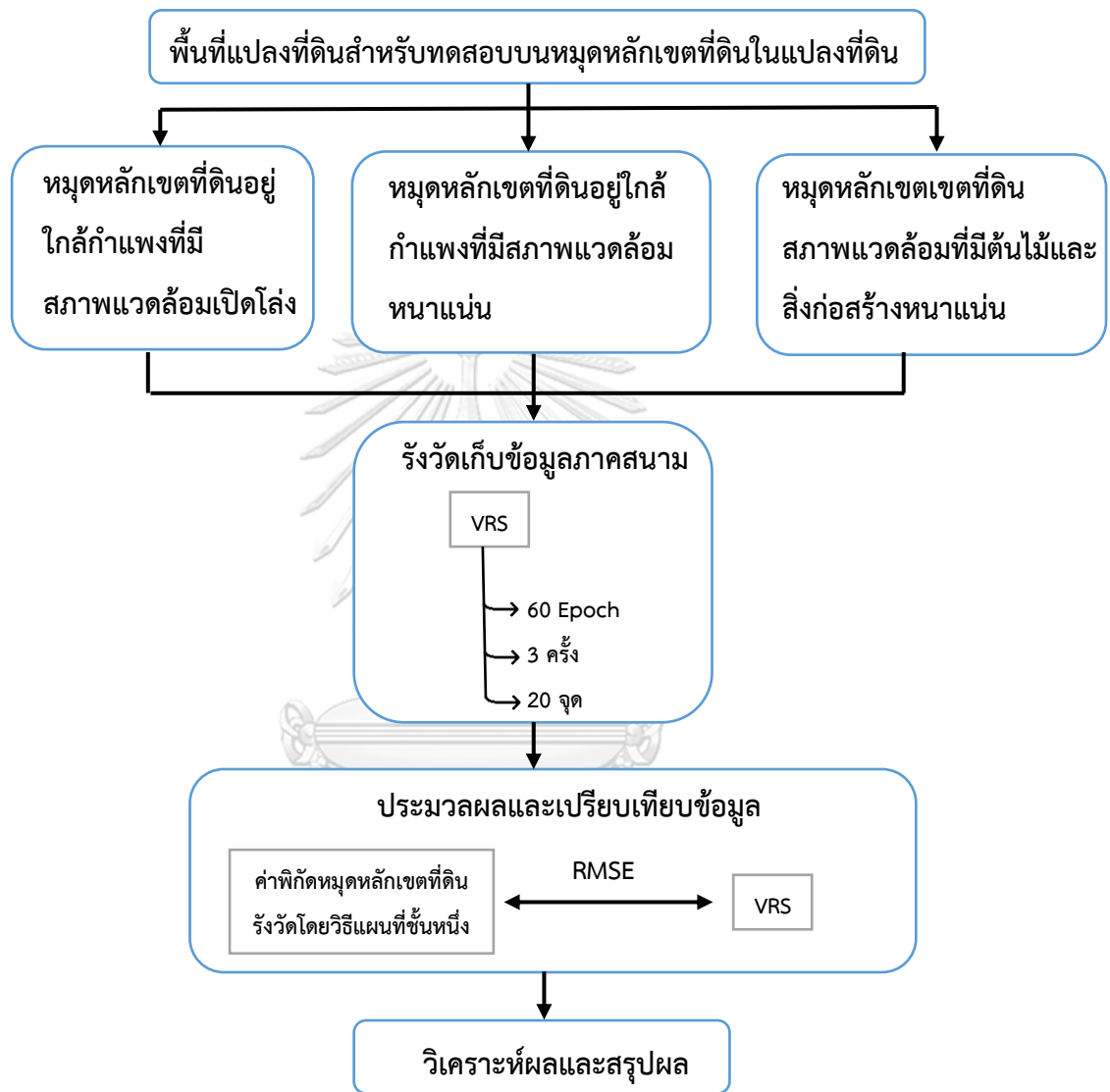
รูปที่ 37 แผนภาพขั้นตอนการเปรียบเทียบพื้นที่ทดสอบบนดาดฟ้า

3.6.2 พื้นที่ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน เปรียบเทียบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบและทางตั้ง ระหว่างค่าพิกัดจริงของหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน กับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS ระหว่างเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ในขณะเอียงเสา และเปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างเครื่องรับที่มีทั้งสองแบบ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในด้านการกำหนดตำแหน่งทั้งทางราบและทางตั้งขณะเอียงเสา ซึ่งจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงความถูกต้องค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง ในขณะที่มุมการรังวัดขณะเอียงเสามีขนาดเพิ่มมากขึ้นจากแนวตั้ง



รูปที่ 38 แผนภาพขั้นตอนการเปรียบเทียบสำหรับการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK

3.6.3 พื้นที่ทดสอบโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดิน เปรียบเทียบความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบจากค่า RMSE ทางราบระหว่างค่าพิกัดจริงของหมุดหลักเขตที่ดินที่รังวัดโดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งกับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินจากกรณีศึกษาทั่วไป 3 กรณี ด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS ของเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ขณะเอียงเสา นอกนี้ดำเนินการเปรียบเทียบค่าความถูกต้องระหว่างเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU และสังเกตการเปลี่ยนแปลงความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบจากการทดสอบในขณะที่มุมการรังวัดขณะเอียงเสามีขนาดเพิ่มมากขึ้นจากแนวตั้ง



รูปที่ 39 แผนภาพขั้นตอนการเปรียบเทียบพื้นที่ทดสอบในแปลงที่ดิน

3.6.4 หลังจากเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมในแต่ละพื้นที่จากการศึกษาและทดสอบเรียบร้อยแล้ว ดำเนินการวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมเมื่อทำการรังวัดด้วยการเอียงเสาเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ทั้งสองแบบว่าการรังวัดในขณะเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองแบบนี้สามารถให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งขณะเอียงเสาด้วยการเอียงด้วยมุมสูงสุดเท่าใดเมื่อเทียบกับค่าพิกัดอ้างอิงซึ่งค่าพิกัดทางราบจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนในทางราบไม่เกิน 4 เซนติเมตร ตามการสำรวจจริงวัดกรรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) พ.ศ. 2562 ส่วนค่าพิกัดทางตั้งนั้นต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10 เซนติเมตร (กรรมที่ดิน, 2563)

ในขั้นตอนการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการวิจัยจากค่า RMSE ทางราบและทางตั้งนี้จะไม่นำข้อมูลค่าพิกัดที่มีผลการรังวัดเป็นแบบ Float ค่าพีดีโอ (PDOP) ขณะทำการรังวัดมากกว่า 5.0 และ ค่า Horizontal error มากกว่า 3.0 เซนติเมตร มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบความถูกต้องเนื่องจากข้อมูลค่าพิกัดที่ไม่ผ่านหลักเกณฑ์ดังกล่าวความน่าเชื่อถือของข้อมูลไม่เพียงพอ

3.7 สรุปผลการทำวิจัย

ดำเนินการสรุปผลและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งในแต่ละกรณีเพื่อหามุมสูงสุดขณะรังวัดด้วยการเอียงเสาของเครื่องรับสัญญาณแล้ว ค่าพิกัดทางราบยังอยู่ในเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 เซนติเมตร และค่าพิกัดทางตั้งไม่เกิน 10 เซนติเมตร จากนั้นสรุปข้อดีข้อเสียจากการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองแบบขณะรังวัดด้วยการเอียงเสาในกรณีต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลการศึกษา

จากการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบ และทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU บนหมุดที่อยู่ในสภาพแวดล้อมควบคุมบริเวณดาดฟ้าอาคารรังวัดและทำแผนที่ และการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งจากการรังวัดโดยตรงบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน การทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ด้วยการรังวัดโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินจากกรณีศึกษาทั่วไปทั้งหมด 3 กรณี รับสัญญาณโดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ขณะเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° นำค่า Root Mean Square Error ทางราบและทางตั้ง ที่ได้จากค่าต่างระหว่างพิกัดอ้างอิงกับพิกัดที่ได้จากการรับสัญญาณมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ และประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบและทางตั้ง ทั้งหมด 3 ส่วนหลัก ได้แก่ 1) พื้นที่อาคารชั้น 9 อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน 2) บนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน และ 3) ในแปลงที่ดิน ซึ่งได้ผลการทดสอบดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 พื้นที่ดาดฟ้าอาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

จากการทดสอบการเอียงเสาเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ด้วยมุม 15°, 25°, 35°, และ 45° บนหมุดทดสอบที่สร้างขึ้นบนดาดฟ้า โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนย่อยได้แก่ ทดสอบในพื้นที่โล่งและทดสอบห่างจากผนังระยะ 2 เมตร ทดสอบบนหมุดกรณีละ 20 หมุด รวมเป็น 40 หมุด ด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS ในแต่ละหมุดทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที 60 ข้อมูล จำนวน 3 ครั้งต่อมุม ทดสอบรับสัญญาณตั้งแต่วันที่ 7 ธันวาคม 2564 ถึงวันที่ 13 มกราคม 2565 ในช่วงเวลา 8.30 – 15.00 น. การทดสอบทั้งหมดทดสอบภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005 ซึ่งมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการทดสอบตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามตามระเบียบกรมที่ดิน

จากหลักเกณฑ์ในการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน ในบทที่ 2 ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้สำหรับตรวจสอบผลการรังวัดจากการรับสัญญาณดาวเทียมในสนาม ได้แก่ ค่าพีดีโอ (PDOP) ไม่เกิน 5, ผลการรังวัดเป็นฟิกซ์ (Fixed) และค่า Horizontal error ในทางราบไม่เกิน 3 เซนติเมตร สามารถสรุปผลการทดสอบที่ผ่านหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินเป็นอัตราร้อยละเมื่อเทียบกับจำนวนข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมด แสดงดังรายละเอียดดังต่อไปนี้โดยแบ่งเป็นเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU

4.1.1.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

การรับสัญญาณขณะเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° บนหมุดทดสอบมุมละสี่ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) ทดสอบในพื้นที่โล่งจำนวน 20 หมุด และทดสอบห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร จำนวน 20 หมุด บันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีจำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 60 ข้อมูลต่อมุม ซึ่งการทดสอบในพื้นที่โล่งทุกมุมสามารถ Fixed Ambiguity ได้ 100% และค่า Horizontal error (มีค่าไม่เกิน 3 เซนติเมตร) ค่า PDOP (มีค่าไม่เกิน 5) ผ่านตามเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน 100% ส่วนการทดสอบห่างจากผนังเป็นระยะสองเมตรนั้น มีเพียงมุม 35° และ 45° ในทิศหันเข้าหาผนังเท่านั้นที่แสดงผลเป็น Float คิดเป็น 97% และทุกมุมมีค่า PDOP ผ่านเกณฑ์ 100% ส่วนเกณฑ์ค่า Horizontal error มีมุมที่ผ่านเกณฑ์ 100% ได้แก่ มุม 15° ผ่านเกณฑ์ทั้งสี่ด้าน, มุม 25° 35° และ 45° ผ่านเกณฑ์เพียงด้านที่หันออกจากผนังและด้านที่หันขนานกับผนังด้านที่หนึ่ง มุมที่ผ่านเกณฑ์ 98% มีเพียงมุม 35° ทิศเหนือ และมุมที่ผ่านเกณฑ์ 97% มีเพียงมุม 25° หันขนานกับผนังด้านที่สอง ส่วนมุมที่ผ่านเกณฑ์ 95% ได้แก่ มุม 25° หันเข้าหาผนัง, มุม 35° และ 45° เมื่อหันขนานกับผนังด้านที่สอง สุดท้ายมุมที่ผ่านเกณฑ์ 93% ได้แก่ มุม 35° หันเข้าหาผนัง และ 85% ได้แก่ มุม 45° หันเข้าหาผนัง ซึ่งสามารถสรุปอัตราร้อยละที่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินได้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

มุม	PDOP < 5 (%)	Horizontal error < 3 ซม. (%)	Fixed (%)
หันเข้าหาผนัง			
15°	100	100	100
25°	100	95	100
35°	100	93	97
45°	100	85	97
หันออกจากผนัง			
15°	100	100	100
25°	100	100	100
35°	100	100	100
45°	100	100	100

ตารางที่ 1 สรุปอัตราการย่อยละเอียดข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดิน กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

มุม	PDOP < 5 (%)	Horizontal error < 3 ซม. (%)	Fixed (%)
หันขนานกับผนังด้านที่ 1			
15°	100	100	100
25°	100	100	100
35°	100	100	100
45°	100	100	100
หันขนานกับผนังด้านที่ 2			
15°	100	100	100
25°	100	97	100
35°	100	95	100
45°	100	95	100

4.1.1.2 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

การรับสัญญาณด้วยเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) นั้น รับสัญญาณขณะเอียงเสาเช่นเดียวกับเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS ซึ่งมีจำนวนข้อมูลทั้งหมด 60 ข้อมูลต่อมุม ซึ่งการทดสอบในพื้นที่โล่งทุกมุมสามารถ Fixed Ambiguity ได้ 100% และค่า Horizontal error (มีค่าไม่เกิน 3 เซนติเมตร) ค่า PDOP (มีค่าไม่เกิน 5) ผ่านตามเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน 100% ส่วนการทดสอบห่างจากผนังเป็นระยะสองเมตรนั้น มีเพียงมุม 35° และ 45° ในทิศหันเข้าหาผนังเท่านั้นที่แสดงผลเป็น Float คิดเป็น 97% และทุกมุมมีค่า PDOP ผ่านเกณฑ์ 100% ส่วนเกณฑ์ค่า Horizontal error มีมุมที่ผ่านเกณฑ์ 100% ได้แก่ หันเข้าผนังด้วยมุม 15°, หันออกจากผนังด้วยมุม 15° และ 25°, หันขนานผนังด้านที่หนึ่งด้วยมุม 15° 25° 35° และ 45°, หันขนานด้านที่สองด้วยมุม 15° 25° และ 35° มุมที่ผ่านเกณฑ์ 98% ได้แก่ มุม 25° หันเข้าหาผนัง, มุม 35° หันออกจากผนัง, มุม 45° หันขนานผนังด้านที่สอง มุมที่ผ่านเกณฑ์ 95% ได้แก่ มุม 45° หันออกจากผนัง สุดท้ายผ่านเกณฑ์ 83% และ 72% ได้แก่ มุม 35° และ 45 เมื่อหันเข้าซึ่งสามารถสรุปอัตราการย่อยละเอียดที่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินได้ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบ ห่างจากผนัง 2 เมตร โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดดีทีมีเซนเซอร์ IMU (i90)

มุม	PDOP < 5 (%)	Horizontal error < 3 ซม. (%)	Fixed (%)
หันเข้าหาผนัง			
15°	100	100	100
25°	100	98	100
35°	100	83	97
45°	100	72	97
หันออกจากผนัง			
15°	100	100	100
25°	100	100	100
35°	100	98	100
45°	100	95	100
หันขนานผนังด้านที่ 1			
15°	100	100	100
25°	100	100	100
35°	100	100	100
45°	100	100	100
หันขนานผนังด้านที่ 2			
15°	100	100	100
25°	100	100	100
35°	100	100	100
45°	100	98	100

4.1.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ จีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดดีทีมีเซนเซอร์ MEMS และ IMU

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ เมื่อรังวัดด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที เทคนิค VRS ขณะเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° บนหมุดทดสอบบริเวณคาดฟ้า สองพื้นที่ได้แก่ ทดสอบบริเวณพื้นที่โล่ง และทดสอบห่างจากผนังเป็นระยะสองเมตร โดยเปรียบเทียบค่าพิกัดจากการทดสอบกับค่าพิกัดอ้างอิงที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธี static แสดงในภาคผนวก ข. จากนั้นนำมาคำนวณค่า RMSE ทางราบ และทางตั้ง ซึ่งผลการคำนวณค่า RMSE ในทางราบและทางตั้งนั้น จะพิจารณาทั้งค่าพิกัดทางราบ และทางตั้งจากข้อมูลค่าพิกัดที่ผ่านหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน โดยจะไม่นำข้อมูลที่มีผลการรังวัดเป็น Float และค่า Horizontal error ในทางราบมากกว่า 3 เซนติเมตร มาคำนวณค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square

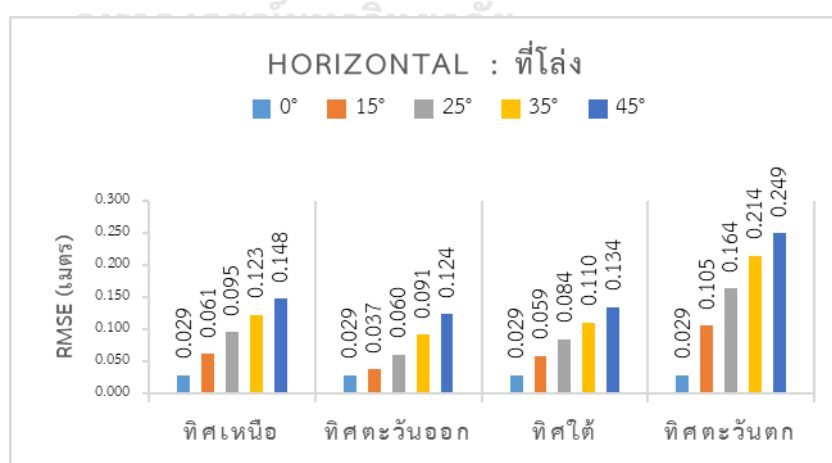
Error : RMSE) สามารถแสดงผลค่า RMSE ทางราบและทางตั้งโดยแบ่งเป็นเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1.2.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

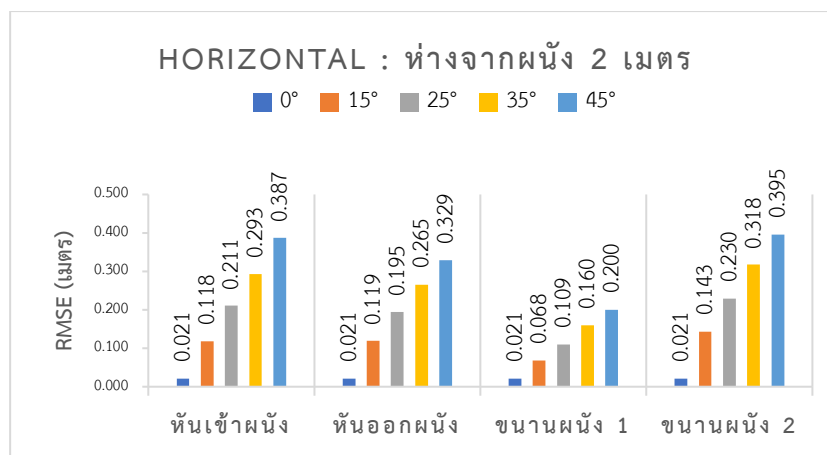
นำข้อมูลจากการคำนวณ RMSE ทางราบและทางตั้งมาเปรียบเทียบความถูกต้องในทางราบและทางตั้ง เมื่อรับสัญญาณโดยการเพิ่มมุมเอียง เริ่มจากมุม 15° และเพิ่มขนาดของมุมเอียงทุก ๆ สิบองศาเป็น 25°, 35° ไปจนถึง 45° และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า RMSE ความถูกต้องในทางราบและทางตั้ง เมื่อรับสัญญาณสี่ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ในขณะที่มุมเอียงเพิ่มขึ้น สามารถแสดงผลค่า RMSE ทางราบ และทางตั้ง จากการทดสอบทั้งสองกรณี ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 สรุปค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบที่โล่งและทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

มุม	Horizontal : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i80)				Horizontal : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i80)			
	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	หันเข้า	หันออก	ขนาน1	ขนาน2
0°	0.029				0.021			
15°	0.061	0.037	0.059	0.105	0.118	0.119	0.068	0.143
25°	0.095	0.060	0.084	0.164	0.211	0.195	0.109	0.230
35°	0.123	0.091	0.110	0.214	0.293	0.265	0.160	0.318
45°	0.148	0.124	0.134	0.249	0.387	0.329	0.200	0.395



รูปที่ 40 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีพื้นที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

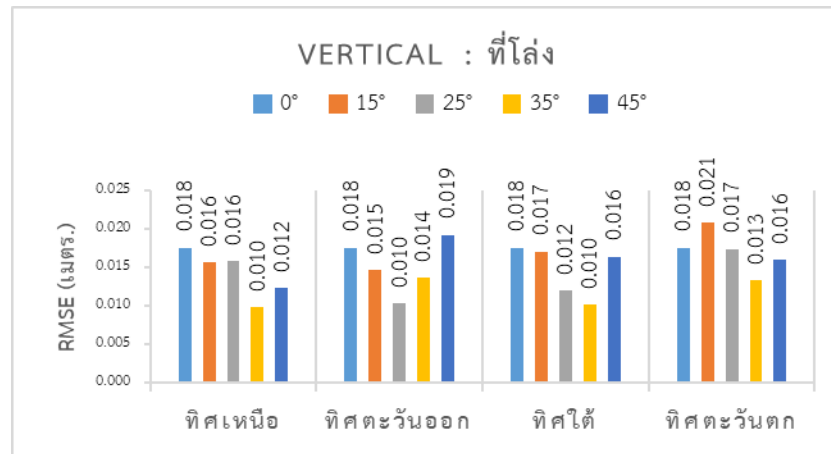


รูปที่ 41 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

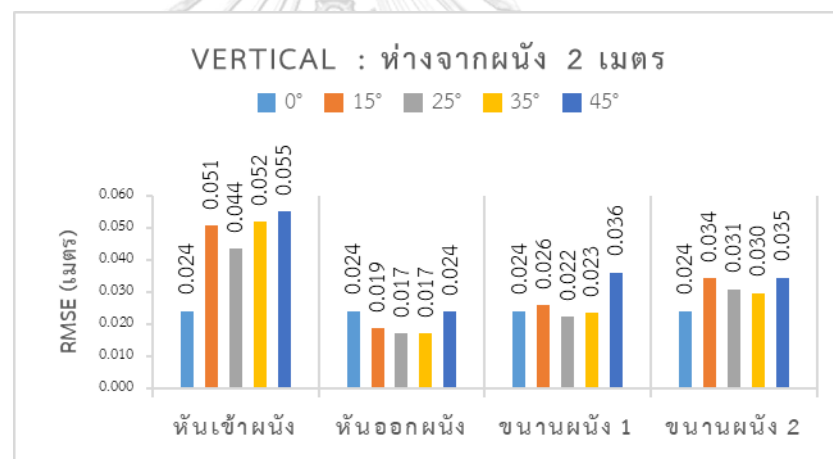
ผลการทดสอบจากตารางที่ 3 สามารถนำมาแสดงในรูปของกราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบในพื้นที่โล่งและห่างจากผนัง 2 เมตร ดังรูปที่ 40 และ 41 พบว่าเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสแบบยี่ห้อเดคที่ที่มีเซนเซอร์ MEMS จะให้ค่าความถูกต้องทางราบน้อยที่สุดกรณีทดสอบในที่โล่งเมื่อเอียงเสาด้วยมุม 15° ไปในทางทิศตะวันออก มีค่าเท่ากับ 0.037 เมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 4 เซนติเมตร ส่วนการเอียงในทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันตก และทิศตะวันออกตั้งแต่มุม 25° เป็นต้นไปมีค่า RMSE ทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0.060 ถึง 0.249 เมตร ส่วนการทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตรนั้นมีค่า RMSE ทางราบน้อยที่สุด 0.068 เมตร จากการเอียงขนานกับผนังด้วยมุม 15° และมีค่ามากที่สุด 0.395 เมตร จากการเอียงขนานกับผนัง 45°

ตารางที่ 4 สรุปค่า RMSE ทางตั้ง กรณีทดสอบที่โล่งและทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

มุม	Vertical : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i80)				Vertical : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i80)			
	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	หันเข้า	หันออก	ขนาน1	ขนาน2
0°	0.018				0.024			
15°	0.016	0.015	0.017	0.021	0.051	0.019	0.026	0.034
25°	0.016	0.010	0.012	0.017	0.044	0.017	0.022	0.031
35°	0.010	0.014	0.010	0.013	0.052	0.017	0.023	0.030
45°	0.012	0.019	0.016	0.016	0.055	0.024	0.036	0.035



รูปที่ 42 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางดิ่ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบพื้นที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)



รูปที่ 43 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางดิ่ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ผลจากตารางที่ 4 สามารถแสดงในรูปแบบของกราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางดิ่ง กรณีทดสอบในพื้นที่โล่งและห่างจากผนัง 2 เมตร ดังรูปที่ 42 และ 43 พบว่า เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS ให้ค่าความถูกต้องทางดิ่งกรณีทดสอบในที่โล่งไม่เกิน 2 เซนติเมตร ซึ่งค่า RMSE ทางดิ่งที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.019 เมตร จากการเอียงด้วยมุม 45° ไปทางทิศตะวันออก และมีค่าน้อยที่สุด 0.010 เมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 35° ไปทางทิศเหนือ ส่วนการทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร นั้น ค่า RMSE ทางดิ่งมีค่ามากที่สุดเมื่อเอียงหันเข้าหาผนังด้วยมุม 45° มีค่าเท่ากับ 0.055

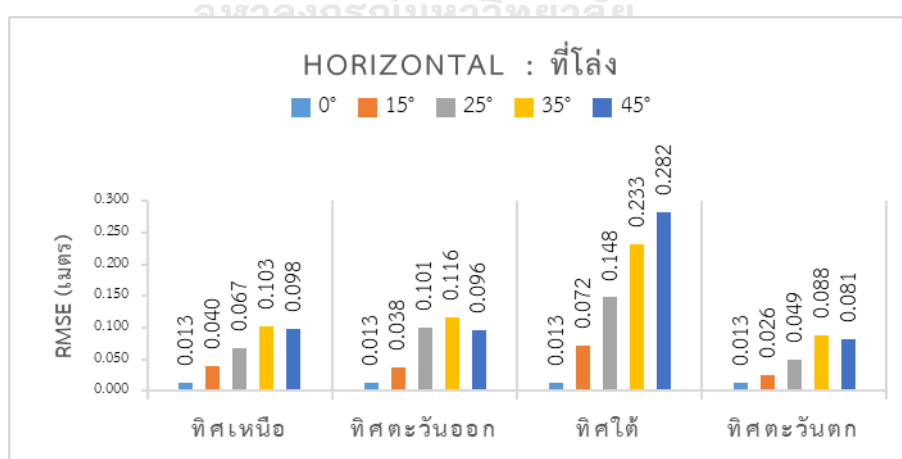
เมตร และมีค่าน้อยที่สุด 0.044 เมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 25° ส่วนการเอียงขนานกับผนังพบว่าค่า RMSE ทางดิ่งอยู่ระหว่าง 2 – 4 เซนติเมตร และการเอียงหันเข้าผนังมีค่า RMSE ทางดิ่งอยู่ระหว่าง 4 – 6 เซนติเมตร

4.1.2.2 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

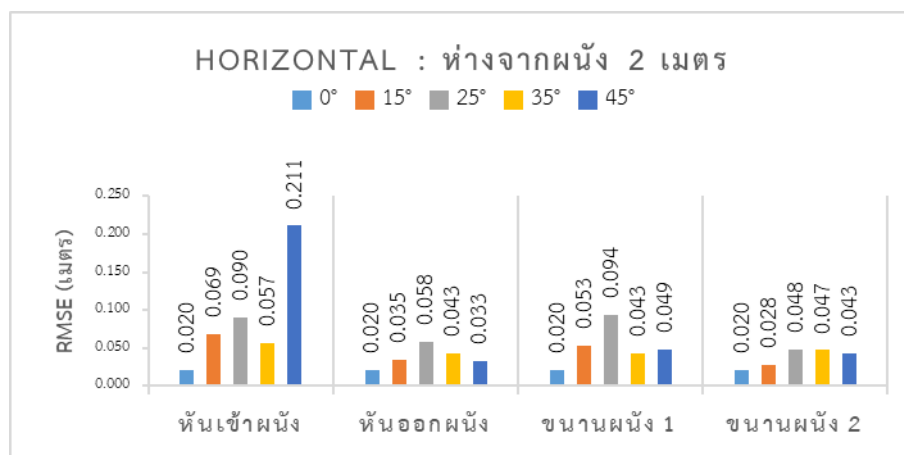
นำข้อมูลจากการคำนวณ RMSE ทางราบและทางดิ่งมาเปรียบเทียบความถูกต้องในทางราบและทางดิ่ง เมื่อรับสัญญาณโดยการเพิ่มมุมเอียง เริ่มจากมุม 15° และเพิ่มขนาดของมุมเอียงทุก ๆ สิบองศาเป็น 25°, 35° ไปจนถึง 45° และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงค่า RMSE ความถูกต้องในทางราบและทางดิ่ง เมื่อรับสัญญาณสี่ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ในขณะที่มุมเอียงเพิ่มขึ้น สามารถแสดงผลค่า RMSE ทางราบ และทางดิ่ง จากการทดสอบทั้งสองกรณี ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 สรุปค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบที่โล่ง และทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

มุม	Horizontal : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i90)				Horizontal : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i90)			
	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	หันเข้า	หันออก	ขนาน1	ขนาน2
0°	0.013				0.020			
15°	0.040	0.038	0.072	0.026	0.069	0.035	0.053	0.028
25°	0.067	0.101	0.148	0.049	0.090	0.058	0.094	0.048
35°	0.103	0.116	0.233	0.088	0.057	0.043	0.043	0.047
45°	0.098	0.096	0.282	0.081	0.211	0.033	0.049	0.043



รูปที่ 44 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบในที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

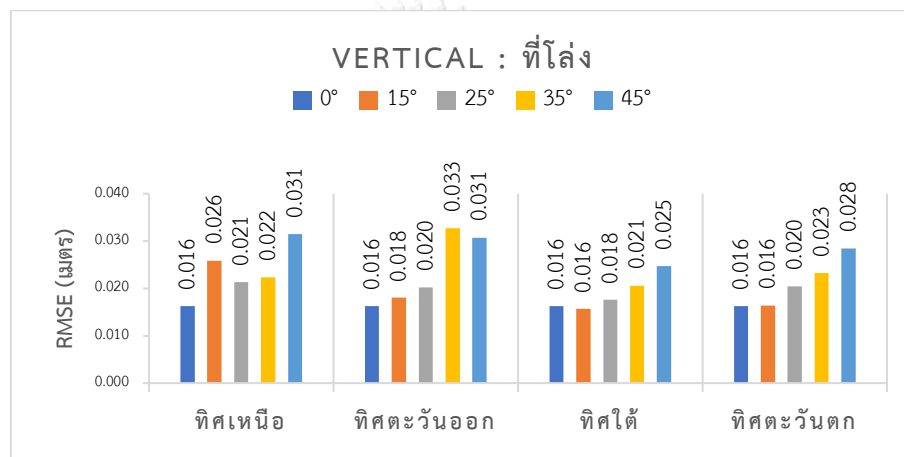


รูปที่ 45 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

จากตารางที่ 5 สามารถสร้างกราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบในที่โล่ง และห่างจากผนัง 2 เมตร ได้ดังรูปที่ 44 และ 45 พบว่าเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่า RMSE ทางราบมากที่สุด กรณีทดสอบในที่โล่งเมื่อเอียงด้วยมุม 15° ไปทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก โดยมีค่า RMSE ทางราบเท่ากับ 0.040, 0.038 และ 0.026 ตามลำดับ ส่วนมุมตั้งแต่ 25° เป็นต้นไปมีค่า RMSE ทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตร ส่วนในทิศใต้มีค่า RMSE ทางราบมากที่สุดในสี่ทิศทางซึ่งมีค่า RMSE ทางราบตั้งแต่ 0.148 เมตร ในมุม 25° และมากที่สุด 0.282 เมตร ในมุม 45° ส่วนการทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร มีค่า RMSE ทางราบน้อยที่สุดไม่เกิน 4 เซนติเมตร ในมุม 15° ทิศทางหันออกจากผนัง และขนานกับผนังด้านที่ 2 และมุม 45° เมื่อหันออกจากผนัง โดยมีค่า RMSE ทางราบเท่ากับ 0.035, 0.028 และ 0.033 เมตร ตามลำดับ และค่า RMSE ทางราบมีค่ามากที่สุดเมื่อหันเข้าหาผนัง ซึ่งมีค่ามากที่สุดถึง 0.211 เมตร และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.069 เมตร

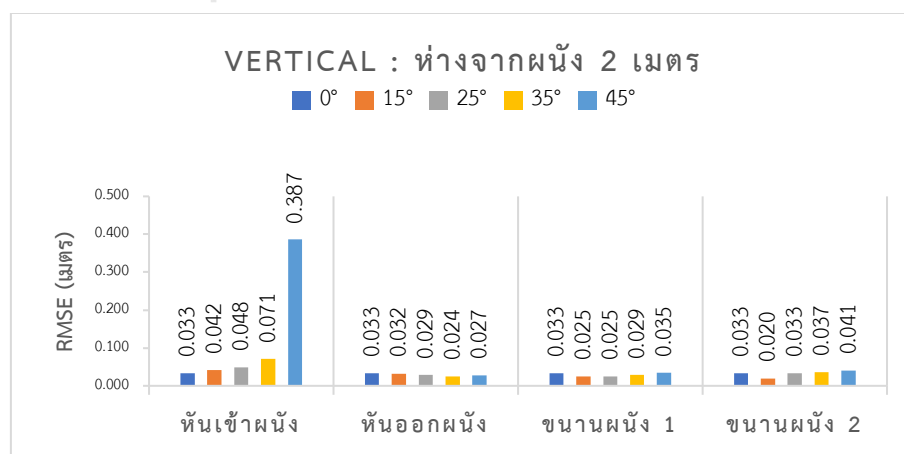
ตารางที่ 6 สรุปค่า RMSE ทางราบ กรณีทดสอบที่โล่ง และทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร รับสัญญาณ โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

มุม	Vertical : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i90)				Vertical : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i90)			
	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	หันเข้า	หันออก	ขนาน1	ขนาน2
0°	0.016				0.033			
15°	0.026	0.018	0.016	0.016	0.042	0.032	0.025	0.020
25°	0.021	0.020	0.018	0.020	0.048	0.029	0.025	0.033
35°	0.022	0.033	0.021	0.023	0.071	0.024	0.029	0.037
45°	0.031	0.031	0.025	0.028	0.387	0.027	0.035	0.041



รูปที่ 46 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบพื้นที่โล่ง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

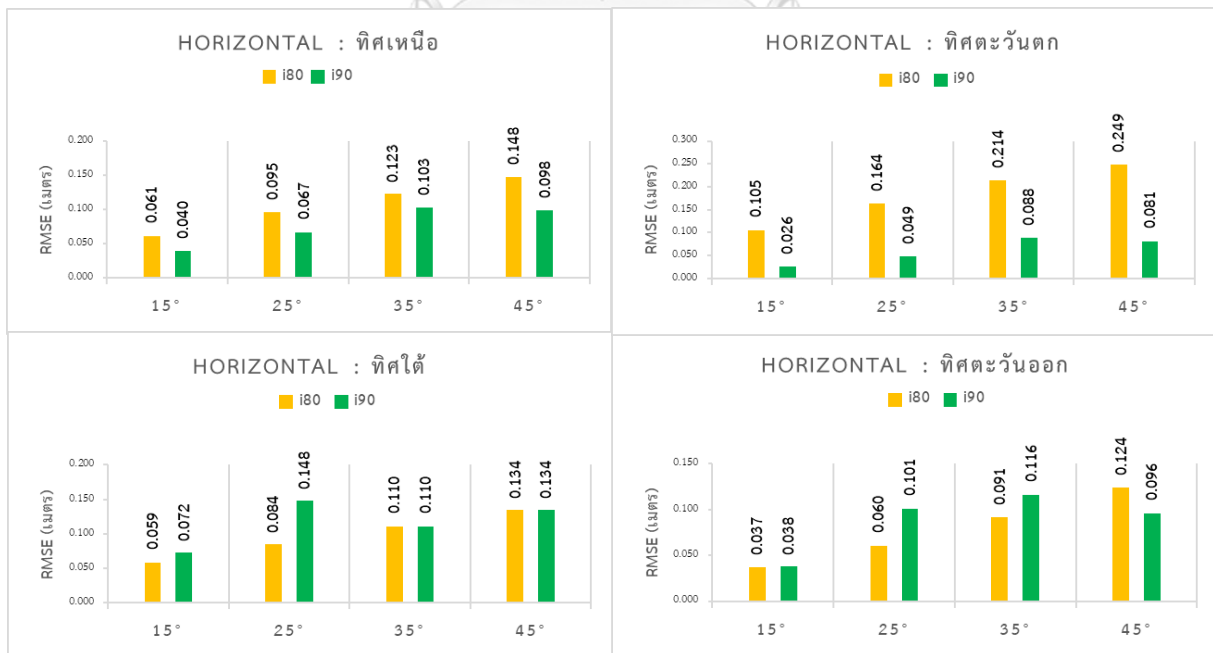
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 47 กราฟการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

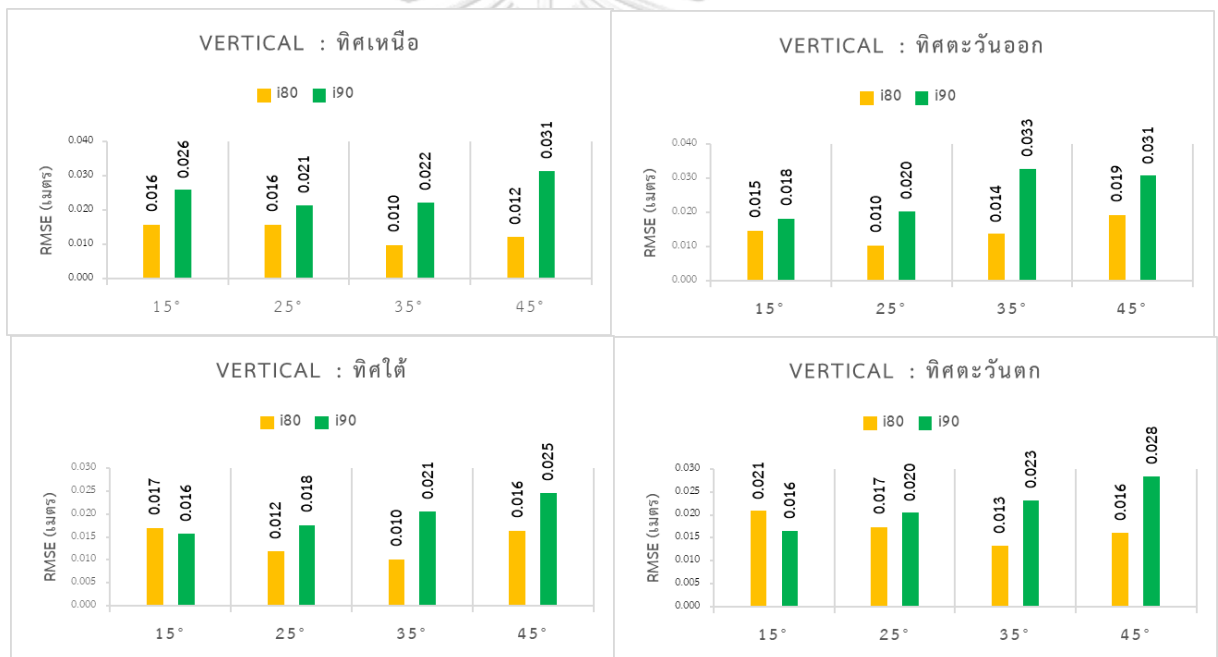
จากตารางที่ 6 สามารถสร้างกราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้งกรณีทดสอบในที่โล่ง และห่างจากผนัง 2 เมตร ได้ดังรูปที่ 46 และ 47 พบว่าเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่า RMSE ทางตั้งไม่เกิน 4 เซนติเมตร เมื่อทดสอบในที่โล่งและเอียงสี่ทิศทางด้วยมุมตั้งแต่ 15° ถึง 45° ซึ่งมีค่า RMSE มากที่สุดเท่ากับ 0.033 เมตร เมื่อเอียง 35° ไปทางทิศตะวันออกและค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.016 เมตร เมื่อเอียง 15° ไปทางทิศใต้ ส่วนการทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร มีค่า RMSE ทางตั้งไม่เกิน 4 เซนติเมตร เมื่อเอียงตั้งแต่มุม 15° ถึง 45° ในทิศทางหันออกจากผนัง และขนานกับผนังด้านที่ 1 ส่วนหันขนานกับผนังด้านที่ 2 ค่า RMSE ทางตั้งไม่เกิน 4 เซนติเมตร มีเพียงมุม 15° ถึง 35° เท่านั้น ส่วนมุม 45° มีค่า RMSE ทางตั้งเท่ากับ 0.041 เมตร ซึ่งมีค่ามากกว่า 4 เซนติเมตร รวมไปถึงกรณีเอียงเข้าหาผนัง ซึ่งมีค่า RMSE ทางตั้งมากกว่า 4 เซนติเมตรและมีค่าโตมากที่สุดถึง 0.387 เมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 45°

4.1.2.3 ผลการเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบและทางตั้งระหว่างเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU กรณีพื้นที่โล่ง



รูปที่ 48 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และ ทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีพื้นที่โล่ง

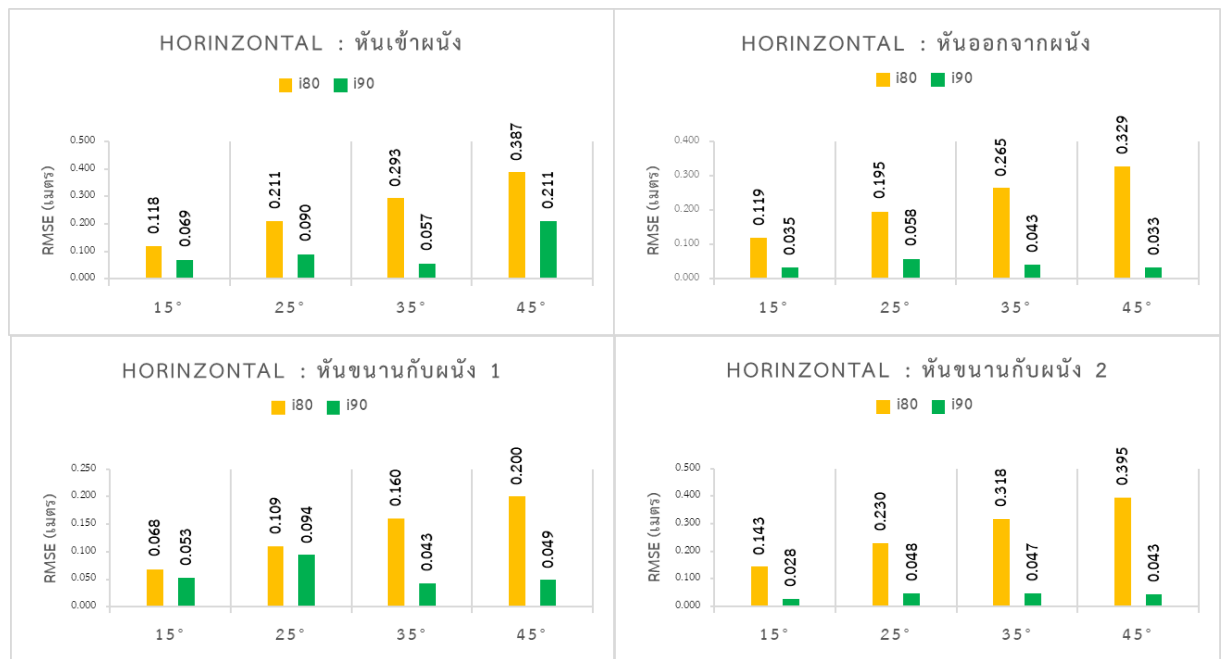
จากรูปที่ 48 พบว่า เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่า RMSE ทางราบน้อยกว่า MEMS เมื่อเอียงเสาไปทางทิศเหนือและทิศตะวันตก ด้วยมุม 15° มีค่า RMSE เท่ากับ 0.040 และ 0.026 เมตร ตามลำดับ ส่วนการเอียงไปทิศตะวันออกด้วยมุม 15° เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU และ MEMS มีค่า RMSE ทางราบใกล้เคียงกันและมีค่าเท่ากับ 0.038 และ 0.037 เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกิน 4 เซนติเมตร ส่วนการเอียงไปทางทิศใต้ด้วยมุม 15°, 25°, 35°, 45° และการเอียงไปทางทิศเหนือ, ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก ด้วยมุม 25°, 35° และ 45° มีค่า RMSE มากกว่า 4 เซนติเมตร มีค่า RMSE ทางราบสูงสุดที่การเอียงไปทางทิศตะวันตก ด้วยมุม 45° เท่ากับ 0.249 เมตร



รูปที่ 49 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางตั้ง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีพื้นที่โล่ง

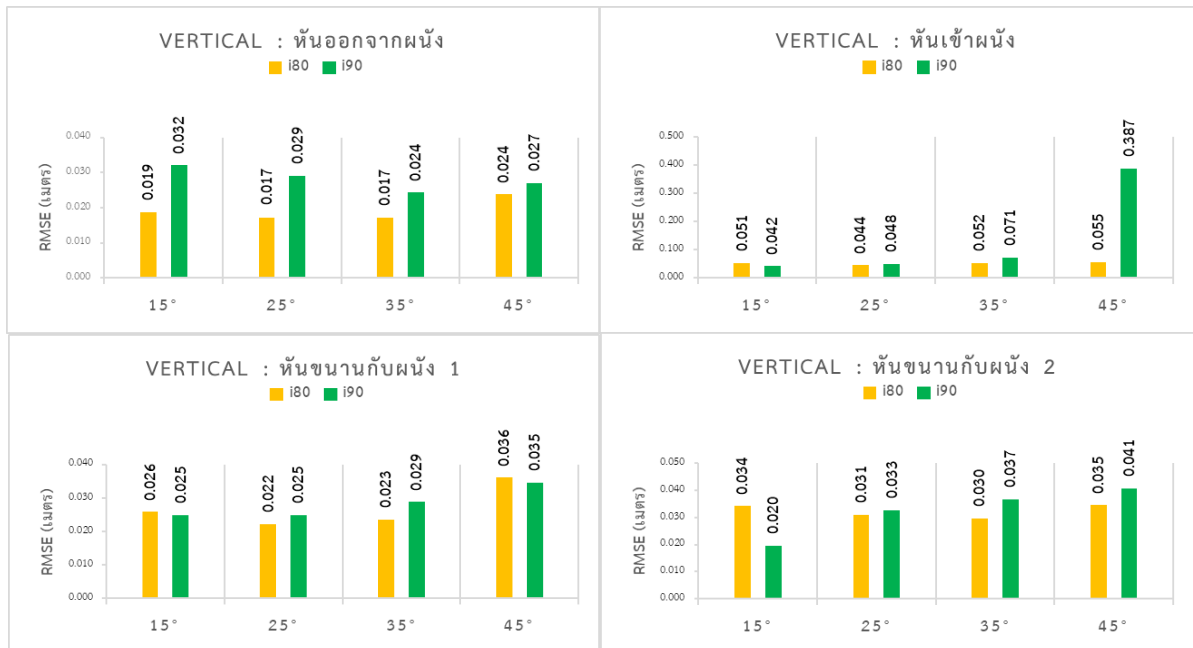
จากรูปที่ 49 พบว่า เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่า RMSE ทางดิ่งมากกว่า MEMS เมื่อเอียงไปทางทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° โดยมีค่า RMSE ทางดิ่งมากที่สุดเท่ากับ 0.031 เมตร ในมุม 45° ทิศเหนือ ส่วนเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS นั้นมีค่า RMSE มากที่สุดเท่ากับ 0.021 เมตร ในมุม 15° ทิศตะวันตก

กรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร



รูปที่ 50 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีห่างจากผนัง 2 เมตร

จากรูปที่ 50 พบว่า เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่า RMSE ทางราบน้อยกว่า MEMS เมื่อหันเข้าหาผนัง หันออกจากผนัง และหันขนานกับผนัง ด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° โดยมีค่า RMSE มากที่สุดเท่ากับ 0.211 เมตร เมื่อหันเข้าหาผนังด้วยมุม 45° และค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.028 เมตร เมื่อหันขนานกับผนังด้วยมุม 15° ส่วนเครื่องรับที่มีเซนเซอร์แบบ MEMS มีค่า RMSE ทางราบมากที่สุดเท่ากับ 0.395 เมตร เมื่อหันขนานกับผนังด้วยมุม 45° และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.068 เมตร เมื่อหันขนานกับผนังด้วยมุม 15°



รูปที่ 51 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางดิ่ง ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และ ทิศตะวันตก ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีห่างจากผนัง 2 เมตร

จากรูปที่ 51 พบว่า เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่า RMSE ทางราบมากกว่า MEMS โดยมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.387 เมตร เมื่อเอียงหันเข้าหาผนัง 2 เมตร ด้วยมุม 45° และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.020 เมตร เมื่อหันขนานกับผนังด้วยมุม 15° ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.055 เมตร เมื่อเอียงเข้าหาผนังด้วยมุม 45° และมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.022 เมตร เมื่อเอียงขนานกับผนังด้วยมุม 25° แต่เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ทั้งสองแบบมีค่า RMSE ทางดิ่งมากกว่า 4 เซนติเมตรเมื่อเอียงหันเข้าหาผนัง ส่วนการเอียงหันออกจากผนังและขนานกับผนังมีค่าน้อยกว่า 4 เซนติเมตร

เมื่อคำนวณค่า RMSE ทางราบและทางดิ่งรายจุด กรณีทดสอบในที่โล่งจำนวน 20 จุด และทดสอบห่างจากผนังสองเมตรจำนวน 20 จุด โดยรับสัญญาณด้วยการเอียง 15°, 25°, 35° และ 45° เก็บข้อมูลมุมละ 3 ครั้ง รวมจำนวนข้อมูลทั้งหมดต่อมุมเท่ากับ 60 ข้อมูล สามารถสรุปเป็นร้อยละของข้อมูลตามที่กรมที่ดินยอมรับคือความถูกต้องในทางราบต้องมีค่าน้อยกว่า 4 เซนติเมตร และในทางดิ่งต้องน้อยกว่า 10 เซนติเมตร เทียบกับจำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณทั้งหมดแสดงได้ดังตารางที่ 7 และ 8

ตารางที่ 7 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบและทางดิ่งตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบในที่
โล่งบนดาดฟ้า ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

ทดสอบในที่โล่ง									
มุมรังวัด	ชนิดเครื่องรับ	Horizontal < 4 เซนติเมตร				Vertical < 10 เซนติเมตร			
		ทิศเหนือ	ทิศ ตะวันออก	ทิศใต้	ทิศ ตะวันตก	ทิศเหนือ	ทิศ ตะวันออก	ทิศใต้	ทิศ ตะวันตก
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
15°	i80	17	63	32	0	100	100	100	100
	i90	72	75	88	92	98	100	100	100
25°	i80	7	32	17	0	100	100	100	100
	i90	60	63	63	68	100	100	100	100
35°	i80	10	5	13	0	100	100	100	100
	i90	60	65	58	52	100	98	100	100
45°	i80	10	5	8	7	100	100	100	100
	i90	58	53	55	52	100	100	100	100

ตารางที่ 8 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบและทางดิ่งตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบห่าง
จากผนัง 2 เมตร ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

ทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร									
มุมรังวัด	ชนิดเครื่องรับ	Horizontal < 4 เซนติเมตร				Vertical < 10 เซนติเมตร			
		หันเข้า ผนัง	หันออก ผนัง	ขนาน ผนัง1	ขนาน ผนัง2	หันเข้า ผนัง	หันออก ผนัง	ขนาน ผนัง1	ขนาน ผนัง2
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
15°	i80	12	30	50	25	95	100	100	100
	i90	72	90	85	85	95	100	100	100
25°	i80	7	25	50	22	98	100	100	100
	i90	59	75	68	73	98	100	100	98
35°	i80	2	25	35	21	90	100	100	100
	i90	50	73	80	73	92	100	100	97
45°	i80	0	25	27	21	89	100	97	100
	i90	27	84	80	57	69	100	98	100

4.2 พื้นที่ในเขตอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน

จากการทดสอบการเอียงเสาเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสอีออเดติกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ด้วยมุม 15°, 25°, 35°, และ 45° บนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน จำนวน 20 หมุด ด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS ในแต่ละหมุดทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที 60 ข้อมูล จำนวน 3 ครั้ง ต่อมุม ทดสอบรับสัญญาณตั้งแต่วันที่ 18 เมษายน 2565 ถึง วันที่ 23 เมษายน 2565 ในช่วงเวลา 8.30 – 17.00 น. การทดสอบทั้งหมดทดสอบภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005 และมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการทดสอบตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามตามระเบียบกรมที่ดิน

จากหลักเกณฑ์ในการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดิน ในบทที่ 2 ซึ่งเป็นหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้สำหรับตรวจสอบผลการรังวัดจากการรับสัญญาณดาวเทียมในสนาม ได้แก่ ค่าพีดีโอ (PDOP) ไม่เกิน 5, ผลการรังวัดเป็นฟิกซ์ (Fixed) และค่า Horizontal error ในทางราบไม่เกิน 3 เซนติเมตร สามารถสรุปผลการทดสอบที่ผ่านหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินเป็นอัตรา ร้อยละเมื่อเทียบกับจำนวนข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมด แสดงดังรายละเอียดดังต่อไปนี้โดยแบ่งเป็น เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU

4.2.1.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบอีออเดติกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

การรับสัญญาณขณะเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° บนหมุด ดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินโดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) จำนวน 20 หมุด โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีจำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 60 ข้อมูลต่อมุม ซึ่งทุก มุมสามารถ Fixed Ambiguity ได้ และมีค่า PDOP ตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณใน สนามของกรมที่ดิน (PDOP มีค่าไม่เกิน 5) 100% ส่วนเกณฑ์ค่า Horizontal error มุม 15° และ 25° เป็นไปตามเกณฑ์ 95% ส่วนมุม 35° เป็นไปตามเกณฑ์ 92% และ มุม 45° เป็นไปตามเกณฑ์เพียง 88% ซึ่งสามารถสรุปอัตราร้อยละที่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับ สัญญาณในสนามของกรมที่ดินได้ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามหลักเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบ บนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบอีออเดติกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

มุม	PDOP < 5 (%)	Horizontal error < 3 ซม. (%)	Fixed (%)
15°	100	95	100
25°	100	95	100
35°	100	92	100
45°	100	88	100

4.2.1.2 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

การรับสัญญาณขณะเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° บนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินโดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) จำนวน 20 หมุด โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีจำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 60 ข้อมูลต่อมุม ซึ่งทุกมุมสามารถ Fixed Ambiguity ได้ และมีค่า PDOP ตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน (PDOP มีค่าไม่เกิน 5) 100% ส่วนเกณฑ์ค่า Horizontal error มุม 15° และ 25° เป็นไปตามเกณฑ์ 98% ส่วนมุม 35° เป็นไปตามเกณฑ์ 95% และ มุม 45° เป็นไปตามเกณฑ์เพียง 88% ซึ่งสามารถสรุปอัตราร้อยละที่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินได้ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรับสัญญาณในสนามตามเกณฑ์ของกรมที่ดินกรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

มุม	PDOP < 5 (%)	Horizontal error < 3 ซม. (%)	Fixed (%)
15°	100	98	100
25°	100	98	100
35°	100	95	100
45°	100	88	100

4.2.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ เมื่อรังวัดด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่ เทคนิค VRS ขณะเอียงเสาด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° บนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินนั้น จะพิจารณาทั้งค่าพิกัดทางราบและทางตั้ง โดยค่าความถูกต้องวิเคราะห์จากการคำนวณค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) ของการรังวัดขณะเอียงเสาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินซึ่งเป็นค่าพิกัดอ้างอิงแสดงดังในภาคผนวก ง. จำนวน 20 หมุด และผลการคำนวณ RMSE ทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) แสดงดังในตารางที่ 11 และ 12 โดยช่องสีต่าง ๆ ในตารางสามารถอธิบายได้ดังนี้

ช่องสีเขียว คือ มีค่า RMSE ในทางราบจากการหาค่าต่างระหว่างค่าพิกัดรังวัดกับค่าพิกัดอ้างอิงซึ่งมาจากหมุดดาวเทียม RTK มีค่าน้อยกว่า 4 เซนติเมตร และค่า RMSE ในทางตั้งมีค่าน้อยกว่า 10 เซนติเมตร

ข้อสังเกต คือ ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งที่แสดงในตารางเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือไม่เพียงพอ เนื่องจากข้อมูลค่าพิกัดที่รับวัดได้ในสนามมีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน

ตารางที่ 11 ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Horizontal (i80) (เมตร)				RMSE Vertical (i80) (เมตร)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-1	1	0.100	0.167	0.195	0.198	0.117	0.096	0.086	0.060
	2	0.106	0.173	0.193	2.808	0.114	0.093	0.074	0.065
	3	0.109	0.169	0.187	0.194	0.109	0.099	0.062	0.071
V-2	1	1.311	0.111	0.172	0.205	0.121	0.121	0.160	0.154
	2	1.335	0.115	0.167	0.201	0.115	0.126	0.154	0.144
	3	0.087	0.121	0.158	0.194	0.123	0.141	0.141	0.150
V-3	1	0.085	0.162	0.209	0.246	0.230	0.252	0.242	0.214
	2	0.089	0.164	0.176	0.242	0.242	0.248	0.273	0.244
	3	0.119	0.174	0.182	0.190	0.261	0.265	0.253	0.241
V-4	1	0.100	0.084	0.223	0.316	0.290	0.290	0.315	0.319
	2	0.112	0.094	0.251	0.315	0.283	0.305	0.323	0.341
	3	0.059	0.165	0.241	0.265	0.275	0.297	0.322	0.293
V-5	1	0.102	0.207	0.271	0.373	0.088	0.076	0.041	0.019
	2	0.109	0.201	0.271	0.387	0.074	0.079	0.022	0.067
	3	0.113	0.200	0.278	0.403	0.063	0.066	0.009	0.076
V-6	1	0.174	0.738	1.809	0.256	0.047	0.057	0.049	0.032
	2	0.165	1.453	0.243	0.241	0.052	0.046	0.070	0.011
	3	0.160	0.209	0.222	0.273	0.085	0.019	0.028	0.060
V-7	1	0.049	0.087	0.116	0.142	0.007	0.002	0.003	0.022
	2	0.047	0.090	0.121	0.139	0.009	0.006	0.003	0.020
	3	0.051	0.091	0.117	0.144	0.002	0.001	0.003	0.014
V-8	1	0.025	0.063	0.105	0.155	0.352	0.345	0.354	0.342
	2	0.028	0.067	0.119	0.153	0.347	0.344	0.343	0.337
	3	0.017	0.073	0.120	0.154	0.341	0.337	0.324	0.336
V-9	1	0.009	0.017	0.014	0.034	0.083	0.098	0.088	0.079
	2	1.003	0.015	0.022	0.038	0.069	0.102	0.091	0.098
	3	0.041	0.010	0.028	0.025	0.095	0.098	0.086	0.083
V-10	1	0.107	0.151	0.143	0.147	0.776	0.759	0.732	0.724
	2	0.098	0.147	0.148	0.129	0.793	0.747	0.720	0.686
	3	0.117	0.152	0.141	0.132	0.763	0.744	0.717	0.713
V-11	1	0.058	0.059	0.045	0.160	0.302	0.315	0.276	0.278
	2	0.050	0.060	0.038	0.159	0.305	0.302	0.253	0.267
	3	0.045	0.064	0.036	0.172	0.308	0.281	0.233	0.266
V-12	1	0.137	0.153	0.074	0.126	0.431	0.385	0.346	0.332
	2	0.142	0.150	0.112	0.125	0.410	0.378	0.355	0.339
	3	0.210	0.154	0.161	0.127	0.435	0.364	0.379	0.333

ตารางที่ 11 ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Horizontal (i80) (เมตร)				RMSE Vertical (i80) (เมตร)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-13	1	0.107	0.114	0.056	0.077	0.111	0.080	0.080	0.136
	2	0.119	0.114	0.073	0.077	0.119	0.098	0.133	0.133
	3	0.118	0.102	0.076	0.089	0.090	0.096	0.126	0.068
V-14	1	0.065	0.113	0.142	0.176	0.044	0.043	0.043	0.039
	2	0.062	0.113	0.142	0.177	0.071	0.042	0.049	0.021
	3	0.071	0.116	0.141	0.185	0.060	0.024	0.060	0.025
V-15	1	0.038	0.104	0.089	0.176	0.074	0.082	0.090	0.133
	2	0.039	0.088	0.099	0.175	0.063	0.083	0.075	0.122
	3	0.039	0.085	0.091	0.170	0.071	0.104	0.088	0.099
V-16	1	0.113	0.060	0.114	0.116	0.050	0.189	0.187	0.127
	2	0.066	0.051	0.097	0.130	0.133	0.193	0.198	0.199
	3	0.074	0.170	0.018	0.123	0.183	0.039	0.021	0.214
V-17	1	0.068	0.124	0.151	0.177	0.108	0.135	0.137	0.108
	2	0.056	0.114	0.158	0.166	0.114	0.129	0.107	0.079
	3	0.065	0.114	0.149	0.169	0.115	0.138	0.097	0.087
V-18	1	0.125	0.198	0.157	0.211	0.035	0.074	0.017	0.035
	2	0.122	0.218	0.159	0.215	0.031	0.108	0.027	0.035
	3	0.132	0.164	0.171	0.205	0.054	0.005	0.050	0.031
V-19	1	0.105	0.151	0.207	0.260	0.045	0.032	0.026	0.010
	2	0.103	0.072	0.206	0.258	0.041	0.023	0.023	0.032
	3	0.114	0.430	0.199	0.260	0.042	0.001	0.002	0.038
V-20	1	0.028	0.094	0.134	0.182	0.005	0.008	0.018	0.057
	2	0.028	0.085	0.133	0.171	0.020	0.004	0.015	0.058
	3	0.036	0.105	0.125	0.168	0.021	0.007	0.031	0.067

ตารางที่ 12 ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Horizontal (i90) (เมตร)				RMSE Vertical (i90) (เมตร)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-1	1	0.036	0.050	0.052	0.080	0.114	0.132	0.122	0.115
	2	0.042	0.059	0.057	0.094	0.115	0.133	0.121	0.117
	3	0.045	0.047	0.064	0.054	0.122	0.139	0.123	0.119
V-2	1	0.032	0.022	0.014	0.040	0.128	0.119	0.138	0.164
	2	0.034	0.026	0.018	0.056	0.125	0.124	0.162	0.171
	3	0.038	0.030	0.022	0.040	0.115	0.121	0.173	0.157
V-3	1	0.046	0.071	0.056	0.074	0.222	0.279	0.227	0.206
	2	0.060	0.093	0.061	0.087	0.272	0.260	0.225	0.165
	3	0.074	0.064	0.063	0.062	0.276	0.231	0.225	0.178
V-4	1	0.005	0.049	0.065	0.109	0.273	0.278	0.286	0.317
	2	0.014	0.059	0.062	0.121	0.292	0.275	0.303	0.317
	3	0.019	0.072	0.073	0.135	0.292	0.273	0.290	0.313

ตารางที่ 12 ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซ็นเซอร์ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Horizontal (i90) (เมตร)				RMSE Vertical (i90) (เมตร)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-5	1	0.052	0.075	0.095	0.071	0.068	0.053	0.033	0.027
	2	0.060	0.121	0.085	0.051	0.079	0.024	0.105	0.022
	3	0.075	0.128	0.084	0.035	0.069	0.017	0.116	0.012
V-6	1	0.068	0.204	0.368	0.398	0.069	0.000	0.115	0.065
	2	0.106	0.236	0.379	0.143	0.065	0.011	0.179	0.244
	3	0.123	0.267	0.424	0.146	0.072	0.034	0.088	0.164
V-7	1	0.009	0.045	0.130	0.085	0.001	0.000	0.014	0.029
	2	0.030	0.073	0.145	0.078	0.012	0.009	0.008	0.022
	3	0.047	0.092	0.080	0.068	0.021	0.010	0.022	0.010
V-8	1	0.065	0.051	0.070	0.088	0.316	0.291	0.307	0.333
	2	0.054	0.051	0.071	0.084	0.304	0.294	0.324	0.352
	3	0.047	0.065	0.077	0.089	0.302	0.299	0.324	0.324
V-9	1	0.011	0.046	0.072	0.095	0.103	0.137	0.108	0.101
	2	0.015	0.056	0.081	0.101	0.143	0.125	0.094	0.110
	3	0.019	0.068	0.092	0.107	0.151	0.102	0.084	0.112
V-10	1	0.069	0.085	0.124	0.421	0.734	0.742	0.740	0.723
	2	0.070	0.090	0.085	0.472	0.747	0.736	0.734	0.737
	3	0.085	0.096	0.090	0.531	0.750	0.742	0.732	0.747
V-11	1	0.040	0.093	0.028	0.038	0.241	0.253	0.279	0.320
	2	0.034	0.063	0.006	0.042	0.230	0.282	0.285	0.337
	3	0.027	0.101	0.023	0.068	0.241	0.299	0.312	0.339
V-12	1	0.060	0.046	0.037	0.064	0.361	0.403	0.391	0.421
	2	0.063	0.043	0.027	0.081	0.356	0.407	0.391	0.395
	3	0.071	0.036	0.027	0.088	0.384	0.409	0.389	0.392
V-13	1	0.070	0.171	0.218	0.026	0.055	0.059	0.055	0.037
	2	0.090	0.192	0.225	0.028	0.036	0.047	0.059	0.045
	3	0.102	0.172	0.038	0.041	0.040	0.061	0.062	0.047
V-14	1	0.034	0.073	0.077	0.102	0.083	0.049	0.035	0.049
	2	0.035	0.076	0.083	0.087	0.104	0.046	0.048	0.037
	3	0.049	0.072	0.100	0.073	0.089	0.039	0.052	0.012
V-15	1	0.027	0.085	0.043	0.022	0.040	0.053	0.052	0.077
	2	0.067	0.070	0.027	0.019	0.088	0.055	0.054	0.081
	3	0.053	0.071	0.017	0.013	0.073	0.051	0.057	0.094
V-16	1	0.073	0.054	0.035	0.013	0.089	0.095	0.136	0.191
	2	0.062	0.059	0.058	0.043	0.063	0.091	0.126	0.077
	3	0.047	0.069	0.081	0.026	0.071	0.095	0.149	0.278
V-17	1	0.026	0.113	0.117	0.145	0.079	0.117	0.094	0.078
	2	0.083	0.116	0.113	0.039	0.021	0.086	0.100	0.137
	3	0.093	0.115	0.117	0.095	0.040	0.078	0.112	0.142
V-18	1	0.056	0.031	0.123	0.028	0.041	0.022	0.015	0.065
	2	0.057	0.099	0.018	0.026	0.032	0.033	0.071	0.037
	3	0.045	0.111	0.017	0.033	0.042	0.002	0.077	0.032

ตารางที่ 12 ค่า RMSE ทางราบและทางตั้งจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุด RTK (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Horizontal (i90) (เมตร)				RMSE Vertical (i90) (เมตร)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-19	1	0.035	0.004	0.019	0.030	0.022	0.014	0.045	0.015
	2	0.016	0.007	0.024	0.013	0.020	0.007	0.016	0.037
	3	0.006	0.013	0.030	0.006	0.026	0.012	0.031	0.003
V-20	1	0.008	0.042	0.094	0.118	0.013	0.002	0.010	0.029
	2	0.011	0.061	0.094	0.040	0.014	0.009	0.001	0.038
	3	0.031	0.074	0.100	0.024	0.000	0.021	0.023	0.015

เมื่อคำนวณค่า RMSE ในทางราบและทางตั้งจากกรณีทดสอบโดยตรงบนหมุดดาวเทียม RTK โดยรับสัญญาณด้วยการเอียง 15°, 25°, 35° และ 45° ในตารางที่ 11 และ 12 สามารถสรุปเป็นร้อยละของข้อมูลตามที่กรมที่ดินยอมรับ คือ ต้องมีค่าความถูกต้องในทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร และค่าความถูกต้องในทางตั้งน้อยกว่า 10 เซนติเมตร เทียบกับจำนวนข้อมูลที่รับสัญญาณทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 13 โดยการคำนวณร้อยละดังกล่าวจะไม่นำข้อมูลในช่องสี่เหลี่ยมมาคำนวณด้วยเนื่องจากมีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณดาวเทียมในสนามของกรมที่ดิน ทั้งนี้การรับสัญญาณในสนามข้อมูลค่าพิกัดที่น่าเชื่อถือ นอกจากจะดูจากค่า PDOP ที่ต้องไม่เกิน 5 และต้อง Fixed Ambiguity แล้วต้องมีค่า Horizontal error น้อยกว่า 3 เซนติเมตร

ตารางที่ 13 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบและทางตั้งตามที่กรมที่ดินยอมรับกรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

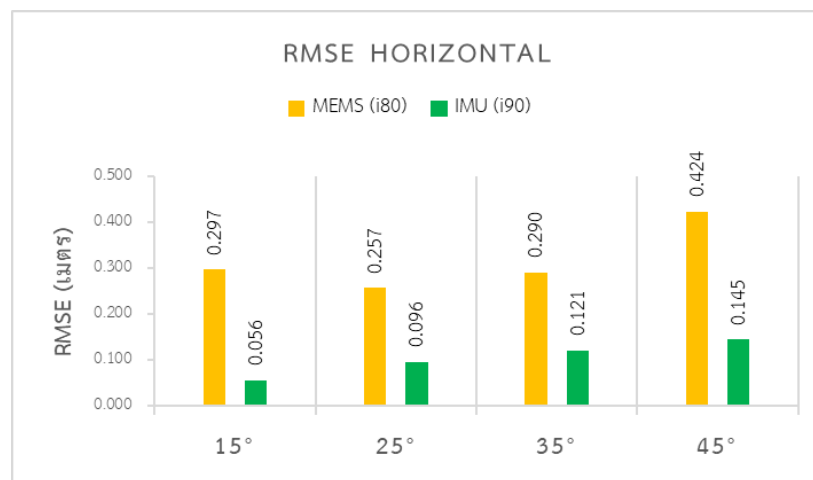
มุมรับวัด	ชนิดเครื่องรับ	Horizontal < 4 เซนติเมตร (%)	Vertical < 10 เซนติเมตร (%)
15°	i80	18	49
	i90	39	53
25°	i80	5	54
	i90	14	53
35°	i80	11	56
	i90	32	47
45°	i80	5	54
	i90	26	47

จากหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามเมื่อตัดข้อมูลที่มีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร แล้วนำข้อมูลที่เหลือมาคำนวณค่า RMSE และเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบและทางตั้ง เมื่อรับสัญญาณโดยการเพิ่มมุมเอียงเริ่มจากมุม 15° และเพิ่มขนาดของมุมเอียงทุก ๆ สิบองศาเป็น 25°, 35° ไปจนถึง 45° แสดงผลดังตารางที่ 14 และ 15 และสามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 52 และ 53 พบว่า ค่า RMSE ทางราบ ของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่าน้อยกว่า MEMS ซึ่งเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่า RMSE ทางราบเท่ากับ 0.056, 0.096, 0.121 และ 0.145 เมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ตามลำดับ ส่วนเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS มีค่า RMSE ทางราบเท่ากับ 0.297, 0.257, 0.290 และ 0.424 เมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ตามลำดับ ส่วนค่า RMSE ทางตั้งโดยรวมแล้วเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่าน้อยกว่า MEMS ซึ่งเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่า RMSE ทางตั้งเท่ากับ 0.233, 0.236, 0.201 เมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25° และ 35° ตามลำดับ ส่วนเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS มีค่า RMSE ทางตั้งเท่ากับ 0.253, 0.244, 0.242 เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25° และ 35° ตามลำดับ แต่เมื่อเอียงด้วยมุม 45° เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS จะมีค่า RMSE ทางตั้งเท่ากับ 0.231 เมตร ส่วน IMU มีค่า 0.254 เมตร ซึ่งมีค่ามากกว่า MEMS ตารางที่ 14 สรุปค่า RMSE ทางราบ ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

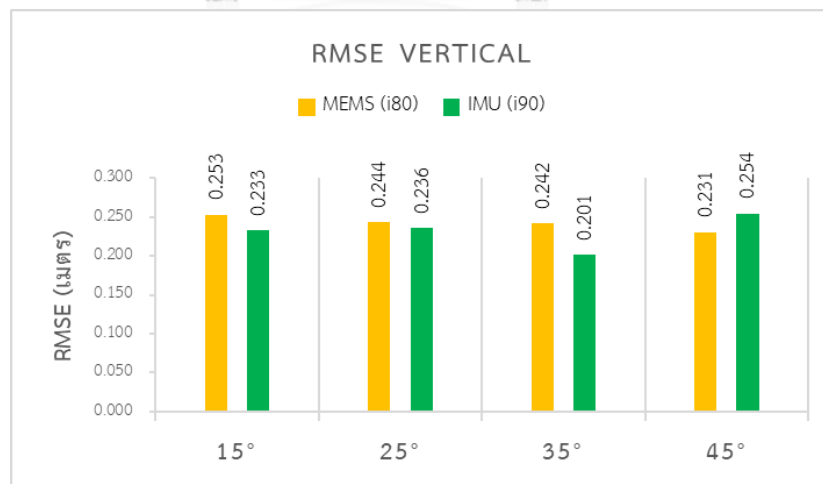
Angle	RMSE MEMS (i80) (เมตร)	
	Horizontal	Vertical
15°	0.297	0.253
25°	0.257	0.244
35°	0.290	0.242
45°	0.424	0.231

ตารางที่ 15 สรุปค่า RMSE ทางดิ่ง ทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับที่มี เซนเซอร์ IMU (i90)

Angle	RMSE IMU (i90) (เมตร)	
	Horizontal	Vertical
15°	0.056	0.233
25°	0.096	0.236
35°	0.121	0.201
45°	0.145	0.254



รูปที่ 52 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE Horizontal มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK



รูปที่ 53 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE Vertical 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับที่มี เซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK

4.3 พื้นที่แปลงที่ดินในเขตอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

จากการทดสอบการเอียงเสาเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสอีออเดติกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ด้วยมุม 15°, 25°, 35°, และ 45° รังวัดโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินทั้งหมด 3 กรณี ได้แก่ หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น หมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างหนาแน่น ทดสอบกรณีละ 20 หมุด ด้วยวิธี Network RTK เทคนิค VRS ในแต่ละหมุดบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที 60 ข้อมูล จำนวน 3 ครั้งต่อมุม ทดสอบรับสัญญาณตั้งแต่วันที่ 18 มกราคม 2565 ถึงวันที่ 7 เมษายน 2565 ในช่วงเวลา 10.30 – 16.00 น. ทั้งหมด 24 แปลง การทดสอบทั้งหมดทดสอบภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005 ซึ่งมีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการทดสอบตามเงื่อนไขของระเบียบกรมที่ดิน

จากหลักเกณฑ์ในการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ของกรมที่ดินในบทที่ 2 เป็นหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้สำหรับตรวจสอบผลการรังวัดจากการรับสัญญาณดาวเทียมในสนาม ซึ่งมีดังต่อไปนี้ ค่าพีดีโอ (PDOP) ไม่เกิน 5, ผลการรังวัดเป็นฟิกซ์ (Fixed) และค่า Horizontal error ในทางราบไม่เกิน 3 เซนติเมตร สามารถสรุปผลการทดสอบที่ผ่านหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินเป็นอัตราร้อยละเมื่อเทียบกับจำนวนข้อมูลจากการทดสอบทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 สรุปอัตราร้อยละข้อมูลการรังวัดตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน กรณีทดสอบโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทั้งหมด 3 กรณี

กรณีที่	มุม	Fixed (%)		PDOP < 5 (%)		Horizontal error < 3 ซม. (%)	
		i80	i90	i80	i90	i80	i90
1	15°	95	95	100	100	79	92
	25°	96	95	100	100	81	81
	35°	85	94	100	100	67	79
	45°	90	93	100	100	71	80
2	15°	88	88	100	100	92	82
	25°	86	88	100	100	88	80
	35°	79	83	100	100	71	83
	45°	75	83	100	100	69	86
3	15°	93	100	100	100	98	81
	25°	97	100	100	100	85	76
	35°	94	100	100	100	79	67
	45°	83	100	100	100	83	70

จากตารางที่ 16 การรับสัญญาณขณะเอียงเสาด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° โดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินโดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ทั้งหมด 3 กรณี จำนวนหมุดทดสอบกรณีละ 20 หมุด โดยบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาทีจำนวน 3 ครั้ง คิดเป็น 60 ข้อมูลต่อมุม ซึ่งการทดสอบทั้ง 3 กรณีมีค่า PDOP ไม่เกิน 5 ผ่านเกณฑ์ 100% ส่วนการ Fixed Ambiguity นั้นเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU สามารถ Fixed Ambiguity ได้มากกว่า MEMS โดยเฉพาะในกรณีที่ 3 สามารถ Fixed Ambiguity ได้ 100% ในขณะที่เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS สามารถ Fixed Ambiguity อยู่ในช่วง 83% – 97% และสำหรับเกณฑ์ค่า Horizontal error ไม่เกิน 3 เซนติเมตรนั้น โดยเฉลี่ยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU ผ่านเกณฑ์ได้มากกว่า MEMS

4.3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณ เมื่อรังวัดด้วยวิธีโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที เทคนิค VRS ขณะเอียงเสาด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° บนหมุดหลักเขตที่ดินนั้น จะพิจารณาเฉพาะค่าพิกัดในทางราบ โดยค่าความถูกต้องวิเคราะห์จากการคำนวณค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) ของการรังวัดขณะเอียงเสาเปรียบเทียบกับค่าพิกัดที่ได้จากการรังวัดโดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าพิกัดอ้างอิงดังแสดงในภาคผนวก ง. มีทั้งหมด 3 กรณี กรณีละ 20 หมุด และผลการคำนวณค่า RMSE ทางราบทั้งหมดของเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทั้ง 3 กรณี แสดงดังตารางที่ 17, 18 และ 19 โดยช่องสีต่าง ๆ ในตารางสามารถอธิบายได้ดังนี้

ช่องสีเขียว คือ มีค่า RMSE ในทางราบจากการหาค่าต่างระหว่างค่าพิกัดรังวัดกับค่าพิกัดอ้างอิงซึ่งรังวัดโดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งมีค่าน้อยกว่า 4 เซนติเมตร

ช่องสีเหลือง คือ ค่า RMSE ทางราบในตารางเป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือไม่เพียงพอ เนื่องจากข้อมูลค่าพิกัดที่รังวัดได้ในสนามมีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน

ช่องสีแดง คือ ส่วนที่ไม่สามารถรับวัดได้เนื่องจากมุมหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิว
ดินปกติทำให้การรับสัญญาณขณะเอียงถูกจำกัดมุมในการเอียงของเสา

ตารางที่ 17 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์
MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 1 ใกล้เคียงกับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง

ชื่อหมุดรังวัด	ครั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C1-1	1	0.159	0.181			0.091	0.058		
	2	0.158	0.212			0.083	0.049		
	3	0.157	0.219			0.074	0.053		
C1-2	1	0.226	0.120	0.099	0.251	0.111	0.111	0.109	0.097
	2	0.864	0.124	0.097	0.217	0.116	0.105	0.113	0.097
	3	0.086	0.131	0.089	0.209	0.113	0.103	0.121	0.107
C1-3	1	0.115	0.163	0.206	0.285	0.077	0.084	0.075	0.100
	2	0.115	0.173	0.202	0.286	0.078	0.081	0.113	0.128
	3	0.121	0.178	0.201	0.281	0.083	0.068	0.102	0.114
C1-4	1	0.136	0.085	0.064		0.051	0.060	0.070	
	2	0.147	0.081	0.063		0.064	0.057	0.072	
	3	0.156	0.089	0.063		0.081	0.058	0.070	
C1-5	1	0.175	0.111	0.177	0.201	0.131	0.105	0.108	0.121
	2	0.187	0.123	0.194	0.182	0.108	0.103	0.121	0.129
	3	0.175	0.126	0.225	0.192	0.110	0.095	0.137	0.125
C1-6	1	0.059	0.051	0.064	0.107	0.046	0.046	0.079	0.085
	2	0.080	0.077	0.058	0.139	0.042	0.064	0.091	0.076
	3	0.079	0.067	0.037	0.143	0.034	0.065	0.085	0.065
C1-7	1	0.162	0.078	0.678	float	0.230	0.053	0.036	0.015
	2	0.177	0.121	0.231	float	0.233	0.053	0.005	0.035
	3	0.168	0.149	1.093	float	0.139	0.040	0.029	0.049
C1-8	1	0.350	0.368	0.396	0.403	0.328	0.383	0.470	0.462
	2	0.390	0.367	0.429	0.377	0.345	0.404	0.435	0.441
	3	0.444	0.361	0.437	0.356	0.378	0.427	0.429	0.418

ตารางที่ 17 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 1 โกลักับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง (ต่อ)

ชื่อหุ้มต้งวัด	คั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C1-9	1	0.195	0.315	0.202	0.429	0.044	0.057	0.062	0.040
	2	0.188	0.259	0.195	0.416	0.046	0.055	0.065	0.040
	3	0.180	0.261	0.187	0.420	0.046	0.049	0.042	0.039
C1-10	1	0.160	0.260	0.052	0.498	0.033	0.021	0.069	0.037
	2	0.176	0.266	0.346	0.521	0.027	0.025	0.058	0.029
	3	0.179	0.265	0.351	0.515	0.023	0.035	0.067	0.029
C1-11	1	0.040				0.160			
	2	0.034				0.181			
	3	0.036				0.203			
C1-12	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2								
	3								
C1-13	1	0.201	0.240	0.270	0.299	0.102	0.158	0.146	0.102
	2	0.204	0.238	0.276	0.302	0.213	0.119	0.161	0.115
	3	0.207	0.222	0.246	0.353	0.340	0.120	0.170	0.109
C1-14	1	0.049	0.131	0.148	0.183	0.051	0.080	0.062	0.070
	2	0.058	0.131	0.142	0.217	0.069	0.079	0.071	0.076
	3	0.041	0.101	0.149	0.217	0.077	0.086	0.073	0.056
C1-15	1	0.040	0.059	0.154	0.285	0.010	0.071	0.097	0.069
	2	0.060	0.062	0.112	0.173	0.049	0.069	0.099	0.049
	3	0.065	0.050	0.131	0.226	0.070	0.076	0.091	0.019
C1-16	1	0.016	0.089	0.068	0.252	0.033	0.093	0.110	0.081
	2	0.027	0.084	0.056	0.256	0.061	0.096	0.117	0.083
	3	0.197	0.086	0.055	0.261	0.056	0.091	0.113	0.011
C1-17	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์			
	2								
	3								
C1-18	1	0.089	0.155	0.198	0.266	0.002	0.024	0.023	0.029
	2	0.086	0.156	0.198	0.271	0.019	0.023	0.029	0.031
	3	0.083	0.156	0.196	0.278	0.010	0.015	0.036	0.043

ตารางที่ 17 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 1 ใกล้เคียงกับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง (ต่อ)

ชื่อหุมดรังวัด	ครั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C1-19	1	0.014	0.036	0.040	0.053	0.016	0.252	0.267	0.219
	2	0.013	0.051	0.031	0.064	0.102	0.272	0.275	0.212
	3	0.013	0.060	0.038	0.075	0.148	0.315	0.274	0.064
C1-20	1	0.226	0.191			0.039	0.056		
	2	0.226	0.172			0.043	0.064		
	3	0.255	0.160			0.049	0.079		

ตารางที่ 18 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 2 ใกล้เคียงกับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น

ชื่อหุมดรังวัด	ครั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C2-1	1	0.085	0.119	0.208	0.194	0.098	0.065	0.114	0.067
	2	0.103	0.151	0.201	0.138	0.101	0.082	0.103	0.059
	3	0.086	0.139	0.202	0.166	0.096	0.080	0.079	0.060
C2-2	1	0.105	0.062	0.446		0.253	0.546	0.692	
	2	0.082	0.047	0.824		0.054	0.680	0.776	
	3	0.075	0.870	0.083		0.084	0.642	0.867	
C2-3	1	0.203	0.165	0.185	0.334	0.161	0.207	0.173	0.171
	2	0.155	0.162	0.187	0.326	0.139	0.171	0.154	0.166
	3	0.163	0.163	0.188	0.326	0.119	0.174	0.141	0.177
C2-4	1	0.363	0.303	0.309	0.247	0.538	0.531	0.501	0.549
	2	0.350	0.303	1.931	0.243	0.532	0.533	0.500	0.557
	3	0.342	0.313	0.313	0.243	0.531	0.532	0.512	0.563
C2-5	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์			
	2	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์			
	3	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์			
C2-6	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์			
	2	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์			
	3	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์			
C2-7	1	0.056	0.167	0.198		0.089	0.109	0.068	
	2	0.054	0.130	0.223		0.085	0.058	0.072	
	3	0.068	0.126	0.225		0.077	0.075	0.211	

ตารางที่ 18 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 2 โกลักับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น (ต่อ)

ชื่อหตุร้งวัด	ครั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C2-8	1	0.102	0.130			0.074	0.071		
	2	0.095	0.128			0.070	0.081		
	3	0.100	0.128			0.067	0.095		
C2-9	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	3	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
C2-10	1	0.052	0.155	0.342		0.072	0.027	0.104	
	2	0.030	0.165	0.290		0.034	0.037	0.045	
	3	0.035	0.163	0.280		0.015	0.048	0.031	
C2-11	1	0.067	0.208	0.186	0.184	0.055	0.021	0.064	0.032
	2	0.078	0.148	0.180	0.190	0.040	0.036	0.077	0.035
	3	0.085	0.125	0.182	0.204	0.029	0.046	0.071	0.055
C2-12	1	0.138	0.197	0.189		0.066	0.127	0.100	0.107
	2	0.142	0.190	0.175		0.125	0.113	0.099	0.108
	3	0.137	0.172	0.182		0.152	0.105	0.092	0.114
C2-13	1	0.129	0.153	0.115	0.089	0.041	0.111	0.149	0.155
	2	0.136	0.136	0.112	0.093	0.046	0.112	0.147	0.142
	3	0.146	0.129	0.114	0.088	0.068	0.097	0.139	0.135
C2-14	1	0.168	0.165	0.202	0.283	0.130	0.100	0.113	0.109
	2	0.270	0.164	0.199	0.267	0.135	0.099	0.116	0.119
	3	0.137	0.165	0.212	0.262	0.128	0.121	0.111	0.133
C2-15	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบกับหตุที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบกับหตุที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด			
	2	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบกับหตุที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบกับหตุที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด			
	3	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบกับหตุที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบกับหตุที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด			
C2-16	1	0.839	0.081	0.521		0.036	0.028	0.034	0.035
	2	0.062	0.019	0.497		0.025	0.032	0.038	0.032
	3	0.033	0.031	0.117		0.020	0.034	0.037	0.033
C2-17	1	0.051	0.053	0.074	0.127	0.031	0.034	0.100	0.080
	2	0.064	0.048	0.069	0.128	0.028	0.036	0.139	0.051
	3	0.046	0.045	0.087	0.124	0.025	0.021	0.130	0.042
C2-18	1	0.054	0.055	0.074	0.154	0.061	0.075	0.029	0.159
	2	0.053	0.059	0.064	0.148	0.062	0.069	0.143	0.111
	3	0.052	0.069	0.059	0.135	0.079	0.075	0.141	0.100

ตารางที่ 18 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 2 ใกล้เคียงกับกำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น (ต่อ)

ชื่อหมุดรังวัด	ครั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C2-19	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2								
	3								
C2-20	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบไม่สามารถนำมาคำนวณได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบไม่สามารถนำมาคำนวณได้			
	2								
	3								

ตารางที่ 19 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 3 สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น

ชื่อหมุดรังวัด	ครั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C3-1	1	0.140				0.153			
	2	0.148				0.159			
	3	0.146				0.160			
C3-2	1	0.184	0.176	0.142		0.117	0.139	0.119	
	2	0.194	0.174	0.145		0.114	0.129	0.126	
	3	0.182	0.201	0.151		0.110	0.124	0.126	
C3-3	1	0.093	0.161	0.122	0.182	0.041	0.033	0.049	0.062
	2	0.117	0.145	0.123	0.186	0.037	0.034	0.039	0.051
	3	0.126	0.132	0.117	0.187	0.043	0.033	0.035	0.037
C3-4	1	0.111	0.194	0.236	0.252	0.013	0.063	0.049	0.044
	2	0.126	0.195	0.221	0.272	0.018	0.060	0.061	0.045
	3	0.156	0.201	0.207	0.272	0.038	0.062	0.048	0.036
C3-5	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2								
	3								
C3-6	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2								
	3								
C3-7	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2								
	3								

ตารางที่ 19 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 3 สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น (ต่อ)

ชื่อหมุดรังวัด	ครั้งที่	RMSE ทางราบ (เมตร)							
		MEMS (i80)				MEMS (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C3-8	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2								
	3								
C3-9	1	0.200	0.288	0.389	0.407	0.044	0.048	0.054	0.072
	2	0.213	0.346	0.409	0.419	0.023	0.055	0.070	0.093
	3	0.235	0.824	0.419	0.410	0.012	0.067	0.073	0.103
C3-10	1	0.131	0.470	0.019	0.099	0.023	0.074	0.052	0.065
	2	1.137	0.252	0.023	0.107	0.043	0.087	0.027	0.082
	3	0.147	0.167	0.017	0.076	0.035	0.103	0.031	0.086
C3-11	1	0.129				0.093			
	2	0.120				0.094			
	3	0.125				0.099			
C3-12	1	0.061				0.108			
	2	0.060				0.101			
	3	0.066				0.100			
C3-13	1	0.105	0.099	0.133	0.232	0.018	0.011	0.017	0.025
	2	0.090	0.072	0.134	0.176	0.018	0.011	0.018	0.017
	3	0.052	0.088	0.116	0.176	0.022	0.015	0.025	0.012
C3-14	1	0.262	0.169	0.299	0.110	0.384	0.464	0.424	0.453
	2	0.255	0.166	0.343	0.124	0.387	0.424	0.427	0.430
	3	0.253	0.153	0.469	0.142	0.395	0.417	0.381	0.394
C3-15	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้			
	2								
	3								
C3-16	1	0.075	0.186	0.118	0.083	0.057	0.088	0.115	0.159
	2	0.073	0.185	0.134	0.086	0.056	0.092	0.114	0.160
	3	0.079	0.183	0.123	0.084	0.060	0.094	0.128	0.066
C3-17	1	0.202	0.166	0.210	0.378	0.095	0.015	0.029	0.037
	2	0.208	0.167	0.193	0.390	0.060	0.005	0.013	0.038
	3	0.209	0.192	0.198	0.390	0.065	0.006	0.021	0.065
C3-18	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบไม่สามารถนำมาคำนวณได้				ไม่มีข้อมูลเนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบไม่สามารถนำมาคำนวณได้			

ตารางที่ 19 ค่า RMSE ทางราบจากการรับสัญญาณโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) กรณีที่ 3 สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น (ต่อ)

ชื่อหุ้ดร้งวัด	คร้งที่	RMSE ทางรบก (เมตร)							
		MEMS (i80)				IMU (i90)			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C3-19	1	0.101	0.065	0.133	0.147	0.066	0.022	0.526	0.201
	2	0.730	0.076	0.121	0.158	0.059	0.022	0.554	0.245
	3	0.210	0.075	0.120	0.166	0.023	0.027	0.615	0.252
C3-20	1	0.068	0.117	0.062	float	0.050	0.045	0.022	0.146
	2	0.069	0.116	0.044	float	0.040	0.049	0.044	0.107
	3	0.061	0.118	0.011	float	0.034	0.053	0.045	0.106

เมื่อนำค่า RMSE ในทางรบกจากกรณีทดสอบโดยตรงบนหุ้ดหลักเขตที่ดินโดยรับสัญญาณด้วยการเอียง 15°, 25°, 35° และ 45° ดังในตารางที่ 17, 18 และ 19 สามารถสรุปเป็นร้อยละของข้อมูลที่มีค่าความถูกต้องในทางรบกน้อยกว่า 4 เซนติเมตรตามที่กรมที่ดินยอมรับเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมด แสดงได้ดังตารางที่ 20 โดยการคำนวณร้อยละดังกล่าวจะไม่นำข้อมูลในช่องสี่เหลี่ยมมาคำนวณด้วยเนื่องจากมีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามหลักเกณฑ์การรับสัญญาณดาวเทียมของกรมที่ดิน ทั้งนี้การรับสัญญาณในสนามข้อมูลค่าพิกัดที่น่าเชื่อถือนอกจากจะดูจากค่า PDOP ที่ต้องไม่เกิน 5 และต้อง Fixed Ambiguity แล้วต้องมีค่า Horizontal error น้อยกว่า 3 เซนติเมตร

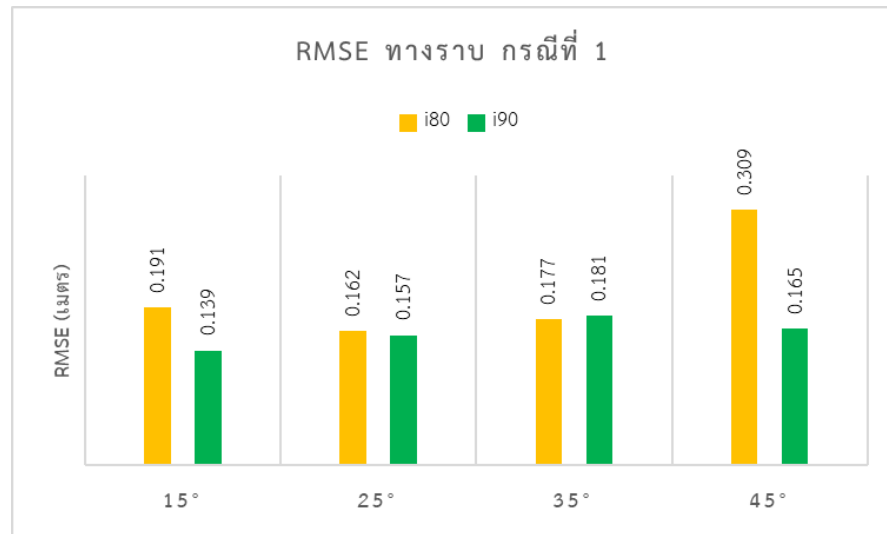
ตารางที่ 20 สรุปร้อยละความถูกต้องทางรบกตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบบนหุ้ดหลักเขตที่ดิน ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทั้งหมด 3 กรณี

กรณีที่	มุม	ความถูกต้องทางรบกไม่เกิน 4 ซม.(%)	
		i80	i90
1	15°	17	21
	25°	2	15
	35°	7	9
	45°	0	27
2	15°	7	22
	25°	5	23
	35°	0	15
	45°	0	17
3	15°	0	35
	25°	0	40
	35°	12	36
	45°	0	29

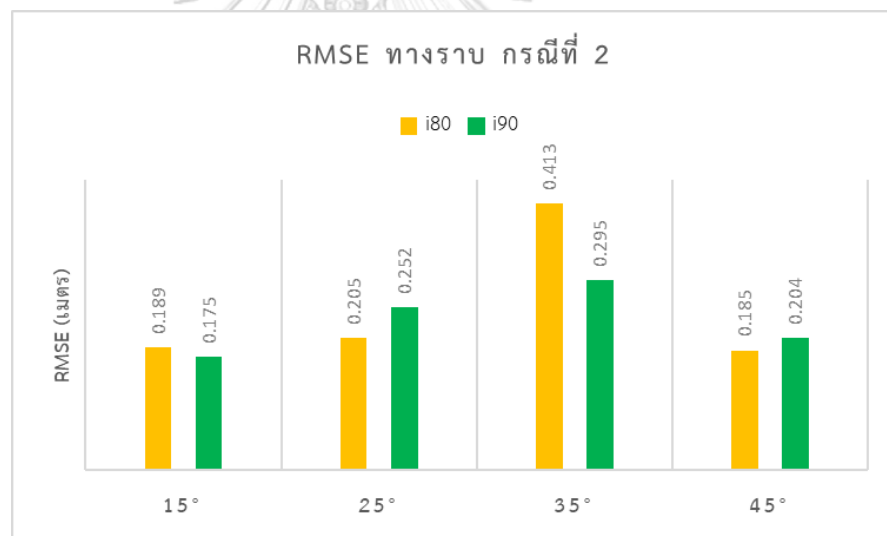
จากหลักเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามเมื่อตัดข้อมูลที่มีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร และแสดงผลข้อมูลเป็น Float แล้ว นำข้อมูลที่เหลือมาคำนวณค่า RMSE ทางราบจากข้อมูลค่าพิคัดของหมุดทดสอบที่เหลือทั้งหมด และเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ เมื่อรับสัญญาณโดยการเพิ่มมุมเอียง เริ่มจากมุม 15° และเพิ่มขนาดของมุมเอียงทุก ๆ สิบองศาเป็น 25°, 35° ไปจนถึง 45° แสดงผลได้ดังตารางที่ 21 และสามารถนำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบได้ดังรูปที่ 54, 55 และ 56 พบว่า เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU และ MEMS มีค่าความถูกต้องในทางราบเกิน 4 เซนติเมตร ทั้งสามกรณี ซึ่งในกรณีที่ 1 กรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU และ MEMS มีค่า RMSE ในทางราบใกล้เคียงกัน โดยอยู่ระหว่าง 0.139 ถึง 0.191 ยกเว้นเครื่องที่มีเซนเซอร์ MEMS มุม 45° มีค่า RMSE มากที่สุดถึง 0.309 ในกรณีที่ 2 กรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่นเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU และ MEMS มีค่า RMSE ในทางราบใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 0.185 ถึง 0.252 ในมุม 15° 25° และ 45° ส่วนมุม 35° มีค่า RMSE มากที่สุดโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU และ MEMS มีค่า RMSE เท่ากับ 0.295 และ 0.413 ตามลำดับ และสุดท้ายกรณีที่ 3 กรณีหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างหนาแน่น เครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่า RMSE น้อยกว่า MEMS เมื่อเอียงด้วยมุม 15° 25° และ 45° ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.079, 0.071, 0.074 และ 0.120 ตามลำดับ โดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS มีค่า RMSE มากที่สุดระหว่าง 0.194 ถึง 0.264 ในการทดสอบกรณีที่ 3

ตารางที่ 21 ค่า RMSE หน่วย เมตร ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน โดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทั้งหมด 3 กรณี

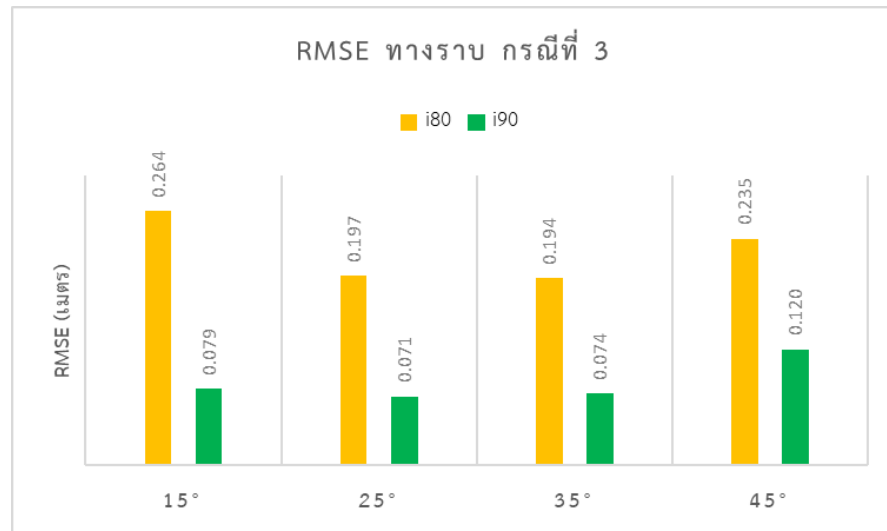
มุมรังวัด	กรณีที่ 1		กรณีที่ 2		กรณีที่ 3	
	i80	i90	i80	i90	i80	i90
15°	0.191	0.139	0.189	0.175	0.264	0.079
25°	0.162	0.157	0.205	0.252	0.197	0.071
35°	0.177	0.181	0.413	0.295	0.194	0.074
45°	0.309	0.165	0.185	0.204	0.235	0.120



รูปที่ 54 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน กรณีที่ 1



รูปที่ 55 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน กรณีที่ 2



รูปที่ 56 กราฟเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบ มุม 0°, 15°, 25°, 35° และ 45° ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) ทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน กรณีที่ 3

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน 3 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ การทดสอบหมุดบนดาดฟ้า การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน และการทดสอบหมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดินซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณีย่อย ได้แก่ หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น หมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างหนาแน่น ทั้งหมดนี้อยู่ในเขตพื้นที่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงการอภิปรายผล สรุปผลการวิจัย ข้อจำกัด ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำผลการวิจัยหรือเทคนิควิธีการจากงานวิจัยไปปรับใช้ในด้าน การสำรวจรังวัดกับงานอื่น ๆ ต่อไป

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ด้วยการเอียงเสาเครื่องรับสัญญาณ 15°, 25°, 35° และ 45° ภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005 ทั้งหมดสามพื้นที่ซึ่งมีสภาพแวดล้อมโดยรอบการทดสอบที่แตกต่างกัน ที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 โดยพิจารณาความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งจากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) เปรียบเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบของกรมที่ดินที่ต้องมีค่าน้อยกว่า 4 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งต้องมีค่าน้อยกว่า 10 เซนติเมตร มีประเด็นที่สามารถนำมาอภิปรายได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 อภิปรายผลความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบ (Horizontal positioning)

ในการพิจารณาค่าความถูกต้องการกำหนดตำแหน่งทางราบจะพิจารณาผลจากการทดสอบทั้งหมดสามพื้นที่ ดังต่อไปนี้

1) การทดสอบบนหมุดบริเวณดาดฟ้าอาคาร ซึ่งเป็นพื้นที่ ๆ สภาพแวดล้อมโดยรอบมีการรบกวนของสัญญาณขณะรังวัดน้อยที่สุดจากทั้งหมดสามพื้นที่ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนย่อย ได้แก่

ส่วนที่หนึ่งการทดสอบกับหมุดที่อยู่ในที่โล่ง ในส่วนนี้จะรับสัญญาณโดยการเอียงเสา ทั้งหมดสี่ทิศทาง ได้แก่ ทิศเหนือ ทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก ซึ่งการเอียงเสาไปยัง ทิศทางดังกล่าวนี้จะอิงทิศทางจากเข็มทิศ โดยผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่า คลาดเคลื่อนทางราบของกรมที่ดินแล้ว เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS มีเพียงการ เอียงเสาเครื่องรับสัญญาณด้วยมุม 15° ไปทางทิศตะวันออกเท่านั้นที่มีค่าความถูกต้องทางราบ น้อยกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งมีค่า RMSE ทางราบเท่ากับ 0.037 เมตร ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่ มีเซนเซอร์ IMU นั้น การเอียงเสาเครื่องรับสัญญาณด้วยมุม 15° ไปทางทิศตะวันออก และ ทิศตะวันตก จะให้ค่าความถูกต้องทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งมีค่า RMSE ทางราบ เท่ากับ 0.038 และ 0.026 เมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 22 ซึ่งช่องสี่เหลี่ยมในตารางคือช่องที่มี ค่า RMSE น้อยกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งผลการทดสอบพื้นที่โล่งเมื่อเอียงด้วยมุมและทิศทาง เดียวกัน แต่ค่าความถูกต้องในทางราบที่ได้มีค่าแตกต่างกันอาจเป็นผลมาจากการรับสัญญาณ ในช่วงวัน และเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อจำนวนดาวเทียม และการวางตัวของดาวเทียม ขณะทดสอบรับสัญญาณ โดยเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับ สัญญาณดาวเทียม

ตารางที่ 22 สรุปค่า RMSE ของค่า Horizontal (ทางราบ) กรณีทดสอบที่โล่ง รับสัญญาณ โดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

มุม	Horizontal : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i80)				Horizontal : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i90)			
	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก
0°	0.029				0.013			
15°	0.061	0.037	0.059	0.105	0.040	0.038	0.072	0.026
25°	0.095	0.060	0.084	0.164	0.067	0.101	0.148	0.049
35°	0.123	0.091	0.110	0.214	0.103	0.116	0.233	0.088
45°	0.148	0.124	0.134	0.249	0.098	0.096	0.282	0.081

ส่วนที่สองคือการทดสอบกับหมุดที่อยู่ห่างจากผนังสองเมตร ในส่วนนี้จะรับสัญญาณ โดยการเอียงเสาทั้งหมดสี่ทิศทางเช่นเดียวกับการรับสัญญาณในที่โล่ง แต่จะเป็นการเอียงเสา เครื่องรับสัญญาณหันเข้าผนัง หันออกจากผนัง และหันขนานกับผนังทางซ้ายและขวา เนื่องจาก ส่วนนี้เป็นการทดสอบใกล้กับผนังคอนกรีตซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดคลื่นหลายวิถี (multipath) (T. L. Dammalage et al., 2013) โดยการทดสอบจะวางหมุดห่างจากผนังสองเมตรซึ่งเป็นระยะที่ multipath จะมีผลต่อการกำหนดตำแหน่งในทางราบมากที่สุด (Cetin Mekik & Ozer Can, 2010) โดยผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบของกรมที่ดิน เครื่องรับ สัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS ให้ค่าความถูกต้องในทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตรทั้งหมด

ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU นั้น การเอียงเสารับสัญญาณด้วยมุม 15° ในทิศทางหันออกจากผนัง และขนานกับผนัง และการเอียงเสารับสัญญาณด้วยมุม 45° ในทิศทางหันออกจากผนัง จะให้ค่าความถูกต้องทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งมีค่า RMSE ทางราบเท่ากับ 0.035, 0.028 และ 0.033 เมตร ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 23 ซึ่งช่องสีเขียวในตารางคือช่องที่มีค่า RMSE น้อยกว่า 4 เซนติเมตร

ตารางที่ 23 สรุปค่า RMSE ของค่า Horizontal (ทางราบ) กรณีทดสอบห่างจากผนังสองเมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

มุม	Horizontal : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i80)				Horizontal : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i90)			
	หันเข้า	หันออก	ขนาน1	ขนาน2	หันเข้า	หันออก	ขนาน1	ขนาน2
0°	0.021				0.020			
15°	0.118	0.119	0.068	0.143	0.069	0.035	0.053	0.028
25°	0.211	0.195	0.109	0.230	0.090	0.058	0.094	0.048
35°	0.293	0.265	0.160	0.318	0.057	0.043	0.043	0.047
45°	0.387	0.329	0.200	0.395	0.211	0.033	0.049	0.043

ผลค่า RMSE ทางราบจากตารางที่ 22 และ 23 แสดงให้เห็นว่า เมื่อทดสอบเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ด้วยการเอียงเสาและหันทิศทางเอียงเสาทดสอบในลักษณะเดียวกัน บริเวณเดียวกัน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU มีประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบสูงกว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS เมื่อเปรียบเทียบค่า RMSE ทางราบจากการทดสอบกับค่าความถูกต้องทางราบตามเกณฑ์ของกรมที่ดิน โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบไม่เกิน 4 เซนติเมตร เมื่อรั้ววัดเอียงเสาด้วยมุม 15° ทั้งการทดสอบในที่โล่งและการทดสอบห่างจากผนังสองเมตร แต่เมื่อพิจารณาจากร้อยละของข้อมูลที่มีค่าความถูกต้องในทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร ตามที่กรมที่ดินยอมรับเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่รั้ววัดจากตารางที่ 24 การเอียงเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ด้วยมุม 15° ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวสูงสุดเพียง 92% ซึ่งไม่เป็นไปตามความคาดหวังที่ 95%

ตารางที่ 24 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบตามที่กรมที่ดินยอมรับ กรณีทดสอบในที่โล่งบนดาดฟ้าและทดสอบห่างจากผนังสองเมตร ระหว่างเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

Horizontal < 4 เซนติเมตร									
มุมรังวัด	ชนิดเครื่องรับ	ทดสอบในที่โล่ง				ทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร			
		ทิศเหนือ (%)	ทิศ ตะวันออก (%)	ทิศใต้ (%)	ทิศ ตะวันตก (%)	หันเข้า ผนัง (%)	หันออก ผนัง (%)	ขนาน ผนัง1 (%)	ขนาน ผนัง2 (%)
15°	i80	17	63	32	0	12	30	50	25
	i90	72	75	88	92	72	90	85	85
25°	i80	7	32	17	0	7	25	50	22
	i90	60	63	63	68	59	75	68	73
35°	i80	10	5	13	0	2	25	35	21
	i90	60	65	58	52	50	73	80	73
45°	i80	10	5	8	7	0	25	27	21
	i90	58	53	55	52	27	84	80	57

2) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน เป็นการทดสอบกับหมุดที่บริเวณโดยรอบการทดสอบมีสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการรบกวนของสัญญาณสูง เช่น ใกล้กับอาคารที่เป็นโครงสร้างเหล็กหรือคอนกรีต การรบกวนสัญญาณจากรถยนต์ที่สัญจรไปมาตลอดเวลา เป็นต้น ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ทิศทางการเอียงเสาขณะรับสัญญาณไม่ได้มีการกำหนดทิศทางการเอียงของเสาโดยเฉพาะเจาะจง แต่จะเป็นการเลือกทิศทางการเอียงเสาตามความเหมาะสมสำหรับแต่ละจุดทดสอบโดยจะพิจารณาการเอียงของเสารับสัญญาณไปยังทิศทางที่ทำให้เกิด multipath และมีการสัญจรไปมาของรถยนต์น้อยที่สุด เนื่องจากจุดทดสอบส่วนใหญ่จะอยู่ริมถนน จึงทำให้มีข้อจำกัดและอุปสรรคในการเอียงเสารับสัญญาณ โดยผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบของกรมที่ดิน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตรทั้งสองเครื่อง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS มีค่าความถูกต้องทางราบมากกว่า 25 เซนติเมตร โดยการเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ให้ค่าความถูกต้องประมาณ 29, 25, 29, และ 42 เซนติเมตร ตามลำดับ ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องสูงกว่า MEMS โดยให้ค่าความถูกต้องประมาณ 5, 9, 12, และ 14 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 25 สรุปค่า RMSE ทางราบ จากการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

Angle	RMSE ทางราบ (เมตร)	
	MEMS (i80)	IMU (i90)
15°	0.297	0.056
25°	0.257	0.096
35°	0.290	0.121
45°	0.424	0.145

ผลค่า RMSE ทางราบจากตารางที่ 25 แสดงให้เห็นว่า ในการทดสอบเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ทั้งสองแบบ ด้วยการเอียงเสาขณะรับสัญญาณด้วยมุมต่าง ๆ และทดสอบในสภาพแวดล้อมที่มีความใกล้เคียงกัน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมีค่าความถูกต้องสูงกว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS แต่ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กรมที่ดินกำหนด เนื่องจากมีค่าความถูกต้องในทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตร ถึงแม้ว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของกรมที่ดิน แต่ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีปัจจัยโดยรอบทำให้เกิด multipath และเกิดการรบกวนของสัญญาณขณะรับสัญญาณของเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU มีร้อยละค่าความถูกต้องในทางราบที่น้อยกว่า 4 เซนติเมตรมากกว่าเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS เมื่อพิจารณาจากร้อยละของข้อมูลที่มีค่าความถูกต้องในทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร ตามที่กรมที่ดินยอมรับ เทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่รับได้โดยไม่นำข้อมูลที่มีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร จากเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินมาคำนวณ โดยแสดงข้อมูลดังในตารางที่ 26

ตารางที่ 26 สรุปร้อยละความถูกต้องทางราบตามที่กรมที่ดินยอมรับ จากการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

มุมรับวัด	Horizontal < 4 เซนติเมตร (%)	
	MEMS (i80)	IMU (i90)
15°	18	39
25°	5	14
35°	11	32
45°	5	26

3) การทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดิน เป็นการทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดินที่อยู่ในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง ซึ่งหมุดหลักเขตที่ดินจะอยู่ชิดกับกำแพง รั้ว และบริเวณที่ทำให้เกิด multipath สูง ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้ทิศทางการเอียงเสาขณะรับสัญญาณไม่ได้มีการกำหนดทิศทางการเอียงของเสาโดยเฉพาะเจาะจง แต่จะเป็นการเลือกทิศทางการเอียงเสาตามความเหมาะสมสำหรับแต่ละจุดทดสอบไป โดยจะพิจารณาการเอียงเสารับสัญญาณไปยังทิศทางที่ทำให้เกิด multipath น้อยที่สุดเช่นเดียวกับการทดสอบกับหมุดดาวเทียม RTK โดยการทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดินนี้จะแบ่งการทดสอบตามสภาพแวดล้อมที่พบเจอได้ทั่วไปในงานรังวัด แบ่งออกเป็น 3 กรณี ดังนี้

กรณีที่หนึ่งหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง จากผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบของกรมที่ดิน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU จะให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตรทั้งสองเครื่อง โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในทางราบประมาณ 19, 16, 17 และ 30 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ตามลำดับ ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในทางราบประมาณ 13, 15, 18 และ 16 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ตามลำดับ โดยแสดงข้อมูลดังในตารางที่ 21

กรณีที่สองหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น จากผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบของกรมที่ดิน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU จะให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตรทั้งสองเครื่อง โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในทางราบประมาณ 18, 20, 41 และ 18 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ตามลำดับ ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในทางราบประมาณ 17, 25, 29 และ 20 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25°, 35° และ 45° ตามลำดับ โดยแสดงข้อมูลดังในตารางที่ 21 และเมื่อเปรียบเทียบผลการกำหนดตำแหน่งในทางราบจากการทดสอบด้วยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ทั้งสองแบบระหว่างกรณีที่สองกับกรณีที่หนึ่งแล้ว การทดสอบในกรณีที่สองหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น จะให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องสูงกว่ากรณีที่หนึ่งหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง

กรณีที่สามารถหาค่าหลักเขตที่ดินที่สภาพแวดล้อมมีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น
 จากผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางราบของกรมที่ดิน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU จะให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตรทั้งสองเครื่อง โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในทางราบประมาณ 26 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, มีค่าประมาณ 19 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 25° และ 35°, มีค่าประมาณ 23 เซนติเมตรเมื่อเอียงด้วยมุม 45° ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่าความถูกต้องทางตำแหน่งในทางราบประมาณ 7 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, 25° และ 35° มีค่าประมาณ 12 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 45° โดยแสดงข้อมูลดังในตารางที่ 21 และเมื่อเปรียบเทียบผลค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งในทางราบในกรณีนี้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และมีความถูกต้องสูงที่สุดจากทั้งหมดสามกรณี

โดยผลสรุปการทดสอบบนหตุหลักเขตที่ดินทั้งหมดสามกรณีข้างต้น เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS แต่ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบนั้นไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กรมที่ดินกำหนดเนื่องจากมีค่าความถูกต้องในทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตร และถึงแม้ว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของกรมที่ดิน แต่ประสิทธิภาพในการรับสัญญาณขณะรังวัดของเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU มีร้อยละค่าความถูกต้องในทางราบที่น้อยกว่า 4 เซนติเมตรมากกว่าเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS เมื่อพิจารณาจากร้อยละของข้อมูลที่มีค่าความถูกต้องในทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร ตามที่กรมที่ดินยอมรับเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่รังวัดโดยไม่นำข้อมูลที่มีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร, ค่า PDOP มากกว่า 5 และ ผลการรังวัดเป็น Float จากเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินมาคำนวณ โดยแสดงข้อมูลดังในตารางที่ 20

และสุดท้ายจากผลการทดสอบการกำหนดตำแหน่งทางราบทั้งสามพื้นที่ ๆ มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันข้างต้นพบว่า แม้ว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS แต่เมื่อพิจารณาจากค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบตามเกณฑ์ของกรมที่ดินแล้ว การใช้งานเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ในการทดสอบกับหตุหลักเขตที่ดินที่อยู่ในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงนั้น มีค่าความถูกต้องในการ

กำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตรทั้งสามกรณี และเมื่อพิจารณาจากร้อยละของข้อมูลที่มีค่าความถูกต้องในทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตรตามที่กรมที่ดินยอมรับเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมด เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ผ่านเกณฑ์ดังกล่าวมากที่สุดเพียง 40% และเมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบในที่โล่งโดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จากการทดสอบ ในบางค่าความถูกต้องทางตำแหน่งทางราบยังมีค่ามากกว่า 4 เซนติเมตร ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากหลายปัจจัยเนื่องจากการทดสอบจะทดสอบในช่วงวันและเวลาที่แตกต่างกันส่งผลต่อการวางตัวของดาวเทียมและจำนวนดาวเทียมขณะทดสอบรับสัญญาณ นอกจากนี้ยังรวมถึงสภาพอากาศในแต่ละช่วงวันเวลาที่แตกต่างกัน

5.1.2 อภิปรายผลความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางตั้ง (Vertical positioning)

เนื่องจากการทดสอบรับสัญญาณหนึ่งจุดจะได้ค่าพิกัดทั้งทางราบและทางตั้งพร้อมกัน ดังนั้นการทดสอบการกำหนดตำแหน่งทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU จึงดำเนินการทดสอบในพื้นที่ ๆ มีสภาพแวดล้อมและมีวิธีการทดสอบเก็บข้อมูลแบบเดียวกันทั้งหมด ดังนี้

1) การทดสอบบนหมุดบริเวณตลาดท่าอาคร มีผลการทดสอบแบ่งเป็น 2 ส่วนย่อย ได้แก่

ส่วนที่หนึ่งการทดสอบกับหมุดที่อยู่ในที่โล่ง ผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางตั้งที่กรมที่ดินยอมรับ เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU มีค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางตั้งน้อยกว่า 10 เซนติเมตร โดยมีค่าใกล้เคียงกันระหว่าง 1 – 3 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุมขนาดต่าง ๆ สี่ทิศทาง ดังแสดงในตารางที่ 26

ตารางที่ 27 สรุปค่า RMSE ของค่า Vertical (ทางตั้ง) กรณีทดสอบในที่โล่ง รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

มุม	Vertical : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i80)				Vertical : พื้นที่โล่ง (เมตร) (i90)			
	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก	เหนือ	ตะวันออก	ใต้	ตะวันตก
0°	0.018				0.016			
15°	0.016	0.015	0.017	0.021	0.026	0.018	0.016	0.016
25°	0.016	0.010	0.012	0.017	0.021	0.020	0.018	0.020
35°	0.010	0.014	0.010	0.013	0.022	0.033	0.021	0.023
45°	0.012	0.019	0.016	0.016	0.031	0.031	0.025	0.028

ส่วนที่สองคือการทดสอบกับหมุดที่อยู่ห่างจากผนังสองเมตร ผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งที่กรมที่ดินยอมรับ เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS มีความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางดิ่งน้อยกว่า 10 เซนติเมตร โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 4 – 6 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุมขนาดต่าง ๆ สี่ทิศทาง ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU มีความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางดิ่งน้อยกว่า 10 เซนติเมตร โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 2 – 7 เซนติเมตร ซึ่งในที่นี้ไม่รวมผลการกำหนดตำแหน่งทางดิ่งเมื่อเอียงด้วยมุม 45° หันเข้าผนัง เนื่องจากค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่ได้มีค่าโดดสูงกว่าค่าอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 27

ตารางที่ 28 สรุปค่า RMSE ของค่า Vertical (ทางดิ่ง) กรณีทดสอบห่างจากผนังสองเมตร รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

มุม	Vertical : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i80)				Vertical : ห่างจากผนัง 2 เมตร (เมตร) (i90)			
	หันเข้า	หันเข้า	หันเข้า	หันเข้า	หันเข้า	หันออก	ขนาน1	ขนาน2
0°	0.024				0.033			
15°	0.051	0.051	0.051	0.051	0.042	0.032	0.025	0.020
25°	0.044	0.044	0.044	0.044	0.048	0.029	0.025	0.033
35°	0.052	0.052	0.052	0.052	0.071	0.024	0.029	0.037
45°	0.055	0.055	0.055	0.055	0.387	0.027	0.035	0.041

2) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน ผลการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์ค่าคลาดเคลื่อนทางดิ่งของกรมที่ดิน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางดิ่งมากกว่า 10 เซนติเมตรทั้งสองเครื่อง ในเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS มีความถูกต้องทางดิ่งมากกว่า 23 เซนติเมตร โดยให้ค่าความถูกต้องประมาณ 25 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15°, มีค่าประมาณ 24 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 25° และ 35° และมีค่าประมาณ 23 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 45° ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางดิ่งใกล้เคียงกันกับ MEMS โดยให้ค่าความถูกต้องประมาณ 23 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 15° และ 25°, มีค่าประมาณ 20 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 35° และมีค่าประมาณ 25 เซนติเมตร เมื่อเอียงด้วยมุม 45° ดังแสดงในตารางที่ 28 และเมื่อพิจารณาจากร้อยละของข้อมูลที่มีค่าความถูกต้องในทางดิ่งน้อยกว่า 10 เซนติเมตร ตามที่กรมที่ดินยอมรับ เทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่รังวัดโดยไม่นำข้อมูลที่มีค่า Horizontal error มากกว่า 3 เซนติเมตร, ค่า PDOP มากกว่า 5 และ ผลการรังวัดเป็น Float จากเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดินมาคำนวณ โดยแสดงข้อมูลดังในตารางที่ 29 พบว่าเปอร์เซ็นต์ที่ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางดิ่งของเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าระหว่าง 47% ถึง 56%

ตารางที่ 29 สรุปค่า RMSE ของค่า Vertical (ทางตั้ง) กรณีทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน รับสัญญาณโดยเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

Angle	RMSE Vertical (เมตร)	
	MEMS (i80)	IMU (i90)
15°	0.253	0.233
25°	0.244	0.236
35°	0.242	0.201
45°	0.231	0.254

ตารางที่ 30 สรุปร้อยละความถูกต้องทางตั้งตามที่กรมที่ดินยอมรับ จากการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

มุมรับวัด	Vertical < 10 เซนติเมตร (%)	
	MEMS (i80)	IMU (i90)
15°	49	53
25°	54	53
35°	56	47
45°	54	47

จากผลการทดสอบการกำหนดตำแหน่งทางตั้งในสองพื้นที่ข้างต้นพบว่า เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU มีค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งในทางตั้งใกล้เคียงกันไม่ว่าจะทดสอบในที่โล่ง หรือทดสอบในบริเวณที่มี multipath หรือมีการรบกวนของสัญญาณสูง โดยจะทำให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางตั้งมีความถูกต้องสูงที่สุดเมื่อรับสัญญาณในบริเวณที่โล่ง ให้ค่าความถูกต้องทางตั้งประมาณ 1 – 3 เซนติเมตร ถัดมาเป็นการรับสัญญาณบนหมุดที่ห่างจากผนังสองเมตร ให้ค่าความถูกต้องทางตั้งประมาณ 2 – 7 เซนติเมตร ซึ่งการทดสอบทั้งสองให้ค่าความถูกต้องทางตั้งต้องน้อยกว่า 10 เซนติเมตรเป็นไปตามที่กรมที่ดินยอมรับ ส่วนการทดสอบในบริเวณที่มี multipath และการรบกวนของสัญญาณสูงอย่างการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน จะให้ค่าความถูกต้องทางตั้งประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ที่กรมที่ดินยอมรับ แต่ผลการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK นี้ใกล้เคียงกับผลการวิจัยของ เจนพิธีกร สุนทรรัตน์ (2560) ซึ่งรังวัดโดยวิธีการโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในพื้นที่ ด้วยเทคนิค VRS กรณีทดสอบโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินที่มีอุปสรรคจากสิ่งปลูกสร้างโดยรอบหมุดหลักเขตที่ดิน

5.2 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที ในสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน 3 พื้นที่ ได้แก่ 1) ทดสอบกับหมุดที่อยู่ในสภาพแวดล้อมควบคุม (ตาดฟ้าอาคาร) แบ่งการทดสอบย่อยเป็น 2 กรณี คือ ทดสอบในที่โล่งและทดสอบห่างจากผนังสองเมตร 2) ทดสอบกับหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน และสุดท้ายทดสอบกับหมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดิน แบ่งการทดสอบย่อยเป็น 3 กรณี คือ หมุดอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง หมุดอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น และหมุดที่มีสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างหนาแน่น ซึ่งการทดสอบทั้งหมดจะทดสอบโดยการเอียงเสาด้วยมุม 15° , 25° , 35° และ 45° ภายใต้กรอบพิกัดอ้างอิง ITRF2005 โดยพิจารณาค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางราบและทางตั้งจากค่ารากที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) พบว่า

ผลการกำหนดตำแหน่งทางราบเมื่อทดสอบในพื้นที่ตาดฟ้าอาคาร โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS ให้ความถูกต้องทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร เมื่อทดสอบในที่โล่งและเอียงด้วยมุม 15° ไปทางทิศตะวันออก ซึ่งมีค่าความถูกต้องประมาณ 3 เซนติเมตร ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU ให้ความถูกต้องทางราบน้อยกว่า 4 เซนติเมตร เมื่อทดสอบในที่โล่งและเอียงด้วยมุม 15° ไปทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตก รวมไปถึงการทดสอบห่างจากผนังสองเมตร เอียงด้วยมุม 15° ทิศทางหันออกจากผนังและขนานกับผนัง มีค่าความถูกต้องประมาณ 2 – 3 เซนติเมตร และเมื่อนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมทั้งสองชนิดทดสอบโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดินซึ่งอยู่ในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงทั้งหมดสามกรณี และการกำหนดทิศทางการเอียงของเสาขณะรับสัญญาณจะพิจารณาจากวิจารณ์ของผู้นวิจัย โดยหลีกเลี่ยงทิศทางที่มีการรบกวนของสัญญาณสูง เนื่องจากในพื้นที่การทดสอบแต่ละพื้นที่นั้นมีอุปสรรคจากสภาพแวดล้อมโดยรอบแตกต่างกัน ซึ่งการทดสอบด้วยการเอียงเสาขณะรับสัญญาณในกรณีที่หนึ่ง, กรณีที่สอง และกรณีที่สามนั้น เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ให้ค่าความถูกต้องในทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตรทั้งสองชนิด โดยในกรณีที่หนึ่งเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS มีค่าความถูกต้องทางราบน้อยที่สุดประมาณ 16 เซนติเมตร และมีค่ามากที่สุดประมาณ 30 เซนติเมตร เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่าความถูกต้องทางราบน้อยที่สุดประมาณ 14 เซนติเมตร และมีค่ามากที่สุดประมาณ 18 เซนติเมตร ส่วนในกรณีที่สองเครื่องรับสัญญาณทั้งสองชนิดจะมีค่าความถูกต้องทางราบมากกว่ากรณีที่หนึ่ง โดยเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS มีค่าความถูกต้องทางราบน้อยที่สุดประมาณ 18 เซนติเมตร และมีค่ามากที่สุดประมาณ 41 เซนติเมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU มีค่าความถูกต้องทางราบน้อยที่สุดประมาณ 17

เซนติเมตร และมีค่ามากที่สุดประมาณ 29 เซนติเมตร และในกรณีที่สามเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS จะมีค่าความถูกต้องทางราบใกล้เคียงกับกรณีหนึ่ง โดยมีค่าความถูกต้องทางราบน้อยที่สุดประมาณ 19 เซนติเมตร และมีค่ามากที่สุดประมาณ 26 เซนติเมตร ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU จะให้ค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องสูงสุด โดยมีค่าความถูกต้องทางราบน้อยที่สุดประมาณ 7 เซนติเมตร และมีค่ามากที่สุดประมาณ 12 เซนติเมตร ซึ่งมีความใกล้เคียงกับการทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน และผลการกำหนดตำแหน่งในทางตั้งเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ให้ค่าความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งทางตั้งใกล้เคียงกัน เมื่อทดสอบบนดาดฟ้าอาคารในที่โล่งจะมีค่าความถูกต้องทางตั้งประมาณ 1 – 3 เซนติเมตร ส่วนการทดสอบห่างจากผนังค่าความถูกต้องทางตั้งประมาณ 2 – 7 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าความถูกต้องน้อยกว่า 10 เซนติเมตรตามเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และเมื่อนำเครื่องรับสัญญาณทั้งสองชนิดไปรับสัญญาณบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการรบกวนของสัญญาณสูงมีค่าความถูกต้องทางตั้งมากกว่าการรับสัญญาณบริเวณดาดฟ้าอาคาร โดยมีค่าความถูกต้องทางตั้งประมาณ 20 – 25 เซนติเมตร

ผลลัพธ์จากการทดสอบสรุปได้ว่า เครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ IMU แม้ว่าจะมีความถูกต้องในการกำหนดตำแหน่งสูงกว่าเครื่องรับสัญญาณที่มีเซนเซอร์ MEMS แต่ผลค่าความถูกต้องทางตำแหน่งโดยเฉพาะในทางราบ จากการทดสอบบริเวณดาดฟ้าอาคาร ส่วนใหญ่มีค่าการกำหนดตำแหน่งทางราบมากกว่า 4 เซนติเมตร ซึ่งไม่เป็นไปตามเกณฑ์ของกรมที่ดิน แม้ว่าจะเอียงเสาด้วยมุมน้อยที่สุดในการทดสอบ คือ 15° ยังมีความถูกต้องทางราบผ่านเกณฑ์ไม่ถึง 95% ตามที่คาดหวังซึ่งข้อมูลจากการทดสอบมีการคุมตัวแปรผลการรังวัดในสนามจากเกณฑ์ค่า Horizontal error น้อยกว่า 3 เซนติเมตร ตามเกณฑ์การรับสัญญาณในสนามของกรมที่ดิน ซึ่งตามคุณลักษณะของเครื่องรับสัญญาณเมื่อนำไปใช้งานรับสัญญาณด้วยการเอียงเสาจะต้องมีค่าความถูกต้องทางราบน้อยกว่า 3 เซนติเมตร แต่ผลการทดสอบการรังวัดด้วยการเอียงเสาในที่โล่งจากงานวิจัยมีค่ามากกว่าที่กำหนด และโดยเฉพาะการทดสอบบนหมุดหลักเขตที่ดินซึ่งเป็นพื้นที่งานรังวัดจริงเมื่อพิจารณาที่มุม 15° จะมีความถูกต้องทางราบผ่านเกณฑ์มากที่สุดเพียง 39% ซึ่งยอมรับไม่ได้ในทางปฏิบัติ ทั้งนี้จากการทดสอบการเอียงเสาในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงที่มีต้นไม้บังหนานั่น หรือหมุดอยู่ชดริมกำแพง หรืออยู่ใกล้กับอาคาร แม้ว่าจะเอียงด้วยมุมที่น้อยที่สุด 15° ค่าความคลาดเคลื่อนในทางราบยังมีค่ามากกว่า 4 เซนติเมตร คิดเป็น 78% เพราะฉะนั้นจึงยังไม่แนะนำให้รับสัญญาณด้วยการเอียงเสาเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่มีเซนเซอร์ IMU และ MEMS ในสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบัง หรือหมุดอยู่ชดริมกำแพง ควรจะรับสัญญาณในที่โล่งและทำการถ่ายค่าพิกัดไปยังหมุดที่อยู่ในพื้นที่ ๆ ต้องการรับสัญญาณ ทั้งนี้ผู้ใช้งานควรจะต้องมีความตระหนักในการนำเครื่องรับสัญญาณไปรังวัดด้วยการเอียงเสาในงานรังวัดจริงด้วย

5.3 ข้อจำกัด

5.3.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ที่ใช้ทดสอบในงานวิจัยมีเพียงยี่ห้อเดียว

5.3.2 การทดสอบในแต่ละกรณีนั้น ไม่ได้ทดสอบในช่วงวันและเวลาเดียวกัน ซึ่งแต่ละวันมีการเปลี่ยนแปลงในเรื่องของสภาพอากาศ และอุณหภูมิ รวมไปถึงจำนวนดาวเทียมที่เครื่องสามารถรับได้ ซึ่งส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละหมุด

5.3.3 สภาพแวดล้อมการรังวัดแต่ละกรณีในพื้นที่แปลงที่ดิน และบริเวณโดยรอบหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน มีสภาพแวดล้อมโดยรวมที่ไม่ได้เหมือนกัน 100% ในแต่ละกรณี ส่งผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละหมุด ทำให้ค่าที่ได้อาจจะไม่ชัดเจน

5.3.4 งานวิจัยนี้ทดสอบเฉพาะบริเวณพื้นที่อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เท่านั้น ซึ่งในพื้นที่อื่น ๆ อาจจะมีพบกรณีที่หมุดอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างจากกรณีศึกษาในงานวิจัย

5.4 ปัญหาที่พบ

5.4.1 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์แบบ MEMS (i80) ขณะรับสัญญาณด้วยการเอียงเสา โดยหน้าจออยู่ใน Compensate mode จะปรากฏเพียงฟองกลมอิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น แต่จะไม่ปรากฏค่ามุมขณะที่กำลังเอียง เหมือนกับเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) ผู้วิจัยต้องเปิดดูค่ามุมใน project และต้องเปิดดูค่ามุมหลังจากการรับสัญญาณทุกครั้งให้ตรงตามที่กำหนดในงานวิจัยทำให้เกิดความล่าช้าในสนาม

5.4.2 เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์แบบ IMU (i90) เป็นเครื่องรับที่ขณะใช้งานในโหมดการเอียง จะต้องมีการสั่นของหัวเครื่องรับเล็กน้อยถ้าหากมีการหยุดนิ่ง เครื่องรับจะฟ้องในหน้าจอให้ทำการปรับเทียบใหม่ ซึ่งการปรับเทียบเพียงโยกเสาไปมาสามสี่องศาจนสัญลักษณ์โหมดการเอียงเป็นสีเขียวก็เป็นอันใช้งานได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เมื่อรังวัดบนดาดฟ้าโดยการติดตั้งบน Tripod จะต้องมีการสั่นสะเทือนหัวของเครื่องรับเบา ๆ อย่างต่อเนื่อง

5.4.3 หมุดหลักเขตที่ดิน ไม่มีจุดกึ่งกลางจึงอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการตั้งเครื่องรับสัญญาณของผู้ปฏิบัติงานได้

5.4.4 หมุดดาวเทียม RTK เนื่องจากเป็นทองเหลืองค่อนข้างเรียบไม่มีจุดกึ่งกลางสำหรับยึดกับปลายเสา เมื่อรังวัดบนหมุดในบางครั้งทำให้เสาเลื่อนหลุดออกจากหมุดได้

5.4.5 หมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดินจริงบางหมุดนั้นอยู่ต่ำกว่าผิวดิน และแปลงที่ดินอยู่ในที่ลุ่ม ดินอุ้มน้ำเมื่อช่างชุดเพื่อหาหลักเขตที่ดินลึกลงไป ทำให้มีน้ำซึมเข้ามาในหลุมหลักเขตที่ดินส่งผล ให้เมื่อผู้วิจัยทำการรังวัดจึงมองไม่เห็นหัวหลักเขตที่ดิน และต้องให้ช่างผู้ชุดมาชี้ตำแหน่ง ทำให้ เกิดความล่าช้า และการรังวัดบนหมุดหลักเขตที่ดินไม่ได้อยู่กึ่งกลางหมุดตามที่ควรจะเป็น

5.4.6 หมุดหลักเขตที่ดินในแปลงที่ดินจริงบางหมุดที่อยู่ต่ำกว่าผิวดิน และลักษณะหลุมการขุด ปากหลุมไม่กว้าง เมื่อรังวัดด้วย pole ยาวสองเมตรแล้ว ในบางหมุดไม่สามารถทำการรังวัดโดย การเอียงมุมขนาดใหญ่อย่าง 35° และ 45° ได้

5.4.7 เนื่องจากการติดตามช่างรังวัดไปเก็บข้อมูลรับสัญญาณโดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน เป็น การรับสัญญาณในแปลงที่ดิน ที่ยังไม่ได้มีการรังวัดโดยวิธีแผนที่ชั้น 1 หลังจากเก็บข้อมูล เรียบร้อยแล้วจำเป็นต้องรอข้อมูลค่าพิกัดของหลักเขตที่ดินซึ่งรังวัดโดยวิธีแผนที่ชั้น 1 จากช่าง รังวัดในภายหลัง ซึ่งในบางแปลงช่างรังวัดยังไม่สามารถคำนวณขึ้นรูปแปลงเนื่องจากติดปัญหา บางประการ จึงทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลค่าพิกัดมาอ้างอิงสำหรับเปรียบเทียบในงานวิจัยได้

5.4.8 การใช้งานระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลนในทันที ในการรังวัดช่วงปลาย เดือนธันวาคม ถึง ต้นเดือนเมษายน ในบางวันไม่สามารถรับสัญญาณได้อย่างต่อเนื่องซึ่งส่วนใหญ่ จะเกิดในช่วงบ่ายจนถึงประมาณเวลาสามโมงเย็น หรือบางวันนั้นไม่สามารถรับสัญญาณได้เลย โดยส่วนใหญ่จะเกิดเมื่อสภาพอากาศในเวลานั้นท้องฟ้าโปร่งไม่มีเมฆ และมีแดดร้อนจัด หรือใน บางครั้งจะเกิดในสภาพที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมหนาแน่นมาก และอากาศร้อนจัด

5.5 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาทดสอบประสิทธิภาพเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเด็กที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU เป็นการทดสอบศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเครื่องรับสัญญาณเพียงยี่ห้อเดียว โดยเป็นเครื่องรับที่ใช้กันเป็นส่วนใหญ่ในงานรังวัด และนำมาเป็นตัวแทนของเครื่องรับที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU ซึ่งการศึกษาในอนาคตควรมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำหนดตำแหน่ง ทางราบและทางตั้งในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ระหว่างเครื่องรับที่มีเซนเซอร์แบบ MEMS หรือ IMU จากบริษัทผู้ผลิตยี่ห้ออื่น ๆ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณที่ต่างยี่ห้อกัน และควรมีเกณฑ์แบ่งพื้นที่ศึกษาให้ชัดเจน ทั้งนี้อาจจะแบ่งเกณฑ์ตามจำนวนดาวเทียมที่สามารถรับได้ หรือ สร้างสภาพแวดล้อมจำลองขึ้นมา เนื่องจากความแตกต่างในการใช้วิจารณ์ญาณของแต่ละบุคคล มีความแตกต่างกัน

บรรณานุกรม

- Ahmad, N., Ghazilla, R. A. R., Khairi, N. M., & Kasi, V. (2013). Reviews on Various Inertial Measurement Unit (IMU) Sensor Applications. *International Journal of Signal Processing Systems*, 256-262. doi:10.12720/ijsp.1.2.256-262
- Charoenkalunyuta, T., Satirapod, C., Keitniyomrung, V., & Yomwan, P. (2019). Performance of Network-Based RTK GNSS for the Cadastral Survey in Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, Volume 15, No. 3, 13-19. doi:<https://doi.org/10.52939/ijg.v15i3.1847>
- CHC | Shanghai Huace Navigation Technology Ltd. (2019). *CHCNAV i90 GNSS USER GUIDE*. Retrieved from <https://www.manualslib.com/manual/1832733/Chcnav-i90-Gnss.html>
- CHC Navtech Thailand. (2017). Software,. Retrieved from <https://www.chcthailand.com/software>
- CHC Navtech Thailand. (2019). ระบบ Tilt Sensor ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS. Retrieved from <https://www.facebook.com/chcnavtech/posts/2381510332167542/>
- D. Hazry, M. Sofian, & A. Zul Azfar. (2009). Study of Inertial Measurement Unit Sensor. *Proceedings of the International Conference on Man-Machine Systems (ICoMMS)*, 5A8-1 - 5A8-4. Retrieved from https://www.academia.edu/21293245/Study_of_inertial_measurement_unit_sensor
- Dammalage, T. L., Satirapod, C., Kibe, S., & Ogaja, C. (2013). C/a Code Multipath Mitigation at Gps Base Stations for Improved Dgps Corrections Using Wavelets. *Survey Review*, 42(317), 240-255. doi:10.1179/003962610x12572516251925
- Henkel, P. (2017). Calibration of Magnetometers with GNSS Receivers and Magnetometer-Aided GNSS Ambiguity Fixing. *Sensors (Basel)*, 17(6). doi:10.3390/s17061324
- KANIEWSKI, P. (2006). AIRCRAFT POSITIONING WITH INS/GNSS INTEGRATED SYSTEM. *Molecular and Quantum Acoustics*, 27. Retrieved from

<https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.796&rep=rep1&type=pdf>

LUO, X., SCHAUFLEER, S., CARRERA, M., & CELEBI, I. (2018). *High-Precision RTK Positioning with Calibration-Free Tilt Compensation*. Paper presented at the Embracing our smart world where the continents connect: enhancing the geospatial maturity of societies, Istanbul, Turkey.

https://www.researchgate.net/publication/325022922_High-Precision_RTK_Positioning_with_Calibration-Free_Tilt_Compensation

M. J. Caruso. (2000). Applications of Magnetic Sensors for Low Cost Compass Systems. *IEEE 2000. Position Location and Navigation Symposium (Cat. No.00CH37062)*, 177-184. doi: 10.1109/PLANS.2000.838300

Mekik, C., & Can, O. (2010). Multipath Effects in RTK GPS and A Case Study *. *Journal of Aeronautics, Astronautics and Aviation, Vol.42*, 231 - 240 Retrieved from <https://cdn1.beun.edu.tr/geomatik/bc10b78f8398733b48c4f8929e701b21/multipatheffectsinrtkgpsandacasestudy.pdf>

Nie, B., Chen, G., & Liu, B. (2019). Research on RTK tilt position measurement method based on UKF. *IET Radar, Sonar & Navigation*, 13(12), 2102-2106. doi:10.1049/iet-rsn.2019.0128

Shanghai HuaCe Navigation Technology Ltd. (2015). *CHC® i80 GNSS Receiver*. Retrieved from <https://www.manualslib.com/manual/1133721/Chc-i80.html>

Šugar, D., Zalović, L., & Bači, Ž. (2018). Analysis of Positioning Results Obtained by a Single Base Rtk with Autonomous Base Start and Tilt Option. ***САВРЕМЕНА ТЕОРИЈА И ПРАКСА У ГРАДИТЕЉСТВУ***, 13(1). doi:10.7251/stp1813231z

Teeradon Thongkam. (2017). อาคารรั้ววัดและทำแผนที่ - Street View. Retrieved from https://www.google.co.th/maps/@13.9126816,100.5397515,3a,75y,143.63h,91.85t/data=!3m8!1e1!3m6!1sAF1OipMG0gMFgV2_OTg6WczxBJ1kthtbai3hJ2DhnPph!2e1!3e1!6shttps:%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1OipMG0gMFgV2_OTg6WczxBJ1kthtbai3hJ2DhnPph%3Dw203-h100-k-no-pi-0-ya167.6232-ro-0-fo100!7i8000!8i4000?hl=th&authuser=0

Trimble Inc. (2018–2021a). GNSS tilt sensors. Retrieved from

<https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/latest/en/GNSS-receiver-tilt-sensors.htm>

Trimble Inc. (2018–2021b). Magnetometer tilt compensation. Retrieved from

<https://help.trimblegeospatial.com/TrimbleAccess/latest/en/GNSS-magnetometer-tilt-compensation.htm>

กรมชลประทาน. (2560). คู่มือปฏิบัติงานการใช้แบบจำลอง ANNs.

กรมที่ดิน. (2562). ระเบียบกรมที่ดินว่าด้วยการรังวัดทำแผนที่โดยวิธีแผนที่ชั้นหนึ่งด้วยระบบโครงข่ายการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) พ.ศ.๒๕๖๒.

กรมที่ดิน. (2563). แนวทางการรังวัดโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network).

เจนพีธีกร สุนทรรัตน์. (2560). การทดสอบประสิทธิภาพระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์ในทันทีสำหรับงานรังวัดที่ดิน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2549). เอกสารคำสอนวิชา 2108631 *Advanced GPS Satellite Surveying* งานรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. กรุงเทพฯ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธนัช สุขวิมลเสรี. (2540). การศึกษาเปรียบเทียบความเหมาะสมของค่าความสูงออร์โทเมตริก. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

ธีรทัต เจริญกาลัญญาตา, & เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2009). การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอส แบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย : ผลการทดสอบเบื้องต้น. *วิศวกรรมสาร มก.*, 22(70), 45-56.

นำพล ศักดิ์สินทิ. (2562). การประเมินระยะเวลาและค่าความถูกต้องที่ได้จากสถานีอ้างอิงเสมือนสำหรับการรังวัดด้วยโครงข่าย ดาวเทียมแบบจลน์ในเวลาจริง สำหรับประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

รุ่งโรจน์ เจริญยศ. (2562). การประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งของการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมจีเอ็นเอสเอสแบบจลน์โดยใช้สถานีฐานอ้างอิงแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวรสำหรับงานรังวัดแปลงที่ดินในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

วัชรโรตม์ พันโยธา. (2561). การประเมินความถูกต้องค่าระดับความสูงภูมิประเทศโดยใช้แบบจำลองฮัยโดรตความละเอียดสูงของ ประเทศไทยในพื้นที่ติดตามการทรุดตัวของพื้นดินกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

วัฒนวงศ์ รัตนวรราช, & ธนัช สุขวิมลเสรี. (2559). วิศวกรรมสำรวจ. In (พิมพ์ครั้งที่ 2, ed., pp. 233).

กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สมเกียรติ ทิพย์สุนธรา. (2560). การประเมินประสิทธิภาพของเทคนิคการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์โดยอาศัยเครือข่ายสถานี GNSS แบบต่างๆ ในประเทศไทย. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

อัศวินี วงษ์สุวรรณ. (2557). การประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการคัดเลือกดาวเทียมระบบ GNSS ดวงที่มีความเหมาะสม สำหรับการหาตำแหน่งแบบจลน์ กรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูล GPS GLONASS และ COMPASS. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงเสาบริเวณดาดฟ้า กรณีหมุดอยู่ห่างจากผนัง 2 เมตร
ภาคผนวก ข.1 หันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง



รูปที่ 57 การรังวัดขณะเอียงเสา 15° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร



รูปที่ 58 การรังวัดขณะเอียงเสา 25° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร

ภาคผนวก ก.1 หันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง (ต่อ)



รูปที่ 59 การรังวัดขณะเอียงเสา 35° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร



รูปที่ 60 การรังวัดขณะเอียงเสา 45° โดยหันเครื่องรับสัญญาณเข้าหาผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร

ภาคผนวก ก. ตัวอย่างการรังวัดขณะเอียงเสาบริเวณดาดฟ้า กรณีหมุดอยู่ห่างจากผนัง 2 เมตร
(ต่อ)

ภาคผนวก ก.2 กรณีหันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง



รูปที่ 61 การรังวัดขณะเอียงเสา 15° (ซ้าย) และ 25° (ขวา) โดยหันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร



รูปที่ 62 การรังวัดขณะเอียงเสา 35° โดยหันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร

ภาคผนวก ก.2 หันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง (ต่อ)



รูปที่ 63 การรังวัดขณะเอียงเสา 45° โดยหันเครื่องรับสัญญาณออกจากผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก.3 กรณีหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง



รูปที่ 64 การรังวัดขณะเอียงเสา 15° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร



รูปที่ 65 การรังวัดขณะเอียงเสา 25° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร

ภาคผนวก ก.3 กรณีหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง (ต่อ)



รูปที่ 66 การรังวัดขณะเอียงเสา 35° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร



รูปที่ 67 การรังวัดขณะเอียงเสา 45° โดยหันเครื่องรับสัญญาณขนานกับผนัง
กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่าพิกัดอ้างอิงบริเวณดาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่
กรรมที่ดิน

ภาคผนวก ข.1 กรณีทดสอบในพื้นที่โล่งจำนวน 20 หมุด

ตารางที่ 31 ค่าพิกัดอ้างอิงการทดสอบบริเวณดาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่
กรรมที่ดิน กรณีทดสอบในที่โล่ง

ชื่อหมุด	วันที่รังวัด	Northing	Easting	Hight
OS-1	2/12/2565	1538290.7199	666714.4733	23.1510
OS-2	2/12/2564	1538292.7023	666714.7993	23.1590
OS-3	22/3/2565	1538294.6601	666715.1059	23.1518
OS-4	2/12/2564	1538296.6597	666715.4431	23.1673
OS-5	3/12/2564	1538298.6344	666715.7664	23.1562
OS-6	7/12/2564	1538298.9565	666713.7923	23.1600
OS-7	7/12/2564	1538296.9747	666713.4843	23.1566
OS-8	7/12/2564	1538295.0000	666713.1642	23.1709
OS-9	7/12/2564	1538293.0241	666712.8287	23.1620
OS-10	7/12/2564	1538291.0489	666712.5022	23.1687
OS-11	7/12/2564	1538290.4010	666716.4480	23.1606
OS-12	7/12/2564	1538292.3790	666716.7741	23.1617
OS-13	8/12/2564	1538294.3532	666717.0947	23.1695
OS-14	8/12/2564	1538296.3321	666717.4162	23.1616
OS-15	8/12/2564	1538298.3055	666717.7376	23.1624
OS-16	8/12/2564	1538291.3717	666710.5413	23.1624
OS-17	8/12/2564	1538289.3927	666710.1934	23.1575
OS-18	8/12/2564	1538287.4078	666709.8716	23.1708
OS-19	8/12/2564	1538285.4295	666709.5485	23.1759
OS-20	7/1/2565	1538285.7577	666707.5968	23.1726

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่าพิกัดอ้างอิง บริเวณดาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่
กรรมที่ดิน (ต่อ)

ภาคผนวก ข.2 กรณีทดสอบโดยหมุดห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร จำนวน 20 หมุด
ตารางที่ 32 ค่าพิกัดอ้างอิงการทดสอบบริเวณดาดฟ้า อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่
กรรมที่ดิน กรณีทดสอบห่างจากผนัง 2 เมตร

ชื่อหมุด	วันที่รังวัด	Northing	Easting	Hight
W-1	7/1/2565	1538284.7982	666721.1933	23.1820
W-2	9/12/2564	1538282.4407	666720.8143	23.1706
W-3	9/12/2564	1538283.7838	666721.0524	23.1600
W-4	9/12/2564	1538285.4036	666721.3401	23.1662
W-5	9/12/2564	1538286.3848	666721.5059	23.1713
W-6	9/12/2564	1538288.3355	666729.2612	23.1554
W-7	13/12/2564	1538288.5414	666727.9771	23.1507
W-8	13/12/2564	1538288.0215	666731.1788	23.2363
W-9	13/12/2564	1538287.7101	666733.1837	23.1749
W-10	13/12/2564	1538287.5061	666734.3863	23.1700
W-11	13/12/2564	1538297.3672	666687.0873	23.2020
W-12	13/12/2564	1538297.1466	666688.4555	23.2004
W-13	13/12/2564	1538296.4029	666689.8037	23.2212
W-14	14/12/2564	1538296.0643	666692.0404	23.1879
W-15	14/12/2564	1538295.7819	666693.8116	23.1901
W-16	14/12/2564	1538297.9911	666699.5066	23.1578
W-17	14/12/2564	1538299.1138	666699.6684	23.1791
W-18	14/12/2564	1538300.1603	666699.8400	23.1707
W-19	14/12/2564	1538301.1636	666700.0089	23.1806
W-20	14/12/2564	1538302.0065	666700.1353	23.1654

ภาคผนวก ค. ตารางแสดงค่าพิกัดอ้างอิงของหมุดหลักเขตที่ดิน

ภาคผนวก ค.1 กรณีที่ 1 หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง

จำนวน 20 หมุด

ตารางที่ 33 ค่าพิกัดอ้างอิงหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง

ชื่อหมุด	วันที่รังวัด	Northing	Easting
C1-1	20/01/2565	1539620.456	664068.092
C1-2	20/01/2565	1539634.816	664070.629
C1-3	27/01/2565	1538505.159	658382.878
C1-4	02/02/2565	1542019.782	669088.876
C1-5	03/02/2565	1540555.668	659091.522
C1-6	03/02/2565	1540537.641	659043.063
C1-7	03/02/2565	1540534.547	659031.359
C1-8	03/02/2565	1540565.262	659111.541
C1-9	07/02/2565	1539131.079	663985.137
C1-10	07/02/2565	1539128.173	664000.870
C1-11	07/02/2565	1539152.411	664022.549
C1-12	10/02/2565	1536522.914	659821.59
C1-13	10/02/2565	1536506.765	659805.391
C1-14	08/03/2565	1540305.612	665009.502
C1-15	17/02/2565	1536653.684	660690.621
C1-16	22/02/2565	1541097.138	669090.172
C1-17	24/02/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C1-18	25/02/2565	1541550.343	668860.653
C1-19	01/03/2565	1537519.815	663269.793
C1-20	01/03/2565	1537534.627	663240.047

ภาคผนวก ค.2 กรณีที่ 2 หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น
จำนวน 20 หมุด

ตารางที่ 34 ตารางแสดงค่าพิกัดอ้างอิงหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อม
หนาแน่น

ชื่อหมุด	วันที่รังวัด	Northing	Easting
C2-1	18/01/2565	1536660.211	660897.932
C2-2	18/01/2565	1536650.38	660902.865
C2-3	24/01/2565	1539081.598	668273.406
C2-4	27/01/2565	1538495.288	658368.953
C2-5	28/01/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C2-6	02/02/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C2-7	15/02/2565	1540810.234	661914.830
C2-8	22/02/2565	1541106.264	669022.258
C2-9	23/02/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้	
C2-10	25/02/2565	1541553.443	668891.4
C2-11	01/03/2565	1537531.274	663274.529
C2-12	08/03/2565	1540341.362	665017.204
C2-13	09/03/2565	1541646.09	657633.63
C2-14	11/03/2565	1538607.991	656834.131
C2-15	11/03/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบกับหมุดที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด	
C2-16	16/03/2565	1536573.556	666712.533
C2-17	16/03/2565	1536586.915	666695.933
C2-18	16/03/2565	1536590.073	666698.879
C2-19	04/04/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้	
C2-20	07/04/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากไม่พบข้อมูลการทดสอบในเครื่อง	

ภาคผนวก ค.3 กรณีที่ 3 หมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบัง
หนาแน่นจำนวน 20 หมุด

ตารางที่ 35 ค่าพิกัดอ้างอิงหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบัง
หนาแน่น

ชื่อหมุด	วันที่รังวัด	Northing	Easting
C3-1	20/01/2565	1539610.575	664033.88
C3-2	24/01/2565	1539083.056	668283.401
C3-3	24/01/2565	1539071.246	668275.884
C3-4	24/01/2565	1539068.554	668276.539
C3-5	28/01/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C3-6	28/01/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C3-7	28/01/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C3-8	02/02/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C3-9	09/02/2565	1539902.250	664878.789
C3-10	09/02/2565	1539903.058	664864.253
C3-11	10/02/2565	1536529.554	659802.96
C3-12	10/02/2565	1536527.564	659800.914
C3-13	15/02/2565	1540805.691	661874.098
C3-14	17/02/2565	1536655.396	660692.699
C3-15	24/02/2565	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์	
C3-16	25/02/2565	1541526.064	668880.612
C3-17	25/02/2565	1541512.441	668877.248
C3-18	03/03/2565	1542202.193	659853.105
C3-19	03/03/2565	1542307.241	659760.217
C3-20	09/03/2565	1541673.872	657604.649

ภาคผนวก ง. ตารางแสดงค่าพิกัดหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดินจำนวน 20 หมุด

ตารางที่ 36 ค่าพิกัดหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน

ชื่อหมุด	ชื่อหมุด RTK	วันที่รับวัด	Northing	Easting	Hight
V-1	X2400844	23/05/2564	1535630.9650	666879.8290	1.097
V-2	X2400845	23/05/2564	1535479.526	666862.1680	1.068
V-3	V2420385	04/10/2559	1536579.062	667690.3770	1.524
V-4	V2420384	04/10/2559	1536598.476	667629.0640	1.642
V-5	X2400020	19/10/2564	1537320.995	663854.2140	2.236
V-6	X2401461	24/01/2565	1536616.052	663807.7730	2.164
V-7	X2401460	24/01/2565	1536467.722	663824.7003	2.183
V-8	V2419783	31/05/2559	1536320.800	664171.6000	1.687
V-9	X2401221	09/07/2564	1538052.008	667244.2853	1.257
V-10	X2400856	25/11/2564	1537520.468	666701.7353	2.402
V-11	X2400352	25/11/2564	1541826.275	667130.8230	2.883
V-12	X2400351	25/11/2564	1541643.347	667039.2930	2.742
V-13	X2400019	04/10/2564	1538514.502	662101.3277	2.501
V-14	X2401728	05/04/2565	1538791.454	662353.4483	2.389
V-15	X2400202	07/01/2565	1540393.922	662843.8290	2.504
V-16	X2400201	07/01/2565	1540354.892	662951.3830	2.401
V-17	X2401729	05/04/2565	1538855.376	662427.4977	2.35
V-18	X2401467	18/02/2565	1537234.523	664822.4420	2.075
V-19	X2401466	18/02/2565	1537230.819	664926.4710	1.961
V-20	W2400815	12/10/2565	1537458.210	663739.8380	2.149

ภาคผนวก จ. ตารางแสดงค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) กรณีทดสอบบริเวณลาดฟ้า
อาคาร 9 ชั้น อาคารรังวัดและทำแผนที่ กรมที่ดิน

ภาคผนวก จ.1 กรณีทดสอบในพื้นที่โล่งจำนวน 20 จุด

ตารางที่ 37 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบใน
พื้นที่โล่งด้วยมุม 0° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)
และ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	MEMS (i80)			IMU (i90)		
		RMSE N	RMSE E	RMSE H	RMSE N	RMSE E	RMSE H
OS-1	1	0.001	0.006	0.015	0.000	0.002	0.017
	2	0.001	0.005	0.016	0.007	0.008	0.022
	3	0.001	0.010	0.020	0.007	0.009	0.022
OS-2	1	0.001	0.010	0.012	0.005	0.004	0.011
	2	0.002	0.011	0.010	0.005	0.003	0.013
	3	0.000	0.013	0.011	0.005	0.002	0.013
OS-3	1	0.036	0.031	0.030	0.014	0.022	0.030
	2	0.038	0.031	0.028	0.017	0.023	0.028
	3	0.038	0.031	0.026	0.013	0.021	0.031
OS-4	1	0.002	0.016	0.018	0.017	0.008	0.008
	2	0.002	0.018	0.019	0.017	0.009	0.006
	3	0.003	0.018	0.019	0.014	0.003	0.008
OS-5	1	0.003	0.004	0.016	0.007	0.007	0.018
	2	0.002	0.008	0.016	0.006	0.006	0.022
	3	0.004	0.011	0.024	0.005	0.006	0.020
OS-6	1	0.009	0.016	0.003	0.013	0.021	0.015
	2	0.010	0.014	0.008	0.010	0.023	0.017
	3	0.009	0.012	0.012	0.009	0.024	0.018
OS-7	1	0.008	0.015	0.016	0.003	0.009	0.025
	2	0.009	0.017	0.019	0.003	0.008	0.025
	3	0.010	0.017	0.023	0.003	0.008	0.026
OS-8	1	0.003	0.004	0.012	0.005	0.005	0.008
	2	0.002	0.003	0.012	0.003	0.007	0.006
	3	0.000	0.002	0.010	0.007	0.003	0.006
OS-9	1	0.009	0.003	0.025	0.012	0.004	0.018
	2	0.009	0.003	0.025	0.012	0.006	0.016
	3	0.010	0.003	0.025	0.008	0.005	0.013
OS-10	1	0.008	0.001	0.006	0.001	0.013	0.008
	2	0.008	0.000	0.007	0.001	0.016	0.009
	3	0.007	0.002	0.007	0.002	0.016	0.008
OS-11	1	0.006	0.006	0.016	0.004	0.008	0.021
	2	0.005	0.006	0.017	0.005	0.005	0.020
	3	0.007	0.012	0.027	0.004	0.007	0.020

เมื่อ N = Northing, E = Easting, H = Vertical

ตารางที่ 37 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 0° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	MEMS (i80)			IMU (i90)		
		RMSE N	RMSE E	RMSE H	RMSE N	RMSE E	RMSE H
OS-12	1	0.002	0.012	0.018	0.004	0.007	0.017
	2	0.001	0.011	0.021	0.005	0.005	0.018
	3	0.000	0.012	0.018	0.004	0.011	0.008
OS-13	1	0.006	0.013	0.018	0.007	0.016	0.012
	2	0.005	0.015	0.020	0.005	0.014	0.013
	3	0.005	0.015	0.018	0.005	0.011	0.015
OS-14	1	0.005	0.010	0.019	0.001	0.007	0.019
	2	0.005	0.009	0.019	0.001	0.008	0.021
	3	0.006	0.011	0.020	0.003	0.007	0.018
OS-15	1	0.002	0.012	0.009	0.006	0.001	0.014
	2	0.003	0.011	0.008	0.005	0.001	0.010
	3	0.003	0.013	0.008	0.005	0.004	0.010
OS-16	1	0.009	0.015	0.025	0.002	0.008	0.009
	2	0.007	0.013	0.021	0.002	0.006	0.011
	3	0.006	0.013	0.019	0.003	0.007	0.010
OS-17	1	0.003	0.011	0.015	0.010	0.000	0.011
	2	0.002	0.012	0.015	0.010	0.002	0.013
	3	0.002	0.013	0.017	0.009	0.003	0.015
OS-18	1	0.006	0.017	0.021	0.015	0.002	0.014
	2	0.006	0.019	0.015	0.014	0.001	0.014
	3	0.006	0.020	0.012	0.014	0.000	0.015
OS-19	1	0.005	0.003	0.011	0.002	0.002	0.007
	2	0.005	0.001	0.015	0.002	0.003	0.014
	3	0.004	0.002	0.015	0.002	0.002	0.015
OS-20	1	0.003	0.020	0.014	0.007	0.009	0.010
	2	0.001	0.020	0.015	0.008	0.009	0.009
	3	0.001	0.020	0.010	0.008	0.010	0.010

เมื่อ N = Northing, E = Easting, H = Vertical

ตารางที่ 38 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบใน
พื้นที่โล่งด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.007	0.064	0.011	0.063	0.062	0.018	0.051	0.004	0.028	0.011	0.021	0.019
	2	0.006	0.064	0.010	0.063	0.061	0.017	0.049	0.003	0.024	0.012	0.022	0.017
	3	0.005	0.063	0.012	0.062	0.060	0.017	0.049	0.003	0.022	0.014	0.022	0.018
OS-2	1	0.006	0.045	0.013	0.070	0.052	0.011	0.053	0.011	0.008	0.017	0.017	0.009
	2	0.003	0.046	0.011	0.071	0.053	0.011	0.052	0.013	0.011	0.016	0.015	0.013
	3	0.004	0.049	0.011	0.074	0.052	0.012	0.054	0.012	0.014	0.013	0.016	0.007
OS-3	1	0.021	0.017	0.002	0.093	0.084	0.037	0.018	0.011	0.017	0.026	0.022	0.030
	2	0.020	0.018	0.002	0.093	0.086	0.039	0.016	0.010	0.015	0.029	0.021	0.033
	3	0.021	0.016	0.003	0.091	0.085	0.038	0.015	0.008	0.022	0.028	0.021	0.034
OS-4	1	0.002	0.018	0.025	0.078	0.082	0.026	0.007	0.025	0.019	0.002	0.005	0.009
	2	0.001	0.018	0.024	0.078	0.083	0.025	0.004	0.023	0.021	0.000	0.003	0.009
	3	0.001	0.018	0.025	0.077	0.083	0.027	0.002	0.021	0.022	0.001	0.005	0.012
OS-5	1	0.002	0.031	0.011	0.108	0.085	0.016	0.037	0.002	0.018	0.023	0.015	0.018
	2	0.002	0.032	0.011	0.107	0.086	0.016	0.035	0.003	0.016	0.019	0.017	0.019
	3	0.001	0.033	0.012	0.106	0.085	0.015	0.036	0.003	0.017	0.020	0.017	0.022
OS-6	1	0.000	0.051	0.015	0.057	0.075	0.000	0.036	0.001	0.007	0.015	0.020	0.016
	2	0.000	0.051	0.015	0.058	0.078	0.002	0.036	0.002	0.007	0.016	0.019	0.020
	3	0.000	0.051	0.017	0.057	0.077	0.004	0.036	0.000	0.006	0.012	0.017	0.019
OS-7	1	0.000	0.057	0.004	0.071	0.069	0.013	0.039	0.001	0.022	0.017	0.014	0.014
	2	0.001	0.054	0.005	0.071	0.069	0.012	0.039	0.010	0.025	0.016	0.014	0.037
	3	0.002	0.054	0.005	0.073	0.068	0.011	0.041	0.022	0.027	0.014	0.011	0.063
OS-8	1	0.002	0.049	0.013	0.068	0.043	0.012	0.038	0.005	0.006	0.012	0.004	0.014
	2	0.004	0.046	0.015	0.069	0.044	0.012	0.037	0.006	0.002	0.010	0.006	0.020
	3	0.004	0.048	0.015	0.070	0.043	0.011	0.037	0.005	0.006	0.007	0.008	0.013
OS-9	1	0.010	0.040	0.014	0.070	0.048	0.012	0.043	0.013	0.017	0.038	0.013	0.027
	2	0.011	0.037	0.015	0.071	0.049	0.005	0.044	0.013	0.018	0.003	0.014	0.027
	3	0.010	0.038	0.015	0.072	0.050	0.004	0.043	0.012	0.022	0.007	0.017	0.044
OS-10	1	0.011	0.022	0.003	0.076	0.051	0.002	0.041	0.015	0.006	0.001	0.061	0.019
	2	0.011	0.021	0.001	0.078	0.051	0.003	0.037	0.016	0.007	0.004	0.045	0.023
	3	0.011	0.021	0.000	0.078	0.050	0.004	0.029	0.015	0.005	0.003	0.017	0.020

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 38 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาวฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.004	0.019	0.002	0.083	0.059	0.002	0.028	0.013	0.013	0.010	0.016	0.022
	2	0.005	0.019	0.002	0.083	0.060	0.003	0.027	0.009	0.015	0.009	0.017	0.021
	3	0.004	0.020	0.002	0.083	0.058	0.000	0.027	0.010	0.013	0.003	0.014	0.018
OS-12	1	0.000	0.032	0.009	0.089	0.047	0.003	0.056	0.001	0.016	0.018	0.013	0.016
	2	0.000	0.032	0.011	0.091	0.048	0.003	0.056	0.001	0.015	0.016	0.020	0.015
	3	0.002	0.033	0.011	0.091	0.046	0.001	0.058	0.001	0.015	0.014	0.017	0.016
OS-13	1	0.007	0.010	0.022	0.105	0.043	0.006	0.067	0.000	0.009	0.008	0.015	0.018
	2	0.008	0.011	0.021	0.105	0.044	0.005	0.068	0.002	0.009	0.006	0.018	0.015
	3	0.007	0.011	0.022	0.104	0.042	0.004	0.067	0.000	0.009	0.011	0.020	0.017
OS-14	1	0.010	0.018	0.001	0.117	0.079	0.017	0.068	0.012	0.011	0.023	0.013	0.006
	2	0.010	0.018	0.001	0.117	0.078	0.019	0.068	0.013	0.011	0.027	0.011	0.005
	3	0.009	0.015	0.002	0.117	0.078	0.019	0.070	0.008	0.012	0.026	0.011	0.006
OS-15	1	0.008	0.011	0.008	0.138	0.017	0.001	0.097	0.001	0.016	0.010	0.006	0.009
	2	0.008	0.009	0.008	0.137	0.017	0.003	0.096	0.000	0.016	0.009	0.004	0.008
	3	0.008	0.006	0.008	0.136	0.018	0.002	0.093	0.002	0.016	0.012	0.006	0.005
OS-16	1	0.012	0.010	0.008	0.177	0.032	0.012	0.109	0.019	0.016	0.007	0.012	0.015
	2	0.013	0.008	0.007	0.173	0.031	0.012	0.109	0.020	0.014	0.009	0.013	0.016
	3	0.013	0.008	0.007	0.173	0.029	0.011	0.110	0.019	0.015	0.008	0.013	0.016
OS-17	1	0.005	0.009	0.007	0.141	0.039	0.020	0.068	0.003	0.018	0.006	0.004	0.018
	2	0.003	0.009	0.008	0.141	0.042	0.019	0.067	0.005	0.020	0.006	0.006	0.020
	3	0.003	0.007	0.007	0.141	0.046	0.018	0.065	0.005	0.021	0.005	0.005	0.018
OS-18	1	0.016	0.005	0.007	0.141	0.063	0.021	0.073	0.022	0.018	0.000	0.004	0.018
	2	0.015	0.005	0.008	0.141	0.063	0.020	0.074	0.023	0.011	0.003	0.001	0.016
	3	0.015	0.004	0.008	0.142	0.064	0.020	0.075	0.022	0.011	0.000	0.004	0.017
OS-19	1	0.003	0.005	0.019	0.150	0.025	0.016	0.067	0.030	0.014	0.018	0.011	0.024
	2	0.002	0.007	0.020	0.149	0.026	0.016	0.066	0.032	0.013	0.018	0.013	0.019
	3	0.001	0.007	0.020	0.152	0.027	0.017	0.066	0.032	0.010	0.017	0.014	0.017
OS-20	1	0.007	0.053	0.003	0.084	0.083	0.009	0.052	0.015	0.014	0.004	0.012	0.016
	2	0.007	0.053	0.002	0.086	0.086	0.010	0.053	0.013	0.014	0.003	0.010	0.018
	3	0.008	0.053	0.001	0.085	0.085	0.010	0.053	0.013	0.012	0.004	0.010	0.019

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 39 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาวฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่
โล่งด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.009	0.086	0.006	0.087	0.088	0.015	0.083	0.006	0.023	0.008	0.015	0.007
	2	0.010	0.085	0.007	0.162	0.091	0.017	0.080	0.040	0.020	0.005	0.013	0.012
	3	0.009	0.085	0.008	0.161	0.091	0.016	0.083	0.039	0.019	0.003	0.014	0.011
OS-2	1	0.000	0.069	0.017	0.106	0.073	0.014	0.073	0.013	0.002	0.013	0.006	0.005
	2	0.001	0.071	0.017	0.104	0.073	0.014	0.074	0.011	0.002	0.011	0.002	0.001
	3	0.002	0.072	0.018	0.101	0.072	0.015	0.074	0.012	0.004	0.010	0.000	0.004
OS-3	1	0.034	0.001	0.008	0.113	0.122	0.048	0.023	0.002	0.023	0.019	0.014	0.032
	2	0.033	0.001	0.009	0.115	0.121	0.046	0.025	0.004	0.023	0.021	0.020	0.034
	3	0.033	0.002	0.008	0.114	0.120	0.045	0.024	0.003	0.018	0.023	0.020	0.031
OS-4	1	0.001	0.031	0.029	0.112	0.130	0.030	0.027	0.006	0.018	0.007	0.039	0.016
	2	0.000	0.029	0.029	0.114	0.130	0.030	0.025	0.009	0.019	0.008	0.044	0.015
	3	0.001	0.029	0.028	0.112	0.131	0.031	0.015	0.010	0.012	0.004	0.023	0.012
OS-5	1	0.006	0.054	0.017	0.143	0.145	0.019	0.035	0.004	0.011	0.009	0.005	0.011
	2	0.011	0.052	0.020	0.142	0.161	0.020	0.033	0.005	0.040	0.012	0.007	0.013
	3	0.012	0.053	0.019	0.142	0.160	0.018	0.033	0.006	0.036	0.012	0.009	0.010
OS-6	1	0.000	0.106	0.015	0.061	0.125	0.012	0.046	0.012	0.003	0.007	0.006	0.004
	2	0.002	0.106	0.014	0.063	0.124	0.013	0.046	0.015	0.003	0.007	0.005	0.003
	3	0.005	0.106	0.015	0.063	0.125	0.016	0.044	0.015	0.001	0.009	0.003	0.004
OS-7	1	0.006	0.100	0.015	0.079	0.108	0.017	0.042	0.002	0.021	0.012	0.005	0.013
	2	0.008	0.100	0.014	0.079	0.107	0.014	0.040	0.003	0.025	0.002	0.005	0.011
	3	0.009	0.098	0.014	0.079	0.109	0.013	0.040	0.001	0.027	0.005	0.006	0.013
OS-8	1	0.008	0.080	0.017	0.082	0.080	0.013	0.044	0.013	0.006	0.007	0.012	0.007
	2	0.006	0.080	0.017	0.085	0.079	0.014	0.041	0.014	0.003	0.009	0.006	0.012
	3	0.005	0.083	0.017	0.083	0.081	0.013	0.041	0.014	0.001	0.009	0.005	0.010
OS-9	1	0.008	0.072	0.018	0.109	0.077	0.009	0.053	0.004	0.019	0.005	0.008	0.019
	2	0.010	0.073	0.017	0.108	0.079	0.007	0.052	0.005	0.015	0.003	0.007	0.019
	3	0.013	0.072	0.016	0.109	0.081	0.009	0.054	0.004	0.016	0.002	0.008	0.021
OS-10	1	0.007	0.032	0.005	0.119	0.086	0.009	0.039	0.004	0.001	0.006	0.004	0.006
	2	0.007	0.033	0.005	0.120	0.088	0.010	0.042	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
	3	0.009	0.035	0.005	0.121	0.084	0.008	0.042	0.004	0.005	0.004	0.005	0.005

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 39 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาวฟ้ากรณีทดสอบใน
พื้นที่โล่งด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)
(ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.008	0.036	0.004	0.128	0.095	0.012	0.042	0.002	0.011	0.001	0.011	0.015
	2	0.008	0.038	0.004	0.126	0.096	0.012	0.043	0.002	0.010	0.004	0.011	0.016
	3	0.008	0.034	0.004	0.127	0.095	0.014	0.041	0.003	0.004	0.005	0.011	0.016
OS-12	1	0.005	0.038	0.007	0.128	0.066	0.004	0.085	0.007	0.013	0.004	0.010	0.016
	2	0.004	0.039	0.007	0.129	0.068	0.005	0.085	0.007	0.013	0.003	0.010	0.016
	3	0.005	0.039	0.008	0.129	0.069	0.010	0.085	0.007	0.014	0.009	0.011	0.018
OS-13	1	0.012	0.010	0.011	0.174	0.062	0.014	0.102	0.003	0.012	0.006	0.012	0.009
	2	0.013	0.013	0.009	0.174	0.063	0.015	0.104	0.002	0.003	0.001	0.009	0.012
	3	0.012	0.014	0.009	0.176	0.067	0.018	0.105	0.000	0.040	0.003	0.012	0.009
OS-14	1	0.016	0.028	0.004	0.187	0.002	0.031	0.103	0.002	0.006	0.023	0.013	0.025
	2	0.005	0.027	0.005	0.186	0.113	0.030	0.102	0.017	0.009	0.025	0.011	0.054
	3	0.005	0.028	0.005	0.186	0.114	0.031	0.103	0.018	0.008	0.023	0.011	0.049
OS-15	1	0.011	0.022	0.002	0.226	0.025	0.018	0.133	0.003	0.008	0.009	0.000	0.005
	2	0.012	0.020	0.004	0.228	0.026	0.016	0.133	0.003	0.012	0.008	0.002	0.004
	3	0.012	0.022	0.002	0.228	0.026	0.016	0.136	0.001	0.012	0.008	0.002	0.004
OS-16	1	0.018	0.040	0.009	0.278	0.048	0.024	0.162	0.055	0.011	0.009	0.012	0.015
	2	0.017	0.038	0.006	0.278	0.047	0.025	0.161	0.054	0.011	0.010	0.008	0.015
	3	0.031	0.037	0.007	0.279	0.069	0.025	0.162	0.051	0.036	0.009	0.004	0.017
OS-17	1	0.017	0.031	0.015	0.236	0.093	0.024	0.113	0.012	0.021	0.006	0.005	0.013
	2	0.016	0.033	0.015	0.236	0.091	0.024	0.111	0.012	0.013	0.008	0.005	0.015
	3	0.015	0.032	0.016	0.237	0.090	0.025	0.111	0.011	0.013	0.006	0.003	0.015
OS-18	1	0.016	0.025	0.015	0.231	0.081	0.031	0.110	0.026	0.002	0.012	0.002	0.015
	2	0.017	0.023	0.017	0.234	0.084	0.031	0.109	0.031	0.003	0.012	0.001	0.015
	3	0.016	0.022	0.017	0.233	0.083	0.029	0.111	0.030	0.004	0.010	0.002	0.017
OS-19	1	0.004	0.032	0.021	0.242	0.046	0.022	0.091	0.020	0.009	0.015	0.013	0.006
	2	0.005	0.032	0.021	0.242	0.046	0.020	0.093	0.020	0.007	0.013	0.010	0.010
	3	0.006	0.034	0.021	0.242	0.046	0.024	0.093	0.020	0.007	0.012	0.012	0.010
OS-20	1	0.009	0.077	0.002	0.121	0.124	0.010	0.079	0.011	0.003	0.003	0.001	0.020
	2	0.008	0.073	0.002	0.121	0.125	0.010	0.080	0.012	0.006	0.003	0.001	0.022
	3	0.009	0.076	0.004	0.122	0.125	0.010	0.079	0.013	0.006	0.002	0.005	0.022

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 40 ค่า Root Mean Square การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.012	0.108	0.017	0.111	0.105	0.018	0.106	0.008	0.023	0.000	0.009	0.003
	2	0.012	0.109	0.017	0.241	0.106	0.014	0.107	0.013	0.021	0.000	0.015	0.009
	3	0.012	0.110	0.017	0.241	0.106	0.013	0.105	0.013	0.021	0.002	0.015	0.007
OS-2	1	0.000	0.089	0.018	0.128	0.089	0.018	0.095	0.014	0.004	0.007	0.001	0.010
	2	0.000	0.091	0.018	0.128	0.089	0.018	0.095	0.015	0.004	0.004	0.012	0.009
	3	0.000	0.091	0.017	0.128	0.091	0.018	0.097	0.016	0.002	0.001	0.021	0.009
OS-3	1	0.046	0.028	0.010	0.102	0.161	0.054	0.040	0.002	0.010	0.018	0.004	0.019
	2	0.046	0.029	0.012	0.103	0.164	0.055	0.038	0.002	0.014	0.020	0.003	0.019
	3	0.044	0.031	0.012	0.103	0.167	0.055	0.038	0.003	0.013	0.018	0.001	0.019
OS-4	1	0.003	0.047	0.037	0.122	0.181	0.027	0.027	0.001	0.012	0.015	0.012	0.000
	2	0.004	0.045	0.037	0.120	0.179	0.029	0.029	0.003	0.010	0.013	0.012	0.003
	3	0.004	0.043	0.039	0.120	0.178	0.033	0.029	0.002	0.009	0.005	0.007	0.003
OS-5	1	0.029	0.080	0.026	0.156	0.205	0.018	0.017	0.013	0.002	0.003	0.003	0.007
	2	0.028	0.080	0.024	0.156	0.205	0.017	0.016	0.011	0.001	0.005	0.003	0.006
	3	0.028	0.083	0.025	0.157	0.202	0.016	0.016	0.013	0.002	0.005	0.002	0.005
OS-6	1	0.007	0.175	0.018	0.046	0.169	0.015	0.046	0.023	0.009	0.006	0.009	0.005
	2	0.006	0.174	0.018	0.043	0.168	0.014	0.046	0.019	0.003	0.004	0.004	0.010
	3	0.005	0.173	0.019	0.041	0.166	0.016	0.049	0.021	0.003	0.008	0.005	0.006
OS-7	1	0.002	0.151	0.020	0.067	0.144	0.016	0.029	0.011	0.013	0.007	0.000	0.005
	2	0.003	0.153	0.019	0.067	0.146	0.016	0.030	0.010	0.017	0.003	0.001	0.007
	3	0.005	0.151	0.019	0.064	0.148	0.016	0.029	0.009	0.019	0.004	0.001	0.005
OS-8	1	0.008	0.129	0.022	0.071	0.113	0.011	0.047	0.017	0.005	0.004	0.002	0.002
	2	0.008	0.128	0.021	0.072	0.115	0.012	0.046	0.017	0.008	0.004	0.004	0.007
	3	0.011	0.129	0.020	0.070	0.116	0.013	0.048	0.017	0.007	0.004	0.005	0.009
OS-9	1	0.015	0.116	0.019	0.135	0.110	0.002	0.054	0.007	0.006	0.006	0.006	0.018
	2	0.016	0.119	0.017	0.137	0.108	0.001	0.054	0.008	0.009	0.001	0.006	0.015
	3	0.018	0.115	0.018	0.137	0.105	0.001	0.043	0.008	0.003	0.000	0.052	0.012
OS-10	1	0.002	0.051	0.015	0.154	0.115	0.010	0.048	0.008	0.007	0.000	0.003	0.002
	2	0.002	0.053	0.016	0.152	0.114	0.011	0.048	0.007	0.006	0.000	0.004	0.000
	3	0.002	0.052	0.016	0.152	0.115	0.010	0.047	0.005	0.007	0.001	0.004	0.001

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 40 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาวฟ้ากรณีทดสอบใน
พื้นที่โล่งด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)
(ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.011	0.055	0.008	0.154	0.125	0.030	0.053	0.008	0.005	0.038	0.011	0.008
	2	0.011	0.057	0.010	0.156	0.124	0.040	0.052	0.009	0.002	0.057	0.011	0.009
	3	0.011	0.055	0.009	0.157	0.123	0.041	0.051	0.009	0.000	0.053	0.011	0.009
OS-12	1	0.007	0.054	0.003	0.162	0.077	0.017	0.113	0.012	0.000	0.008	0.006	0.004
	2	0.006	0.056	0.002	0.163	0.079	0.018	0.112	0.013	0.000	0.011	0.005	0.002
	3	0.011	0.055	0.002	0.160	0.068	0.016	0.112	0.012	0.033	0.009	0.011	0.001
OS-13	1	0.018	0.024	0.000	0.231	0.076	0.021	0.156	0.003	0.011	0.008	0.005	0.000
	2	0.017	0.024	0.000	0.234	0.077	0.019	0.155	0.001	0.002	0.008	0.006	0.005
	3	0.017	0.022	0.002	0.236	0.078	0.020	0.155	0.003	0.001	0.005	0.012	0.003
OS-14	1	0.023	0.039	0.001	0.260	0.009	0.040	0.134	0.007	0.005	0.011	0.007	0.011
	2	0.023	0.038	0.002	0.255	0.010	0.039	0.132	0.011	0.002	0.012	0.006	0.057
	3	0.024	0.041	0.002	0.255	0.008	0.041	0.133	0.008	0.003	0.013	0.006	0.055
OS-15	1	0.013	0.039	0.008	0.317	0.030	0.024	0.154	0.011	0.003	0.001	0.005	0.001
	2	0.012	0.038	0.012	0.320	0.033	0.026	0.154	0.010	0.003	0.001	0.003	0.005
	3	0.016	0.033	0.012	0.319	0.030	0.025	0.156	0.011	0.013	0.001	0.002	0.002
OS-16	1	0.023	0.072	0.008	0.381	0.068	0.033	0.223	0.064	0.005	0.003	0.001	0.004
	2	0.023	0.072	0.007	0.381	0.064	0.031	0.223	0.064	0.005	0.001	0.004	0.006
	3	0.023	0.073	0.006	0.382	0.068	0.035	0.222	0.063	0.010	0.004	0.002	0.003
OS-17	1	0.018	0.059	0.023	0.324	0.119	0.030	0.152	0.008	0.013	0.008	0.009	0.004
	2	0.018	0.059	0.023	0.324	0.120	0.032	0.152	0.008	0.012	0.008	0.008	0.001
	3	0.018	0.058	0.023	0.326	0.120	0.031	0.151	0.010	0.010	0.009	0.005	0.001
OS-18	1	0.019	0.045	0.020	0.309	0.107	0.038	0.151	0.042	0.004	0.014	0.004	0.009
	2	0.018	0.045	0.019	0.309	0.106	0.036	0.150	0.043	0.003	0.014	0.001	0.009
	3	0.018	0.047	0.018	0.310	0.104	0.038	0.154	0.041	0.001	0.011	0.004	0.012
OS-19	1	0.006	0.063	0.023	0.330	0.061	0.029	0.132	0.015	0.000	0.000	0.001	0.003
	2	0.005	0.061	0.024	0.326	0.063	0.029	0.131	0.015	0.000	0.002	0.001	0.007
	3	0.006	0.060	0.023	0.326	0.063	0.029	0.131	0.013	0.000	0.001	0.004	0.001
OS-20	1	0.007	0.112	0.005	0.148	0.163	0.015	0.102	0.000	0.006	0.012	0.009	0.016
	2	0.007	0.113	0.005	0.147	0.161	0.014	0.098	0.000	0.003	0.012	0.011	0.016
	3	0.006	0.112	0.005	0.148	0.165	0.017	0.102	0.001	0.011	0.005	0.011	0.015

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 41 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่
โล่งด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.008	0.131	0.003	0.129	0.133	0.024	0.131	0.032	0.015	0.001	0.001	0.054
	2	0.008	0.132	0.003	0.128	0.131	0.025	0.128	0.046	0.013	0.005	0.003	0.075
	3	0.007	0.129	0.002	0.129	0.132	0.026	0.127	0.020	0.009	0.008	0.000	0.030
OS-2	1	0.006	0.114	0.014	0.156	0.091	0.018	0.112	0.007	0.009	0.015	0.024	0.030
	2	0.007	0.113	0.014	0.154	0.090	0.017	0.112	0.007	0.008	0.011	0.025	0.030
	3	0.007	0.112	0.012	0.152	0.095	0.017	0.112	0.007	0.005	0.012	0.024	0.022
OS-3	1	0.054	0.052	0.014	0.101	0.190	0.055	0.055	0.001	0.009	0.002	0.001	0.005
	2	0.055	0.051	0.015	0.103	0.192	0.054	0.056	0.003	0.015	0.001	0.002	0.014
	3	0.055	0.050	0.014	0.104	0.187	0.054	0.056	0.003	0.016	0.000	0.000	0.013
OS-4	1	0.010	0.059	0.041	0.121	0.228	0.024	0.061	0.002	0.013	0.016	0.021	0.010
	2	0.010	0.059	0.042	0.120	0.227	0.023	0.061	0.004	0.015	0.016	0.018	0.007
	3	0.012	0.050	0.042	0.122	0.228	0.027	0.060	0.005	0.015	0.015	0.010	0.006
OS-5	1	0.039	0.113	0.022	0.146	0.262	0.013	0.001	0.006	0.011	0.000	0.000	0.009
	2	0.040	0.114	0.023	0.146	0.264	0.013	0.001	0.009	0.003	0.002	0.003	0.009
	3	0.039	0.110	0.021	0.143	0.261	0.014	0.027	0.009	0.005	0.000	0.012	0.004
OS-6	1	0.008	0.261	0.019	0.010	0.194	0.024	0.049	0.023	0.016	0.007	0.009	0.017
	2	0.009	0.264	0.018	0.010	0.197	0.024	0.049	0.024	0.013	0.004	0.006	0.011
	3	0.008	0.262	0.018	0.010	0.199	0.025	0.049	0.024	0.011	0.005	0.004	0.011
OS-7	1	0.004	0.207	0.021	0.039	0.179	0.017	0.014	0.015	0.011	0.003	0.003	0.002
	2	0.005	0.207	0.021	0.038	0.180	0.015	0.017	0.014	0.009	0.000	0.006	0.006
	3	0.006	0.211	0.018	0.037	0.177	0.015	0.037	0.014	0.004	0.001	0.097	0.010
OS-8	1	0.003	0.166	0.019	0.041	0.149	0.001	0.040	0.020	0.011	0.001	0.012	0.010
	2	0.004	0.166	0.021	0.043	0.148	0.001	0.045	0.022	0.013	0.005	0.016	0.013
	3	0.004	0.174	0.017	0.039	0.152	0.014	0.049	0.022	0.013	0.069	0.008	0.011
OS-9	1	0.015	0.157	0.023	0.163	0.131	0.009	0.040	0.001	0.009	0.004	0.013	0.001
	2	0.011	0.154	0.024	0.159	0.132	0.007	0.039	0.001	0.007	0.007	0.008	0.004
	3	0.010	0.157	0.025	0.159	0.133	0.009	0.039	0.004	0.006	0.006	0.006	0.004
OS-10	1	0.004	0.063	0.017	0.181	0.142	0.012	0.053	0.004	0.017	0.008	0.002	0.014
	2	0.000	0.061	0.018	0.182	0.142	0.013	0.050	0.007	0.019	0.006	0.003	0.015
	3	0.002	0.059	0.017	0.182	0.143	0.013	0.053	0.007	0.022	0.007	0.002	0.012

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 41 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่
โล่งด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.012	0.072	0.011	0.170	0.152	0.042	0.054	0.003	0.005	0.057	0.002	0.002
	2	0.012	0.070	0.011	0.170	0.154	0.038	0.056	0.004	0.005	0.044	0.003	0.003
	3	0.012	0.067	0.012	0.168	0.154	0.016	0.060	0.004	0.007	0.002	0.001	0.003
OS-12	1	0.009	0.069	0.006	0.171	0.070	0.020	0.135	0.014	0.000	0.005	0.006	0.014
	2	0.009	0.068	0.006	0.176	0.071	0.018	0.134	0.013	0.004	0.016	0.008	0.014
	3	0.009	0.074	0.006	0.176	0.073	0.021	0.132	0.013	0.005	0.009	0.005	0.014
OS-13	1	0.014	0.032	0.006	0.252	0.082	0.018	0.210	0.032	0.008	0.014	0.005	0.006
	2	0.016	0.031	0.005	0.252	0.081	0.020	0.209	0.027	0.011	0.008	0.000	0.002
	3	0.016	0.032	0.004	0.255	0.080	0.020	0.212	0.029	0.011	0.012	0.006	0.003
OS-14	1	0.024	0.053	0.000	0.316	0.010	0.042	0.148	0.029	0.008	0.013	0.015	0.008
	2	0.025	0.051	0.000	0.316	0.008	0.042	0.148	0.030	0.006	0.010	0.017	0.003
	3	0.026	0.052	0.002	0.317	0.007	0.043	0.150	0.029	0.002	0.006	0.015	0.007
OS-15	1	0.016	0.050	0.008	0.400	0.017	0.030	0.169	0.021	0.004	0.011	0.012	0.006
	2	0.015	0.050	0.008	0.398	0.016	0.029	0.173	0.021	0.005	0.013	0.010	0.006
	3	0.013	0.046	0.008	0.403	0.015	0.029	0.176	0.021	0.010	0.011	0.012	0.011
OS-16	1	0.022	0.108	0.009	0.474	0.080	0.042	0.280	0.065	0.004	0.000	0.004	0.008
	2	0.024	0.107	0.009	0.474	0.077	0.040	0.278	0.063	0.011	0.004	0.001	0.005
	3	0.026	0.115	0.016	0.479	0.075	0.037	0.274	0.063	0.010	0.009	0.005	0.002
OS-17	1	0.016	0.088	0.014	0.397	0.154	0.041	0.194	0.029	0.002	0.005	0.005	0.003
	2	0.020	0.087	0.015	0.396	0.154	0.038	0.194	0.029	0.001	0.009	0.003	0.004
	3	0.020	0.089	0.014	0.395	0.156	0.037	0.195	0.026	0.002	0.011	0.006	0.003
OS-18	1	0.004	0.071	0.009	0.364	0.102	0.050	0.190	0.036	0.036	0.020	0.009	0.000
	2	0.003	0.070	0.007	0.367	0.104	0.050	0.190	0.036	0.035	0.018	0.008	0.003
	3	0.009	0.073	0.009	0.369	0.118	0.053	0.187	0.035	0.002	0.031	0.008	0.003
OS-19	1	0.009	0.088	0.011	0.391	0.083	0.046	0.172	0.030	0.009	0.010	0.019	0.006
	2	0.008	0.087	0.011	0.394	0.083	0.046	0.172	0.030	0.008	0.008	0.021	0.006
	3	0.010	0.090	0.012	0.396	0.085	0.046	0.172	0.032	0.006	0.011	0.021	0.006
OS-20	1	0.008	0.152	0.001	0.162	0.182	0.001	0.115	0.001	0.017	0.042	0.003	0.002
	2	0.009	0.148	0.002	0.162	0.181	0.002	0.114	0.002	0.015	0.047	0.002	0.001
	3	0.009	0.150	0.002	0.163	0.180	0.001	0.117	0.000	0.019	0.052	0.001	0.000

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 42 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบ
ในพื้นทีเื่องด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกทีมีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหุมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.002	0.002	0.009	0.011	0.034	0.001	0.012	0.002	0.020	0.013	0.017	0.013
	2	0.002	0.004	0.007	0.009	0.040	0.000	0.014	0.001	0.015	0.014	0.018	0.013
	3	0.001	0.006	0.010	0.013	0.042	0.001	0.012	0.005	0.015	0.015	0.014	0.019
OS-2	1	0.008	0.018	0.004	0.007	0.006	0.009	0.010	0.007	0.019	0.018	0.015	0.000
	2	0.015	0.013	0.004	0.006	0.008	0.008	0.005	0.004	0.019	0.020	0.015	0.021
	3	0.013	0.010	0.009	0.007	0.027	0.008	0.011	0.004	0.017	0.017	0.024	0.021
OS-3	1	0.024	0.021	0.016	0.005	0.032	0.020	0.014	0.032	0.033	0.032	0.030	0.036
	2	0.025	0.012	0.014	0.017	0.015	0.020	0.013	0.032	0.033	0.034	0.029	0.037
	3	0.027	0.019	0.015	0.031	0.001	0.020	0.012	0.029	0.035	0.035	0.031	0.038
OS-4	1	0.020	0.030	0.020	0.007	0.016	0.006	0.022	0.001	0.006	0.009	0.010	0.003
	2	0.008	0.033	0.016	0.003	0.011	0.006	0.011	0.000	0.004	0.009	0.011	0.003
	3	0.008	0.042	0.015	0.008	0.007	0.004	0.005	0.000	0.005	0.009	0.009	0.002
OS-5	1	0.033	0.035	0.011	0.028	0.103	0.007	0.003	0.001	0.017	0.022	0.018	0.015
	2	0.036	0.047	0.016	0.031	0.107	0.005	0.011	0.001	0.019	0.014	0.017	0.017
	3	0.039	0.057	0.021	0.033	0.114	0.004	0.019	0.001	0.020	0.019	0.016	0.016
OS-6	1	0.024	0.020	0.017	0.015	0.049	0.014	0.013	0.013	0.148	0.012	0.010	0.007
	2	0.007	0.023	0.015	0.026	0.053	0.015	0.010	0.014	0.011	0.012	0.010	0.009
	3	0.003	0.027	0.005	0.016	0.059	0.015	0.015	0.014	0.019	0.009	0.009	0.009
OS-7	1	0.011	0.021	0.001	0.035	0.001	0.014	0.012	0.008	0.016	0.025	0.020	0.024
	2	0.009	0.030	0.001	0.003	0.003	0.014	0.006	0.009	0.018	0.024	0.019	0.023
	3	0.008	0.041	0.000	0.007	0.002	0.013	0.002	0.009	0.017	0.024	0.017	0.025
OS-8	1	0.006	0.007	0.001	0.005	0.007	0.009	0.036	0.010	0.012	0.015	0.011	0.012
	2	0.005	0.008	0.000	0.003	0.006	0.009	0.040	0.010	0.011	0.012	0.007	0.014
	3	0.001	0.041	0.000	0.007	0.025	0.009	0.050	0.005	0.009	0.012	0.012	0.017
OS-9	1	0.006	0.089	0.025	0.006	0.012	0.050	0.078	0.016	0.019	0.020	0.016	0.019
	2	0.008	0.101	0.026	0.019	0.016	0.056	0.084	0.004	0.018	0.019	0.016	0.023
	3	0.007	0.114	0.028	0.026	0.020	0.061	0.089	0.009	0.022	0.021	0.016	0.025
OS-10	1	0.011	0.016	0.017	0.018	0.005	0.015	0.014	0.003	0.005	0.011	0.005	0.008
	2	0.011	0.011	0.019	0.018	0.004	0.017	0.016	0.003	0.007	0.013	0.007	0.009
	3	0.011	0.011	0.020	0.015	0.011	0.016	0.019	0.003	0.004	0.014	0.006	0.007

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 42 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบ
ในพื้นทีเื่องด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยื่ออเดติกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)
(ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.012	0.003	0.007	0.042	0.018	0.006	0.011	0.022	0.017	0.027	0.024	0.022
	2	0.009	0.009	0.009	0.060	0.012	0.003	0.007	0.026	0.017	0.026	0.019	0.019
	3	0.007	0.008	0.009	0.089	0.007	0.005	0.008	0.031	0.016	0.027	0.018	0.018
OS-12	1	0.006	0.022	0.018	0.004	0.014	0.016	0.024	0.001	0.015	0.022	0.021	0.014
	2	0.005	0.031	0.007	0.000	0.014	0.023	0.009	0.001	0.016	0.024	0.015	0.013
	3	0.005	0.033	0.006	0.002	0.011	0.026	0.007	0.003	0.015	0.022	0.012	0.012
OS-13	1	0.007	0.033	0.011	0.023	0.001	0.026	0.017	0.012	0.014	0.017	0.018	0.010
	2	0.006	0.039	0.017	0.039	0.007	0.031	0.025	0.020	0.013	0.017	0.015	0.012
	3	0.002	0.041	0.010	0.035	0.013	0.032	0.018	0.018	0.011	0.016	0.012	0.012
OS-14	1	0.012	0.046	0.061	0.015	0.025	0.028	0.141	0.020	0.017	0.025	0.015	0.020
	2	0.015	0.039	0.131	0.004	0.029	0.021	0.243	0.003	0.017	0.023	0.015	0.017
	3	0.023	0.032	0.237	0.004	0.035	0.014	0.337	0.001	0.016	0.024	0.015	0.015
OS-15	1	0.005	0.005	0.008	0.002	0.033	0.008	0.009	0.008	0.010	0.005	0.004	0.006
	2	0.005	0.002	0.004	0.005	0.038	0.004	0.003	0.010	0.008	0.004	0.000	0.001
	3	0.002	0.008	0.002	0.006	0.041	0.008	0.005	0.012	0.005	0.005	0.003	0.005
OS-16	1	0.005	0.010	0.007	0.038	0.038	0.002	0.016	0.010	0.015	0.021	0.007	0.016
	2	0.006	0.013	0.006	0.022	0.044	0.004	0.001	0.009	0.014	0.015	0.011	0.017
	3	0.006	0.016	0.005	0.018	0.050	0.003	0.002	0.008	0.015	0.015	0.012	0.016
OS-17	1	0.005	0.008	0.005	0.019	0.019	0.009	0.000	0.005	0.012	0.015	0.010	0.013
	2	0.003	0.004	0.007	0.021	0.001	0.005	0.008	0.008	0.013	0.006	0.012	0.013
	3	0.002	0.005	0.002	0.001	0.016	0.004	0.010	0.002	0.014	0.008	0.011	0.013
OS-18	1	0.008	0.021	0.003	0.011	0.003	0.016	0.011	0.010	0.012	0.015	0.012	0.010
	2	0.005	0.001	0.001	0.011	0.013	0.006	0.014	0.010	0.011	0.013	0.014	0.009
	3	0.008	0.004	0.003	0.009	0.001	0.004	0.017	0.002	0.013	0.013	0.017	0.013
OS-19	1	0.003	0.014	0.002	0.020	0.049	0.001	0.007	0.022	0.014	0.011	0.014	0.013
	2	0.002	0.007	0.004	0.018	0.054	0.000	0.003	0.022	0.015	0.012	0.027	0.012
	3	0.007	0.011	0.002	0.003	0.079	0.003	0.003	0.009	0.054	0.012	0.014	0.009
OS-20	1	0.006	0.049	0.004	0.007	0.042	0.006	0.012	0.008	0.016	0.011	0.017	0.010
	2	0.006	0.014	0.005	0.002	0.041	0.001	0.015	0.001	0.018	0.008	0.015	0.013
	3	0.005	0.004	0.002	0.001	0.045	0.001	0.009	0.002	0.020	0.015	0.014	0.009

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 43 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.007	0.009	0.002	0.052	0.004	0.005	0.007	0.011	0.020	0.018	0.017	0.024
	2	0.007	0.009	0.001	0.079	0.022	0.006	0.028	0.015	0.020	0.021	0.016	0.030
	3	0.008	0.010	0.002	0.090	0.028	0.008	0.029	0.011	0.018	0.023	0.015	0.034
OS-2	1	0.017	0.043	0.014	0.005	0.021	0.017	0.012	0.011	0.029	0.023	0.030	0.026
	2	0.015	0.050	0.024	0.003	0.007	0.016	0.048	0.010	0.027	0.022	0.013	0.025
	3	0.014	0.067	0.027	0.005	0.024	0.019	0.063	0.012	0.025	0.023	0.009	0.025
OS-3	1	0.023	0.021	0.019	0.057	0.010	0.017	0.006	0.026	0.037	0.038	0.037	0.039
	2	0.024	0.020	0.018	0.067	0.010	0.019	0.014	0.023	0.035	0.037	0.037	0.040
	3	0.028	0.023	0.020	0.094	0.026	0.017	0.024	0.019	0.037	0.037	0.035	0.042
OS-4	1	0.025	0.079	0.003	0.050	0.000	0.024	0.022	0.010	0.028	0.017	0.013	0.010
	2	0.025	0.073	0.006	0.054	0.001	0.020	0.026	0.011	0.026	0.019	0.016	0.013
	3	0.019	0.074	0.006	0.059	0.017	0.038	0.028	0.014	0.015	0.009	0.017	0.016
OS-5	1	0.033	0.083	0.011	0.007	0.156	0.016	0.053	0.002	0.026	0.019	0.017	0.016
	2	0.035	0.084	0.009	0.009	0.158	0.016	0.048	0.002	0.025	0.023	0.019	0.017
	3	0.039	0.090	0.009	0.017	0.171	0.016	0.050	0.000	0.027	0.027	0.019	0.016
OS-6	1	0.008	0.020	0.017	0.008	0.004	0.001	0.039	0.001	0.026	0.019	0.012	0.019
	2	0.008	0.027	0.021	0.005	0.014	0.002	0.047	0.003	0.026	0.021	0.013	0.012
	3	0.008	0.030	0.024	0.002	0.023	0.003	0.051	0.005	0.026	0.017	0.012	0.010
OS-7	1	0.001	0.020	0.008	0.011	0.006	0.008	0.021	0.002	0.022	0.017	0.021	0.031
	2	0.001	0.029	0.009	0.009	0.013	0.011	0.027	0.001	0.022	0.024	0.020	0.028
	3	0.001	0.032	0.009	0.009	0.018	0.012	0.032	0.002	0.021	0.024	0.019	0.029
OS-8	1	0.002	0.023	0.006	0.010	0.093	0.024	0.046	0.012	0.021	0.019	0.012	0.014
	2	0.011	0.026	0.004	0.018	0.108	0.004	0.056	0.012	0.025	0.017	0.011	0.015
	3	0.064	0.023	0.004	0.002	0.153	0.002	0.055	0.010	0.013	0.019	0.010	0.013
OS-9	1	0.031	0.066	0.029	0.003	0.047	0.044	0.038	0.013	0.024	0.021	0.017	0.029
	2	0.036	0.099	0.028	0.003	0.058	0.057	0.034	0.011	0.025	0.023	0.019	0.024
	3	0.040	0.124	0.033	0.000	0.072	0.069	0.041	0.012	0.027	0.021	0.018	0.024
OS-10	1	0.020	0.042	0.034	0.011	0.018	0.004	0.029	0.004	0.009	0.006	0.011	0.009
	2	0.022	0.025	0.036	0.010	0.023	0.019	0.029	0.003	0.009	0.022	0.013	0.006
	3	0.012	0.042	0.035	0.012	0.004	0.010	0.028	0.004	0.014	0.014	0.012	0.006

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 43 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาวฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.006	0.010	0.010	0.127	0.002	0.007	0.009	0.046	0.025	0.023	0.022	0.023
	2	0.000	0.017	0.012	0.144	0.009	0.008	0.002	0.050	0.024	0.023	0.026	0.024
	3	0.000	0.001	0.016	0.165	0.010	0.007	0.003	0.053	0.020	0.028	0.024	0.004
OS-12	1	0.006	0.030	0.004	0.045	0.014	0.026	0.006	0.023	0.016	0.018	0.012	0.023
	2	0.006	0.026	0.000	0.048	0.010	0.021	0.002	0.027	0.016	0.019	0.016	0.021
	3	0.009	0.034	0.005	0.010	0.003	0.028	0.003	0.004	0.021	0.018	0.018	0.018
OS-13	1	0.000	0.113	0.006	0.017	0.018	0.083	0.025	0.010	0.014	0.023	0.019	0.016
	2	0.002	0.041	0.008	0.022	0.020	0.028	0.032	0.009	0.017	0.018	0.018	0.015
	3	0.003	0.043	0.006	0.025	0.023	0.030	0.027	0.012	0.016	0.016	0.015	0.017
OS-14	1	0.055	0.307	0.314	0.013	0.075	0.201	0.431	0.022	0.021	0.028	0.018	0.021
	2	0.012	0.325	0.404	0.007	0.021	0.221	0.493	0.016	0.019	0.027	0.018	0.019
	3	0.013	0.343	0.506	0.007	0.024	0.243	0.544	0.010	0.020	0.028	0.020	0.014
OS-15	1	0.006	0.012	0.004	0.008	0.081	0.003	0.017	0.008	0.009	0.004	0.006	0.012
	2	0.008	0.019	0.002	0.012	0.083	0.014	0.019	0.004	0.007	0.003	0.006	0.010
	3	0.008	0.029	0.001	0.013	0.091	0.019	0.025	0.003	0.011	0.001	0.004	0.005
OS-16	1	0.010	0.005	0.008	0.047	0.093	0.003	0.003	0.016	0.010	0.023	0.014	0.017
	2	0.009	0.015	0.008	0.047	0.096	0.003	0.021	0.014	0.011	0.017	0.012	0.018
	3	0.007	0.017	0.007	0.049	0.099	0.004	0.031	0.013	0.013	0.016	0.013	0.018
OS-17	1	0.011	0.010	0.002	0.012	0.055	0.001	0.017	0.010	0.016	0.015	0.012	0.019
	2	0.015	0.010	0.001	0.018	0.088	0.001	0.014	0.012	0.019	0.016	0.014	0.019
	3	0.013	0.018	0.002	0.013	0.116	0.011	0.022	0.009	0.020	0.013	0.017	0.018
OS-18	1	0.017	0.017	0.009	0.004	0.023	0.013	0.040	0.008	0.016	0.019	0.015	0.012
	2	0.020	0.022	0.009	0.014	0.029	0.013	0.039	0.010	0.018	0.017	0.016	0.014
	3	0.025	0.014	0.002	0.007	0.041	0.007	0.033	0.008	0.012	0.016	0.016	0.012
OS-19	1	0.007	0.032	0.004	0.019	0.103	0.013	0.007	0.023	0.029	0.005	0.012	0.011
	2	0.014	0.048	0.004	0.024	0.023	0.017	0.004	0.024	0.019	0.010	0.014	0.014
	3	0.014	0.014	0.006	0.035	0.017	0.003	0.010	0.030	0.021	0.010	0.014	0.014
OS-20	1	0.011	0.014	0.029	0.003	0.053	0.005	0.014	0.046	0.017	0.011	0.015	0.025
	2	0.011	0.016	0.015	0.001	0.059	0.003	0.006	0.023	0.015	0.009	0.014	0.014
	3	0.012	0.031	0.017	0.004	0.062	0.007	0.013	0.021	0.015	0.010	0.014	0.011

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 44 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.008	0.061	0.004	0.147	0.033	0.004	0.079	0.009	0.026	0.091	0.012	0.019
	2	0.006	0.041	0.004	0.164	0.030	0.001	0.087	0.010	0.025	0.063	0.014	0.021
	3	0.005	0.015	0.000	0.175	0.031	0.007	0.085	0.011	0.023	0.014	0.012	0.025
OS-2	1	0.009	0.092	0.005	0.058	0.034	0.023	0.106	0.009	0.030	0.031	0.034	0.026
	2	0.010	0.096	0.010	0.073	0.030	0.020	0.092	0.006	0.026	0.031	0.031	0.023
	3	0.007	0.104	0.010	0.089	0.008	0.019	0.086	0.009	0.031	0.029	0.032	0.024
OS-3	1	0.032	0.053	0.025	0.146	0.075	0.021	0.031	0.001	0.030	0.039	0.041	0.034
	2	0.035	0.055	0.022	0.153	0.085	0.020	0.037	0.006	0.031	0.041	0.039	0.025
	3	0.037	0.051	0.021	0.173	0.096	0.021	0.042	0.016	0.031	0.040	0.037	0.024
OS-4	1	0.012	0.096	0.002	0.081	0.028	0.040	0.031	0.022	0.027	0.015	0.001	0.010
	2	0.004	0.101	0.004	0.085	0.042	0.044	0.031	0.022	0.030	0.017	0.010	0.016
	3	0.002	0.104	0.003	0.088	0.056	0.046	0.031	0.026	0.032	0.019	0.008	0.017
OS-5	1	0.066	0.139	0.014	0.013	0.256	0.014	0.073	0.000	0.022	0.025	0.012	0.017
	2	0.072	0.162	0.014	0.016	0.265	0.014	0.071	0.001	0.021	0.016	0.013	0.019
	3	0.071	0.177	0.010	0.019	0.260	0.014	0.056	0.000	0.022	0.016	0.017	0.018
OS-6	1	0.005	0.031	0.041	0.023	0.039	0.005	0.094	0.002	0.027	0.009	0.015	0.013
	2	0.005	0.013	0.033	0.015	0.051	0.002	0.073	0.001	0.023	0.017	0.015	0.013
	3	0.004	0.013	0.026	0.008	0.066	0.002	0.059	0.002	0.018	0.020	0.015	0.016
OS-7	1	0.000	0.025	0.012	0.023	0.010	0.009	0.060	0.003	0.022	0.036	0.022	0.025
	2	0.001	0.028	0.010	0.040	0.021	0.012	0.066	0.008	0.022	0.035	0.022	0.024
	3	0.003	0.028	0.009	0.041	0.034	0.011	0.070	0.008	0.023	0.030	0.019	0.025
OS-8	1	0.074	0.003	0.007	0.011	0.210	0.011	0.047	0.015	0.017	0.024	0.012	0.019
	2	0.076	0.003	0.005	0.004	0.211	0.014	0.056	0.011	0.019	0.022	0.012	0.019
	3	0.075	0.020	0.006	0.001	0.213	0.022	0.022	0.011	0.021	0.025	0.012	0.021
OS-9	1	0.077	0.004	0.008	0.006	0.126	0.014	0.047	0.017	0.036	0.026	0.027	0.036
	2	0.089	0.005	0.005	0.000	0.150	0.014	0.048	0.015	0.032	0.024	0.027	0.038
	3	0.098	0.061	0.006	0.008	0.173	0.046	0.071	0.012	0.034	0.021	0.027	0.038
OS-10	1	0.026	0.018	0.016	0.033	0.031	0.025	0.000	0.009	0.003	0.024	0.005	0.018
	2	0.043	0.023	0.017	0.020	0.056	0.029	0.002	0.014	0.005	0.027	0.008	0.002
	3	0.057	0.164	0.012	0.010	0.083	0.036	0.023	0.004	0.005	0.028	0.015	0.014

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 44 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาวฟ้ากรณีทดสอบใน
พื้นที่โล่งด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)
(ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.019	0.013	0.020	0.183	0.023	0.010	0.010	0.064	0.022	0.034	0.033	0.041
	2	0.005	0.018	0.020	0.191	0.003	0.012	0.007	0.066	0.019	0.034	0.026	0.043
	3	0.006	0.026	0.021	0.204	0.006	0.013	0.011	0.069	0.022	0.029	0.028	0.043
OS-12	1	0.019	0.019	0.002	0.058	0.042	0.001	0.014	0.019	0.023	0.027	0.021	0.015
	2	0.018	0.018	0.001	0.065	0.034	0.000	0.012	0.022	0.014	0.023	0.019	0.018
	3	0.016	0.022	0.001	0.072	0.026	0.023	0.009	0.027	0.016	0.023	0.019	0.016
OS-13	1	0.003	0.094	0.000	0.041	0.010	0.042	0.023	0.036	0.023	0.031	0.015	0.020
	2	0.003	0.120	0.014	0.056	0.013	0.061	0.002	0.045	0.017	0.033	0.011	0.021
	3	0.000	0.155	0.019	0.070	0.016	0.085	0.014	0.051	0.018	0.031	0.014	0.020
OS-14	1	0.018	0.004	0.007	0.133	0.016	0.000	0.032	0.132	0.024	0.021	0.026	0.024
	2	0.020	0.445	1.004	0.156	0.021	0.293	0.634	0.147	0.023	0.040	0.024	0.028
	3	0.025	0.358	1.136	0.065	0.027	0.355	0.643	0.083	0.024	0.039	0.026	0.019
OS-15	1	0.008	0.028	0.005	0.015	0.022	0.010	0.006	0.013	0.011	0.009	0.006	0.002
	2	0.012	0.018	0.006	0.018	0.010	0.008	0.008	0.006	0.011	0.005	0.004	0.006
	3	0.014	0.013	0.005	0.032	0.003	0.008	0.003	0.003	0.012	0.007	0.006	0.012
OS-16	1	0.008	0.010	0.013	0.059	0.083	0.013	0.023	0.014	0.017	0.029	0.019	0.027
	2	0.007	0.002	0.013	0.052	0.015	0.006	0.023	0.014	0.020	0.027	0.022	0.026
	3	0.010	0.010	0.010	0.070	0.006	0.008	0.000	0.013	0.029	0.028	0.020	0.023
OS-17	1	0.026	0.024	0.003	0.003	0.153	0.001	0.022	0.010	0.018	0.027	0.016	0.017
	2	0.026	0.014	0.001	0.001	0.169	0.002	0.006	0.009	0.021	0.020	0.016	0.016
	3	0.026	0.025	0.001	0.005	0.188	0.002	0.006	0.007	0.021	0.021	0.016	0.017
OS-18	1	0.012	0.001	0.003	0.001	0.009	0.005	0.040	0.011	0.021	0.023	0.027	0.020
	2	0.002	0.004	0.008	0.001	0.019	0.010	0.008	0.011	0.015	0.023	0.024	0.018
	3	0.003	0.009	0.009	0.002	0.037	0.013	0.004	0.008	0.016	0.024	0.025	0.015
OS-19	1	0.011	0.018	0.010	0.011	0.000	0.018	0.003	0.021	0.018	0.101	0.013	0.013
	2	0.005	0.015	0.009	0.010	0.010	0.011	0.014	0.021	0.015	0.062	0.011	0.014
	3	0.012	0.018	0.007	0.024	0.006	0.005	0.029	0.028	0.009	0.016	0.007	0.015
OS-20	1	0.014	0.011	0.010	0.009	0.008	0.002	0.009	0.023	0.017	0.013	0.019	0.014
	2	0.013	0.033	0.010	0.008	0.014	0.004	0.014	0.020	0.018	0.016	0.018	0.015
	3	0.007	0.013	0.018	0.015	0.015	0.001	0.025	0.024	0.020	0.018	0.018	0.053

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 45 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณลาดฟ้ากรณีทดสอบใน
พื้นที่โล่งด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-1	1	0.002	0.002	0.002	0.018	0.018	0.001	0.105	0.010	0.030	0.018	0.022	0.007
	2	0.003	0.007	0.005	0.014	0.023	0.002	0.121	0.010	0.028	0.022	0.022	0.002
	3	0.002	0.006	0.007	0.006	0.024	0.002	0.129	0.010	0.028	0.022	0.019	0.001
OS-2	1	0.016	0.120	0.017	0.039	0.055	0.026	0.036	0.016	0.038	0.043	0.043	0.028
	2	0.019	0.071	0.015	0.046	0.080	0.017	0.009	0.017	0.037	0.035	0.043	0.026
	3	0.020	0.078	0.015	0.031	0.073	0.018	0.012	0.013	0.034	0.038	0.043	0.018
OS-3	1	0.031	0.014	0.026	0.216	0.065	0.021	0.011	0.032	0.038	0.045	0.037	0.048
	2	0.031	0.019	0.028	0.076	0.066	0.013	0.068	0.018	0.038	0.038	0.039	0.046
	3	0.022	0.020	0.025	0.078	0.001	0.013	0.066	0.015	0.038	0.040	0.047	0.040
OS-4	1	0.005	0.129	0.010	0.086	0.078	0.041	0.031	0.019	0.041	0.015	0.006	0.018
	2	0.000	0.125	0.012	0.072	0.092	0.039	0.035	0.011	0.039	0.018	0.005	0.020
	3	0.004	0.126	0.014	0.030	0.104	0.039	0.039	0.003	0.046	0.019	0.009	0.019
OS-5	1	0.066	0.224	0.010	0.037	0.327	0.025	0.028	0.015	0.030	0.019	0.015	0.026
	2	0.067	0.241	0.005	0.051	0.329	0.027	0.002	0.014	0.029	0.024	0.019	0.022
	3	0.068	0.015	0.002	0.069	0.335	0.001	0.021	0.017	0.028	0.030	0.019	0.027
OS-6	1	0.019	0.019	0.002	0.011	0.039	0.009	0.006	0.010	0.042	0.028	0.014	0.014
	2	0.019	0.031	0.004	0.002	0.017	0.009	0.007	0.008	0.035	0.023	0.007	0.014
	3	0.018	0.035	0.007	0.015	0.015	0.008	0.018	0.011	0.031	0.023	0.009	0.014
OS-7	1	0.002	0.009	0.008	0.008	0.018	0.005	0.009	0.009	0.026	0.033	0.023	0.024
	2	0.000	0.000	0.009	0.014	0.025	0.005	0.005	0.006	0.029	0.032	0.026	0.022
	3	0.001	0.003	0.002	0.033	0.031	0.005	0.044	0.005	0.030	0.031	0.024	0.021
OS-8	1	0.020	0.005	0.013	0.037	0.103	0.018	0.004	0.026	0.020	0.027	0.020	0.016
	2	0.013	0.001	0.009	0.026	0.009	0.016	0.041	0.027	0.024	0.028	0.021	0.024
	3	0.005	0.007	0.010	0.023	0.017	0.009	0.047	0.025	0.025	0.027	0.023	0.028
OS-9	1	0.023	0.033	0.010	0.027	0.015	0.044	0.091	0.025	0.039	0.038	0.029	0.028
	2	0.026	0.038	0.021	0.034	0.019	0.046	0.115	0.025	0.039	0.036	0.028	0.026
	3	0.029	0.012	0.037	0.028	0.024	0.003	0.147	0.023	0.038	0.035	0.036	0.028
OS-10	1	0.045	0.065	0.008	0.038	0.059	0.043	0.029	0.029	0.016	0.028	0.001	0.034
	2	0.048	0.057	0.011	0.033	0.068	0.039	0.022	0.029	0.018	0.025	0.003	0.019
	3	0.052	0.061	0.014	0.018	0.077	0.044	0.029	0.020	0.019	0.025	0.007	0.003

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

ตารางที่ 45 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบริเวณดาวฟ้ากรณีทดสอบในพื้นที่โล่งด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
OS-11	1	0.029	0.018	0.025	0.020	0.031	0.016	0.005	0.007	0.029	0.033	0.020	0.025
	2	0.034	0.037	0.055	0.025	0.039	0.018	0.045	0.007	0.030	0.037	0.026	0.031
	3	0.040	0.047	0.064	0.033	0.049	0.026	0.060	0.004	0.031	0.033	0.031	0.034
OS-12	1	0.010	0.008	0.013	0.079	0.021	0.007	0.041	0.025	0.038	0.023	0.019	0.012
	2	0.015	0.018	0.018	0.094	0.009	0.006	0.051	0.031	0.037	0.020	0.018	0.017
	3	0.012	0.025	0.023	0.108	0.000	0.003	0.062	0.038	0.037	0.018	0.017	0.020
OS-13	1	0.013	0.084	0.118	0.127	0.004	0.041	0.149	0.107	0.033	0.036	0.025	0.027
	2	0.012	0.139	0.114	0.037	0.003	0.086	0.142	0.024	0.032	0.033	0.025	0.019
	3	0.037	0.068	0.111	0.068	0.030	0.038	0.135	0.040	0.037	0.043	0.030	0.021
OS-14	1	0.025	0.160	0.013	0.147	0.003	0.107	0.035	0.074	0.026	0.050	0.033	0.023
	2	0.027	0.220	1.883	0.014	0.008	0.171	0.535	0.006	0.026	0.049	0.031	0.023
	3	0.069	0.286	0.660	0.324	0.167	0.248	0.492	0.213	0.041	0.048	0.032	0.030
OS-15	1	0.015	0.005	0.008	0.059	0.004	0.014	0.023	0.022	0.022	0.018	0.011	0.018
	2	0.009	0.012	0.008	0.060	0.012	0.004	0.012	0.022	0.026	0.014	0.011	0.010
	3	0.009	0.035	0.006	0.026	0.013	0.019	0.007	0.019	0.027	0.008	0.010	0.006
OS-16	1	0.011	0.043	0.008	0.007	0.019	0.002	0.037	0.013	0.027	0.044	0.024	0.024
	2	0.015	0.041	0.007	0.057	0.006	0.001	0.048	0.017	0.030	0.039	0.022	0.024
	3	0.014	0.013	0.009	0.107	0.010	0.015	0.010	0.022	0.039	0.029	0.023	0.023
OS-17	1	0.038	0.059	0.006	0.031	0.201	0.022	0.049	0.024	0.026	0.027	0.025	0.018
	2	0.038	0.055	0.006	0.030	0.215	0.021	0.047	0.023	0.022	0.030	0.023	0.014
	3	0.024	0.021	0.007	0.002	0.064	0.005	0.008	0.015	0.026	0.033	0.020	0.019
OS-18	1	0.009	0.011	0.010	0.012	0.017	0.003	0.007	0.020	0.028	0.034	0.028	0.018
	2	0.006	0.018	0.014	0.017	0.030	0.000	0.003	0.021	0.026	0.033	0.024	0.020
	3	0.001	0.010	0.001	0.002	0.040	0.008	0.045	0.018	0.026	0.032	0.030	0.018
OS-19	1	0.011	0.044	0.008	0.021	0.000	0.017	0.041	0.023	0.033	0.031	0.019	0.012
	2	0.010	0.053	0.009	0.059	0.005	0.022	0.036	0.031	0.030	0.020	0.026	0.093
	3	0.011	0.047	0.010	0.042	0.008	0.019	0.032	0.030	0.032	0.024	0.024	0.093
OS-20	1	0.012	0.023	0.001	0.027	0.020	0.003	0.013	0.048	0.026	0.001	0.024	0.022
	2	0.010	0.011	0.004	0.035	0.026	0.005	0.010	0.056	0.029	0.018	0.021	0.020
	3	0.013	0.009	0.004	0.010	0.002	0.007	0.010	0.028	0.026	0.021	0.021	0.028

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

**ภาคผนวก จ.2 กรณีทดสอบใกล้กับผนังบนตาดฟ้าโดยหมุดห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร
จำนวน 20 หมุด**

ตารางที่ 46 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 0° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	MEMS (i80)			IMU (i90)		
		RMSE N	RMSE E	RMSE H	RMSE N	RMSE E	RMSE H
W-1	1	0.010	0.026	0.005	0.003	0.007	0.010
	2	0.010	0.026	0.010	0.002	0.008	0.008
	3	0.010	0.029	0.015	0.004	0.006	0.010
W-2	1	0.002	0.030	0.055	0.011	0.001	0.031
	2	0.002	0.015	0.039	0.012	0.003	0.020
	3	0.001	0.016	0.042	0.010	0.003	0.015
W-3	1	0.015	0.004	0.035	0.002	0.005	0.020
	2	0.013	0.004	0.022	0.003	0.003	0.019
	3	0.013	0.004	0.023	0.002	0.002	0.018
W-4	1	0.002	0.004	0.008	0.008	0.006	0.015
	2	0.001	0.004	0.010	0.009	0.008	0.013
	3	0.000	0.003	0.019	0.007	0.007	0.014
W-5	1	0.006	0.009	0.005	0.014	0.007	0.019
	2	0.008	0.009	0.032	0.015	0.010	0.016
	3	0.009	0.011	0.023	0.014	0.008	0.019
W-6	1	0.000	0.020	0.014	0.000	0.005	0.036
	2	0.000	0.018	0.011	0.003	0.010	0.045
	3	0.002	0.018	0.007	0.005	0.009	0.043
W-7	1	0.021	0.018	0.041	0.001	0.018	0.073
	2	0.017	0.019	0.037	0.005	0.012	0.065
	3	0.028	0.018	0.049	0.000	0.015	0.082
W-8	1	0.002	0.049	0.049	0.018	0.046	0.096
	2	0.003	0.053	0.036	0.015	0.047	0.102
	3	0.005	0.054	0.032	0.015	0.046	0.090
W-9	1	0.007	0.007	0.016	0.009	0.007	0.005
	2	0.008	0.005	0.016	0.008	0.009	0.005
	3	0.009	0.004	0.017	0.007	0.010	0.007
W-10	1	0.007	0.003	0.031	0.003	0.010	0.027
	2	0.005	0.002	0.028	0.004	0.009	0.026
	3	0.006	0.003	0.025	0.005	0.011	0.026

เมื่อ N = Northing, E = Easting, H = Vertical

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าหาผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 46 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 0° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) และ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมวด	ครั้งที่	MEMS (i80)			IMU (i90)		
		RMSE N	RMSE E	RMSE H	RMSE N	RMSE E	RMSE H
W-11	1	0.011	0.007	0.021	0.024	0.000	0.023
	2	0.007	0.011	0.022	0.025	0.005	0.017
	3	0.008	0.012	0.026	0.027	0.013	0.034
W-12	1	0.009	0.003	0.021	0.024	0.012	0.009
	2	0.010	0.002	0.020	0.028	0.012	0.013
	3	0.012	0.001	0.025	0.031	0.012	0.012
W-13	1	0.016	0.016	0.006	0.003	0.011	0.035
	2	0.014	0.017	0.014	0.002	0.003	0.015
	3	0.015	0.016	0.012	0.001	0.006	0.008
W-14	1	0.015	0.016	0.014	0.004	0.007	0.003
	2	0.015	0.016	0.005	0.004	0.009	0.007
	3	0.016	0.015	0.002	0.004	0.010	0.009
W-15	1	0.004	0.010	0.003	0.006	0.010	0.000
	2	0.004	0.008	0.004	0.007	0.010	0.000
	3	0.004	0.006	0.001	0.007	0.011	0.005
W-16	1	0.032	0.015	0.022	0.037	0.033	0.023
	2	0.028	0.014	0.026	0.037	0.035	0.024
	3	0.029	0.014	0.028	0.037	0.034	0.024
W-17	1	0.010	0.011	0.015	0.008	0.005	0.020
	2	0.010	0.010	0.013	0.007	0.003	0.001
	3	0.009	0.010	0.011	0.007	0.002	0.006
W-18	1	0.005	0.011	0.023	0.000	0.005	0.008
	2	0.004	0.009	0.024	0.001	0.003	0.010
	3	0.006	0.009	0.024	0.000	0.005	0.012
W-19	1	0.000	0.013	0.023	0.008	0.007	0.016
	2	0.001	0.015	0.021	0.008	0.006	0.012
	3	0.003	0.013	0.021	0.009	0.010	0.017
W-20	1	0.007	0.019	0.012	0.005	0.008	0.019
	2	0.005	0.018	0.014	0.001	0.006	0.022
	3	0.004	0.017	0.011	0.002	0.007	0.024

เมื่อ N = Northing, E = Easting, H = Vertical

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 47 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบรณิห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหุมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.010	0.093	0.025	0.146	0.046	0.055	0.008	0.002	0.009	0.077	0.090	0.036
	2	0.010	0.088	0.028	0.153	0.046	0.055	0.016	0.005	0.015	0.081	0.091	0.011
	3	0.011	0.089	0.022	0.155	0.047	0.056	0.017	0.003	0.017	0.065	0.089	0.007
W-2	1	0.001	0.110	0.009	0.182	0.088	0.025	0.019	0.002	0.017	0.029	0.014	0.019
	2	0.001	0.108	0.001	0.182	0.087	0.025	0.007	0.001	0.016	0.029	0.006	0.021
	3	0.002	0.103	0.004	0.183	0.086	0.028	0.012	0.002	0.014	0.044	0.000	0.019
W-3	1	0.014	0.123	0.012	0.179	0.080	0.055	0.016	0.013	0.015	0.020	0.039	0.017
	2	0.013	0.123	0.011	0.179	0.077	0.051	0.019	0.015	0.012	0.028	0.037	0.017
	3	0.013	0.125	0.010	0.179	0.078	0.051	0.018	0.012	0.015	0.030	0.033	0.008
W-4	1	0.002	0.079	0.095	0.014	0.021	0.021	0.002	0.011	0.002	0.028	0.028	0.009
	2	0.002	0.080	0.095	0.014	0.019	0.023	0.003	0.008	0.002	0.033	0.024	0.007
	3	0.000	0.080	0.093	0.015	0.018	0.022	0.003	0.008	0.000	0.036	0.025	0.005
W-5	1	0.001	0.092	0.011	0.077	0.024	0.033	0.015	0.023	0.007	0.033	0.012	0.002
	2	0.001	0.093	0.012	0.078	0.024	0.034	0.015	0.022	0.010	0.031	0.014	0.006
	3	0.001	0.092	0.012	0.079	0.022	0.034	0.016	0.022	0.010	0.029	0.011	0.006
W-6	1	0.008	0.105	0.000	0.137	0.125	0.007	0.089	0.013	0.016	0.021	0.092	0.010
	2	0.008	0.103	0.003	0.137	0.127	0.005	0.091	0.012	0.021	0.013	0.096	0.008
	3	0.006	0.106	0.000	0.133	0.128	0.006	0.089	0.010	0.027	0.009	0.096	0.008
W-7	1	0.030	0.007	0.014	0.154	0.062	0.012	0.058	0.014	0.027	0.007	0.048	0.040
	2	0.028	0.010	0.014	0.153	0.062	0.011	0.057	0.015	0.022	0.007	0.044	0.043
	3	0.028	0.009	0.039	0.154	0.062	0.012	0.062	0.015	0.024	0.005	0.016	0.047
W-8	1	0.026	0.019	0.001	0.192	0.214	0.059	0.012	0.029	0.044	0.047	0.024	0.043
	2	0.028	0.022	0.001	0.191	0.217	0.058	0.011	0.027	0.042	0.035	0.026	0.048
	3	0.026	0.023	0.001	0.194	0.218	0.057	0.012	0.026	0.043	0.035	0.027	0.054
W-9	1	0.004	0.056	0.028	0.198	0.106	0.013	0.035	0.028	0.001	0.020	0.015	0.022
	2	0.005	0.057	0.031	0.197	0.104	0.014	0.030	0.029	0.000	0.021	0.007	0.017
	3	0.004	0.053	0.030	0.197	0.105	0.012	0.030	0.027	0.000	0.016	0.012	0.013
W-10	1	0.008	0.067	0.006	0.205	0.117	0.023	0.041	0.016	0.026	0.029	0.017	0.016
	2	0.008	0.066	0.006	0.203	0.112	0.024	0.038	0.017	0.025	0.027	0.019	0.021
	3	0.009	0.065	0.008	0.208	0.115	0.023	0.039	0.018	0.022	0.030	0.019	0.025

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 47 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	0.055	0.131	0.013	0.142	0.082	0.026	0.062	0.013	0.108	0.045	0.008	0.056
	2	0.057	0.127	0.014	0.143	0.082	0.025	0.062	0.013	0.102	0.029	0.008	0.056
	3	0.059	0.126	0.014	0.143	0.083	0.025	0.062	0.013	0.100	0.019	0.007	0.056
W-12	1	0.008	0.044	0.009	0.196	0.199	0.000	0.078	0.046	0.024	0.018	0.022	0.003
	2	0.012	0.044	0.010	0.195	0.198	0.003	0.078	0.047	0.021	0.013	0.025	0.003
	3	0.009	0.044	0.012	0.194	0.196	0.003	0.076	0.047	0.022	0.003	0.027	0.005
W-13	1	0.046	0.004	0.004	0.221	0.215	0.009	0.093	0.030	0.032	0.005	0.010	0.031
	2	0.044	0.005	0.003	0.224	0.217	0.011	0.093	0.033	0.022	0.005	0.015	0.019
	3	0.045	0.008	0.014	0.225	0.215	0.012	0.088	0.033	0.030	0.001	0.015	0.014
W-14	1	0.004	0.005	0.009	0.218	0.161	0.017	0.089	0.026	0.068	0.008	0.003	0.012
	2	0.003	0.003	0.008	0.223	0.162	0.015	0.092	0.029	0.073	0.010	0.001	0.006
	3	0.004	0.005	0.007	0.224	0.160	0.016	0.082	0.030	0.072	0.009	0.036	0.010
W-15	1	0.026	0.036	0.003	0.126	0.131	0.006	0.042	0.030	0.096	0.057	0.020	0.044
	2	0.024	0.036	0.002	0.127	0.131	0.006	0.043	0.032	0.090	0.041	0.020	0.044
	3	0.024	0.036	0.003	0.128	0.130	0.007	0.042	0.032	0.088	0.031	0.019	0.044
W-16	1	0.006	0.099	0.075	0.149	0.126	0.003	0.116	0.067	0.028	0.016	0.031	0.042
	2	0.008	0.102	0.076	0.151	0.127	0.003	0.114	0.068	0.029	0.015	0.028	0.042
	3	0.006	0.102	0.076	0.151	0.128	0.003	0.115	0.067	0.023	0.017	0.027	0.046
W-17	1	0.009	0.132	0.036	0.078	0.054	0.040	0.139	0.037	0.054	0.015	0.000	0.013
	2	0.010	0.131	0.036	0.080	0.054	0.038	0.138	0.038	0.057	0.011	0.002	0.007
	3	0.013	0.131	0.036	0.079	0.048	0.036	0.141	0.039	0.068	0.016	0.000	0.006
W-18	1	0.010	0.118	0.017	0.028	0.031	0.040	0.099	0.004	0.040	0.008	0.021	0.032
	2	0.011	0.117	0.015	0.027	0.029	0.039	0.105	0.002	0.035	0.008	0.020	0.030
	3	0.012	0.116	0.005	0.027	0.029	0.039	0.125	0.001	0.038	0.006	0.054	0.030
W-19	1	0.007	0.081	0.008	0.048	0.028	0.036	0.079	0.005	0.019	0.001	0.002	0.048
	2	0.006	0.080	0.009	0.047	0.027	0.037	0.079	0.000	0.014	0.000	0.001	0.029
	3	0.008	0.080	0.008	0.042	0.028	0.037	0.078	0.001	0.015	0.001	0.004	0.027
W-20	1	0.008	0.116	0.025	0.160	0.103	0.052	0.023	0.033	0.018	0.008	0.004	0.020
	2	0.011	0.115	0.026	0.160	0.108	0.052	0.022	0.030	0.012	0.005	0.015	0.021
	3	0.012	0.114	0.026	0.160	0.107	0.053	0.024	0.033	0.011	0.008	0.006	0.021

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 48 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบรณิห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.018	0.217	0.033	0.280	0.030	0.080	0.001	0.009	0.013	0.060	0.018	0.019
	2	0.018	0.217	0.034	0.279	0.028	0.085	0.001	0.010	0.005	0.080	0.017	0.008
	3	0.016	0.221	0.035	0.279	0.031	0.083	0.001	0.011	0.010	0.075	0.017	0.008
W-2	1	0.019	0.247	0.009	0.303	0.122	0.048	0.046	0.010	0.037	0.073	0.020	0.013
	2	0.022	0.238	0.011	0.302	0.122	0.040	0.044	0.010	0.048	0.070	0.016	0.008
	3	0.024	0.239	0.010	0.301	0.121	0.043	0.042	0.012	0.052	0.060	0.020	0.008
W-3	1	0.016	0.221	0.019	0.293	0.099	0.091	0.024	0.024	0.001	0.072	0.004	0.006
	2	0.017	0.218	0.018	0.293	0.101	0.075	0.023	0.026	0.002	0.132	0.007	0.010
	3	0.017	0.223	0.018	0.290	0.099	0.096	0.021	0.025	0.002	0.053	0.009	0.006
W-4	1	0.008	0.148	0.012	0.163	0.036	0.049	0.000	0.006	0.005	0.021	0.076	0.002
	2	0.006	0.146	0.012	0.163	0.038	0.051	0.004	0.007	0.001	0.015	0.081	0.002
	3	0.007	0.148	0.011	0.164	0.038	0.051	0.000	0.009	0.005	0.020	0.079	0.005
W-5	1	0.005	0.169	0.019	0.152	0.028	0.056	0.017	0.016	0.009	0.009	0.001	0.006
	2	0.004	0.168	0.019	0.152	0.028	0.058	0.017	0.016	0.006	0.000	0.006	0.005
	3	0.003	0.168	0.018	0.150	0.028	0.060	0.017	0.014	0.007	0.003	0.007	0.002
W-6	1	0.019	0.161	0.012	0.168	0.176	0.021	0.148	0.018	0.017	0.001	0.054	0.004
	2	0.017	0.159	0.027	0.171	0.180	0.023	0.155	0.019	0.019	0.012	0.034	0.003
	3	0.017	0.160	0.042	0.171	0.180	0.024	0.172	0.018	0.021	0.012	0.006	0.002
W-7	1	0.023	0.002	0.018	0.242	0.078	0.022	0.112	0.038	0.022	0.005	0.023	0.028
	2	0.024	0.004	0.019	0.241	0.080	0.024	0.113	0.039	0.022	0.009	0.003	0.023
	3	0.023	0.003	0.018	0.242	0.080	0.022	0.113	0.039	0.020	0.005	0.001	0.023
W-8	1	0.025	0.080	0.019	0.323	0.315	0.069	0.007	0.002	0.052	0.044	0.015	0.084
	2	0.025	0.083	0.013	0.326	0.315	0.070	0.008	0.002	0.056	0.037	0.004	0.088
	3	0.025	0.083	0.012	0.331	0.315	0.070	0.009	0.003	0.055	0.033	0.006	0.077
W-9	1	0.012	0.115	0.029	0.340	0.164	0.039	0.051	0.061	0.002	0.026	0.025	0.024
	2	0.012	0.112	0.031	0.340	0.165	0.039	0.049	0.061	0.004	0.022	0.026	0.019
	3	0.011	0.113	0.030	0.340	0.164	0.039	0.050	0.063	0.005	0.021	0.021	0.019
W-10	1	0.022	0.134	0.014	0.333	0.197	0.040	0.049	0.057	0.020	0.023	0.037	0.023
	2	0.021	0.134	0.014	0.333	0.196	0.042	0.043	0.056	0.021	0.023	0.012	0.023
	3	0.022	0.132	0.013	0.334	0.196	0.040	0.045	0.057	0.025	0.025	0.050	0.024

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 48 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	0.044	0.210	0.013	0.093	0.192	0.018	0.086	0.005	0.013	0.021	0.000	0.027
	2	0.044	0.215	0.013	0.080	0.197	0.019	0.085	0.005	0.011	0.000	0.001	0.038
	3	0.045	0.222	0.013	0.112	0.194	0.018	0.087	0.006	0.012	0.009	0.002	0.018
W-12	1	0.015	0.050	0.018	0.311	0.325	0.008	0.114	0.063	0.075	0.023	0.018	0.006
	2	0.016	0.053	0.017	0.307	0.325	0.005	0.116	0.060	0.068	0.014	0.017	0.019
	3	0.013	0.056	0.016	0.307	0.321	0.004	0.115	0.060	0.054	0.017	0.015	0.022
W-13	1	0.050	0.004	0.004	0.382	0.363	0.019	0.140	0.029	0.036	0.004	0.020	0.017
	2	0.051	0.005	0.002	0.382	0.362	0.019	0.138	0.029	0.035	0.004	0.018	0.014
	3	0.051	0.002	0.003	0.384	0.361	0.019	0.139	0.031	0.036	0.001	0.015	0.014
W-14	1	0.063	0.022	0.002	0.358	0.251	0.024	0.126	0.089	0.048	0.027	0.015	0.014
	2	0.068	0.022	0.003	0.359	0.256	0.024	0.125	0.088	0.038	0.024	0.009	0.008
	3	0.071	0.030	0.002	0.358	0.260	0.031	0.123	0.090	0.023	0.006	0.007	0.015
W-15	1	0.015	0.045	0.012	0.208	0.221	0.012	0.060	0.051	0.001	0.009	0.012	0.039
	2	0.004	0.045	0.012	0.208	0.225	0.010	0.057	0.052	0.001	0.012	0.013	0.050
	3	0.042	0.044	0.012	0.209	0.235	0.009	0.059	0.052	0.000	0.021	0.014	0.030
W-16	1	0.002	0.184	0.091	0.274	0.197	0.021	0.171	0.126	0.018	0.012	0.019	0.039
	2	0.003	0.185	0.089	0.277	0.199	0.022	0.170	0.125	0.014	0.019	0.018	0.035
	3	0.003	0.187	0.090	0.277	0.196	0.024	0.169	0.127	0.015	0.021	0.015	0.036
W-17	1	0.017	0.205	0.050	0.199	0.076	0.057	0.234	0.070	0.052	0.002	0.013	0.016
	2	0.016	0.207	0.051	0.199	0.075	0.055	0.236	0.071	0.049	0.000	0.008	0.018
	3	0.020	0.211	0.051	0.200	0.077	0.056	0.234	0.073	0.047	0.004	0.006	0.018
W-18	1	0.026	0.191	0.047	0.100	0.024	0.059	0.178	0.012	0.029	0.008	0.002	0.038
	2	0.022	0.192	0.048	0.104	0.025	0.059	0.178	0.015	0.023	0.007	0.001	0.035
	3	0.023	0.186	0.047	0.104	0.027	0.056	0.180	0.014	0.029	0.001	0.007	0.041
W-19	1	0.005	0.137	0.029	0.025	0.069	0.063	0.135	0.016	0.010	0.004	0.008	0.006
	2	0.007	0.136	0.027	0.027	0.058	0.061	0.132	0.045	0.003	0.004	0.003	0.067
	3	0.008	0.138	0.027	0.028	0.066	0.061	0.133	0.046	0.007	0.004	0.002	0.074
W-20	1	0.015	0.203	0.044	0.270	0.184	0.078	0.066	0.031	0.010	0.004	0.004	0.010
	2	0.018	0.204	0.046	0.269	0.187	0.077	0.067	0.033	0.011	0.003	0.004	0.009
	3	0.017	0.204	0.043	0.271	0.187	0.078	0.065	0.035	0.010	0.000	0.006	0.005

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 49 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหุมด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.020	0.325	0.034	0.395	0.058	0.136	0.013	0.005	0.030	0.103	0.029	0.017
	2	0.021	0.330	0.035	0.398	0.058	0.135	0.014	0.006	0.036	0.102	0.031	0.018
	3	0.028	0.330	0.033	0.395	0.062	0.135	0.012	0.006	0.028	0.109	0.032	0.014
W-2	1	0.021	0.354	0.014	0.428	0.159	0.158	0.055	0.015	0.002	0.059	0.013	0.002
	2	0.020	0.361	0.014	0.425	0.157	0.137	0.057	0.016	0.005	0.077	0.013	0.000
	3	0.021	0.363	0.014	0.422	0.161	0.131	0.056	0.013	0.003	0.068	0.016	0.003
W-3	1	0.017	0.341	0.021	0.396	0.129	0.109	0.014	0.013	0.004	0.095	0.001	0.006
	2	0.018	0.324	0.021	0.397	0.128	0.150	0.015	0.013	0.002	0.020	0.000	0.004
	3	0.018	0.319	0.021	0.397	0.128	0.168	0.015	0.014	0.003	0.011	0.000	0.005
W-4	1	0.010	0.220	0.029	0.234	0.062	0.074	0.013	0.017	0.009	0.004	0.022	0.003
	2	0.011	0.216	0.029	0.231	0.056	0.072	0.016	0.017	0.004	0.003	0.011	0.002
	3	0.010	0.217	0.029	0.230	0.062	0.077	0.018	0.016	0.009	0.003	0.002	0.003
W-5	1	0.008	0.233	0.021	0.221	0.050	0.073	0.002	0.012	0.004	0.010	0.012	0.001
	2	0.008	0.232	0.019	0.221	0.053	0.073	0.003	0.013	0.001	0.013	0.013	0.001
	3	0.008	0.234	0.018	0.221	0.051	0.074	0.005	0.014	0.000	0.014	0.015	0.005
W-6	1	0.022	0.210	0.069	0.194	0.223	0.030	0.208	0.018	0.015	0.003	0.088	0.005
	2	0.023	0.210	0.069	0.195	0.225	0.030	0.209	0.015	0.016	0.003	0.087	0.007
	3	0.025	0.208	0.066	0.196	0.226	0.032	0.207	0.013	0.017	0.007	0.083	0.006
W-7	1	0.023	0.009	0.048	0.313	0.088	0.032	0.197	0.052	0.004	0.006	0.034	0.018
	2	0.022	0.011	0.051	0.319	0.089	0.033	0.208	0.050	0.004	0.008	0.017	0.009
	3	0.021	0.011	0.058	0.317	0.088	0.033	0.211	0.050	0.004	0.005	0.013	0.007
W-8	1	0.029	0.148	0.034	0.454	0.401	0.086	0.037	0.034	0.057	0.031	0.028	0.070
	2	0.029	0.150	0.038	0.456	0.402	0.088	0.038	0.033	0.056	0.035	0.045	0.069
	3	0.028	0.150	0.042	0.458	0.402	0.085	0.040	0.032	0.057	0.032	0.049	0.069
W-9	1	0.013	0.192	0.062	0.500	0.214	0.058	0.063	0.078	0.011	0.018	0.016	0.008
	2	0.013	0.189	0.064	0.500	0.216	0.061	0.064	0.077	0.009	0.014	0.012	0.005
	3	0.014	0.185	0.062	0.497	0.216	0.061	0.063	0.078	0.004	0.013	0.008	0.002
W-10	1	0.026	0.209	0.032	0.449	0.263	0.064	0.021	0.048	0.014	0.014	0.096	0.022
	2	0.028	0.210	0.034	0.450	0.268	0.067	0.031	0.052	0.015	0.015	0.159	0.016
	3	0.029	0.210	0.029	0.451	0.266	0.065	0.035	0.049	0.015	0.022	0.113	0.012

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 49 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	float	0.326	0.016	0.105	float	0.019	0.104	0.019	float	0.008	0.014	0.007
	2	float	0.317	0.017	0.101	float	0.019	0.104	0.030	float	0.013	0.015	0.008
	3	float	0.296	0.017	0.099	float	0.011	0.103	0.037	float	0.043	0.013	0.007
W-12	1	float	0.070	0.024	0.441	float	0.022	0.158	0.072	float	0.023	0.009	0.003
	2	float	0.071	0.022	0.434	float	0.020	0.155	0.071	float	0.023	0.010	0.004
	3	float	0.069	0.022	0.434	float	0.020	0.155	0.074	float	0.017	0.011	0.002
W-13	1	0.025	0.032	0.012	0.535	0.502	0.031	0.192	0.038	0.008	0.005	0.016	0.017
	2	0.027	0.031	0.012	0.539	0.501	0.031	0.194	0.039	0.004	0.001	0.019	0.016
	3	0.027	0.033	0.012	0.541	0.501	0.032	0.193	0.038	0.003	0.000	0.019	0.016
W-14	1	0.046	0.099	0.017	0.501	0.350	0.058	0.151	0.105	0.032	0.082	0.013	0.012
	2	0.049	0.104	0.016	0.497	0.354	0.061	0.151	0.106	0.008	0.097	0.010	0.017
	3	0.046	0.055	0.017	0.500	0.349	0.019	0.153	0.106	0.014	0.001	0.013	0.021
W-15	1	0.004	0.038	0.011	0.287	0.249	0.018	0.078	0.043	0.024	0.014	0.016	0.000
	2	0.024	0.035	0.011	0.288	0.243	0.019	0.078	0.044	0.021	0.017	0.012	0.001
	3	0.025	0.034	0.011	0.289	0.241	0.019	0.077	0.043	0.011	0.012	0.011	0.004
W-16	1	0.026	0.262	0.093	0.466	0.244	0.035	0.215	0.222	0.003	0.016	0.022	0.001
	2	0.027	0.262	0.092	0.468	0.246	0.033	0.215	0.217	0.005	0.015	0.027	0.003
	3	0.027	0.261	0.092	0.466	0.245	0.031	0.214	0.220	0.002	0.008	0.020	0.002
W-17	1	0.024	0.271	0.087	0.329	0.102	0.079	0.301	0.099	0.031	0.012	0.022	0.033
	2	0.028	0.269	0.088	0.325	0.112	0.080	0.301	0.102	0.010	0.011	0.021	0.031
	3	0.029	0.273	0.089	0.325	0.116	0.083	0.302	0.101	0.000	0.012	0.024	0.032
W-18	1	0.027	0.253	0.050	0.222	0.005	0.080	0.246	0.044	0.018	0.000	0.099	0.024
	2	0.027	0.251	0.053	0.221	0.003	0.081	0.245	0.055	0.016	0.000	0.097	0.006
	3	0.027	0.251	0.055	0.220	0.002	0.082	0.252	0.053	0.017	0.001	0.074	0.011
W-19	1	0.008	0.186	0.052	0.067	0.145	0.072	0.199	0.006	0.006	0.025	0.009	0.007
	2	0.011	0.191	0.053	0.070	0.139	0.074	0.196	0.007	0.005	0.017	0.001	0.005
	3	0.011	0.191	0.056	0.066	0.140	0.073	0.195	0.008	0.009	0.016	0.007	0.009
W-20	1	0.021	0.302	0.057	0.280	0.279	0.114	0.116	0.023	0.003	0.016	0.003	0.048
	2	0.023	0.302	0.056	0.282	0.286	0.114	0.115	0.018	0.004	0.007	0.003	0.041
	3	0.019	0.302	0.054	0.281	0.290	0.112	0.116	0.007	0.048	0.003	0.006	0.021

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 50 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหุมด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.020	0.423	0.032	0.486	0.064	0.136	0.023	0.023	0.085	0.084	0.071	0.034
	2	0.019	0.418	0.032	0.486	0.067	0.143	0.015	0.024	0.114	0.094	0.071	0.034
	3	0.015	0.423	0.031	0.488	0.068	0.146	0.011	0.024	0.128	0.102	0.067	0.035
W-2	1	0.009	0.446	0.017	0.526	0.139	0.193	0.050	0.010	0.017	0.040	0.003	0.010
	2	0.009	0.448	0.018	0.525	0.139	0.198	0.045	0.006	0.012	0.035	0.000	0.010
	3	0.001	0.450	0.018	0.524	0.154	0.193	0.046	0.006	0.011	0.049	0.002	0.009
W-3	1	0.020	0.417	0.022	0.490	0.144	0.133	0.008	0.029	0.014	0.029	0.010	0.010
	2	0.020	0.413	0.023	0.489	0.147	0.138	0.003	0.043	0.022	0.028	0.003	0.028
	3	0.021	0.416	0.025	0.492	0.143	0.146	0.000	0.038	0.028	0.043	0.004	0.016
W-4	1	0.010	0.273	0.029	0.294	0.103	0.083	0.005	0.018	0.057	0.047	0.015	0.003
	2	0.012	0.270	0.029	0.295	0.114	0.085	0.004	0.019	0.083	0.042	0.015	0.001
	3	0.005	0.271	0.030	0.297	0.087	0.087	0.009	0.021	0.026	0.039	0.018	0.001
W-5	1	0.010	0.228	0.017	0.283	0.087	0.059	0.026	0.013	0.015	0.113	0.013	0.002
	2	0.009	0.229	0.017	0.279	0.085	0.051	0.026	0.012	0.011	0.121	0.009	0.008
	3	0.009	0.230	0.017	0.280	0.085	0.043	0.028	0.012	0.011	0.128	0.008	0.012
W-6	1	0.025	0.252	0.068	0.196	0.260	0.041	0.294	0.011	0.001	0.009	0.098	0.018
	2	0.026	0.254	0.072	0.211	0.265	0.040	0.295	0.018	0.003	0.004	0.108	0.048
	3	0.027	0.258	0.063	0.208	0.260	0.039	0.274	0.013	0.002	0.003	0.071	0.046
W-7	1	0.024	0.030	0.073	0.395	0.096	0.034	0.187	0.062	0.006	0.028	0.057	0.004
	2	0.024	0.028	0.071	0.396	0.097	0.031	0.197	0.059	0.008	0.027	0.064	0.001
	3	0.024	0.030	0.078	0.394	0.097	0.030	0.202	0.059	0.008	0.026	0.097	0.002
W-8	1	0.028	0.215	0.022	0.567	0.487	0.090	0.044	0.046	0.071	0.056	0.049	0.078
	2	0.028	0.221	0.029	0.569	0.489	0.087	0.036	0.046	0.070	0.041	0.065	0.077
	3	0.029	0.221	0.034	0.572	0.491	0.087	0.034	0.046	0.065	0.042	0.070	0.082
W-9	1	0.018	0.238	0.018	0.638	0.268	0.100	0.074	0.109	0.016	0.020	0.018	0.014
	2	0.018	0.235	0.016	0.647	0.268	0.099	0.076	0.110	0.021	0.000	0.025	0.007
	3	0.018	0.245	0.012	0.645	0.267	0.094	0.076	0.108	0.021	0.041	0.028	0.012
W-10	1	0.039	0.278	0.009	0.554	0.330	0.075	0.062	0.063	0.002	0.033	0.006	0.015
	2	0.039	0.274	0.013	0.556	0.330	0.077	0.066	0.065	0.000	0.016	0.014	0.018
	3	0.039	0.278	0.008	0.555	0.329	0.081	0.063	0.063	0.000	0.012	0.013	0.018

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 50 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	float	0.402	0.018	0.038	float	0.010	0.112	0.045	float	0.062	0.012	0.009
	2	float	0.404	0.016	0.032	float	0.015	0.113	0.051	float	0.060	0.009	0.009
	3	float	0.400	0.016	0.036	float	0.015	0.111	0.048	float	0.061	0.008	0.012
W-12	1	float	0.055	0.015	0.535	float	0.024	0.215	0.091	float	0.012	0.004	0.030
	2	float	0.055	0.015	0.532	float	0.026	0.212	0.090	float	0.019	0.003	0.032
	3	float	0.053	0.015	0.526	float	0.025	0.214	0.093	float	0.009	0.001	0.033
W-13	1	0.035	0.061	0.010	0.697	0.593	0.036	0.256	0.093	0.018	0.005	0.045	0.023
	2	0.032	0.064	0.009	0.690	0.594	0.034	0.255	0.100	0.004	0.006	0.034	0.038
	3	0.087	0.061	0.008	0.694	0.522	0.036	0.258	0.101	0.013	0.005	0.031	0.041
W-14	1	0.047	0.147	0.014	0.625	0.395	0.064	0.190	0.138	0.002	0.020	0.021	0.003
	2	0.064	0.144	0.016	0.626	0.395	0.067	0.188	0.138	0.010	0.012	0.022	0.000
	3	0.040	0.141	0.015	0.624	0.434	0.066	0.189	0.136	0.027	0.005	0.018	0.007
W-15	1	0.005	0.005	0.013	0.350	0.262	0.027	0.091	0.040	0.051	0.008	0.022	0.005
	2	0.012	0.015	0.014	0.354	0.264	0.026	0.090	0.044	0.069	0.020	0.023	0.007
	3	0.012	0.020	0.014	0.358	0.263	0.024	0.091	0.045	0.058	0.027	0.024	0.008
W-16	1	0.027	0.341	0.095	0.707	0.279	0.067	0.228	0.373	0.007	0.007	0.007	0.004
	2	0.029	0.342	0.097	0.707	0.278	0.068	0.228	0.374	0.011	0.010	0.006	0.005
	3	0.027	0.341	0.097	0.706	0.274	0.067	0.228	0.376	0.010	0.009	0.012	0.001
W-17	1	0.033	0.332	0.115	0.497	0.099	0.091	0.352	0.153	0.007	0.023	0.040	0.015
	2	0.034	0.334	0.115	0.490	0.102	0.094	0.352	0.182	0.001	0.023	0.034	0.041
	3	0.033	0.330	0.115	0.488	0.098	0.097	0.352	0.178	0.004	0.023	0.034	0.040
W-18	1	0.029	0.296	0.091	0.325	0.031	0.090	0.282	0.069	0.003	0.014	0.050	0.022
	2	0.027	0.302	0.087	0.325	0.029	0.093	0.283	0.075	0.003	0.012	0.067	0.008
	3	0.027	0.301	0.082	0.323	0.030	0.089	0.285	0.074	0.007	0.015	0.069	0.002
W-19	1	0.010	0.233	0.073	0.318	0.191	0.087	0.237	0.011	0.014	0.037	0.020	0.007
	2	0.011	0.232	0.075	0.324	0.187	0.088	0.229	0.004	0.018	0.025	0.042	0.015
	3	0.010	0.230	0.075	0.319	0.189	0.086	0.226	0.007	0.019	0.030	0.048	0.012
W-20	1	0.029	0.388	0.065	0.368	0.373	0.130	0.173	0.037	0.011	0.014	0.002	0.032
	2	0.027	0.387	0.065	0.358	0.375	0.131	0.172	0.020	0.012	0.012	0.012	0.005
	3	0.024	0.389	0.066	0.356	0.373	0.133	0.172	0.029	0.016	0.023	0.005	0.023

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 51 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบรณิห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.022	0.009	0.003	0.004	0.090	0.005	0.037	0.024	0.003	0.020	0.024	0.020
	2	0.025	0.007	0.004	0.013	0.103	0.004	0.041	0.023	0.003	0.026	0.024	0.020
	3	0.027	0.004	0.003	0.004	0.111	0.005	0.037	0.030	0.005	0.016	0.026	0.016
W-2	1	0.040	0.109	0.001	0.000	0.151	0.014	0.010	0.006	0.000	0.048	0.012	0.022
	2	0.041	0.109	0.004	0.004	0.155	0.015	0.004	0.008	0.001	0.029	0.012	0.025
	3	0.046	0.115	0.007	0.006	0.167	0.018	0.000	0.008	0.012	0.024	0.009	0.024
W-3	1	0.004	0.015	0.004	0.013	0.010	0.005	0.033	0.002	0.031	0.066	0.019	0.030
	2	0.000	0.019	0.004	0.009	0.005	0.005	0.024	0.001	0.029	0.072	0.018	0.033
	3	0.001	0.020	0.007	0.013	0.002	0.007	0.005	0.005	0.033	0.070	0.021	0.034
W-4	1	0.001	0.010	0.001	0.009	0.025	0.016	0.008	0.008	0.022	0.060	0.029	0.009
	2	0.000	0.004	0.001	0.012	0.031	0.020	0.006	0.007	0.023	0.054	0.028	0.006
	3	0.000	0.004	0.002	0.016	0.030	0.020	0.007	0.007	0.023	0.050	0.025	0.011
W-5	1	0.011	0.006	0.002	0.014	0.032	0.006	0.035	0.020	0.002	0.004	0.002	0.001
	2	0.011	0.012	0.008	0.018	0.025	0.005	0.058	0.021	0.008	0.000	0.001	0.002
	3	0.011	0.017	0.015	0.014	0.021	0.003	0.091	0.018	0.003	0.002	0.000	0.005
W-6	1	0.008	0.008	0.046	0.030	0.036	0.008	0.055	0.005	0.056	0.032	0.105	0.008
	2	0.006	0.011	0.042	0.032	0.028	0.012	0.066	0.005	0.056	0.031	0.102	0.009
	3	0.006	0.010	0.032	0.035	0.030	0.011	0.017	0.007	0.059	0.033	0.049	0.011
W-7	1	0.010	0.002	0.031	0.012	0.037	0.002	0.015	0.004	0.078	0.016	0.017	0.029
	2	0.013	0.001	0.037	0.011	0.049	0.005	0.000	0.006	0.079	0.018	0.010	0.026
	3	0.020	0.003	0.034	0.025	0.070	0.007	0.010	0.009	0.089	0.024	0.002	0.029
W-8	1	0.003	0.017	0.010	0.007	0.013	0.033	0.051	0.041	0.050	0.058	0.026	0.045
	2	0.005	0.002	0.016	0.001	0.059	0.032	0.038	0.046	0.048	0.059	0.026	0.042
	3	0.005	0.009	0.016	0.002	0.065	0.033	0.035	0.046	0.050	0.057	0.024	0.041
W-9	1	0.008	0.005	0.000	0.000	0.011	0.006	0.005	0.006	0.014	0.014	0.009	0.019
	2	0.009	0.001	0.004	0.006	0.005	0.005	0.003	0.004	0.014	0.003	0.015	0.018
	3	0.012	0.023	0.006	0.000	0.002	0.005	0.003	0.004	0.015	0.020	0.001	0.011
W-10	1	0.000	0.003	0.032	0.010	0.036	0.004	0.015	0.004	0.018	0.027	0.100	0.032
	2	0.001	0.006	0.026	0.012	0.043	0.000	0.022	0.003	0.018	0.033	0.083	0.031
	3	0.004	0.011	0.004	0.011	0.046	0.002	0.010	0.002	0.016	0.037	0.013	0.030

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 51 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบรณิท่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 15° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	0.105	0.022	0.022	0.030	0.191	0.002	0.016	0.004	0.043	0.001	0.013	0.020
	2	0.117	0.035	0.021	0.034	0.211	0.000	0.006	0.005	0.043	0.000	0.015	0.016
	3	0.136	0.042	0.020	0.035	0.236	0.000	0.000	0.003	0.047	0.008	0.016	0.015
W-12	1	0.009	0.035	0.026	0.008	0.028	0.015	0.036	0.014	0.031	0.061	0.075	0.011
	2	0.013	0.041	0.020	0.008	0.027	0.009	0.027	0.012	0.026	0.051	0.050	0.011
	3	0.013	0.029	0.015	0.015	0.025	0.017	0.000	0.012	0.025	0.042	0.040	0.002
W-13	1	0.015	0.001	0.007	0.020	0.020	0.025	0.031	0.006	0.007	0.026	0.010	0.006
	2	0.025	0.011	0.007	0.020	0.029	0.022	0.033	0.006	0.000	0.007	0.011	0.005
	3	0.028	0.012	0.014	0.016	0.042	0.021	0.013	0.008	0.006	0.005	0.008	0.002
W-14	1	0.004	0.040	0.002	0.004	0.011	0.004	0.026	0.002	0.021	0.002	0.012	0.010
	2	0.006	0.055	0.002	0.004	0.013	0.010	0.030	0.001	0.021	0.001	0.010	0.010
	3	0.006	0.032	0.009	0.014	0.020	0.000	0.010	0.010	0.020	0.000	0.007	0.012
W-15	1	0.024	0.041	0.002	0.000	0.052	0.007	0.063	0.003	0.031	0.011	0.025	0.008
	2	0.021	0.009	0.013	0.015	0.062	0.002	0.091	0.007	0.031	0.012	0.027	0.004
	3	0.019	0.007	0.024	0.025	0.073	0.000	0.120	0.004	0.035	0.019	0.028	0.003
W-16	1	0.025	0.010	0.033	0.056	0.080	0.029	0.028	0.031	0.028	0.025	0.021	0.019
	2	0.027	0.013	0.036	0.058	0.081	0.030	0.026	0.033	0.025	0.026	0.019	0.018
	3	0.023	0.016	0.035	0.038	0.093	0.030	0.041	0.029	0.024	0.026	0.020	0.016
W-17	1	0.004	0.000	0.004	0.000	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.008	0.011	0.009
	2	0.009	0.012	0.002	0.009	0.019	0.004	0.002	0.000	0.005	0.007	0.008	0.009
	3	0.010	0.008	0.003	0.000	0.025	0.004	0.002	0.000	0.006	0.004	0.008	0.013
W-18	1	0.006	0.004	0.004	0.003	0.024	0.000	0.019	0.013	0.017	0.018	0.014	0.020
	2	0.007	0.010	0.002	0.006	0.025	0.000	0.039	0.013	0.019	0.017	0.015	0.021
	3	0.008	0.004	0.006	0.001	0.026	0.008	0.001	0.012	0.018	0.029	0.015	0.018
W-19	1	0.009	0.009	0.002	0.022	0.024	0.002	0.011	0.029	0.014	0.007	0.013	0.030
	2	0.005	0.004	0.003	0.010	0.017	0.001	0.009	0.026	0.009	0.009	0.011	0.036
	3	0.005	0.003	0.003	0.001	0.017	0.002	0.011	0.024	0.009	0.010	0.010	0.039
W-20	1	0.006	0.021	0.003	0.015	0.018	0.009	0.017	0.033	0.018	0.015	0.022	0.067
	2	0.008	0.024	0.002	0.013	0.019	0.008	0.018	0.031	0.020	0.011	0.019	0.067
	3	0.009	0.005	0.015	0.014	0.025	0.003	0.011	0.032	0.019	0.012	0.023	0.067

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 52 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบรณิห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.048	0.015	0.003	0.030	0.170	0.010	0.024	0.029	0.002	0.007	0.023	0.013
	2	0.052	0.028	0.004	0.035	0.181	0.019	0.005	0.031	0.001	0.009	0.016	0.015
	3	0.008	0.039	0.006	0.024	0.018	0.026	0.044	0.028	0.002	0.016	0.021	0.016
W-2	1	0.093	0.051	0.006	0.014	0.305	0.035	0.015	0.017	0.009	0.096	0.032	0.022
	2	0.101	0.029	0.004	0.012	0.319	0.044	0.021	0.016	0.003	0.097	0.030	0.022
	3	0.103	0.003	0.004	0.017	0.325	0.049	0.006	0.015	0.001	0.081	0.024	0.021
W-3	1	0.006	0.029	0.008	0.013	0.006	0.022	0.020	0.006	0.023	0.077	0.030	0.039
	2	0.007	0.002	0.008	0.011	0.003	0.027	0.000	0.003	0.027	0.077	0.036	0.029
	3	0.006	0.014	0.008	0.012	0.006	0.030	0.001	0.002	0.027	0.081	0.033	0.028
W-4	1	0.009	0.018	0.002	0.000	0.074	0.018	0.019	0.006	0.024	0.043	0.024	0.004
	2	0.012	0.011	0.005	0.009	0.091	0.008	0.019	0.007	0.030	0.003	0.033	0.007
	3	0.017	0.005	0.005	0.024	0.100	0.005	0.026	0.008	0.025	0.021	0.033	0.009
W-5	1	0.013	0.019	0.012	0.025	0.027	0.023	0.107	0.014	0.023	0.073	0.008	0.007
	2	0.017	0.025	0.014	0.016	0.025	0.023	0.123	0.014	0.021	0.053	0.010	0.010
	3	0.015	0.028	0.023	0.014	0.016	0.023	0.156	0.016	0.023	0.046	0.008	0.014
W-6	1	0.004	0.008	0.020	0.069	0.041	0.004	0.074	0.009	0.048	0.020	0.041	0.030
	2	0.002	0.015	0.015	0.022	0.043	0.002	0.080	0.013	0.050	0.023	0.027	0.053
	3	0.005	0.002	0.016	0.023	0.038	0.001	0.023	0.019	0.043	0.023	0.050	0.056
W-7	1	0.015	0.025	0.011	0.013	0.079	0.008	0.007	0.013	0.085	0.011	0.002	0.035
	2	0.002	0.008	0.009	0.014	0.036	0.001	0.013	0.012	0.079	0.013	0.007	0.033
	3	0.004	0.018	0.030	0.006	0.015	0.001	0.034	0.011	0.029	0.015	0.057	0.024
W-8	1	0.007	0.019	0.002	0.005	0.071	0.036	0.005	0.047	0.045	0.063	0.067	0.042
	2	0.009	0.012	0.008	0.008	0.078	0.035	0.025	0.047	0.044	0.064	0.052	0.043
	3	0.011	0.029	0.008	0.022	0.069	0.033	0.019	0.045	0.049	0.062	0.053	0.046
W-9	1	0.017	0.012	0.003	0.011	0.019	0.010	0.004	0.004	0.011	0.019	0.014	0.017
	2	0.017	0.019	0.050	0.002	0.017	0.009	0.034	0.005	0.013	0.020	0.137	0.016
	3	0.039	0.008	0.024	0.006	0.037	0.011	0.010	0.005	0.050	0.026	0.048	0.014
W-10	1	0.008	0.005	0.023	0.011	0.101	0.002	0.049	0.006	0.041	0.036	0.039	0.030
	2	0.011	0.010	0.025	0.016	0.101	0.002	0.053	0.009	0.041	0.028	0.046	0.028
	3	0.009	0.008	0.034	0.019	0.101	0.003	0.071	0.008	0.041	0.034	0.087	0.033

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 52 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบรณิท่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 25° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	0.123	0.049	0.005	0.077	0.257	0.010	0.004	0.015	0.004	0.009	0.010	0.037
	2	0.139	0.058	0.006	0.086	0.292	0.015	0.001	0.011	0.008	0.018	0.009	0.022
	3	0.159	0.023	0.006	0.092	0.323	0.012	0.004	0.006	0.009	0.017	0.013	0.011
W-12	1	0.037	0.022	0.000	0.004	0.037	0.014	0.001	0.007	0.019	0.023	0.029	0.019
	2	0.017	0.005	0.003	0.005	0.029	0.003	0.001	0.005	0.015	0.017	0.029	0.025
	3	0.017	0.006	0.005	0.039	0.023	0.004	0.010	0.005	0.021	0.022	0.028	0.053
W-13	1	0.005	0.007	0.023	0.019	0.043	0.008	0.020	0.019	0.007	0.006	0.005	0.008
	2	0.014	0.012	0.020	0.024	0.057	0.010	0.001	0.019	0.002	0.002	0.007	0.013
	3	0.017	0.011	0.019	0.011	0.073	0.008	0.009	0.022	0.004	0.001	0.004	0.017
W-14	1	0.053	0.004	0.014	0.026	0.026	0.006	0.012	0.013	0.094	0.001	0.007	0.018
	2	0.051	0.005	0.015	0.015	0.031	0.009	0.008	0.009	0.094	0.001	0.009	0.018
	3	0.032	0.012	0.016	0.010	0.011	0.005	0.001	0.007	0.065	0.012	0.014	0.014
W-15	1	0.083	0.004	0.042	0.058	0.118	0.001	0.166	0.007	0.008	0.003	0.022	0.025
	2	0.070	0.004	0.050	0.092	0.155	0.003	0.188	0.008	0.004	0.007	0.021	0.011
	3	0.059	0.012	0.061	0.100	0.172	0.004	0.211	0.008	0.003	0.005	0.024	0.001
W-16	1	0.029	0.035	0.029	0.044	0.145	0.030	0.055	0.027	0.029	0.024	0.026	0.034
	2	0.029	0.052	0.028	0.036	0.151	0.028	0.067	0.028	0.022	0.021	0.028	0.035
	3	0.034	0.070	0.030	0.021	0.156	0.026	0.067	0.022	0.034	0.022	0.028	0.042
W-17	1	0.013	0.014	0.005	0.007	0.051	0.002	0.009	0.005	0.012	0.014	0.011	0.001
	2	0.013	0.007	0.006	0.008	0.050	0.004	0.007	0.004	0.012	0.008	0.011	0.003
	3	0.011	0.006	0.008	0.000	0.012	0.003	0.017	0.005	0.016	0.007	0.010	0.005
W-18	1	0.004	0.005	0.007	0.006	0.027	0.005	0.023	0.001	0.034	0.026	0.011	0.011
	2	0.004	0.004	0.006	0.009	0.033	0.006	0.000	0.020	0.037	0.025	0.010	0.023
	3	0.003	0.008	0.001	0.001	0.038	0.003	0.014	0.018	0.037	0.022	0.141	0.023
W-19	1	0.017	0.003	0.004	0.013	0.044	0.003	0.019	0.004	0.011	0.008	0.011	0.003
	2	0.014	0.001	0.004	0.035	0.049	0.003	0.001	0.003	0.008	0.010	0.006	0.007
	3	0.014	0.001	0.007	0.038	0.048	0.005	0.008	0.001	0.009	0.007	0.027	0.004
W-20	1	0.019	0.015	0.017	0.006	0.061	0.007	0.004	0.002	0.028	0.013	0.037	0.015
	2	0.011	0.002	0.014	0.002	0.027	0.007	0.004	0.011	0.035	0.017	0.036	0.011
	3	0.010	0.006	0.013	0.008	0.023	0.005	0.015	0.008	0.035	0.014	0.033	0.008

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 53 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบรณิห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.014	0.013	0.011	0.035	0.029	0.088	0.006	0.034	0.007	0.253	0.006	0.002
	2	0.015	0.003	0.011	0.017	0.038	0.094	0.002	0.029	0.010	0.244	0.012	0.008
	3	0.017	0.006	0.011	0.014	0.053	0.100	0.001	0.030	0.018	0.261	0.022	0.003
W-2	1	0.008	0.099	0.005	0.034	0.016	0.029	0.061	0.024	0.013	0.051	0.018	0.022
	2	0.005	0.044	0.005	0.039	0.022	0.027	0.064	0.025	0.010	0.054	0.017	0.016
	3	0.003	0.075	0.005	0.026	0.071	0.005	0.061	0.023	0.009	0.017	0.022	0.022
W-3	1	0.009	0.031	0.007	0.005	0.002	0.033	0.003	0.017	0.017	0.017	0.059	0.025
	2	0.009	0.017	0.009	0.000	0.005	0.030	0.032	0.008	0.026	0.036	0.049	0.026
	3	0.005	0.011	0.010	0.000	0.074	0.028	0.053	0.008	0.031	0.063	0.053	0.024
W-4	1	0.014	0.073	0.005	0.030	0.009	0.012	0.002	0.006	0.013	0.055	0.016	0.003
	2	0.014	0.094	0.004	0.065	0.012	0.014	0.007	0.001	0.015	0.061	0.021	0.001
	3	0.015	0.044	0.003	0.006	0.016	0.002	0.007	0.011	0.012	0.011	0.020	0.002
W-5	1	0.011	0.061	0.008	0.036	0.007	0.073	0.091	0.022	0.022	0.471	0.001	0.013
	2	0.009	0.038	0.011	0.027	0.004	0.073	0.093	0.022	0.023	0.481	0.003	0.014
	3	0.009	0.036	0.013	0.025	0.007	0.041	0.102	0.022	0.022	0.299	0.008	0.013
W-6	1	0.007	0.032	0.017	0.006	0.068	0.009	0.034	0.021	0.008	0.048	0.057	0.057
	2	0.005	0.000	0.005	0.005	0.073	0.003	0.048	0.019	0.027	0.045	0.059	0.060
	3	0.005	0.015	0.000	0.025	0.070	0.002	0.051	0.025	0.040	0.043	0.049	0.053
W-7	1	0.003	0.024	0.025	0.016	0.022	0.014	0.049	0.003	0.030	0.026	0.014	0.009
	2	0.002	0.022	0.036	0.013	0.018	0.015	0.058	0.002	0.033	0.017	0.023	0.008
	3	0.009	0.026	0.027	0.004	0.013	0.017	0.051	0.002	0.035	0.024	0.029	0.010
W-8	1	0.009	0.015	0.002	0.046	0.094	0.032	0.004	0.053	0.049	0.060	0.066	0.042
	2	0.008	0.009	0.002	0.018	0.047	0.035	0.012	0.042	0.047	0.056	0.066	0.057
	3	0.005	0.012	0.004	0.046	0.044	0.037	0.044	0.038	0.046	0.055	0.068	0.059
W-9	1	0.019	0.019	0.005	0.007	0.028	0.007	0.015	0.000	0.012	0.019	0.021	0.034
	2	0.018	0.034	0.013	0.009	0.033	0.006	0.014	0.002	0.014	0.019	0.006	0.032
	3	0.015	0.048	0.011	0.007	0.014	0.002	0.024	0.006	0.017	0.024	0.007	0.018
W-10	1	0.014	0.016	0.025	0.030	0.121	0.005	0.027	0.009	0.036	0.019	0.093	0.030
	2	0.014	0.031	0.024	0.006	0.120	0.010	0.025	0.007	0.027	0.021	0.087	0.024
	3	0.008	0.037	0.024	0.012	0.020	0.010	0.034	0.007	0.021	0.020	0.107	0.021

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 53 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 35° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	0.144	0.010	0.004	0.037	0.417	0.003	0.006	0.002	0.147	0.022	0.015	0.008
	2	0.181	0.017	0.004	0.027	0.454	0.002	0.003	0.006	0.124	0.022	0.015	0.011
	3	0.205	0.021	0.004	0.050	0.489	0.001	0.002	0.001	0.135	0.018	0.010	0.018
W-12	1	0.041	0.002	0.005	0.014	0.041	0.005	0.017	0.008	0.065	0.041	0.039	0.021
	2	0.040	0.002	0.002	0.003	0.041	0.005	0.016	0.004	0.060	0.046	0.063	0.013
	3	0.043	0.015	0.001	0.010	0.028	0.009	0.006	0.010	0.056	0.046	0.039	0.034
W-13	1	0.008	0.025	0.019	0.007	0.107	0.007	0.007	0.019	0.027	0.009	0.007	0.003
	2	0.004	0.006	0.018	0.006	0.117	0.007	0.014	0.016	0.016	0.006	0.009	0.011
	3	0.002	0.003	0.014	0.004	0.131	0.003	0.033	0.016	0.001	0.011	0.014	0.016
W-14	1	0.106	0.019	0.013	0.038	0.062	0.006	0.006	0.010	0.175	0.020	0.011	0.025
	2	0.020	0.037	0.018	0.005	0.008	0.006	0.017	0.007	0.056	0.018	0.013	0.015
	3	0.024	0.005	0.019	0.001	0.018	0.008	0.024	0.007	0.053	0.016	0.014	0.018
W-15	1	0.104	0.006	0.012	0.098	0.030	0.001	0.004	0.015	0.159	0.034	0.027	0.020
	2	0.075	0.029	0.010	0.119	0.036	0.004	0.003	0.017	0.136	0.034	0.027	0.023
	3	0.100	0.034	0.011	0.152	0.013	0.007	0.003	0.015	0.147	0.030	0.022	0.029
W-16	1	0.034	0.070	0.031	0.007	0.156	0.032	0.014	0.006	0.034	0.024	0.027	0.022
	2	0.032	0.072	0.035	0.046	0.169	0.032	0.009	0.012	0.034	0.025	0.026	0.024
	3	0.048	0.068	0.040	0.048	0.015	0.032	0.029	0.013	0.032	0.024	0.027	0.026
W-17	1	0.015	0.003	0.011	0.002	0.013	0.006	0.000	0.029	0.014	0.016	0.010	0.026
	2	0.012	0.026	0.012	0.001	0.011	0.004	0.013	0.030	0.012	0.024	0.008	0.034
	3	0.014	0.025	0.012	0.016	0.002	0.007	0.021	0.021	0.010	0.011	0.008	0.031
W-18	1	0.001	0.020	0.011	0.007	0.039	0.000	0.001	0.019	0.024	0.029	0.124	0.041
	2	0.003	0.019	0.014	0.012	0.040	0.003	0.002	0.011	0.023	0.029	0.103	0.031
	3	0.007	0.015	0.014	0.009	0.024	0.002	0.001	0.004	0.034	0.017	0.082	0.019
W-19	1	0.015	0.020	0.010	0.001	0.053	0.001	0.033	0.039	0.031	0.015	0.025	0.061
	2	0.016	0.009	0.003	0.001	0.051	0.006	0.049	0.035	0.035	0.011	0.022	0.052
	3	0.017	0.004	0.001	0.013	0.045	0.006	0.085	0.033	0.035	0.009	0.021	0.042
W-20	1	0.010	0.023	0.008	0.025	0.019	0.003	0.032	0.026	0.034	0.008	0.031	0.035
	2	0.004	0.037	0.005	0.002	0.002	0.001	0.028	0.024	0.034	0.012	0.012	0.044
	3	0.002	0.421	0.014	0.008	0.003	0.232	0.016	0.022	0.037	0.039	0.052	0.042

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 54 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-1	1	0.012	0.051	0.004	0.008	0.019	0.143	0.005	0.034	0.007	0.397	0.000	0.001
	2	0.012	0.055	0.003	0.014	0.009	0.141	0.008	0.036	0.012	0.402	0.010	0.001
	3	0.015	0.029	0.007	0.019	0.029	0.043	0.003	0.036	0.012	0.097	0.006	0.003
W-2	1	0.007	0.139	0.001	0.003	0.111	0.004	0.062	0.026	0.009	0.054	0.041	0.019
	2	0.015	0.008	0.011	0.036	0.153	0.030	0.021	0.030	0.017	0.005	0.050	0.021
	3	0.028	0.001	0.016	0.030	0.198	0.024	0.048	0.030	0.052	0.006	0.027	0.029
W-3	1	0.011	0.047	0.020	0.057	0.014	0.092	0.053	0.013	0.035	0.093	0.048	0.022
	2	0.011	0.019	0.008	0.035	0.013	0.107	0.008	0.017	0.032	0.033	0.038	0.027
	3	0.013	0.001	0.009	0.039	0.027	0.103	0.014	0.018	0.023	0.026	0.038	0.026
W-4	1	0.018	0.028	0.005	0.007	0.024	0.033	0.005	0.011	0.009	0.142	0.010	0.003
	2	0.016	0.032	0.004	0.014	0.017	0.035	0.002	0.012	0.004	0.122	0.018	0.002
	3	0.017	0.080	0.002	0.021	0.015	0.027	0.008	0.011	0.001	0.090	0.025	0.002
W-5	1	0.024	0.001	0.009	0.001	0.031	0.079	0.117	0.025	0.012	0.149	0.034	0.014
	2	0.024	0.005	0.011	0.007	0.039	0.081	0.134	0.025	0.014	0.145	0.028	0.015
	3	0.023	0.148	0.016	0.011	0.047	0.010	0.000	0.028	0.013	0.948	0.044	0.017
W-6	1	0.011	0.002	0.018	0.029	0.030	0.011	0.003	0.027	0.050	0.054	0.101	0.040
	2	0.012	0.002	0.022	0.027	0.030	0.006	0.048	0.026	0.043	0.050	0.026	0.053
	3	0.012	0.016	0.037	0.013	0.032	0.001	0.081	0.026	0.041	0.045	0.030	0.080
W-7	1	0.010	0.017	0.036	0.044	0.017	0.013	0.004	0.011	0.032	0.006	0.031	0.006
	2	0.010	0.002	0.036	0.032	0.016	0.016	0.020	0.009	0.034	0.027	0.050	0.013
	3	0.013	0.001	0.325	0.042	0.031	0.017	0.179	0.008	0.038	0.024	0.117	0.015
W-8	1	0.008	0.008	0.016	0.042	0.010	0.030	0.082	0.051	0.040	0.049	0.033	0.053
	2	0.008	0.008	0.016	0.052	0.003	0.033	0.033	0.044	0.041	0.041	0.026	0.045
	3	0.012	0.019	0.009	0.022	0.050	0.027	0.039	0.049	0.039	0.047	0.041	0.027
W-9	1	0.012	0.011	0.029	0.020	0.014	0.016	0.002	0.004	0.024	0.012	0.010	0.050
	2	0.011	0.003	0.015	0.035	0.024	0.014	0.013	0.007	0.026	0.015	0.010	0.038
	3	0.012	0.009	0.008	0.039	0.011	0.011	0.079	0.007	0.022	0.014	0.015	0.076
W-10	1	0.012	0.004	0.011	0.019	0.003	0.018	0.047	0.011	0.044	0.002	0.009	0.036
	2	0.015	0.002	0.010	0.033	0.012	0.010	0.065	0.009	0.034	0.002	0.005	0.037
	3	0.013	0.004	0.054	0.051	0.004	0.002	0.062	0.007	0.024	0.024	0.098	0.036

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-1 ถึง W-5 ทิศตะวันออก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันตก = หันออกจากผนัง,

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-6 ถึง W-10 ทิศใต้ = หันเข้าผนัง, ทิศเหนือ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศตะวันตก = หันขนานกับผนัง

ตารางที่ 54 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ด้วยมุม 45° โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		N	E	S	W	N	E	S	W	N	E	S	W
W-11	1	0.653	0.018	0.003	0.046	0.364	0.000	0.012	0.020	1.025	0.031	0.022	0.011
	2	0.656	0.026	0.004	0.012	0.384	0.009	0.003	0.026	1.021	0.016	0.017	0.011
	3	0.660	0.046	0.004	0.027	0.395	0.005	0.008	0.024	1.021	0.029	0.016	0.002
W-12	1	0.138	0.051	0.006	0.003	0.147	0.008	0.005	0.018	0.069	0.058	0.028	0.040
	2	0.127	0.072	0.006	0.008	0.158	0.012	0.006	0.019	0.146	0.058	0.025	0.044
	3	0.011	0.029	0.006	0.011	0.025	0.010	0.010	0.019	0.047	0.050	0.025	0.044
W-13	1	0.004	0.005	0.010	0.003	0.004	0.008	0.061	0.028	0.002	0.012	0.003	0.031
	2	0.013	0.013	0.015	0.011	0.000	0.008	0.042	0.028	0.013	0.016	0.003	0.032
	3	0.012	0.004	0.013	0.005	0.050	0.003	0.049	0.026	0.005	0.009	0.002	0.034
W-14	1	0.009	0.010	0.025	0.021	0.053	0.009	0.022	0.007	0.039	0.051	0.016	0.050
	2	0.012	0.047	0.025	0.027	0.047	0.011	0.024	0.009	0.034	0.111	0.021	0.053
	3	0.002	0.073	0.024	0.029	0.057	0.003	0.015	0.010	0.026	0.048	0.015	0.047
W-15	1	0.002	0.003	0.015	0.040	0.040	0.017	0.002	0.018	1.037	0.043	0.034	0.023
	2	0.005	0.006	0.015	0.030	0.040	0.011	0.004	0.015	1.033	0.028	0.029	0.023
	3	0.003	0.001	0.013	0.008	0.078	0.022	0.014	0.012	1.033	0.041	0.028	0.014
W-16	1	0.051	0.064	0.029	0.034	0.009	0.037	0.025	0.041	0.034	0.041	0.034	0.079
	2	0.051	0.066	0.030	0.024	0.007	0.035	0.021	0.017	0.038	0.043	0.032	0.053
	3	0.053	0.072	0.029	0.013	0.043	0.033	0.028	0.046	0.039	0.046	0.033	0.068
W-17	1	0.015	0.013	0.012	0.019	0.007	0.008	0.009	0.070	0.017	0.020	0.020	0.036
	2	0.017	0.007	0.010	0.028	0.008	0.009	0.020	0.069	0.020	0.019	0.023	0.035
	3	0.015	0.002	0.012	0.029	0.017	0.008	0.008	0.061	0.031	0.023	0.013	0.049
W-18	1	0.010	0.026	0.018	0.035	0.037	0.003	0.014	0.030	0.024	0.026	0.052	0.035
	2	0.008	0.029	0.018	0.033	0.020	0.003	0.014	0.023	0.025	0.029	0.050	0.029
	3	0.009	0.006	0.018	0.019	0.027	0.011	0.005	0.015	0.025	0.035	0.057	0.023
W-19	1	0.023	0.008	0.006	0.008	0.051	0.014	0.123	0.103	0.037	0.013	0.058	0.183
	2	0.025	0.019	0.020	0.009	0.058	0.018	0.007	0.113	0.037	0.012	0.051	0.198
	3	0.024	0.014	0.022	0.001	0.054	0.019	0.038	0.115	0.045	0.009	0.016	0.213
W-20	1	0.004	0.438	0.024	0.016	0.042	0.208	0.018	0.061	0.028	0.105	0.092	0.073
	2	0.012	0.452	0.023	0.008	0.002	0.191	0.009	0.068	0.034	0.149	0.041	0.075
	3	0.010	0.431	0.019	0.008	0.003	0.203	0.050	0.063	0.033	0.118	0.074	0.060

เมื่อ N คือ ทิศเหนือ, E คือ ทิศตะวันออก, S คือ ทิศใต้, W คือ ทิศตะวันตก

และ W-11 ถึง W-15 ทิศเหนือ = หันเข้าหาผนัง, ทิศใต้ = หันออกจากผนัง,

ทิศตะวันออกและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

W-16 ถึง W-20 ทิศตะวันตก = หันเข้าหาผนัง, ทิศตะวันออก = หันออกจากผนัง

ทิศเหนือและทิศใต้ = หันขนานกับผนัง

ภาคผนวก ฉ. ตารางแสดงค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) ที่ได้จากการรังวัดขณะเอียง
เส้า 15°, 25°, 35° และ 45° โดยตรงบนหมุดหลักเขตที่ดิน 3 กรณี กรณีละ 20 จุด

ภาคผนวก ฉ.1 กรณีที่ 1 หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง

ตารางที่ 55 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่
ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มี
เซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Horizontal			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C1-1	1	0.153	0.179			0.045	0.030			0.159	0.181		
	2	0.152	0.206			0.043	0.051			0.158	0.212		
	3	0.150	0.216			0.045	0.039			0.157	0.219		
C1-2	1	0.205	0.116	0.097	0.198	0.094	0.032	0.019	0.154	0.226	0.120	0.099	0.251
	2	0.818	0.121	0.096	0.178	0.277	0.025	0.014	0.124	0.864	0.124	0.097	0.217
	3	0.084	0.122	0.088	0.164	0.016	0.048	0.010	0.129	0.086	0.131	0.089	0.209
C1-3	1	0.067	0.121	0.073	0.046	0.093	0.109	0.193	0.281	0.115	0.163	0.206	0.285
	2	0.067	0.099	0.077	0.027	0.094	0.142	0.187	0.285	0.115	0.173	0.202	0.286
	3	0.068	0.113	0.076	0.012	0.100	0.138	0.186	0.281	0.121	0.178	0.201	0.281
C1-4	1	0.136	0.075	0.048		0.004	0.039	0.042		0.136	0.085	0.064	
	2	0.147	0.072	0.043		0.007	0.037	0.046		0.147	0.081	0.063	
	3	0.155	0.085	0.043		0.018	0.025	0.046		0.156	0.089	0.063	
C1-5	1	0.040	0.098	0.115	0.163	0.170	0.053	0.135	0.118	0.175	0.111	0.177	0.201
	2	0.038	0.064	0.138	0.126	0.183	0.105	0.136	0.132	0.187	0.123	0.194	0.182
	3	0.024	0.020	0.185	0.140	0.173	0.124	0.128	0.131	0.175	0.126	0.225	0.192
C1-6	1	0.048	0.042	0.029	0.107	0.034	0.029	0.057	0.006	0.059	0.051	0.064	0.107
	2	0.043	0.071	0.006	0.138	0.068	0.030	0.058	0.013	0.080	0.077	0.058	0.139
	3	0.077	0.062	0.007	0.139	0.019	0.026	0.036	0.034	0.079	0.067	0.037	0.143
C1-7	1	0.155	0.078	0.677		0.048	0.006	0.038		0.162	0.078	0.678	
	2	0.170	0.121	0.202		0.050	0.006	0.112		0.177	0.121	0.231	
	3	0.160	0.110	1.092		0.051	0.100	0.040		0.168	0.149	1.093	
C1-8	1	0.029	0.164	0.259	0.212	0.349	0.329	0.300	0.343	0.350	0.368	0.396	0.403
	2	0.066	0.173	0.291	0.175	0.384	0.324	0.315	0.334	0.390	0.367	0.429	0.377
	3	0.033	0.160	0.323	0.144	0.443	0.324	0.295	0.326	0.444	0.361	0.437	0.356
C1-9	1	0.178	0.304	0.180	0.403	0.079	0.083	0.092	0.147	0.195	0.315	0.202	0.429
	2	0.179	0.250	0.166	0.391	0.056	0.066	0.103	0.141	0.188	0.259	0.195	0.416
	3	0.177	0.251	0.168	0.394	0.030	0.073	0.081	0.146	0.180	0.261	0.187	0.420
C1-10	1	0.083	0.216	0.050	0.463	0.137	0.145	0.013	0.184	0.160	0.260	0.052	0.498
	2	0.085	0.223	0.274	0.482	0.154	0.145	0.211	0.198	0.176	0.266	0.346	0.521
	3	0.097	0.219	0.276	0.476	0.150	0.149	0.217	0.197	0.179	0.265	0.351	0.515

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูก
จำกัดมุมการเอียงของเส้า

ตารางที่ 55 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C1-11	1	0.026				0.031				0.040			
	2	0.019				0.028				0.034			
	3	0.019				0.031				0.036			
C1-12	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้											
	2												
	3												
C1-13	1	0.108	0.065	0.075	0.167	0.169	0.231	0.259	0.248	0.201	0.240	0.270	0.299
	2	0.128	0.084	0.087	0.144	0.159	0.223	0.262	0.265	0.204	0.238	0.276	0.302
	3	0.129	0.058	0.077	0.130	0.162	0.214	0.234	0.328	0.207	0.222	0.246	0.353
C1-14	1	0.031	0.129	0.146	0.170	0.038	0.023	0.022	0.068	0.049	0.131	0.148	0.183
	2	0.003	0.129	0.141	0.211	0.058	0.022	0.020	0.049	0.058	0.131	0.142	0.217
	3	0.003	0.087	0.147	0.210	0.041	0.051	0.027	0.053	0.041	0.101	0.149	0.217
C1-15	1	0.036	0.040	0.032	0.277	0.018	0.043	0.151	0.068	0.040	0.059	0.154	0.285
	2	0.055	0.043	0.021	0.169	0.024	0.044	0.110	0.035	0.060	0.062	0.112	0.173
	3	0.042	0.034	0.131	0.223	0.050	0.036	0.008	0.038	0.065	0.050	0.131	0.226
C1-16	1	0.006	0.033	0.016	0.044	0.015	0.083	0.066	0.248	0.016	0.089	0.068	0.252
	2	0.019	0.033	0.013	0.044	0.019	0.077	0.054	0.252	0.027	0.084	0.056	0.256
	3	0.172	0.034	0.012	0.045	0.096	0.079	0.054	0.257	0.197	0.086	0.055	0.261
C1-17	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C1-18	1	0.068	0.130	0.180	0.241	0.058	0.084	0.082	0.112	0.089	0.155	0.198	0.266
	2	0.059	0.134	0.168	0.241	0.062	0.080	0.104	0.125	0.086	0.156	0.198	0.271
	3	0.059	0.134	0.165	0.251	0.059	0.079	0.105	0.119	0.083	0.156	0.196	0.278
C1-19	1	0.013	0.028	0.039	0.035	0.004	0.023	0.010	0.040	0.014	0.036	0.040	0.053
	2	0.013	0.026	0.030	0.061	0.000	0.044	0.006	0.020	0.013	0.051	0.031	0.064
	3	0.013	0.046	0.033	0.067	0.003	0.039	0.019	0.033	0.013	0.060	0.038	0.075
C1-20	1	0.025	0.049			0.225	0.185			0.226	0.191		
	2	0.025	0.062			0.225	0.160			0.226	0.172		
	3	0.038	0.048			0.252	0.153			0.255	0.160		

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 56 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้ กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C1-1	1	0.087	0.050			0.027	0.029			0.091	0.058		
	2	0.079	0.034			0.026	0.035			0.083	0.049		
	3	0.069	0.042			0.026	0.032			0.074	0.053		
C1-2	1	0.092	0.082	0.099	0.083	0.062	0.074	0.044	0.051	0.111	0.111	0.109	0.097
	2	0.097	0.085	0.109	0.089	0.065	0.062	0.032	0.039	0.116	0.105	0.113	0.097
	3	0.090	0.084	0.119	0.103	0.068	0.060	0.021	0.031	0.113	0.103	0.121	0.107
C1-3	1	0.028	0.023	0.008	0.015	0.072	0.081	0.074	0.099	0.077	0.084	0.075	0.100
	2	0.035	0.008	0.007	0.001	0.069	0.081	0.113	0.128	0.078	0.081	0.113	0.128
	3	0.033	0.001	0.003	0.012	0.077	0.068	0.102	0.113	0.083	0.068	0.102	0.114
C1-4	1	0.023	0.031	0.056		0.046	0.052	0.042		0.051	0.060	0.070	
	2	0.006	0.029	0.064		0.064	0.049	0.034		0.064	0.057	0.072	
	3	0.011	0.027	0.065		0.080	0.052	0.026		0.081	0.058	0.070	
C1-5	1	0.116	0.079	0.022	0.027	0.061	0.069	0.105	0.118	0.131	0.105	0.108	0.121
	2	0.080	0.082	0.002	0.028	0.073	0.063	0.121	0.126	0.108	0.103	0.121	0.129
	3	0.063	0.070	0.015	0.009	0.090	0.063	0.136	0.125	0.110	0.095	0.137	0.125
C1-6	1	0.038	0.042	0.079	0.080	0.025	0.019	0.008	0.027	0.046	0.046	0.079	0.085
	2	0.030	0.057	0.089	0.073	0.029	0.030	0.017	0.021	0.042	0.064	0.091	0.076
	3	0.027	0.061	0.081	0.063	0.021	0.021	0.025	0.017	0.034	0.065	0.085	0.065
C1-7	1	0.187	0.053	0.014	0.009	0.134	0.003	0.033	0.012	0.230	0.053	0.036	0.015
	2	0.182	0.053	0.003	0.035	0.146	0.003	0.004	0.001	0.233	0.053	0.005	0.035
	3	0.102	0.012	0.028	0.048	0.094	0.038	0.008	0.011	0.139	0.040	0.029	0.049
C1-8	1	0.145	0.229	0.377	0.346	0.295	0.306	0.280	0.306	0.328	0.383	0.470	0.462
	2	0.223	0.291	0.296	0.320	0.263	0.280	0.319	0.303	0.345	0.404	0.435	0.441
	3	0.288	0.324	0.284	0.294	0.245	0.278	0.321	0.298	0.378	0.427	0.429	0.418
C1-9	1	0.042	0.054	0.058	0.030	0.014	0.021	0.021	0.026	0.044	0.057	0.062	0.040
	2	0.043	0.051	0.062	0.028	0.016	0.020	0.017	0.028	0.046	0.055	0.065	0.040
	3	0.043	0.041	0.032	0.026	0.016	0.027	0.026	0.030	0.046	0.049	0.042	0.039
C1-10	1	0.029	0.013	0.001	0.003	0.015	0.017	0.069	0.037	0.033	0.021	0.069	0.037
	2	0.025	0.015	0.015	0.001	0.009	0.021	0.056	0.029	0.027	0.025	0.058	0.029
	3	0.023	0.018	0.021	0.008	0.003	0.030	0.063	0.028	0.023	0.035	0.067	0.029

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูก
จำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 56 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C1-11	1	0.159				0.018				0.160			
	2	0.178				0.035				0.181			
	3	0.195				0.059				0.203			
C1-12	1	0.078				0.042				0.089			
	2	0.082				0.042				0.093			
	3	0.078				0.044				0.090			
C1-13	1	0.005	0.112	0.121	0.101	0.102	0.111	0.083	0.011	0.102	0.158	0.146	0.102
	2	0.136	0.059	0.126	0.114	0.164	0.103	0.099	0.012	0.213	0.119	0.161	0.115
	3	0.283	0.056	0.131	0.109	0.189	0.107	0.108	0.003	0.340	0.120	0.170	0.109
C1-14	1	0.037	0.041	0.047	0.054	0.035	0.068	0.040	0.044	0.051	0.080	0.062	0.070
	2	0.015	0.029	0.061	0.057	0.067	0.074	0.038	0.050	0.069	0.079	0.071	0.076
	3	0.009	0.025	0.065	0.024	0.077	0.083	0.033	0.051	0.077	0.086	0.073	0.056
C1-15	1	0.000	0.041	0.023	0.007	0.009	0.059	0.095	0.069	0.010	0.071	0.097	0.069
	2	0.017	0.036	0.025	0.008	0.046	0.059	0.096	0.048	0.049	0.069	0.099	0.049
	3	0.041	0.042	0.028	0.009	0.056	0.063	0.087	0.017	0.070	0.076	0.091	0.019
C1-16	1	0.029	0.049	0.063	0.038	0.015	0.080	0.090	0.072	0.033	0.093	0.110	0.081
	2	0.044	0.051	0.070	0.036	0.042	0.082	0.094	0.074	0.061	0.096	0.117	0.083
	3	0.041	0.044	0.069	0.010	0.039	0.079	0.090	0.004	0.056	0.091	0.113	0.011
C1-17	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C1-18	1	0.001	0.014	0.005	0.015	0.001	0.020	0.022	0.024	0.002	0.024	0.023	0.029
	2	0.018	0.022	0.002	0.017	0.005	0.006	0.029	0.026	0.019	0.023	0.029	0.031
	3	0.006	0.014	0.002	0.025	0.008	0.007	0.036	0.035	0.010	0.015	0.036	0.043
C1-19	1	0.002	0.230	0.241	0.194	0.016	0.103	0.115	0.102	0.016	0.252	0.267	0.219
	2	0.066	0.243	0.245	0.186	0.078	0.123	0.126	0.102	0.102	0.272	0.275	0.212
	3	0.104	0.287	0.243	0.047	0.106	0.129	0.126	0.043	0.148	0.315	0.274	0.064
C1-20	1	0.038	0.056	0.000	0.000	0.007	0.004	0.000	0.000	0.039	0.056	0.000	0.000
	2	0.043	0.058	0.000	0.000	0.002	0.028	0.000	0.000	0.043	0.064	0.000	0.000
	3	0.047	0.068	0.000	0.000	0.015	0.041	0.000	0.000	0.049	0.079	0.000	0.000

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ภาคผนวก จ.2 กรณีที่ 2 หมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น

ตารางที่ 57 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C2-1	1	0.076	0.106	0.114	0.125	0.037	0.053	0.174	0.148	0.085	0.119	0.208	0.194
	2	0.050	0.123	0.113	0.110	0.090	0.087	0.166	0.083	0.103	0.151	0.201	0.138
	3	0.032	0.109	0.109	0.134	0.080	0.087	0.170	0.098	0.086	0.139	0.202	0.166
C2-2	1	0.033	0.044	0.147		0.100	0.044	0.421		0.105	0.062	0.446	
	2	0.045	0.027	0.769		0.068	0.038	0.296		0.082	0.047	0.824	
	3	0.046	0.298	0.050		0.059	0.817	0.066		0.075	0.870	0.083	
C2-3	1	0.179	0.139	0.185	0.334	0.096	0.089	0.006	0.014	0.203	0.165	0.185	0.334
	2	0.138	0.134	0.187	0.323	0.070	0.091	0.004	0.041	0.155	0.162	0.187	0.326
	3	0.132	0.140	0.188	0.321	0.096	0.084	0.011	0.055	0.163	0.163	0.188	0.326
C2-4	1	0.194	0.158	0.159	0.107	0.307	0.258	0.265	0.223	0.363	0.303	0.309	0.247
	2	0.181	0.146	1.788	0.103	0.300	0.265	0.729	0.220	0.350	0.303	1.931	0.243
	3	0.172	0.150	0.167	0.106	0.296	0.275	0.265	0.219	0.342	0.313	0.313	0.243
C2-5	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C2-6	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C2-7	1	0.055	0.154	0.149		0.008	0.065	0.130		0.056	0.167	0.198	
	2	0.054	0.117	0.161		0.000	0.057	0.155		0.054	0.130	0.223	
	3	0.068	0.115	0.169		0.001	0.051	0.148		0.068	0.126	0.225	
C2-8	1	0.072	0.080			0.072	0.102			0.102	0.130		
	2	0.069	0.078			0.065	0.102			0.095	0.128		
	3	0.070	0.078			0.071	0.102			0.100	0.128		
C2-9	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้											
	2												
	3												
C2-10	1	0.017	0.137	0.038		0.049	0.073	0.340		0.052	0.155	0.342	
	2	0.004	0.151	0.280		0.030	0.067	0.076		0.030	0.165	0.290	
	3	0.015	0.150	0.268		0.032	0.063	0.081		0.035	0.163	0.280	

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 57 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C2-11	1	0.058	0.159	0.131	0.129	0.034	0.134	0.132	0.131	0.067	0.208	0.186	0.184
	2	0.060	0.110	0.127	0.132	0.050	0.099	0.127	0.137	0.078	0.148	0.180	0.190
	3	0.061	0.091	0.127	0.139	0.059	0.085	0.130	0.149	0.085	0.125	0.182	0.204
C2-12	1	0.137	0.187	0.183		0.018	0.061	0.046		0.138	0.197	0.189	
	2	0.141	0.182	0.170		0.019	0.054	0.042		0.142	0.190	0.175	
	3	0.135	0.166	0.175		0.023	0.046	0.050		0.137	0.172	0.182	
C2-13	1	0.129	0.144	0.090	0.047	0.001	0.052	0.071	0.076	0.129	0.153	0.115	0.089
	2	0.132	0.120	0.079	0.054	0.034	0.064	0.079	0.076	0.136	0.136	0.112	0.093
	3	0.139	0.116	0.075	0.061	0.045	0.057	0.086	0.064	0.146	0.129	0.114	0.088
C2-14	1	0.131	0.149	0.163	0.252	0.105	0.071	0.120	0.129	0.168	0.165	0.202	0.283
	2	0.025	0.149	0.163	0.227	0.269	0.069	0.115	0.140	0.270	0.164	0.199	0.267
	3	0.132	0.149	0.182	0.230	0.036	0.072	0.108	0.126	0.137	0.165	0.212	0.262
C2-15	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากทดสอบกับหมุดที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด											
	2												
	3												
C2-16	1	0.094	0.051	0.493		0.834	0.063	0.167		0.839	0.081	0.521	
	2	0.047	0.019	0.494		0.040	0.004	0.057		0.062	0.019	0.497	
	3	0.021	0.029	0.094		0.026	0.011	0.069		0.033	0.031	0.117	
C2-17	1	0.009	0.033	0.038	0.085	0.050	0.041	0.064	0.095	0.051	0.053	0.074	0.127
	2	0.017	0.025	0.036	0.103	0.062	0.041	0.059	0.076	0.064	0.048	0.069	0.128
	3	0.018	0.023	0.056	0.101	0.042	0.039	0.066	0.072	0.046	0.045	0.087	0.124
C2-18	1	0.051	0.049	0.015	0.092	0.017	0.025	0.072	0.123	0.054	0.055	0.074	0.154
	2	0.051	0.042	0.000	0.080	0.013	0.041	0.064	0.125	0.053	0.059	0.064	0.148
	3	0.051	0.041	0.001	0.061	0.010	0.055	0.059	0.120	0.052	0.069	0.059	0.135
C2-19	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้											
	2												
	3												
C2-20	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบไม่สามารถนำมาคำนวณได้											
	2												
	3												

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 58 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C2-1	1	0.017	0.040	0.101	0.061	0.097	0.051	0.054	0.028	0.098	0.065	0.114	0.067
	2	0.008	0.076	0.101	0.057	0.100	0.032	0.015	0.018	0.101	0.082	0.103	0.059
	3	0.010	0.075	0.068	0.014	0.096	0.028	0.039	0.058	0.096	0.080	0.079	0.060
C2-2	1	0.039	0.070	0.038		0.250	0.541	0.691		0.253	0.546	0.692	
	2	0.030	0.160	0.015		0.045	0.661	0.776		0.054	0.680	0.776	
	3	0.030	0.103	0.042		0.078	0.634	0.866		0.084	0.642	0.867	
C2-3	1	0.107	0.129	0.142	0.139	0.119	0.163	0.099	0.100	0.161	0.207	0.173	0.171
	2	0.096	0.129	0.127	0.139	0.101	0.112	0.086	0.092	0.139	0.171	0.154	0.166
	3	0.087	0.136	0.113	0.154	0.081	0.108	0.083	0.087	0.119	0.174	0.141	0.177
C2-4	1	0.374	0.377	0.349	0.390	0.386	0.374	0.359	0.386	0.538	0.531	0.501	0.549
	2	0.373	0.382	0.351	0.394	0.379	0.371	0.356	0.393	0.532	0.533	0.500	0.557
	3	0.377	0.386	0.359	0.405	0.373	0.366	0.365	0.391	0.531	0.532	0.512	0.563
C2-5	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C2-6	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C2-7	1	0.055	0.083	0.040		0.070	0.070	0.055		0.089	0.109	0.068	
	2	0.066	0.032	0.059		0.054	0.048	0.041		0.085	0.058	0.072	
	3	0.059	0.045	0.191		0.050	0.060	0.089		0.077	0.075	0.211	
C2-8	1	0.024	0.058			0.069	0.042			0.074	0.071		
	2	0.034	0.072			0.062	0.038			0.070	0.081		
	3	0.049	0.087			0.045	0.038			0.067	0.095		
C2-9	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้											
	2												
	3												
C2-10	1	0.071	0.014	0.095		0.012	0.023	0.043		0.072	0.027	0.104	
	2	0.034	0.033	0.041		0.003	0.017	0.017		0.034	0.037	0.045	
	3	0.008	0.037	0.028		0.013	0.031	0.013		0.015	0.048	0.031	

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 58 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดดิกที่มีเซ็นเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C2-11	1	0.039	0.016	0.025	0.031	0.040	0.014	0.059	0.008	0.055	0.021	0.064	0.032
	2	0.024	0.032	0.076	0.034	0.032	0.017	0.006	0.007	0.040	0.036	0.077	0.035
	3	0.024	0.028	0.071	0.053	0.017	0.036	0.008	0.015	0.029	0.046	0.071	0.055
C2-12	1	0.064	0.116	0.094	0.023	0.019	0.051	0.035	0.105	0.066	0.127	0.100	0.107
	2	0.056	0.099	0.095	0.039	0.112	0.056	0.029	0.101	0.125	0.113	0.099	0.108
	3	0.047	0.089	0.091	0.040	0.145	0.055	0.015	0.106	0.152	0.105	0.092	0.114
C2-13	1	0.018	0.106	0.147	0.151	0.037	0.030	0.024	0.034	0.041	0.111	0.149	0.155
	2	0.041	0.104	0.144	0.137	0.021	0.043	0.032	0.036	0.046	0.112	0.147	0.142
	3	0.065	0.091	0.133	0.131	0.017	0.033	0.040	0.033	0.068	0.097	0.139	0.135
C2-14	1	0.126	0.092	0.109	0.109	0.033	0.038	0.030	0.003	0.130	0.100	0.113	0.109
	2	0.130	0.088	0.114	0.119	0.034	0.044	0.023	0.006	0.135	0.099	0.116	0.119
	3	0.123	0.113	0.109	0.130	0.033	0.043	0.022	0.029	0.128	0.121	0.111	0.133
C2-15	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากทดสอบกับหมุดที่ไม่มีข้อมูลค่าพิกัด											
	2												
	3												
C2-16	1	0.031	0.011	0.024	0.024	0.019	0.026	0.024	0.025	0.036	0.028	0.034	0.035
	2	0.021	0.014	0.032	0.015	0.015	0.029	0.020	0.029	0.025	0.032	0.038	0.032
	3	0.014	0.021	0.033	0.007	0.014	0.026	0.016	0.032	0.020	0.034	0.037	0.033
C2-17	1	0.012	0.026	0.072	0.072	0.028	0.023	0.069	0.035	0.031	0.034	0.100	0.080
	2	0.012	0.028	0.109	0.049	0.025	0.023	0.086	0.014	0.028	0.036	0.139	0.051
	3	0.008	0.012	0.106	0.042	0.024	0.017	0.075	0.002	0.025	0.021	0.130	0.042
C2-18	1	0.048	0.062	0.021	0.106	0.038	0.042	0.019	0.117	0.061	0.075	0.029	0.159
	2	0.045	0.069	0.108	0.095	0.041	0.003	0.094	0.057	0.062	0.069	0.143	0.111
	3	0.005	0.075	0.101	0.081	0.079	0.001	0.099	0.059	0.079	0.075	0.141	0.100
C2-19	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากการทดสอบในงานวิจัย Float รับสัญญาณไม่ได้											
	2												
	3												
C2-20	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากไม่พบข้อมูลการทดสอบในเครื่อง											
	2												
	3												

ภาคผนวก จ.3 กรณีที่ 3 หมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบัง
หนาแน่น

ตารางที่ 59 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดิน
สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบบี
ออเดติกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C3-1	1	0.011				0.140				0.140			
	2	0.018				0.147				0.148			
	3	0.014				0.145				0.146			
C3-2	1	0.096	0.100	0.057		0.157	0.145	0.130		0.184	0.176	0.142	
	2	0.076	0.099	0.055		0.178	0.143	0.134		0.194	0.174	0.145	
	3	0.090	0.201	0.052		0.158	0.013	0.142		0.182	0.201	0.151	
C3-3	1	0.076	0.088	0.066	0.112	0.054	0.135	0.103	0.143	0.093	0.161	0.122	0.182
	2	0.086	0.085	0.066	0.122	0.079	0.118	0.104	0.141	0.117	0.145	0.123	0.186
	3	0.075	0.074	0.069	0.122	0.101	0.109	0.095	0.142	0.126	0.132	0.117	0.187
C3-4	1	0.071	0.083	0.092	0.086	0.085	0.175	0.217	0.237	0.111	0.194	0.236	0.252
	2	0.048	0.087	0.093	0.084	0.117	0.175	0.201	0.259	0.126	0.195	0.221	0.272
	3	0.080	0.090	0.089	0.097	0.134	0.180	0.187	0.254	0.156	0.201	0.207	0.272
C3-5	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-6	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-7	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-8	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-9	1	0.147	0.236	0.288	0.331	0.135	0.165	0.262	0.236	0.200	0.288	0.389	0.407
	2	0.152	0.018	0.289	0.335	0.149	0.346	0.290	0.252	0.213	0.346	0.409	0.419
	3	0.170	0.426	0.292	0.320	0.162	0.705	0.300	0.256	0.235	0.824	0.419	0.410
C3-10	1	0.112	0.469	0.007	0.099	0.068	0.026	0.018	0.009	0.131	0.470	0.019	0.099
	2	0.361	0.221	0.005	0.107	1.078	0.122	0.022	0.008	1.137	0.252	0.023	0.107
	3	0.133	0.150	0.001	0.076	0.062	0.073	0.017	0.000	0.147	0.167	0.017	0.076

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูก
จำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 59 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C3-11	1	0.123				0.038				0.129			
	2	0.105				0.058				0.120			
	3	0.106				0.066				0.125			
C3-12	1	0.035				0.050				0.061			
	2	0.034				0.049				0.060			
	3	0.037				0.055				0.066			
C3-13	1	0.065	0.026	0.038	0.012	0.083	0.096	0.127	0.232	0.105	0.099	0.133	0.232
	2	0.077	0.053	0.038	0.073	0.046	0.049	0.129	0.160	0.090	0.072	0.134	0.176
	3	0.011	0.040	0.032	0.074	0.051	0.078	0.112	0.160	0.052	0.088	0.116	0.176
C3-14	1	0.244	0.152	0.271	0.001	0.096	0.074	0.126	0.110	0.262	0.169	0.299	0.110
	2	0.234	0.148	0.292	0.013	0.102	0.076	0.180	0.123	0.255	0.166	0.343	0.124
	3	0.239	0.137	0.387	0.026	0.082	0.068	0.265	0.140	0.253	0.153	0.469	0.142
C3-15	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-16	1	0.062	0.183	0.117	0.066	0.043	0.031	0.018	0.050	0.075	0.186	0.118	0.083
	2	0.070	0.182	0.133	0.063	0.022	0.033	0.019	0.058	0.073	0.185	0.134	0.086
	3	0.075	0.180	0.120	0.071	0.024	0.033	0.029	0.045	0.079	0.183	0.123	0.084
C3-17	1	0.160	0.092	0.118	0.226	0.124	0.138	0.174	0.303	0.202	0.166	0.210	0.378
	2	0.161	0.091	0.106	0.237	0.132	0.140	0.161	0.310	0.208	0.167	0.193	0.390
	3	0.164	0.103	0.120	0.245	0.130	0.162	0.158	0.304	0.209	0.192	0.198	0.390
C3-18	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบไม่สามารถนำมาคำนวณได้											
	2												
	3												
C3-19	1	0.018	0.006	0.062	0.111	0.099	0.065	0.118	0.096	0.101	0.065	0.133	0.147
	2	0.018	0.009	0.067	0.111	0.730	0.075	0.101	0.113	0.730	0.076	0.121	0.158
	3	0.077	0.002	0.074	0.114	0.195	0.075	0.095	0.121	0.210	0.075	0.120	0.166
C3-20	1	0.053	0.117	0.054		0.043	0.005	0.031		0.068	0.117	0.062	
	2	0.056	0.116	0.042		0.040	0.008	0.014		0.069	0.116	0.044	
	3	0.049	0.110	0.001		0.037	0.042	0.011		0.061	0.118	0.011	

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 60 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณี หมุดหลักเขตที่ดิน สภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C3-1	1	0.010				0.153				0.153			
	2	0.004				0.159				0.159			
	3	0.015				0.159				0.160			
C3-2	1	0.013	0.030	0.099		0.116	0.135	0.066		0.117	0.139	0.119	
	2	0.025	0.046	0.113		0.111	0.121	0.056		0.114	0.129	0.126	
	3	0.027	0.045	0.116		0.107	0.115	0.049		0.110	0.124	0.126	
C3-3	1	0.040	0.013	0.043	0.048	0.011	0.030	0.024	0.040	0.041	0.033	0.049	0.062
	2	0.035	0.007	0.032	0.037	0.011	0.033	0.022	0.035	0.037	0.034	0.039	0.051
	3	0.040	0.004	0.034	0.023	0.016	0.033	0.006	0.029	0.043	0.033	0.035	0.037
C3-4	1	0.005	0.032	0.012	0.018	0.012	0.054	0.048	0.040	0.013	0.063	0.049	0.044
	2	0.004	0.033	0.019	0.028	0.017	0.050	0.058	0.035	0.018	0.060	0.061	0.045
	3	0.007	0.030	0.029	0.034	0.037	0.054	0.039	0.012	0.038	0.062	0.048	0.036
C3-5	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-6	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-7	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-8	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-9	1	0.035	0.006	0.031	0.057	0.026	0.048	0.044	0.043	0.044	0.048	0.054	0.072
	2	0.020	0.012	0.054	0.047	0.011	0.054	0.044	0.080	0.023	0.055	0.070	0.093
	3	0.012	0.009	0.055	0.066	0.002	0.066	0.049	0.078	0.012	0.067	0.073	0.103
C3-10	1	0.003	0.051	0.042	0.011	0.023	0.053	0.030	0.064	0.023	0.074	0.052	0.065
	2	0.016	0.062	0.020	0.016	0.040	0.061	0.019	0.081	0.043	0.087	0.027	0.082
	3	0.029	0.071	0.021	0.017	0.020	0.074	0.023	0.084	0.035	0.103	0.031	0.086

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ตารางที่ 60 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบกรณีหมุดหลักเขตที่ดินสภาพแวดล้อมที่มีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างบดบังหนาแน่น โดยใช้เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
C3-11	1	0.030				0.088				0.093			
	2	0.031				0.089				0.094			
	3	0.033				0.093				0.099			
C3-12	1	0.100				0.042				0.108			
	2	0.100				0.012				0.101			
	3	0.096				0.025				0.100			
C3-13	1	0.015	0.005	0.011	0.006	0.010	0.009	0.013	0.025	0.018	0.011	0.017	0.025
	2	0.015	0.010	0.014	0.009	0.010	0.006	0.011	0.014	0.018	0.011	0.018	0.017
	3	0.018	0.003	0.000	0.006	0.013	0.014	0.025	0.010	0.022	0.015	0.025	0.012
C3-14	1	0.003	0.076	0.054	0.080	0.384	0.457	0.421	0.446	0.384	0.464	0.424	0.453
	2	0.024	0.019	0.036	0.089	0.387	0.423	0.425	0.421	0.387	0.424	0.427	0.430
	3	0.020	0.019	0.000	0.075	0.394	0.417	0.381	0.387	0.395	0.417	0.381	0.394
C3-15	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากขั้นตอนคำนวณการรังวัดในแปลงยังไม่เสร็จสมบูรณ์											
	2												
	3												
C3-16	1	0.057	0.087	0.110	0.131	0.005	0.013	0.033	0.091	0.057	0.088	0.115	0.159
	2	0.056	0.091	0.109	0.130	0.004	0.013	0.033	0.095	0.056	0.092	0.114	0.160
	3	0.059	0.092	0.118	0.056	0.006	0.016	0.049	0.034	0.060	0.094	0.128	0.066
C3-17	1	0.066	0.010	0.003	0.037	0.068	0.011	0.029	0.003	0.095	0.015	0.029	0.037
	2	0.041	0.000	0.011	0.038	0.044	0.005	0.006	0.005	0.060	0.005	0.013	0.038
	3	0.050	0.006	0.019	0.020	0.042	0.002	0.010	0.062	0.065	0.006	0.021	0.065
C3-18	1	ไม่มีข้อมูลเนื่องจากข้อมูลจากการทดสอบไม่สามารถนำมาคำนวณได้											
	2												
	3												
C3-19	1	0.061	0.019	0.246	0.170	0.026	0.012	0.465	0.107	0.066	0.022	0.526	0.201
	2	0.058	0.010	0.276	0.139	0.011	0.020	0.481	0.201	0.059	0.022	0.554	0.245
	3	0.005	0.016	0.100	0.163	0.022	0.022	0.607	0.193	0.023	0.027	0.615	0.252
C3-20	1	0.006	0.036	0.010	0.111	0.050	0.026	0.020	0.096	0.050	0.045	0.022	0.146
	2	0.001	0.047	0.025	0.107	0.040	0.015	0.037	0.009	0.040	0.049	0.044	0.107
	3	0.008	0.047	0.024	0.105	0.033	0.024	0.037	0.012	0.034	0.053	0.045	0.106

ไม่สามารถรังวัดได้เนื่องจากหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ลึกจากผิวดินปกติทำให้ถูกจำกัดมุมการเอียงของเสา

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) ที่ได้จากการรังวัดขณะเรียง
เสาบนหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน จำนวน 20 จุด

ตารางที่ 61 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้
เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-1	1	0.038	0.039	0.048	0.022	0.093	0.162	0.189	0.197	0.117	0.096	0.086	0.060
	2	0.038	0.057	0.044	2.803	0.099	0.163	0.188	0.170	0.114	0.093	0.074	0.065
	3	0.039	0.046	0.038	0.028	0.102	0.163	0.183	0.192	0.109	0.099	0.062	0.071
V-2	1	1.305	0.027	0.044	0.057	0.130	0.108	0.166	0.197	0.121	0.121	0.160	0.154
	2	1.306	0.023	0.045	0.060	0.276	0.113	0.161	0.192	0.115	0.126	0.154	0.144
	3	0.033	0.023	0.038	0.043	0.081	0.119	0.153	0.189	0.123	0.141	0.141	0.150
V-3	1	0.056	0.059	0.100	0.096	0.064	0.151	0.183	0.226	0.230	0.252	0.242	0.214
	2	0.052	0.032	0.074	0.085	0.072	0.161	0.160	0.227	0.242	0.248	0.273	0.244
	3	0.059	0.057	0.065	0.067	0.103	0.164	0.170	0.178	0.261	0.265	0.253	0.241
V-4	1	0.062	0.065	0.150	0.194	0.078	0.053	0.165	0.249	0.290	0.290	0.315	0.319
	2	0.070	0.073	0.176	0.188	0.087	0.059	0.179	0.253	0.283	0.305	0.323	0.341
	3	0.050	0.127	0.174	0.174	0.031	0.105	0.167	0.200	0.275	0.297	0.322	0.293
V-5	1	0.102	0.203	0.264	0.357	0.010	0.039	0.062	0.109	0.088	0.076	0.041	0.019
	2	0.107	0.197	0.263	0.366	0.019	0.041	0.065	0.127	0.074	0.079	0.022	0.067
	3	0.111	0.196	0.268	0.382	0.021	0.041	0.073	0.128	0.063	0.066	0.009	0.076
V-6	1	0.011	0.266	1.424	0.047	0.174	0.688	1.115	0.252	0.047	0.057	0.049	0.032
	2	0.007	1.161	0.051	0.047	0.165	0.874	0.238	0.236	0.052	0.046	0.070	0.011
	3	0.004	0.011	0.027	0.060	0.160	0.209	0.220	0.266	0.085	0.019	0.028	0.060
V-7	1	0.049	0.084	0.110	0.133	0.002	0.021	0.036	0.050	0.007	0.002	0.003	0.022
	2	0.047	0.086	0.114	0.131	0.000	0.026	0.039	0.047	0.009	0.006	0.003	0.020
	3	0.050	0.087	0.112	0.137	0.007	0.026	0.033	0.043	0.002	0.001	0.003	0.014
V-8	1	0.022	0.007	0.025	0.023	0.012	0.063	0.102	0.153	0.352	0.345	0.354	0.342
	2	0.024	0.006	0.036	0.035	0.014	0.067	0.113	0.149	0.347	0.344	0.343	0.337
	3	0.015	0.006	0.042	0.035	0.007	0.073	0.112	0.150	0.341	0.337	0.324	0.336
V-9	1	0.000	0.000	0.002	0.009	0.009	0.017	0.013	0.032	0.083	0.098	0.088	0.079
	2	0.887	0.006	0.000	0.008	0.468	0.013	0.022	0.037	0.069	0.102	0.091	0.098
	3	0.006	0.001	0.001	0.012	0.040	0.010	0.028	0.021	0.095	0.098	0.086	0.083
V-10	1	0.010	0.028	0.007	0.014	0.107	0.149	0.143	0.147	0.776	0.759	0.732	0.724
	2	0.009	0.033	0.008	0.007	0.098	0.144	0.148	0.129	0.793	0.747	0.720	0.686
	3	0.021	0.034	0.009	0.009	0.115	0.149	0.141	0.132	0.763	0.744	0.717	0.713

ตารางที่ 61 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้
เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคติกที่มีเซนเซอร์ MEMS (i80) (ต่อ)

ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-11	1	0.046	0.056	0.033	0.152	0.035	0.020	0.031	0.049	0.302	0.315	0.276	0.278
	2	0.047	0.057	0.028	0.154	0.018	0.018	0.025	0.040	0.305	0.302	0.253	0.267
	3	0.042	0.057	0.023	0.168	0.017	0.029	0.028	0.036	0.308	0.281	0.233	0.266
V-12	1	0.134	0.150	0.074	0.115	0.028	0.028	0.000	0.051	0.431	0.385	0.346	0.332
	2	0.140	0.146	0.112	0.110	0.024	0.035	0.001	0.060	0.410	0.378	0.355	0.339
	3	0.176	0.150	0.158	0.115	0.115	0.035	0.033	0.055	0.435	0.364	0.379	0.333
V-13	1	0.086	0.096	0.048	0.071	0.063	0.061	0.029	0.029	0.111	0.080	0.080	0.136
	2	0.100	0.097	0.070	0.068	0.065	0.059	0.021	0.037	0.119	0.098	0.133	0.133
	3	0.097	0.086	0.073	0.075	0.067	0.055	0.021	0.049	0.090	0.096	0.126	0.068
V-14	1	0.028	0.063	0.076	0.096	0.059	0.094	0.120	0.147	0.044	0.043	0.043	0.039
	2	0.031	0.064	0.073	0.094	0.054	0.093	0.122	0.150	0.071	0.042	0.049	0.021
	3	0.043	0.067	0.073	0.102	0.056	0.094	0.121	0.154	0.060	0.024	0.060	0.025
V-15	1	0.022	0.032	0.015	0.045	0.031	0.099	0.088	0.170	0.074	0.082	0.090	0.133
	2	0.020	0.020	0.024	0.049	0.033	0.086	0.096	0.168	0.063	0.083	0.075	0.122
	3	0.012	0.025	0.013	0.042	0.037	0.081	0.090	0.165	0.071	0.104	0.088	0.099
V-16	1	0.060	0.060	0.092	0.087	0.096	0.005	0.068	0.076	0.050	0.189	0.187	0.127
	2	0.064	0.050	0.078	0.112	0.015	0.009	0.057	0.066	0.133	0.193	0.198	0.199
	3	0.072	0.017	0.018	0.100	0.018	0.169	0.079	0.071	0.183	0.039	0.021	0.214
V-17	1	0.027	0.078	0.086	0.113	0.062	0.096	0.123	0.136	0.108	0.135	0.137	0.108
	2	0.028	0.071	0.092	0.107	0.048	0.089	0.128	0.126	0.114	0.129	0.107	0.079
	3	0.038	0.070	0.090	0.109	0.052	0.090	0.118	0.129	0.115	0.138	0.097	0.087
V-18	1	0.004	0.003	0.139	0.181	0.125	0.198	0.074	0.108	0.035	0.074	0.017	0.035
	2	0.007	0.002	0.132	0.186	0.122	0.218	0.088	0.108	0.031	0.108	0.027	0.035
	3	0.005	0.009	0.140	0.179	0.132	0.164	0.098	0.100	0.054	0.005	0.050	0.031
V-19	1	0.105	0.151	0.206	0.260	0.000	0.006	0.018	0.005	0.045	0.032	0.026	0.010
	2	0.102	0.068	0.205	0.258	0.014	0.023	0.019	0.014	0.041	0.023	0.023	0.032
	3	0.114	0.427	0.199	0.260	0.007	0.049	0.010	0.011	0.042	0.001	0.002	0.038
V-20	1	0.019	0.015	0.020	0.009	0.020	0.093	0.133	0.182	0.005	0.008	0.018	0.057
	2	0.021	0.015	0.016	0.018	0.019	0.084	0.132	0.170	0.020	0.004	0.015	0.058
	3	0.025	0.002	0.028	0.019	0.026	0.105	0.122	0.167	0.021	0.007	0.031	0.067







ตารางที่ 62 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้
เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคิกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90)






ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-1	1	0.033	0.022	0.042	0.033	0.014	0.046	0.030	0.073	0.114	0.132	0.122	0.115
	2	0.034	0.022	0.041	0.031	0.025	0.055	0.039	0.088	0.115	0.133	0.121	0.117
	3	0.030	0.034	0.039	0.043	0.033	0.032	0.051	0.033	0.122	0.139	0.123	0.119
V-2	1	0.003	0.020	0.009	0.012	0.031	0.007	0.010	0.038	0.128	0.119	0.138	0.164
	2	0.002	0.026	0.011	0.014	0.034	0.004	0.014	0.054	0.125	0.124	0.162	0.171
	3	0.001	0.029	0.012	0.009	0.038	0.002	0.018	0.039	0.115	0.121	0.173	0.157
V-3	1	0.046	0.055	0.050	0.051	0.006	0.045	0.027	0.054	0.222	0.279	0.227	0.206
	2	0.056	0.068	0.054	0.061	0.019	0.063	0.029	0.063	0.272	0.260	0.225	0.165
	3	0.067	0.055	0.058	0.042	0.032	0.032	0.025	0.046	0.276	0.231	0.225	0.178
V-4	1	0.005	0.040	0.041	0.041	0.001	0.027	0.050	0.101	0.273	0.278	0.286	0.317
	2	0.008	0.048	0.035	0.043	0.012	0.035	0.051	0.113	0.292	0.275	0.303	0.317
	3	0.016	0.056	0.031	0.054	0.010	0.046	0.066	0.124	0.292	0.273	0.290	0.313
V-5	1	0.049	0.073	0.082	0.059	0.018	0.018	0.048	0.039	0.068	0.053	0.033	0.027
	2	0.056	0.102	0.069	0.041	0.022	0.066	0.050	0.031	0.079	0.024	0.105	0.022
	3	0.069	0.108	0.066	0.025	0.030	0.068	0.052	0.025	0.069	0.017	0.116	0.012
V-6	1	0.012	0.001	0.021	0.034	0.067	0.204	0.367	0.397	0.069	0.000	0.115	0.065
	2	0.013	0.002	0.034	0.023	0.105	0.236	0.378	0.141	0.065	0.011	0.179	0.244
	3	0.012	0.002	0.039	0.023	0.122	0.267	0.422	0.144	0.072	0.034	0.088	0.164
V-7	1	0.009	0.044	0.123	0.084	0.003	0.011	0.041	0.016	0.001	0.000	0.014	0.029
	2	0.024	0.072	0.137	0.076	0.018	0.010	0.048	0.018	0.012	0.009	0.008	0.022
	3	0.039	0.091	0.077	0.064	0.025	0.011	0.020	0.025	0.021	0.010	0.022	0.010
V-8	1	0.037	0.035	0.042	0.038	0.054	0.036	0.056	0.079	0.316	0.291	0.307	0.333
	2	0.032	0.040	0.038	0.036	0.044	0.032	0.061	0.076	0.304	0.294	0.324	0.352
	3	0.030	0.044	0.034	0.032	0.035	0.048	0.069	0.083	0.302	0.299	0.324	0.324
V-9	1	0.011	0.026	0.030	0.022	0.001	0.038	0.065	0.092	0.103	0.137	0.108	0.101
	2	0.014	0.031	0.029	0.006	0.004	0.046	0.075	0.101	0.143	0.125	0.094	0.110
	3	0.017	0.043	0.032	0.012	0.008	0.053	0.086	0.107	0.151	0.102	0.084	0.112
V-10	1	0.006	0.005	0.003	0.146	0.068	0.085	0.124	0.395	0.734	0.742	0.740	0.723
	2	0.010	0.007	0.008	0.161	0.069	0.090	0.085	0.443	0.747	0.736	0.734	0.737
	3	0.002	0.009	0.010	0.200	0.085	0.095	0.090	0.492	0.750	0.742	0.732	0.747







ตารางที่ 62 ค่า Root Mean Square (หน่วย เมตร) การทดสอบบนหมุดดาวเทียม RTK โดยใช้
เครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเดคติกที่มีเซนเซอร์ IMU (i90) (ต่อ)







ชื่อหมุด	ครั้งที่	RMSE Northing				RMSE Easting				RMSE Vertical			
		15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°	15°	25°	35°	45°
V-11	1	0.030	0.067	0.022	0.027	0.027	0.064	0.016	0.027	0.241	0.253	0.279	0.320
	2	0.019	0.041	0.005	0.032	0.028	0.048	0.002	0.027	0.230	0.282	0.285	0.337
	3	0.013	0.070	0.012	0.053	0.024	0.073	0.020	0.043	0.241	0.299	0.312	0.339
V-12	1	0.056	0.038	0.012	0.047	0.021	0.025	0.035	0.044	0.361	0.403	0.391	0.421
	2	0.060	0.029	0.006	0.072	0.019	0.032	0.026	0.037	0.356	0.407	0.391	0.395
	3	0.069	0.020	0.011	0.081	0.016	0.031	0.024	0.035	0.384	0.409	0.389	0.392
V-13	1	0.050	0.123	0.157	0.002	0.049	0.119	0.152	0.026	0.055	0.059	0.055	0.037
	2	0.051	0.137	0.159	0.026	0.074	0.135	0.159	0.010	0.036	0.047	0.059	0.045
	3	0.065	0.119	0.015	0.038	0.078	0.123	0.035	0.015	0.040	0.061	0.062	0.047
V-14	1	0.018	0.038	0.034	0.044	0.028	0.063	0.069	0.092	0.083	0.049	0.035	0.049
	2	0.016	0.042	0.035	0.036	0.031	0.064	0.075	0.080	0.104	0.046	0.048	0.037
	3	0.020	0.041	0.044	0.031	0.044	0.059	0.090	0.066	0.089	0.039	0.052	0.012
V-15	1	0.003	0.023	0.008	0.019	0.027	0.081	0.043	0.012	0.040	0.053	0.052	0.077
	2	0.020	0.022	0.003	0.015	0.064	0.066	0.027	0.011	0.088	0.055	0.054	0.081
	3	0.016	0.025	0.007	0.013	0.050	0.067	0.016	0.002	0.073	0.051	0.057	0.094
V-16	1	0.034	0.050	0.028	0.093	0.065	0.021	0.021	0.095	0.089	0.095	0.136	0.191
	2	0.036	0.053	0.031	0.043	0.051	0.025	0.049	0.002	0.063	0.091	0.126	0.077
	3	0.042	0.061	0.038	0.022	0.021	0.033	0.072	0.014	0.071	0.095	0.149	0.278
V-17	1	0.012	0.049	0.047	0.070	0.023	0.101	0.107	0.127	0.079	0.117	0.094	0.078
	2	0.013	0.053	0.043	0.012	0.082	0.103	0.104	0.037	0.021	0.086	0.100	0.137
	3	0.021	0.050	0.046	0.032	0.090	0.103	0.107	0.090	0.040	0.078	0.112	0.142
V-18	1	0.042	0.020	0.001	0.019	0.036	0.023	0.123	0.021	0.041	0.022	0.015	0.065
	2	0.039	0.014	0.012	0.022	0.041	0.098	0.013	0.015	0.032	0.033	0.071	0.037
	3	0.040	0.015	0.015	0.012	0.020	0.110	0.009	0.031	0.042	0.002	0.077	0.032
V-19	1	0.031	0.004	0.016	0.030	0.018	0.000	0.011	0.002	0.022	0.014	0.045	0.015
	2	0.014	0.004	0.024	0.011	0.007	0.005	0.004	0.006	0.020	0.007	0.016	0.037
	3	0.003	0.013	0.030	0.006	0.005	0.000	0.004	0.000	0.026	0.012	0.031	0.003
V-20	1	0.005	0.010	0.004	0.001	0.006	0.041	0.094	0.118	0.013	0.002	0.010	0.029
	2	0.002	0.007	0.009	0.002	0.011	0.060	0.093	0.040	0.014	0.009	0.001	0.038
	3	0.010	0.009	0.007	0.001	0.029	0.073	0.099	0.024	0.000	0.021	0.023	0.015




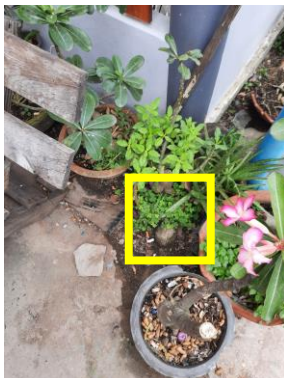


ภาคผนวก ข. สำหรับหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง จำนวน 20 หมุด
 ตารางที่ 63 ข้อมูลและรูปภาพหมุดหลักเขตที่ดินกรณีอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมเปิดโล่ง (หมุด
 C1-1 ถึง C1-20)






ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C1-1	20 ม.ค. 2565		
C1-2	20 ม.ค. 2565		
C1-3	27 ม.ค. 2565		





ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C1-4	2 ก.พ. 2565		
C1-5	3 ก.พ. 2565		
C1-6	3 ก.พ. 2565	<p>ไม่มีข้อมูลภาพถ่าย</p>	

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C1-7	3 ก.พ. 2565		
C1-8	3 ก.พ. 2565		
C1-9	7 ก.พ. 2565		







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C1-10	7 ก.พ. 2565		
C1-11	7 ก.พ. 2565		
C1-12	10 ก.พ. 2565		







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่ฝังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C1-13	10 ก.พ. 2565		
C1-14	8 มี.ค. 2565		
C1-15	17 ก.พ. 2565		







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C1-16	22 ก.พ. 2565		
C1-17	24 ก.พ. 2565		
C1-18	25 ก.พ. 2565		<p data-bbox="1102 1503 1318 1547">ไม่มีข้อมูลภาพถ่าย</p>







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C1-19	1 มี.ค. 2565		
C1-20	1 มี.ค. 2565		







ภาคผนวก ด. สำหรับหมุดหลักเขตที่ดินอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่นจำนวน 20 หมุด
 ตารางที่ 64 ข้อมูลและรูปภาพหมุดหลักเขตที่ดินกรณีอยู่ใกล้กำแพงที่มีสภาพแวดล้อมหนาแน่น
 (หมุด C2-1 ถึง C2-20)







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C2-1	18 ม.ค. 2565		
C2-2	18 ม.ค. 2565		
C2-3	24 ม.ค. 2565		





ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C2-4	27 ม.ค. 2565		
C2-5	28 ม.ค. 2565		
C2-6	2 ก.พ. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่ฝังหมุด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C2-7	15 ก.พ. 2565		
C2-8	22 ก.พ. 2565		
C2-9	23 ก.พ. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C2-10	25 ก.พ. 2565		
C2-11	1 มี.ค. 2565		
C2-12	8 มี.ค. 2565		







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C2-13	9 มี.ค. 2565		
C2-14	11 มี.ค. 2565		
C2-15	11 มี.ค. 2565		







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C2-16	16 มี.ค. 2565		
C2-17	16 มี.ค. 2565		
C2-18	16 มี.ค. 2565		







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C2-19	4 เม.ย. 2565 float		
C2-20	7 เม.ย 2565		







ภาคผนวก ต. สำหรับหมุดหลักเขตที่ดินที่สภาพแวดล้อมมีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างชัดเจนจำนวน 20 หมุด







ตารางที่ 65 ตารางแสดงข้อมูลและรูปภาพหมุดหลักเขตที่ดินกรณีที่ดินที่สภาพแวดล้อมมีต้นไม้และสิ่งก่อสร้างชัดเจนจำนวน (หมุด C3-1 ถึง C3-20)







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C3-1	20 ม.ค. 2565		
C3-2	24 ม.ค. 2565		
C3-3	24 ม.ค. 2565		





ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C3-4	24 ม.ค. 2565		
C3-5	28 ม.ค. 2565		
C3-6	28 ม.ค. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C3-7	28 ม.ค. 2565		
C3-8	2 ก.พ. 2565		
C3-9	9 ก.พ. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C3-10	9 ก.พ. 2565		
C3-11	10 ก.พ. 2565		
C3-12	10 ก.พ. 2565		


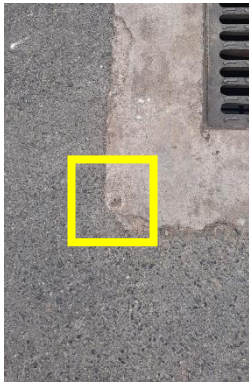



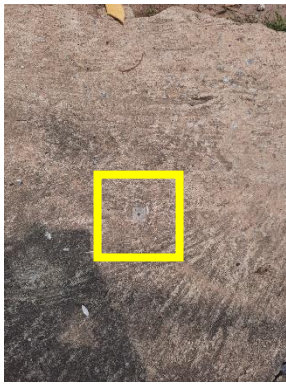
ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C3-13	15 ก.พ. 2565		
C3-14	17 ก.พ. 2565		
C3-15	24 ก.พ. 2565		







ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C3-16	25 ก.พ. 2565		
C3-17	25 ก.พ. 2565		
C3-18	3 มี.ค. 2565		






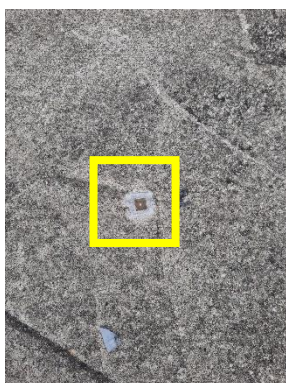
ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
C3-19	3 มี.ค. 2565		
C3-20	9 มี.ค. 2565		




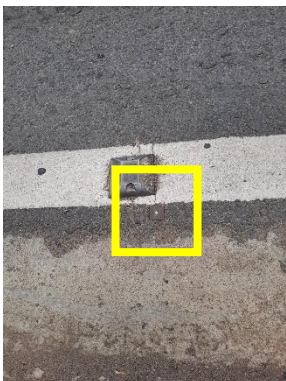


ภาคผนวก ก. สำหรับการรับสัญญาณบนหมุดดาวเทียม RTK กรมที่ดิน







ตารางที่ 66 ตารางแสดงข้อมูลและรูปภาพหมุดดาวเทียม RTK ของกรมที่ดิน (หมุด V-1 ถึง V-20)

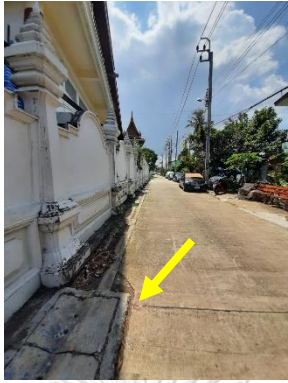





ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
V-1	18 เม.ย. 2565		
V-2	18 เม.ย. 2565		
V-3	19 เม.ย. 2565		




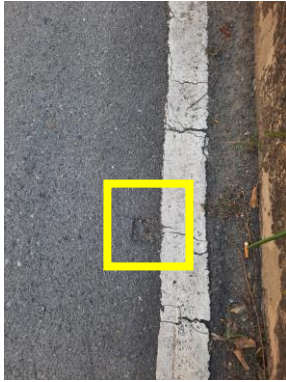
ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
V-4	19 เม.ย. 2565		
V-5	21 เม.ย. 2565		
V-6	21 เม.ย. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
V-7	21 เม.ย. 2565		
V-8	21 เม.ย. 2565		
V-9	22 เม.ย. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
V-10	22 เม.ย. 2565		
V-11	22 เม.ย. 2565		
V-12	22 เม.ย. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
V-13	23 เม.ย. 2565		
V-14	23 เม.ย. 2565		
V-15	23 เม.ย. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
V-16	23 เม.ย. 2565		
V-17	23 เม.ย. 2565		
V-18	23 เม.ย. 2565		

ชื่อหมุด	วัน เดือน ปี ที่รังวัด	ภาพสภาพแวดล้อม	ภาพหมุด
V-19	23 เม.ย. 2565		
V-20	23 เม.ย. 2565		

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวจิตรานุช พัสตุธาร
วัน เดือน ปี เกิด	6 ธันวาคม 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดเชียงราย
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2559 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสำรวจและ สารสนเทศภูมิศาสตร์) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ที่อยู่ปัจจุบัน	5/2441 หมู่บ้านประชาชื่น หมู่ที่ 10 ซอยสามัคคี 63 แยก 22/3 ถนน สามัคคี ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120
ผลงานตีพิมพ์	จิตรานุช พัสตุธาร พุทธิพล ดำรงชัย และ เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2565, "การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณจีเอ็นเอสเอสแบบยี่ห้อเด็ก ที่มีเซนเซอร์ MEMS และ IMU โดยวิธีการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์" การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 27