

การประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดดาวเทียมจากโครงข่ายแบบจลน์ในทันทีในประเทศไทย :  
กรณีศึกษาการกระจายตัวของจุดทดสอบ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2562  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Performance assessment of the Network-based Real Time Kinematic in Thailand : A  
Case study on distribution of test points



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 2019

Copyright of Chulalongkorn University

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์               | การประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดดาวเทียมจาก<br>โครงข่ายแบบจลน์ในพื้นที่ในประเทศไทย : กรณีศึกษาการ<br>กระจายตัวของจุดทดสอบ |
| โดย                             | ร.ท.นิตพงศ์ นิวาศานนท์   |
| สาขาวิชา                        | วิศวกรรมสำรวจ  |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์   |

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.ธีทัต เจริญกัลญูตา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.ทยาทิพย์ ทองตัน)

นิเทศพงษ์ นิเวศานนท์ : การประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดดาวเทียมจากโครงข่าย  
แบบจลน์ในทันทีในประเทศไทย : กรณีศึกษาการกระจายตัวของจุดทดสอบ. (   
Performance assessment of the Network-based Real Time Kinematic in  
Thailand : A Case study on distribution of test points ) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ.  
ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์

สถานีอ้างอิงพิกัดแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร (Continuously Operating Reference Station : CORS) ติดตั้งขึ้นเพื่อเป็นโครงสร้างพื้นฐานด้านการกำหนดพิกัดแบบจลน์ในเวลาจริงในรูปแบบโครงข่าย (Network – based Real Time Kinematic, NRTK) สำหรับประเทศไทย กรมที่ดินประยุกต์ใช้และดำเนินการเป็นรูปแบบของโครงข่าย RTK ด้วยสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station, VRS) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554 เป็นต้นมา ระบบ NRTK ประกอบด้วย CORS จำนวน 114 สถานี ครอบคลุมทุกภูมิภาคของประเทศไทย โดยมีระยะห่างระหว่างสถานี ตั้งแต่ 25 กิโลเมตร จนถึง 200 กิโลเมตร โดยประมาณ มี (ค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างสถานี คือ 80 กิโลเมตร) ส่งผลให้ระยะห่างระหว่าง CORS ที่ประกอบกันเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยม (รูป) มีขนาดที่แตกต่างกันออกไปตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่ งานวิจัยนี้มีเป้าประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบในแนวกันชน (Buffer line) ที่แตกต่างกัน โดยการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS เปรียบเทียบกับวิธีสถิต (Static survey) แบบสัมพัทธ์ ที่อยู่ใกล้กับ CORS ในตำแหน่งเดียวกัน โดยมีหมุดทดสอบจำนวน 2,122 หมุด อยู่ในรูปของ CORS การแบ่งระยะแนวกันชนจาก CORS ออกเป็น 4 ระยะได้แก่ 15, 30, 45 และมากกว่า 45 กิโลเมตร ผลจากการศึกษาพบว่า รากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error, RMSE) ของหมุดทดสอบที่อยู่ในแนวกันชนของแต่ละระยะ มีค่า RMSE ทางราบ 0.026 , 0.036 , 0.037 และ 0.039 เมตร ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่า RMSE ทางราบแปรผันตามระยะห่างจาก CORS ที่ใกล้ที่สุด

สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ  
ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 6070457321 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Continuously Operating Reference Station : CORS, Network – Based  
Real Time Kinematic (NRTK), CORS spacing, Static survey

Nithatphong Niwasanon : Performance assessment of the Network-based  
Real Time Kinematic in Thailand : A Case study on distribution of test  
points . Advisor: Prof. CHALERMCHON SATIRAPOD, Ph.D.

Continuously Operating Reference Stations (CORS) are installed to provide Network-based Real Time Kinematic (NRTK) positioning infrastructure in Thailand. The virtual Reference Station (VRS) RTK network architecture is adopted and has been operated since 2011 by the Department of Lands. This NRTK system consists of 114 CORS covering all Thailand areas; whereas its spacing is around 25 kilometers to 200 kilometers (at an average spacing of 80 kilometers). These various CORS spacing causes the computational CORS triangle size; known as loop, to be varied from small to large loop. This study aim is to assess the horizontal positioning accuracy due to different buffer lines by comparing NRTK VRS and conventional static relative positioning using the nearest CORS to determine positioning results at the identical tested points. The total numbers of the testing points are 2,122 and are within the CORS loops. The buffer lines are divided into 4 groups based on their distances; namely, 15, 30, 45 and longer than 45 kilometers and their RMSEs of testing points are 0.026, 0.036, 0.037 and 0.039 meters respectively. It shows that the horizontal RMSE is directly proportional to the nearest CORS distance.

Field of Study: Survey Engineering

Student's Signature .....

Academic Year: 2019

Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จรูปล่วงได้ด้วยดี ด้วยได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมชนม์ สติระพจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่าง ๆ ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหา

ข้อมูลได้จากการร่วมมือทางวิชาการ ระหว่างศูนย์บริการทางวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและกรมที่ดิน โดยในการเก็บข้อมูลทางภาคสนามได้มาจากเจ้าหน้าที่กรมที่ดิน ที่มีทักษะและประสบการณ์สูงในงานการรังวัด GNSS รวมถึงมีเครื่องมือที่เพียงพอสำหรับการเก็บข้อมูลจำนวนมากในระยะเวลาจำกัดอีกด้วย

ขอขอบพระคุณ อ.ดร.ชัยโชค ไวกาษา ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อ.ดร.ธีทัต เจริญกมลัญญาตา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และดร.ทยาทิพย์ ทองตัน กรรมการภายนอกวิทยาลัย จากสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ ที่ให้ความรู้ในการศึกษา ปลูกฝังการทำงานทางด้าน การสำรวจรวมไปถึงขอบคุนมิตรภาพที่ดีของพี่ ๆ น้อง ๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกคนที่คอยให้คำแนะนำ

ขอขอบพระคุณ นายภณชิต นิชรรัตน์ ผู้จัดการทั่วไป CHC Navtech (Thailand) Co.,Ltd ที่คอยให้คำปรึกษาต่าง ๆ เกี่ยวกับโปรแกรม CHC Precise Service

ขอขอบพระคุณครอบครัว นิวาसानนท์ และภรรยา นางสาวชลิตา ขจรเกียรติอาษา ที่คอยให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ที่ผ่านมา

นิทัศน์พงษ์ นิวาसानนท์

## สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย.....                     | ค    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                  | ง    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                     | จ    |
| สารบัญ.....                              | ฉ    |
| สารบัญตาราง.....                         | ฅ    |
| สารบัญภาพ.....                           | ญ    |
| บทที่ 1 บทนำ.....                        | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญ.....               | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....                    | 3    |
| 1.3 ขอบเขตการวิจัย.....                  | 3    |
| 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา.....         | 3    |
| 1.3.2 การเปรียบเทียบผลการศึกษา.....      | 3    |
| 1.3.3 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.....            | 4    |
| 1.3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....   | 5    |
| 1.3.5 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย.....       | 6    |
| 1.3.6 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียม..... | 7    |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย..... | 7    |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....       | 8    |
| บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... | 9    |
| 2.1 แนวคิดพื้นฐาน.....                   | 9    |
| 2.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase).....  | 9    |

|   |    |
|---|----|
| 2.3 เทคนิคค่าต่าง (Differencing technique).....   | 10 |
| 2.3.1 การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง (Single differencing) .....   | 11 |
| 2.3.2 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing) .....   | 13 |
| 2.3.3 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing).....  | 14 |
| 2.4 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase based differential positioning)..... | 15 |
| 2.5 วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม .....   | 16 |
| 2.5.1 การรังวัดแบบสถิต (Static Survey).....   | 16 |
| 2.5.2 การรังวัดแบบจลนในทันที (Real-Time Kinematic : RTK).....   | 16 |
| 2.5.3 วิธีการรังวัดแบบจลนในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network – Based RTK : NRTK) .....            | 17 |
| 2.6 แนวคิดการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลนด้วยวิธีต่าง ๆ.....  | 18 |
| 2.6.1 ระบบ Virtual Reference Station (VRS) .....  | 18 |
| 2.7 หลักการของระบบ VRS.....   | 19 |
| 2.8 โปรแกรมการจัดการสถานีฐานอ้างอิงรับสัญญาณ GNSS แบบต่อเนื่อง ของกรมที่ดิน.....                            | 23 |
| 2.8.1 ระบบการทำงานของ CORS กรมที่ดินโดยใช้ซอฟต์แวร์ CPS มี 2 วิธีดังนี้.....                                | 24 |
| 2.9 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา.....   | 25 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....   | 28 |
| 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....  | 29 |
| บทที่ 4 ผลการศึกษา.....   | 35 |
| 4.1 ผลการศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ .....   | 35 |
| 4.2 ผลการรวบรวมข้อมูลการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS .....  | 37 |
| 4.3 ผลการจำแนกหมวดทดสอบออกเป็นกลุ่มในแนวกันชนทั้ง 4 ระยะแนวกันชน .....                                      | 38 |
| 4.4 ผลการหาค่า RMSE ทางราบในแต่ละแนวกันชน.....  | 39 |



|   |    |
|---|----|
| 4.5 ผลการหาค่า RMSE ทางราบของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของลูป (Centroid).....   | 42 |
| บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ .....   | 44 |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา .....  | 44 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ .....  | 46 |
| บรรณานุกรม.....   | 48 |
| รายการอ้างอิง.....  | 49 |
| ภาคผนวก.....  | 52 |
| ภาคผนวก ก. RTCM 3.x ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพมาจาก RTCM 2.x เพื่อให้ผู้ใช้งานนั้นสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยมีการพัฒนา RTCM 3.x นั้นจะเพื่อแก้ไขจุดอ่อนของ RTCM 2.x โดยสามารถแสดง RTCM 3.x .ประเภทที่น่าสนใจดังนี้.... | 53 |
| ภาคผนวก ข. แสดงตำแหน่งหมุดทดสอบจำนวน 97 หมุด ที่มีค่า RMSE ทางราบมากกว่า 0.069 เมตร.....  | 57 |
| ภาคผนวก ค. คุณลักษณะทางเทคนิคของโปรแกรม “CHC Precision Service (CPS)” .....   | 60 |
| ภาคผนวก ง. แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูปโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานีและแสดงรัศมีของวงกลมในลูปแต่ละลูป.....  | 64 |
| ประวัติผู้เขียน.....  | 71 |

## สารบัญตาราง

|   | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 1 แสดงค่าความแม่นยำในทางราบและค่าความแม่นยำในทางตั้งตามระยะเส้นฐาน.....                            | 30   |
| ตารางที่ 2 แสดงหมุดทดสอบที่แบ่งตามแนวกันชน .....  | 38   |
| ตารางที่ 3 แสดงระยะเฉลี่ยของหมุดทดสอบในแนวกันชน ,ค่า RMSE ทางราบ และค่า RMSE ทาง<br>ราบที่ตัดค่ากระโดด..... | 41   |
| ตารางที่ 4 แสดงจำนวนหมุดทดสอบที่แบ่งตามรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมที่รัศมีเฉลี่ย 18 กม....                    | 42   |
| ตารางที่ 5 แสดงค่า RMSE ทางราบของแต่ละขนาดรูป .....   | 43   |



## สารบัญภาพ

หน้า

|  |    |
|--|----|
| ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งที่ตั้ง CORS ของกรมที่ดิน และตำแหน่งหมุดทดสอบในการรังวัดด้วยวิธี Static และด้วยวิธี VRS ที่ครอบคลุมทั่วประเทศไทยจำนวน 143 โครงข่าย .....                   | 5  |
| ภาพที่ 2 ตัวอย่างสถานที่รับสัญญาณ GNSS สำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์ .....   | 6  |
| ภาพที่ 3 แสดงเทคนิคค่าต่างลักษณะต่าง ๆ .....   | 11 |
| ภาพที่ 4 การหาค่าต่างครั้งที่สอง .....   | 14 |
| ภาพที่ 5 การหาค่าต่างครั้งที่สาม .....   | 15 |
| ภาพที่ 6 แสดงเทคนิคการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ VRS .....  | 19 |
| ภาพที่ 7 แสดงแนวคิดการทำงานระบบ VRS .....  | 22 |
| ภาพที่ 8 แสดงการกำหนดระยะทางระหว่าง Rover กับ CORS เมื่อต้องการเปลี่ยนการรังวัดมาใช้ Single mode แบบอัตโนมัติ .....  | 24 |
| ภาพที่ 9 แสดงตำแหน่งของหมุดทดสอบด้วยวิธี VRS และหมุดอ้างอิง Neufahrn .....   | 25 |
| ภาพที่ 10 แผนการดำเนินงาน .....  | 28 |
| ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลแบบ Static โดยทำการโยงยึดพิกัดอ้างอิงจาก CORS ที่ใกล้ที่สุด จำนวน 2 สถานี .....   | 30 |
| ภาพที่ 12 แสดงแนวกันชนที่ระยะต่าง ๆ จาก CORS แต่ละสถานี .....  | 31 |
| ภาพที่ 13 ลักษณะการจำแนกหมุดทดสอบในแนวกันชนที่แตกต่างกัน .....   | 32 |
| ภาพที่ 14 แสดงตำแหน่งของหมุดทดสอบที่อยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของรูป .....   | 33 |
| ภาพที่ 15 แสดงรัศมีเฉลี่ยของรูปวงกลมในสามเหลี่ยมในแต่ละขนาดของรูปที่รัศมี 18 กม. ....  | 34 |
| ภาพที่ 16 แสดงข้อมูลตัวอย่างหลังจากที่ประมวลผลในภายหลังแล้วค่า Horizontal Precision และ Vertical Precision ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด และแสดงค่าพิกัดในทางราบของแต่ละหมุดทดสอบ ..... | 36 |
| ภาพที่ 17 แสดงตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จำนวน 15 ครั้งต่อ 1 หมุดทดสอบ .....   | 37 |

|   |    |
|---|----|
| ภาพที่ 18 แสดงตัวอย่างการจำแนกหมวดทดสอบของหมวด AMKO-BTAK-SMNM ออกเป็นกลุ่มในแต่ละแนวกันชน.....  | 38 |
| ภาพที่ 19 แสดงค่า 2 sigma ที่ใช้ในการตัดค่ากระโดดทางราบของหมวดทดสอบจำนวน 2,079 หมวด.....  | 40 |
| ภาพที่ 20 กราฟแสดงรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบที่แปรผันตามระยะห่างจาก CORS ที่ใกล้ที่สุด (เมตร) และค่า RMSE ทางราบ ที่ตัดค่ากระโดด..... | 41 |
| ภาพที่ 21 กราฟแสดงรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบที่แปรผันตามขนาดของลูป .....  | 43 |
| ภาพที่ 22 แสดงค่า RMSE ทางราบที่มีค่ามากกว่า 0.069 เมตร.....  | 57 |
| ภาพที่ 23 แสดงค่า RMSE ทางราบที่มีค่ามากกว่า 0.069 เมตร.....  | 58 |
| ภาพที่ 24 แสดงค่า RMSE ทางราบที่มีค่ามากกว่า 0.069 เมตร.....  | 59 |
| ภาพที่ 25 แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูปโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานี.....  | 64 |
| ภาพที่ 26 แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูปโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานี.....  | 65 |
| ภาพที่ 27 แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูปโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานี.....  | 66 |
| ภาพที่ 28 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละลูป .....   | 67 |
| ภาพที่ 29 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละลูป .....   | 68 |
| ภาพที่ 30 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละลูป .....   | 69 |
| ภาพที่ 31 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละลูป .....   | 70 |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันโครงสร้างพื้นฐานระบบดาวเทียมนำทาง (Global Navigation Satellite System : GNSS) มีส่วนส่งเสริมเศรษฐกิจของประเทศทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ประกอบกับหน่วยงานในประเทศไทยหลายหน่วยงาน ได้รับการจัดสรรงบประมาณ เพื่อติดตั้งสถานีอ้างอิงพิกัดแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร (Continuously Operating Reference Station : CORS) เพื่อดำเนินงานตามภารกิจของแต่ละหน่วยงาน ซึ่งในปี พ.ศ. 2554 กรมที่ดินได้ติดตั้ง CORS เพื่อภารกิจการรังวัดที่ดินด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ จนถึงปัจจุบัน (มิถุนายน 2561) ประกอบด้วย CORS จำนวน 92 สถานี และ CORS แบบติดตั้งชั่วคราว อีกจำนวน 7 สถานี ประกอบกับกรมที่ดินได้มีการบูรณาการเชื่อมโยงข้อมูลจาก CORS จากกรมโยธาธิการและผังเมือง จำนวน 15 สถานี จึงทำให้กรมที่ดินมีข้อมูลการรังวัด (Observations) จาก CORS ให้บริการ รวมทั้งสิ้น 114 สถานี สถานีดังกล่าวกระจายอยู่ทั่วภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งสถานีดังกล่าว ได้ดำเนินการติดตั้งเสาอากาศรับสัญญาณ GNSS ในตำแหน่งที่โล่งแจ้ง ปราศจากสิ่งบดบังรอบทิศ (อีทัต เจริญกมลัญญาตา และคณะ, 2562)

ทั้งนี้ในการทำแผนที่รูปแปลงที่ดินเพื่อออกเอกสารแสดงสิทธิในที่ดินทำการรังวัดด้วยวิธีแผนที่ชั้น 2 ซึ่งใช้ระวางแผนที่เป็นหลัก กระทำโดยวิธีวัดระยะโยงยึดโดยไม่มีค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ จากเส้นโครงงานหมุดหลักฐาน ซึ่งมีอยู่หลายเส้นและมีความคลาดเคลื่อนสะสม ทำให้การลงตำแหน่งรูปแปลงที่ดินในระวางแผนที่ ไม่ตรงกับเขตพื้นที่ในการครอบครองทำประโยชน์ เกิดการทับซ้อนหรือไม่เชื่อมต่อกันของรูปแปลงที่ดินในระวางแผนที่ ทำให้ไม่สามารถใช้อ้างอิงและแก้ปัญหาข้อพิพาทแนวเขตที่ดินได้ เป็นเหตุให้เกิดปัญหา เกี่ยวกับที่ดินตามมาอีกมากมาย ได้แก่ การออกเอกสารสิทธิในที่ดินผิดพลาดคลาดเคลื่อน ก่อให้เกิดความล่าช้า และสิ้นเปลืองในการระวางชี้แนวเขต ขาดความเชื่อมั่นในเอกสารสิทธิ เกิดความล่าช้าในการบริการ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว กรมที่ดินได้นำเทคโนโลยีการรังวัดด้วยระบบโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ หรือ (Real-Time Kinematic) RTK – GNSS Network ซึ่งเป็นนวัตกรรมด้านการสำรวจและทำแผนที่ สามารถให้ค่าพิกัดของแปลงที่ดินอย่างแม่นยำในระดับเซนติเมตร และถือเป็นโครงสร้างพื้นฐานด้านการสำรวจรังวัดที่มีการใช้อย่างแพร่หลายทั่วโลก โดยกรมที่ดินใช้วิธี Virtual Reference Station (VRS) ในการหาตำแหน่งเพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้อง

หลักการหาพิกัดด้วยวิธี Virtual Reference Station (VRS) เริ่มต้นจากการรับสัญญาณ GNSS จาก CORS แล้วจะส่งไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อทำการคำนวณค่าแก้ต่าง ๆ ในลักษณะเดียวกับระบบ (Flächen-Korrektur Parameters : FKP) ด้วยหลักการ FKP คือข้อมูล CORS ที่รับสัญญาณได้จะถูกส่งไปยังศูนย์ควบคุม (Data center) ซึ่งศูนย์ควบคุมจะทำการคำนวณสร้างแบบจำลองค่าแก้ต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองค่าแก้ของนาฬิกาการดาวเทียม แบบจำลองค่าแก้ของชั้นบรรยากาศ และแบบจำลองค่าแก้ของวงโคจรดาวเทียม โดยแบบจำลองที่ศูนย์ควบคุมคำนวณได้จะเรียกรวมกันว่า “State Space Model : SSM” ให้กับผู้ใช้งาน (กองเทคโนโลยีท่าแพนที, 2561) เพียงแต่ในกรณีของระบบ VRS ผู้ใช้งานต้องส่งตำแหน่งโดยประมาณของตนเอง (ค่าพิกัดในรูปแบบ National Marine Electronic Association : NMEA) ให้ศูนย์ควบคุม ศูนย์ควบคุมจะทำการใช้ข้อมูลจาก CORS ที่อยู่โดยรอบผู้ใช้งาน และค่าแก้ที่คำนวณได้ สร้างหรือสังเคราะห์ข้อมูลขึ้นมา แล้วส่งกลับไปให้ผู้ใช้งาน ข้อมูลที่สร้างขึ้นมานี้ เครื่องรับสัญญาณของผู้ใช้งานจะมองเห็นเสมือนว่าเป็นข้อมูลของสถานีฐานหรือสถานีอ้างอิงในงานรังวัด RTK แบบดั้งเดิม ดังนั้น จึงเรียกระบบการทำงานของระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ แบบนี้ว่าเป็นสถานีอ้างอิงเสมือน (Virtual Reference Station) ตามข้อมูลที่ศูนย์ควบคุมส่งให้ผู้ใช้งาน ซึ่งในการสร้างสถานีอ้างอิงเสมือนจริง (VRS) จะใช้โครงข่าย CORS อย่างน้อย 3 สถานีที่อยู่ล้อมรอบ (Hofmann-Wellenhof et al., 2008)

ด้วยโครงข่าย CORS ของกรมที่ดิน มีระยะห่างระหว่าง CORS (Station Spacing) ตั้งแต่ 25.1 กม. จนถึง 198.6 กม. จากงานวิจัยที่ผ่านมา (Teerat Chaoenkalyunya et al., 2012) ได้ชี้ให้เห็นว่า ประสิทธิภาพของการรังวัดด้วยวิธี VRS ดังกล่าว มีความเชื่อมโยงกับระยะห่างระหว่าง CORS ที่ประกอบกันสามด้านเป็นโครงข่ายสามเหลี่ยม (รูป) (รูป หมายถึง ขอบเขตของโครงข่ายสามเหลี่ยมจากตำแหน่ง CORS) ซึ่งค่ารากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (Root Mean Square Error : RMSE) ทางราบจะมีความถูกต้องลดลงตามขนาดรูปที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ต่อมาในปีพ.ศ. 2562 ได้มีการวิเคราะห์และประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งของการรังวัดด้วยโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ และได้จำแนกขนาดรูปของทั้งโครงข่าย CORS ออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ 30 ถึง 50, 50 ถึง 70, 70 ถึง 90 และ 90 ถึง 110 กม. ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษา สรุปได้ว่าวิธีการรังวัดด้วยวิธี VRS ให้ค่า RMSE ทางราบเพียงพอต่องานการรังวัดที่ดินของประเทศไทย อย่างไรก็ตาม ขนาดรูปที่แบ่งออกเป็น 4 ขนาดรูปนั้น ให้ค่า RMSE ทางราบที่ไม่มีนัยสำคัญ คือในขนาดรูป 30 ถึง 50 มีค่า RMSE ทางราบ 0.032 เมตร, 50 ถึง 70 มีค่า RMSE ทางราบ 0.035 เมตร, 70 ถึง 90 มีค่า RMSE ทางราบ 0.035 เมตร และ 90 ถึง 110 มีค่า RMSE ทางราบ 0.035 เมตร (Teerat Chaoenkalyunya et al., 2019) สาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากรูปของ CORS บางรูป ดังที่กล่าวมา

ข้างต้นครอบคลุมพื้นที่บางจังหวัดที่มีลักษณะเป็นภูเขาจึงทำให้การสร้างหมุดทดสอบภายในลูบบางลูบไม่สามารถสร้างหมุดทดสอบกระจายทั่วลูบได้ หรือแม้แต่ลูบที่มีขนาดใหญ่และมีลักษณะเป็นภูเขา มีการสร้างหมุดทดสอบที่อยู่ใกล้กับ CORS จึงทำให้ค่า RMSE ทางราบทั้ง 4 ขนาดลูบมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะหาความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบที่ระยะห่างจาก CORS ที่แตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบจากวิธีการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS กับการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ (Relative Positioning) ในการสร้างเส้นฐาน เช่นเดียวกับงานสำรวจรังวัดที่ดินโดยทั่วไป (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549) โดยมี CORS เป็นสถานีฐานอ้างอิง ณ หมุดทดสอบเดียวกันที่มีระยะห่างหรือเส้นฐาน (Baseline) กับ CORS ตัวที่ใกล้ที่สุดภายในลูบ ในแนวกันชน (Buffer line) ต่างกัน ระหว่างหมุดทดสอบกับ CORS นั้นเพื่อดูความสัมพันธ์ของค่า RMSE ทางราบในแนวกันชนจาก CORS ที่แตกต่างกัน ว่าค่าความถูกต้องของค่า RMSE ทางราบของหมุดทดสอบจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามแนวกันชนกับ CORS ตัวที่ใกล้ที่สุดภายในลูบนั้นหรือไม่

## 1.2. วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบที่แนวกันชนจาก CORS ที่แตกต่างกัน โดยการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS

## 1.3. ขอบเขตการวิจัย

### 1.3.1 ขอบเขตเนื้อหาที่ศึกษา

#### 1.3.1.1 ศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์

#### 1.3.1.2 ศึกษาการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ ด้วยวิธี VRS

1.3.1.3 ศึกษาความถูกต้องของค่า RMSE ทางราบในแนวกันชน ที่ 15 ,30 ,45 และมากกว่า 45 กม. ระหว่างสถานีผู้ใช้งาน (Rover) กับ CORS

### 1.3.2 การเปรียบเทียบผลการศึกษา

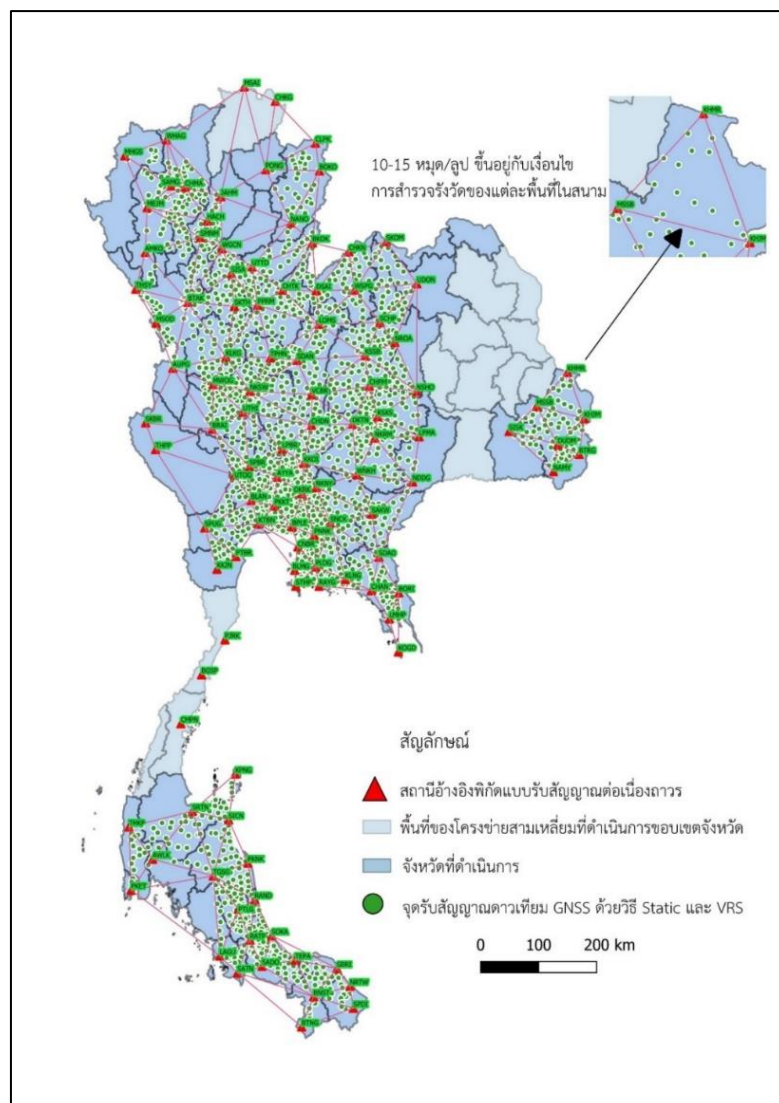
เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าพิกัดจากค่า RMSE ทางราบ ระหว่างวิธี Static แบบสัมพัทธ์ และการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS

### 1.3.3 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา

ขอบเขตพื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่ให้บริการของโครงข่ายสามเหลี่ยม จำนวน 143 ลูบ ในพื้นที่ 63 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดสมุทรปราการ นนทบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา อ่างทอง ลพบุรี สิงห์บุรี ชัยนาท สระบุรี ชลบุรี ระยอง จันทบุรี ตราด ฉะเชิงเทรา ปราจีนบุรี นครนายก สระแก้ว นครราชสีมา บุรีรัมย์ ศรีสะเกษ อุบลราชธานี ชัยภูมิ หนองบัวลำภู ขอนแก่น อุดรธานี เลย หนองคาย เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง อุดรดิตถ์ แพร่ น่าน พะเยา แม่ฮ่องสอน นครสวรรค์ อุทัยธานี กำแพงเพชร ตาก สุโขทัย พิษณุโลก พิจิตร เพชรบูรณ์ ราชบุรี กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม สมุทรสาคร เพชรบุรี นครศรีธรรมราช กระบี่ ภูเก็ต สุราษฎร์ธานี สงขลา ตรัง พัทลุง ปัตตานี ยะลา นราธิวาส พังงา สตูล สมุทรสงคราม และกรุงเทพมหานคร (ธีทัต เจริญกมลัญญาตา และคณะ, 2562) ดังแสดงในภาพที่ 1

1.3.3.1 แสดงตำแหน่งที่ตั้ง CORS ของกรมที่ดินจำนวน 114 สถานี และตำแหน่งหมุดทดสอบในการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธี VRS ที่ครอบคลุมทั่วประเทศไทยจำนวน 143 ลูบ แต่ละลูบจะมีหมุดทดสอบจำนวน 10-15 หมุด/ลูบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขการสำรวจรังวัดของแต่ละพื้นที่ในสนาม หมุดทดสอบเหล่านี้มีจำนวนทั้งหมด 2,122 หมุด





ภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งที่ตั้ง CORS ของกรมที่ดิน และตำแหน่งหมุดทดสอบในการรังวัดด้วยวิธี Static และด้วยวิธี VRS ที่ครอบคลุมทั่วประเทศไทยจำนวน 143 โครงข่าย

#### 1.3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

1.3.4.1 ข้อมูลการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ ได้จากการรับสัญญาณ GNSS เป็นระยะเวลา 90 นาที โดยรับสัญญาณ 30 วินาที ต่อ 1 epoch โดยการเลือกการตั้งรับสัญญาณ GNSS ในตำแหน่งที่ค่อนข้างโล่ง ปราศจากสิ่งบดบังรอบทิศ (เท่าที่สามารถทำได้) ดังแสดงในภาพที่ 2

1.3.4.2 ข้อมูลการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS เป็นระยะเวลา 15 นาที ซึ่งได้จากการรับสัญญาณ GNSS และดำเนินการรังวัดในเวลาเดียวกันกับการรังวัดค่าพิกัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ โดยใช้เครื่องมือสำรวจจีพีเอส CHC i-80 (CHCNAV, 2017)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างสถานที่รับสัญญาณ GNSS สำหรับการเก็บข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์

ที่มา : (ธิตต์ เจริญกาลัญญาตา และคณะ, 2562)

### 1.3.5 โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัย

#### 1.3.5.1 Trimble Business Center (TBC 4.1)

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลในภายหลัง (Post Processing) ของการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ (จากการเก็บข้อมูลภาคสนามของกรมที่ดิน) โดยในการประมวลผลข้อมูล GNSS ด้วยโปรแกรม TBC นั้นสามารถใช้ร่วมกับวงโคจรดาวเทียมความละเอียดสูง (Precise Orbit) ได้

#### 1.3.5.2 Matrix Laboratory (MATLAB version R2018b)

เป็นโปรแกรมที่ใช้เปรียบเทียบค่าพิกัดทางราบของการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS โดยใช้ค่าพิกัดทางราบของวิธี Static แบบสัมพัทธ์ เป็นค่าอ้างอิงของการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ซึ่งใช้เปรียบเทียบค่าของหมุดทดสอบในแต่ละหมุดทดสอบ (ผลรวมค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ของค่าพิกัดทางราบ epoch ละ 1 วินาที ของการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS เทียบกับการประมวลผลหลังจากการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์)

#### 1.3.5.3 Microsoft Excel

โปรแกรม Excel ใช้แบ่งข้อมูลจำนวน 2,122 หมุดทดสอบ ให้เป็น 4 แนวกันชน ได้แก่ แนวกันชนที่ 15 กม., แนวกันชนที่ 30 กม., แนวกันชนที่ 45 กม. และแนวกันชนที่มากกว่า 45 กม. และใช้หาค่า RMSE ทางราบในแต่ละแนวกันชน

#### 1.3.5.4 Quantum GIS (QGIS 3.4)

ใช้เพื่อ plot ตำแหน่งของหมุดทดสอบ เพื่อดูตำแหน่งของหมุดทดสอบภายในรูป

#### 1.3.6 เครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียม

สามารถแบ่งเครื่องมือสำรวจรังวัดดาวเทียม GNSS ได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

##### 1.3.6.1 สถานีอ้างอิงพิกัดแบบรับสัญญาณต่อเนื่องถาวร (CORS)

- เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น N72 ซึ่งใช้ในโครงข่ายมีจำนวน 92 สถานี
- เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ Trimble รุ่น TRIMBLE NETR9 ซึ่งใช้ในโครงข่ายมีจำนวน 2 สถานี
- เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ Trimble รุ่น TRIMBLE NETR5 ซึ่งใช้ในโครงข่ายมีจำนวน 5 สถานี
- เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ LEICA รุ่น GX1230+GNSS (กรมโยธาธิการและผังเมือง) ซึ่งใช้ในโครงข่ายมีจำนวน 15 สถานี

##### 1.3.6.2 สถานีผู้ใช้งาน (Rover)

- เครื่องมือรับสัญญาณดาวเทียมระบบ GNSS ยี่ห้อ CHC รุ่น i80 Infrastructure (กรมโยธาธิการและผังเมือง) ซึ่งใช้ในโครงข่ายมีจำนวน 15 สถานี

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS

1.4.2 ศึกษาการใช้งานซอฟต์แวร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

1.4.3 รวบรวมข้อมูลการรังวัดค่าพิกัดจากการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จากภาคสนามของกรมที่ดิน

1.4.4 นำค่าพิกัดทางราบ (Easting, Northing) ที่ได้จากการประมวลผลในภายหลังจากการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ มา plot ตำแหน่ง และแบ่งออกเป็น 4 แนวกันชน ได้แก่ แนวกันชน 15 กม., แนวกันชน 30 กม., แนวกันชน 45 กม. และแนวกันชน มากกว่า 45 กม.

1.4.5 เปรียบเทียบผลและวิเคราะห์หาค่าพิกัดทางราบจากการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ในแต่ละแนวกันชน

1.4.6 สรุปผลการศึกษาพร้อมข้อเสนอแนะ เรียบเรียงและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ โดยขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยโดยละเอียดจะอยู่ในบทที่ 3

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่า RMSE ทางราบ กับแนวกันชนจาก CORS สถานีที่ใกล้ที่สุดในแนวกันชน

1.5.2 สามารถใช้ค่า RMSE ทางราบในแต่ละแนวกันชนเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม CHC Precision service



## บทที่ 2

### แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดพื้นฐาน

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานโดยการนำระบบดาวเทียม GNSS เข้ามามีบทบาทในการพัฒนาประเทศโดยมีหน่วยงานทั้งภาครัฐและภาคเอกชนที่มีส่วนร่วมในการติดตั้ง CORS ทั่วทั้งประเทศ ได้แก่ กรมที่ดิน กรมแผนที่ กรมโยธาธิการและผังเมือง และสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำและการเกษตร เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันทางกรมที่ดินได้มีการติดตั้ง CORS แล้วเสร็จจำนวน 114 สถานี เพื่อใช้ในการดำเนินการสำรวจรังวัดที่ดิน โดยสถานี CORS ของกรมที่ดิน มีขนาดรูปต่าง ๆ ดังนี้ขนาดรูป 30 ถึง 50 ,50 ถึง 70 ,70 ถึง 90 และ 90 ถึง 110 กม. ซึ่งการสำรวจรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ของเจ้าหน้าที่กรมที่ดินในบางจังหวัดอาจจะอยู่ในพื้นที่ขนาดรูปที่มีขนาดใหญ่หรือบางครั้งอยู่ในพื้นที่ที่เป็นภูเขาทำให้เกิดการบดบังการรับสัญญาณ GNSS และส่งค่าแก้ต่าง ๆ ของสถานีผู้ใช้งานไปยังศูนย์ควบคุม ทำให้อาจเกิดปัญหาในเรื่องการสร้างหมุดหลักฐานเพื่อใช้เป็นหมุดแรกออกก่อนการรังวัดด้วยแผนที่ชั้นที่ 2 ด้วยกล้อง Total Station ซึ่งใช้ในการรังวัดหาค่าพิกัดแปลงที่ดินซึ่งอาจจะอยู่ใกล้หรือไกลกับ CORS ทำให้การรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ในบางครั้งค่าความถูกต้องในทางราบอาจเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการหาระยะในการรังวัดของสถานีผู้ใช้งานในระยะที่แตกต่างกันในแนวกันชนทั้ง 4 ระยะ โดยมี CORS ที่อยู่ใกล้กับสถานีผู้ใช้งานเป็นสถานีอ้างอิง

#### 2.2 เฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase)

สำหรับงานที่ต้องการค่าความละเอียดถูกต้องสูงในระดับเซนติเมตรจำเป็นต้องใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่งในการประมวลผล ซึ่งการวัดเฟสของคลื่นส่งในเครื่องรับเป็นการวัดเปรียบเทียบหรือค่าต่างระหว่างเฟสของคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมากับเฟสของคลื่นความถี่  $f_0$  ที่เครื่องรับสร้างขึ้นมา โดยคลื่นส่งที่ดาวเทียมส่งลงมานั้นแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของคลื่นจำนวนเต็มรอบ (Integer cycle part) กับส่วนที่ไม่เต็มรอบ (Fractional part) ในการรับสัญญาณนั้นเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถจะนับจำนวนเต็มรอบของคลื่นส่งที่ส่งลงมา จำนวนเต็มรอบสามารถหาค่าได้จากการคำนวณในภายหลัง โดยจำนวนเต็มนี้มีชื่อเรียกว่า Ambiguity หรือ เลขปริศนา โดยสมการค่าสังเกตของการวัดเฟสของคลื่นส่งคือ (Leick, 2004; Rizos, 1997; Teunissen et al., 1998)

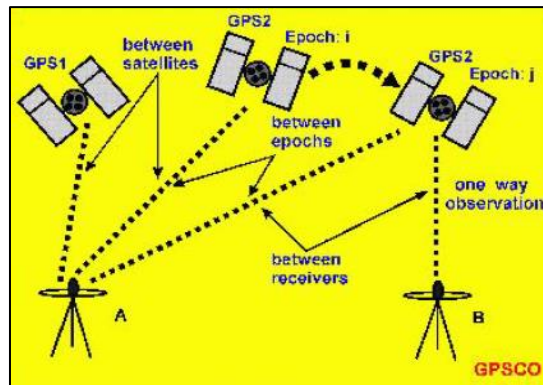
$$\varphi = \rho + \Delta r - d_{ion} + d_{trop} + c(\Delta\delta_r - \Delta\delta^s) + dm_\phi + \varepsilon_\phi + \lambda N \quad (2.1)$$

โดยที่

|                    |   |
|--------------------|---|
| $\varphi$          | คือ ซูโดเรนจ์ที่ได้จากการวัดเฟสของคลื่นส่ง (เมตร)                             |
| $\rho$             | คือ ระยะทางเรขาคณิตระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับ (เมตร)                        |
| $\Delta r$         | 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)                                 |
| $dm_\phi$          | คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเกิดคลื่นหลายวิถี (เมตร)                       |
| $\varepsilon_\phi$ | คือ ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณรบกวนในซูโดเรนจ์ที่วัดได้ของคลื่นส่ง (เมตร) |
| $\lambda$          | คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)  |
| $N$                | คือ Ambiguity หรือ เลขปริศนา ของคลื่นส่ง                                      |

### 2.3 เทคนิคค่าต่าง (Differencing technique)

การหาค่าต่างสามารถทำได้ 3 ลักษณะคือ ระหว่างเครื่องรับ (Between receivers) ระหว่างดาวเทียม (Between satellites) และระหว่างเวลา (Between epochs) ดังแสดงในภาพที่ 4 ประกอบ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปมักจะมีการจำแนกเทคนิคการหาค่าต่างตามจำนวนครั้งของการหาค่าต่าง และเทคนิคการหาค่าต่างที่เป็นที่นิยมใช้กันกว้างขวางนั้นมีอยู่สามแบบคือ การหาค่าต่างครั้งหนึ่ง (Single differencing) การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing) และการหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing) โดยมีรายละเอียดดังนี้ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)



ภาพที่ 3 แสดงเทคนิคค่าต่างลักษณะต่าง ๆ

ที่มา : (Rizos, 1997)

### 2.3.1 การหาค่าต่างครั้งทีหนึ่ง (Single differencing)

จะเป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างเพียงหนึ่งครั้ง ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นสามลักษณะดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 1 ค่าต่างระหว่างเครื่องรับ (Between-Receiver differences)

การหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้จากดาวเทียมดวงเดียวกันที่จุดสองจุดมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A และจุด B ซึ่งทั้งสองจุดสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 และจากสมการ (2) หากรวมค่าความคลาดเคลื่อนในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์และไอโอโนสเฟียร์เป็นหนึ่งเทอม  $d_{atmos}$  และสมมุติว่าไม่มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากคลื่นหลายวิถีและสัญญาณรบกวนในข้อมูล เราสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่รับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 ที่จุด A และ B อย่างง่ายได้ดังนี้

$$\phi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta_r^1 + d_{atmosA} + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (2.2)$$

$$\phi_B^1 = \rho_B^1 + \Delta_r^1 + d_{atmosB} + c(\Delta\delta_B - \Delta\delta^1) + \lambda N_B^1 \quad (2.3)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ โดยนำสมการ (2.2) ลบด้วยสมการ (2.3) จะได้

$$\phi_A^1 - \phi_B^1 = \rho_A^1 - \rho_B^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta_B) + \lambda(N_A^1 - N_B^1) \quad (2.4)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียม และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียม และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ ทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ โดยประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างเครื่องรับทั้งสองหรือที่เรียกกันว่า ระยะเส้นฐาน (Baseline length) เรียกการหาค่าต่างแบบนี้ว่า “การหาค่าต่างครั้งที่หนึ่ง” (Single difference)

## 2 ค่าต่างระหว่างดาวเทียม (Between-Satellite differences)

การหาค่าต่างระหว่างดาวเทียมเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้จากจุดเดียวกันไปยังดาวเทียมต่างดวงกันมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A ซึ่งสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 และ 2 ได้พร้อมกัน สามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่จุด A ไปยังดาวเทียมหมายเลข 1 และ 2 ได้ดังนี้

$$\phi_A^1 = \rho_A^1 + \Delta r^1 + d_{\text{atmos}A}^1 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^1) + \lambda N_A^1 \quad (2.5)$$

$$\phi_A^2 = \rho_A^2 + \Delta r^2 + d_{\text{atmos}A}^2 + c(\Delta\delta_A - \Delta\delta^2) + \lambda N_A^2 \quad (2.6)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างดาวเทียม โดยนำสมการ (2.5) ลบด้วยสมการ (2.6) จะได้

$$\phi_A^1 - \phi_A^2 = \rho_A^1 - \rho_A^2 + \Delta r^1 - \Delta r^2 + \Delta d_{\text{atmos}} + c(\Delta\delta^2 - \Delta\delta^1) + \lambda(N_A^1 - N_A^2) \quad (2.7)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ

## 3 ค่าต่างระหว่างเวลา (Between-Epoch differences)

การหาค่าต่างระหว่างเวลาเป็นการนำเอาค่าที่วัดได้ที่จุดเดียวกัน ไปยังดาวเทียมดวงเดียวกัน แต่ต่างเวลากันมาหาค่าต่าง เช่น มีการตั้งเครื่องรับที่จุด A ซึ่งสามารถรับข้อมูลจากดาวเทียมหมายเลข 1 โดยรับข้อมูล 2 ขณะเวลา เราสามารถเขียนสมการค่าสังเกตของข้อมูลเฟสคลื่นส่งที่จุด A ไปยังดาวเทียมหมายเลข 1 ณ เวลา  $t_0$  และ  $t_1$  ได้ดังนี้

$$\phi_A^1(t_0) = \rho_A^1(t_0) + \Delta r^1(t_0) + d_{\text{atmos}A}^1(t_0) + c(\Delta\delta_A(t_0) - \Delta\delta^1(t_0)) + \lambda N_A^1(t_0) \quad (2.8)$$

$$\phi_A^1(t_1) = \rho_A^1(t_1) + \Delta r^1(t_1) + d_{\text{atmos}A}^1(t_1) + c(\Delta\delta_A(t_1) - \Delta\delta^1(t_1)) + \lambda N_A^1(t_1) \quad (2.9)$$

ในกรณีที่ไม่มีเกิดการเกิดคลื่นหลุด (Cycle slip) ระหว่าง  $t_0$  และ  $t_1$  ค่า  $\lambda N_A^1(t_0)$  จะเท่ากับ  $\lambda N_A^1(t_1)$  ดังนั้นเมื่อทำการหาค่าต่างระหว่างเวลา โดยนำสมการ (2.8) ลบด้วยสมการ (2.9) จะได้



$$\phi_A^1(t_0) - \phi_A^1(t_1) = \rho_A^1(t_0) - \rho_A^1(t_1) + \Delta r^1(t_0) - \Delta r^1(t_1) + c(\Delta \delta_A(t_0) - \Delta \delta^1(t_0)) - c(\Delta \delta_A(t_1) - \Delta \delta^1(t_1)) \quad (2.10)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จึงสามารถจัดเลขปริศนา และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ออกไปได้มาก โดยที่ประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับความห่างของช่วงเวลาทั้งสอง อย่างไรก็ตามในการเก็บข้อมูลจีพีเอสมักจะมีการกำหนดอัตราถี่ของการบันทึกข้อมูลไว้ไม่เกิน 30 วินาที ทำให้สามารถกล่าวได้ว่าการหาค่าต่างระหว่างเวลาสามารถใช้จัดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ออกไปได้ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศนั้นค่อนข้างช้าเมื่อเทียบกับอัตราถี่ของการบันทึกข้อมูล

### 2.3.2 การหาค่าต่างครั้งที่สอง (Double differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างสองครั้ง กล่าวคือเป็นการหาค่าต่างระหว่างจุดสองจุดและดาวเทียมสองดวง เช่น ระหว่างจุด A, B และดาวเทียม 1, 2 ซึ่งหากเปลี่ยนหมายเลขดาวเทียมในสมการ (2.4) จากหมายเลข 1 เป็น 2 จะได้

$$\phi_A^2 - \phi_B^2 = \rho_A^2 - \rho_B^2 + c(\Delta \delta_A - \Delta \delta_B) + \lambda(N_A^2 - N_B^2) \quad (2.11)$$

เมื่อทำการหาค่าต่างครั้งที่สอง โดยนำสมการ (2.4) ลบด้วยสมการ (2.11) จะได้

$$(\phi_A^1 - \phi_B^1) - (\phi_A^2 - \phi_B^2) = (\rho_A^1 - \rho_B^1) - (\rho_A^2 - \rho_B^2) + \lambda(N_A^1 - N_B^2) - \lambda(N_A^2 - N_B^2) \quad (2.12)$$

สามารถเขียนย่อ ๆ ได้ดังนี้

$$\phi_{AB}^{12} = \rho_{AB}^{12} + \lambda N_{AB}^{12} \quad (2.13)$$

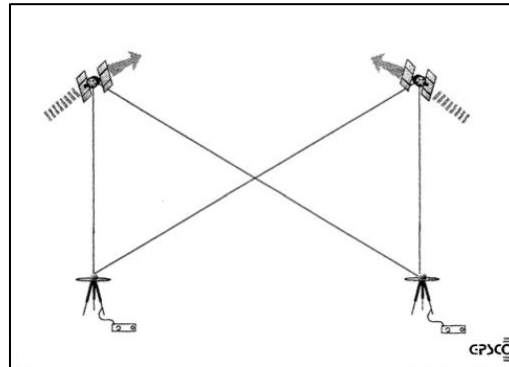
โดยที่

$$\phi_{AB}^{12} = (\phi_A^1 - \phi_B^1) - (\phi_A^2 - \phi_B^2)$$

$$\rho_{AB}^{12} = (\rho_A^1 - \rho_B^1) - (\rho_A^2 - \rho_B^2)$$

$$\lambda N_{AB}^{12} = \lambda(N_A^1 - N_B^2) - \lambda(N_A^2 - N_B^2)$$

การหาค่าต่างแบบนี้จะสามารถจัดค่าความคลาดเคลื่อน ที่เกิดจากนาฬิกาดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากนาฬิกาเครื่องรับ และลดค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากวงโคจรของดาวเทียมและความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศทั้งจากไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ เช่นเดียวกันกับการหาค่าต่างระหว่างเครื่องรับ ประสิทธิภาพในการลดค่าความคลาดเคลื่อนนั้นขึ้นอยู่กับระยะเส้นฐาน ดังแสดงในภาพที่ 4 แสดงการหาค่าต่างครั้งที่สอง



ภาพที่ 4 การหาค่าต่างครั้งที่สอง

ที่มา : (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2546)

### 2.3.3 การหาค่าต่างครั้งที่สาม (Triple differencing)

เป็นการนำข้อมูลมาหาค่าต่างสามครั้ง กล่าวคือเป็นการนำเอาค่าต่างครั้งที่สองระหว่างเวลาสองเวลามาหาค่าต่างกัน ซึ่งหากใส่เวลา  $t_0$  และ  $t_1$  ในสมการ (2.13) จะได้

$$\phi_{AB}^{12}(t_0) = \rho_{AB}^{12}(t_0) + \lambda N_{AB}^{12}(t_0) \quad (2.14)$$

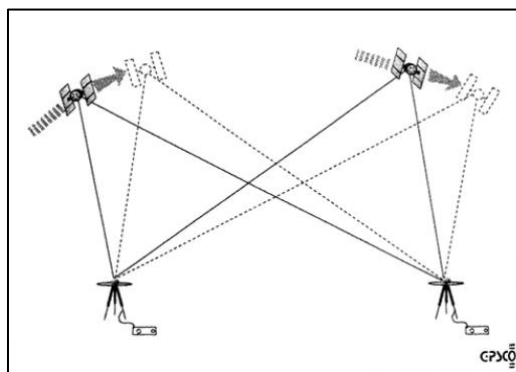
$$\phi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_1) + \lambda N_{AB}^{12}(t_1) \quad (2.15)$$

หากไม่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดคลื่นหลุด เมื่อนำสมการ (2.14) ลบกับสมการ (2.15) จะได้

$$\phi_{AB}^{12}(t_0) - \phi_{AB}^{12}(t_1) = \rho_{AB}^{12}(t_0) - \rho_{AB}^{12}(t_1) \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.16) จะเห็นได้ว่าค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดได้ถูกขจัดออกไปจากข้อมูล อย่างไรก็ตามผลเสียของการหาค่าต่างครั้งที่สามก็คือ ระดับสัญญาณรบกวนในข้อมูลนั้นเพิ่มขึ้นและยังทำให้เรขาคณิตของการหาตำแหน่งยังแย่ลงด้วย (Rizos, 1997) ด้วยเหตุนี้จึงไม่นิยมใช้ค่าต่างครั้งที่สามมาเป็นสมการค่าสังเกตในการหาตำแหน่งที่ถูกต้องสูงด้วยจีพีเอส อย่างไรก็ตามค่าต่างครั้งที่สามมัก

ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการตรวจหาค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุด เนื่องจากถ้านำข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคลื่นหลุดมาหาค่าต่างครั้งที่สามจะพบว่าค่า  $N_{AB}^{12}$  ที่เวลา  $t_0$  และ  $t_1$  จะมีค่าแตกต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 5 แสดงการหาค่าต่างครั้งที่สาม



ภาพที่ 5 การหาค่าต่างครั้งที่สาม

ที่มา : (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2546)

#### 2.4 การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง (Carrier phase based differential positioning)

การหาตำแหน่งที่ละเอียดถูกต้องสูงจำเป็นต้องใช้การหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์โดยอาศัยข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง การลดหรือขจัดค่าคลาดเคลื่อนที่มีอยู่ในข้อมูลถือเป็นหัวใจสำคัญของการได้มาซึ่งความถูกต้องในระดับมิลลิเมตรถึงเซนติเมตร เทคนิคค่าต่างเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปในการลดและขจัดค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สองกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งถือเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปให้ค่าความถูกต้องสูง ดังนั้นซอฟต์แวร์เชิงพาณิชย์ส่วนใหญ่จึงใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สองในการสร้างสมการค่าสังเกตสำหรับการประมวลผลข้อมูลต่อไป หัวใจสำคัญอีกอันหนึ่งที่มีผลต่อค่าความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้รับคือขั้นตอนของการหาค่าเลขปริศนาให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามทฤษฎี ซึ่งเรียกโดยทั่วไปว่า Ambiguity Resolution (AR) เนื่องจากการใช้เทคนิคค่าต่างครั้งที่สองกับข้อมูลเฟสของคลื่นส่งนั้นเป็นวิธีที่ยอมรับกันทั่วไปดังนั้นจึงใคร่ขอยกกรณีของสมการค่าสังเกตที่ได้จากเทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองมาประกอบการอธิบาย หากสมมุติว่าเส้นฐานมีขนาดสั้น (< 20 กม.) ค่าคลาดเคลื่อนหลายชนิดถูกขจัดออกไปจากการหาค่าต่าง

## 2.5 วิธีการรังวัดด้วยดาวเทียม

การเลือกวิธีการรังวัดดาวเทียมผู้ใช้สามารถเลือกตามระดับความถูกต้องที่ต้องการตามลักษณะการใช้งานโดยขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ทำการรังวัด ปัจจุบันอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของเครื่องรับได้มีการออกแบบให้รับสัญญาณของ GPS ,GLONASS ,BeiDou และอื่น ๆ ตามรุ่นแล้วแต่การออกแบบ ในการได้มาของค่าพิกัดในการประมวลผลซึ่งเป็นการได้มาของค่าพิกัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การประมวลผลแบบทันทีทันใดซึ่งทำให้สามารถรู้ค่าพิกัดได้ทันทีหลังจากที่รับสัญญาณและการประมวลผลแบบย้อนหลัง (Post - processing) ในขั้นตอนการประมวลผลซึ่งมีความสัมพันธ์กับเทคนิคการรังวัด โดยเทคนิคการรังวัดสามารถแบ่งได้ดังนี้

### 2.5.1 การรังวัดแบบสถิต (Static Survey)

ในเทคนิคการรังวัดแบบนี้จะต้องมีการรับสัญญาณดาวเทียมไม่น้อยกว่า 1 ชั่วโมง และใช้อัตราในการบันทึกข้อมูลไม่มากไปกว่า 30 วินาที ซึ่งสามารถใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเพียง 1 เครื่องหรืออย่างน้อย 2 เครื่องในการรับสัญญาณ และปัจจุบันการรังวัดด้วยวิธีนี้เป็นที่นิยมเหมาะสมกับงานที่ต้องการความละเอียดสูงให้ความถูกต้องในระดับมิลลิเมตรใช้ในการสร้างหมุดอ้างอิง ซึ่งเป็นการรังวัดเส้นฐานและนำข้อมูลที่ได้จากการรังวัดมาทำการประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพิกัด ณ จุดที่ไม่ทราบค่า

### 2.5.2 การรังวัดแบบจลนในทันที (Real-Time Kinematic : RTK)

วิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลนในเวลาจริง (Real Time Kinematic) หรือมักถูกเรียกย่อว่า RTK นั้น มีข้อดีคือใช้เวลาในการรังวัดค่อนข้างเร็วสามารถประมวลผลข้อมูลในขณะที่กำลังรับสัญญาณได้พร้อมกัน ส่งผลทำให้ได้ค่าพิกัดตำแหน่งในทันที แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่อง ความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดที่ได้โดยจะลดลงเมื่อระยะเส้นฐานระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้งานเพิ่มขึ้น (จิรทัต เจริญกาลัญญาตา et al., 2552) วิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลนในทันที มีหลักการรังวัดที่คล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบสถิตนั่นก็คือ ต้องใช้เครื่องรับสัญญาณอย่างน้อยสองเครื่อง โดยเครื่องหนึ่งถูกวางไว้บนตำแหน่งหมุดที่ทราบค่าพิกัดแล้วหรือที่เรียกว่าสถานีฐาน ส่วนเครื่องรับสัญญาณที่เหลือจะถูกนำไปวางรับสัญญาณ ณ ตำแหน่งจุดที่ต้องการหาค่าพิกัดหรือเรียกว่าสถานีผู้ใช้งาน แต่แตกต่างจากวิธีการรังวัดแบบสถิตคือ กรณีของการหาตำแหน่งแบบจลนในทันทีนี้สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องรับสัญญาณเครื่องที่สองได้ ในกรณีที่มีการติดตั้งอุปกรณ์สื่อสารระหว่างเครื่องรับสัญญาณทั้งสอง ซึ่งอุปกรณ์สื่อสารนั้นอาจเป็นเครื่องรับและคลื่นวิทยุ หรือโทรศัพท์มือถือ ตลอดจนอุปกรณ์ที่สามารถ

ติดต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตได้ วิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลน์ในทันที จะได้ค่าพิกัดตำแหน่งได้ทันทีในสนาม การหาค่าพิกัดตำแหน่งจุดต่าง ๆ ด้วยวิธีการรังวัดหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ด้วยวิธีการทำงานแบบจลน์ในทันที เครื่องรับสัญญาณที่สถานีฐานและเครื่องรับสัญญาณที่สถานีผู้ใช้งานต้องรับข้อมูลจากดาวเทียมกลุ่มเดียวกัน ในช่วงเวลาเดียวกันอย่างน้อยจำนวน 5 ดวง ที่สำคัญเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ใช้จะต้องเป็นเครื่องรับสัญญาณแบบสองความถี่เท่านั้น สำหรับเส้นฐานที่มีความยาวไม่เกิน 15 กม. วิธีการนี้ให้ค่าความถูกต้องในระดับ 1 – 5 เซนติเมตร (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)

### 2.5.3 วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network – Based RTK : NRTK)

วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (Network – Based RTK) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า (NRTK) มีข้อดีคือมีผลกระทบของความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่น้อยกว่าเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันทีแบบเดิมหรือ (RTK) ซึ่งความคลาดเคลื่อนเชิงพื้นที่จะถูกขจัดในขั้นตอนการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่ง โดยวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (NRTK) นี้ถูกพัฒนาออกมาเพื่อปรับปรุงและแก้ไขข้อจำกัดของเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) ส่งผลให้วิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (NRTK) นั้นสามารถลดข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องทางตำแหน่ง และความน่าเชื่อถือของค่าพิกัดเมื่อมีระยะทางระหว่างสถานีฐานและสถานีผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้การหาเลขปริศนาที่เป็นจำนวนเต็มตามทฤษฎีนั้นมีประสิทธิภาพและทำให้ขบวนการประมาณค่าเลขปริศนาทำได้ง่ายและรวดเร็วกว่าโดยมีความน่าเชื่อถือมากกว่าวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) ซึ่งเป็นผลจากการที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยลงช่วยให้การหาตำแหน่งของสถานีผู้ใช้งานสามารถทำได้รวดเร็ว และมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นด้วยวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (NRTK) นั้นมีองค์ประกอบของเทคนิคที่ประกอบด้วย สถานีฐานถาวร , ศูนย์ควบคุมกลาง และสถานีผู้ใช้งาน ซึ่งแตกต่างจากเทคนิคการรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) แต่การทำงานในสนามของวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (NRTK) มีความคล้ายคลึงกับวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) โดยหลักการการทำงานของวิธีการรังวัดแบบจลน์ในทันทีโดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐาน (NRTK) จะเริ่มจากสถานีฐานถาวรที่มีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมแบบรังวัดคุณภาพสูงชนิดหลายความถี่ อย่างน้อย 3 สถานี ที่ติดตั้งในที่ตั้งที่ถาวรซึ่งสภาพพื้นที่โดยรอบไม่มีสิ่งกีดขวางและมีอินเทอร์เน็ตเชื่อมต่อกับระบบตลอดเวลาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้ทันที เมื่อศูนย์ควบคุมส่วนกลางได้รับข้อมูลมาจากทุกสถานีฐานถาวรหลังจากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อคำนวณหาค่าแก้

คลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ เพื่อส่งให้สถานีผู้ใช้งานต่อไป เมื่อผู้ใช้งานต้องการทราบค่าพิกัดสามารถทำได้โดยใช้เครื่องรับสัญญาณเพียงเครื่องเดียวไปวางตามตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบค่าพิกัดที่อยู่ในพื้นที่ระบบเครือข่ายของสถานีฐานให้บริการ (ธิตต์ เจริญกาลัญญาตา, 2555)

## 2.6 แนวคิดการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ด้วยวิธีต่าง ๆ

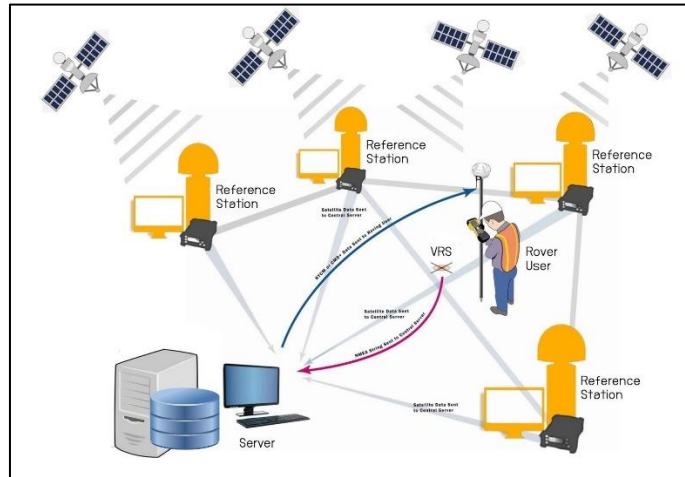
หลักการการทำงานของวิธีการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ในทันที มีหลายแนวคิดแต่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ในหลายประเทศ ได้แก่ ระบบ Area Correction Parameter (Flaechen Korrektur Parameter - FKP) ,ระบบ Master – Auxiliary Concept (MAC) และระบบ Virtual Reference Station (VRS) ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการศึกษาระบบการทำงานของ VRS เพียงวิธีการเดียวโดยมีหลักการดังนี้

### 2.6.1 ระบบ Virtual Reference Station (VRS)

ระบบ VRS เสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดย (Vollath et al., 2000) ซึ่งมีการทำงาน 4 ขั้นตอนหลัก คือ

- 1) ซอฟต์แวร์ระบบเครือข่ายแบบจลน์ในทันทีจะทำการคำนวณค่าต่างครั้งที่สองด้วยวิธี Ionosphere – Free Linear Combination สำหรับทุก ๆ คู่ของสถานีฐาน และจะคำนวณหาค่าเลขปริศนาและค่าคลาดเคลื่อนรวมของแต่ละสถานีฐานด้วย
- 2) ค่าคลาดเคลื่อนรวมของทุกสถานีจะถูกนำไปคำนวณและ Interpolate สำหรับตำแหน่งโดยประมาณ ของสถานีผู้ใช้งาน (ซึ่งทราบได้โดยการหาค่าจาก ซูโดเรนจ์ ของเครื่องรับ) ซึ่งตำแหน่งโดยประมาณนี้จะถูกส่งจากสถานีผู้ใช้งานไปยังซอฟต์แวร์ระบบเครือข่ายฯ ในรูปแบบของ NMEA Message
- 3) ค่าคลาดเคลื่อนรวมที่ถูก Interpolate แล้วจะถูกส่งในรูปแบบของ Message 18/19 หรือ 20/21 ของ RTCM 2.3 โดยเป็นข้อมูลในรูปแบบของข้อมูลการรังวัดดาวเทียมที่ทราบขนาดค่าคลาดเคลื่อนรวม ณ ตำแหน่งใกล้ ๆ กับสถานีผู้ใช้งาน แล้วส่งไปยังสถานีผู้ใช้งาน ดังนั้นจึงเสมือนว่ามีสถานีเสมือน (Virtual Reference Station) สำหรับอ้างอิงใกล้ ๆ กับสถานีผู้ใช้งาน
- 4) ซอฟต์แวร์ที่สถานีผู้ใช้งานจะทำการประมวลเส้นฐานซึ่งมีขนาดสั้นระหว่างสถานีเสมือน และข้อมูลการรังวัดดาวเทียมจริงของสถานีผู้ใช้งานเพื่อหาค่าตำแหน่งที่ถูกต้องของสถานีผู้ใช้งาน

ข้อดีของระบบ VRS คือ สถานีผู้ใช้งานไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษหรือซอฟต์แวร์เพิ่มเติม เนื่องจากการประมวลผลเพื่อหาค่าพิกัดของสถานีผู้ใช้งานนั้นเหมือนกับการทำงาน Single RTK และ อย่างไรก็ตาม จะเห็นว่าระบบนี้ต้องการการสื่อสารแบบสองทาง (Two Way Communication)



ภาพที่ 6 แสดงเทคนิคการรังวัดด้วยโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ VRS

ที่มา : (กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน, 2561)

## 2.7 หลักการของระบบ VRS

Hofmann-Wellenhof et al. (2008) ได้เสนอแนวคิดหลักของระบบ VRS คือการสร้างสถานีเสมือน (Virtual Reference Station) จากข้อมูลดาวเทียมทุกสถานีฐานจีพีเอสในรูปแบบข้อมูลดาวเทียมที่ลดค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ แล้ว (ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โทรโพสเฟียร์ และวงโคจรดาวเทียม) ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่ใกล้กับสถานีผู้ใช้งาน จากนั้นสถานีผู้ใช้งาน เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องสูง ณ สถานีผู้ใช้งาน โดยสามารถทำความเข้าใจหลักการระบบ VRS ได้โดยพิจารณาจากสมการดังต่อไปนี้

โดยทั่วไปข้อมูลการรังวัดเฟสของคลื่นส่ง ณ เวลาใด ๆ สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\varphi_r^s(t) = \frac{1}{\lambda} Q_r^s(t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) \quad (2.17)$$

โดยที่

$\varphi_r^s(t)$  คือ ข้อมูลการรังวัดเฟสของคลื่นส่ง ณ เวลาใด ๆ (เมตร)

|            |  |
|------------|--|
| $\lambda$  | คือ ความยาวคลื่นของคลื่นส่ง (เมตร)   |
| $Q_r^s(t)$ | คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ ณ เวลาใด ๆ (เมตร)  |
| $N$        | คือ Ambiguity หรือ ค่าเลขปริศนาของคลื่นส่ง (หน่วยนับ)  |
| $f^s$      | เท่ากับ $\frac{c}{\lambda}$ มีหน่วยเป็นเฮิรต และเมื่อ $c$ คือความเร็วแสง มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที |

$\Delta\delta_r^s(t)$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ

ถ้าหากว่ากำหนดให้ ตำแหน่งของสถานีฐานจีพีเอส สถานี A ของเครื่องรับ  $r$  เท่ากับ เวกเตอร์  $X_A$  และตำแหน่งของสถานีเสมือน (VRS) เท่ากับ เวกเตอร์  $X_V$  ดังนั้นเมื่อแทนค่าใน สมการที่ (2.17) จะได้

$$\varphi_r^s(X_A, t) = \frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_A, t) + N + f^s \Delta\delta_r^s(t) \quad (2.18)$$

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_V, t) + N + f^s \Delta\delta_r^s(t) \quad (2.19)$$

โดยที่

$\varphi_r^s(X_A, t)$  คือ ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่งของสถานี A ณ เวลาใด ๆ (เมตร)

$\varphi_r^s(X_V, t)$  คือ ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่งของสถานี VRS ณ เวลาใด ๆ (เมตร)

$Q_r^s(X_A, t)$  คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ ณ ตำแหน่งของสถานี A (เมตร)

$Q_r^s(X_V, t)$  คือ ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ ณ ตำแหน่งของสถานี VRS (เมตร)

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่ (2.18) มาลบกับสมการที่ (2.19) จะได้

$$\varphi_r^s(X_V, t) - \varphi_r^s(X_A, t) = \frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_V, t) - \frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_A, t) \quad (2.20)$$

จะเห็นว่าเทอมค่าเลขปริศนา ( $N$ ) และค่าคลาดเคลื่อนของนาฬิกาดาวเทียมและนาฬิกาเครื่องรับ  $\Delta\delta_r^s(t)$  จะหายไป โดยหลังจากการจัดเรียงสมการที่ (2.20) ใหม่จะได้



$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_A, t) + \frac{1}{\lambda} [Q_r^s(X_V, t) - Q_r^s(X_A, t)] \quad (2.21)$$

จากสมการที่ (2.21) จะเห็นว่าทางซ้ายมือของสมการคือ ข้อมูลการวัดเฟสของคลื่นส่งของสถานี VRS ซึ่งไม่จำเป็นต้องรังวัดจริง เนื่องจากเทอมต่าง ๆ ทางขวามือของสมการหาค่าได้กล่าวคือ เทอม  $\varphi_r^s(X_A, t)$  ได้จากการรังวัดดาวเทียม ณ สถานีฐานจีพีเอส A ส่วนเทอม  $Q_r^s(X_A, t)$  สามารถหาค่าได้เนื่องจากทราบตำแหน่งของดาวเทียมและตำแหน่งของสถานีฐาน A และเทอม  $Q_r^s(X_V, t)$  สามารถหาค่าได้เช่นเดียวกันเนื่องจากการทราบตำแหน่งของดาวเทียมและตำแหน่งของสถานี VRS (ซึ่งทราบค่าโดยวิธีการวัดชุดโคเรนจ์) แต่เนื่องจากในความเป็นจริง ข้อมูลดาวเทียมที่ได้จากสถานีฐานยังมีความคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ แฝงอยู่ได้แก่ ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โทรโพสเฟียร์ และวงโคจรดาวเทียม ดังแสดงในสมการที่ (2.22)

$$\Delta_r^s(X_A, t) = \Delta^{Orbit}(X_A, t) + \Delta^{Iono}(X_A, t) + \Delta^{Trop}(X_A, t) \quad (2.22)$$

โดยที่

$\Delta_r^s(X_A, t)$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ ที่สถานี A (เมตร)

$\Delta^{Orbit}(X_A, t)$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากวงโคจรดาวเทียมที่สถานี A (เมตร)

$\Delta^{Iono}(X_A, t)$  คือ ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่สถานี A (เมตร)

$\Delta^{Trop}(X_A, t)$  ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่สถานี A (เมตร)

ซึ่งในความเป็นจริงสมการที่ (2.18) จำเป็นต้องพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนชนิดต่าง ๆ ด้วย ดังนั้นจะได้

$$\varphi_r^s(X_A, t) = \frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_A, t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) + \Delta_r^s(X_A, t) \quad (2.23)$$

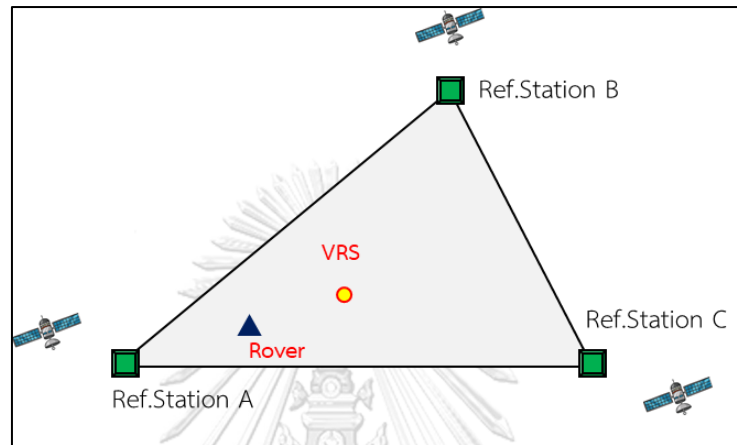
ในทางเดียวกัน กรณีสามสถานีฐาน จะได้ดังนี้

$$\varphi_r^s(X_B, t) = \frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_B, t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) + \Delta_r^s(X_B, t) \quad (2.24)$$

$$\varphi_r^s(X_C, t) = \frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_C, t) + N + f^s \Delta \delta_r^s(t) + \Delta_r^s(X_C, t) \quad (2.25)$$

และการหาข้อมูลเฟสของคลื่นส่งของสถานี VRS จะเป็นไปตามสมการข้างล่าง

$$\varphi_r^s(X_V, t) = \varphi_r^s(X_A, t) + \frac{1}{\lambda} [Q_r^s(X_V, t) - Q_r^s(X_A, t)] + \Delta_r^s \quad (2.26)$$



ภาพที่ 7 แสดงแนวคิดการทำงานระบบ VRS

จากสมการที่ (2.23) ถึง (2.25) ค่าคลาดเคลื่อน  $\Delta_r^s(X_A, t)$  ,  $\Delta_r^s(X_B, t)$  และ  $\Delta_r^s(X_C, t)$  สามารถหาค่าได้ เนื่องจากการทราบตำแหน่งของทุกสถานีฐาน (ทำให้หาค่าของเทอม  $\frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_A, t)$  ,  $\frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_B, t)$  และ  $\frac{1}{\lambda} Q_r^s(X_C, t)$  ได้ทั้งเทอมของ N และ  $f^s \Delta \delta_r^s(t)$  สามารถหาค่าได้โดย วิธีการหาค่าเลขปริศนา (ซึ่งไม่ใช่เรื่องยากเนื่องจากทราบตำแหน่งของทุกสถานีฐาน) และการใช้เทคนิคการหาค่าต่างครั้งที่สองของทุกคู่สถานีฐาน (ดูรายละเอียดได้ที่ (เฉลิมชนม์ สติระพจน์, 2549)) ตามลำดับ

ดังนั้น เมื่อทราบค่าความคลาดเคลื่อน  $\Delta_r^s(X_A, t)$  ,  $\Delta_r^s(X_B, t)$  และ  $\Delta_r^s(X_C, t)$  แล้ว สามารถหาค่าคลาดเคลื่อนๆ ของสถานี VRS ( $\Delta_r^s(X_V, t)$ ) ได้จากการ Interpolate ในรูปแบบต่าง ๆ รวมถึงวิธีการ Weighted mean จากข้อมูลค่าคลาดเคลื่อนๆ ของทุกสถานี ตัวอย่าง เช่นสมการดังต่อไปนี้

$$\Delta_r^s(X_i, t) = aX_i + bY_i + cZ_i \quad (2.27)$$

โดยที่

$X_i, Y_i, Z_i$  คือ ตำแหน่งของสถานี  $i$  ทั้งสามทิศทาง (ในระบบพิกัด Earth Center Earth Fix หรือระบบพิกัดระนาบที่ประกอบด้วยค่าความสูง)

$a, b, c$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซึ่งหาค่าได้จากสถานีฐาน A, B และ C โดยการแก้สมการเชิงเส้น อย่างไรก็ตามหากมีสถานีฐานมากกว่า 3 สถานี สามารถใช้เทคนิค Least – Square Adjustment หาค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าวได้

## 2.8 โปรแกรมการจัดการสถานีอ้างอิงรับสัญญาณ GNSS แบบต่อเนื่อง ของกรมที่ดิน

CHC Precision Service หรือ CPS เป็นซอฟต์แวร์ใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นโดย บริษัท CHC เพื่อให้บริการข้อมูลค่าแก้จาก CORS ซึ่ง CPS รองรับสัญญาณทั้งระบบ GPS ,GLONASS และ BeiDou (BDS) ยังสามารถนำไปใช้งานกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมได้หลากหลายจากผู้ผลิตหรือยี่ห้อที่แตกต่างกัน CPS ถูกออกแบบการให้บริการของ CORS ในพื้นที่ขนาดใหญ่ และมีประสิทธิภาพการวิเคราะห์ค่าคลาดเคลื่อนของระบบการรังวัดดาวเทียมที่สำคัญ เช่น ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ค่าคลาดเคลื่อนวงโคจรดาวเทียม และค่าคลาดเคลื่อนหลายวิถี CPS ได้เพิ่มประสิทธิภาพค่าแก้เชิงพื้นที่ให้แก่ผู้ใช้งาน Rover จากวิธีการ Single Based และ Network – Based ด้วยการให้บริการทั้งฟังก์ชัน RTK และ DGNSS แก่การทำงานสำรวจรังวัด หรือการใช้แอปพลิเคชันอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือและความแม่นยำจากการใช้บริการของ CORS

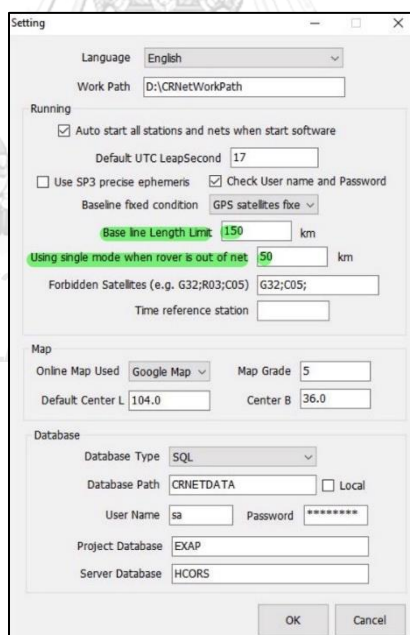
การออกแบบการให้บริการ CPS ได้รวม 3 ซอฟต์แวร์หลัก คือ 1) CHC Stream เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลจากสถานีอ้างอิงทั้งหมด และถ่ายข้อมูลเหล่านี้ต่อไปยัง CPS 2) CPS จะนำไปทำการคำนวณและให้บริการ 3) CPS Casher ให้การเข้าถึงพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง โครงสร้างการให้บริการจะช่วยให้ผู้ดูแลระบบ CORS ควบคุมและติดตามระบบได้อย่างง่าย และในเวลาเดียวกันได้ลดการทำงานของระบบทั้งหมดของ Server คอมพิวเตอร์ และช่วยให้ระบบทั้งหมดมีความเสถียรและปลอดภัย

ฟังก์ชันทั้งหมดในแพ็คเกจเดียว จะมีโมดูลที่มีหน้าที่หลากหลายใน CPS การตรวจสอบคุณภาพของโมดูลที่ไว้ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลของแต่ละสถานีอ้างอิง ได้แก่ การเก็บโมดูลเพื่อแปลงข้อมูลดิบแบบ real – time จากแต่ละสถานีอ้างอิงให้เป็นข้อมูลแบบ RINEX หรือ HCN การให้บริการทั้งโครงข่ายการรังวัดดาวเทียมแบบจลน์ (RTK) หรือ RTD (Real – Time Differential GNSS) ได้ให้บริการ ค่าแก้ค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์สำหรับพื้นที่ท้องถิ่นโดยจะถูกคำนวณชั่วโมงต่อชั่วโมง การแสดงผลบนแผนที่จะแสดงตำแหน่งของสถานีอ้างอิง

แก่ผู้ใช้ Rover รวมทั้งตำแหน่งของ Rover จะแสดงใน CPS ในขณะที่ ผู้ใช้กำลังทำงานอีกด้วย (สีห์ต เจริญกาลัญญาตา และคณะ, 2562)

### 2.8.1 ระบบการทำงานของ CORS กรณที่ดินโดยใช้ซอฟต์แวร์ CPS มี 2 วิธีดังนี้ (CHCNAV, 2016)

1. เมื่อ Rover เลือกโหมด Single Station ถึงแม้ว่า Rover จะเชื่อมต่อกับโครงข่าย CORS อย่างน้อย 3 สถานีก็ตาม ระบบ CPS จะทำการคำนวณระยะทางระหว่าง Rover ถึง CORS โดยถ้ามีระยะทางน้อยกว่า 10 กม. ระบบ CPS จะคำนวณและส่งค่าแก้จาก CORS ที่อยู่ใกล้ที่สุดเพียง 1 สถานี มายัง Rover เหมือนกับวิธี RTK แบบดั้งเดิม แต่โดยปกติในการตั้งค่าระบบ CPS จะเลือกเป็นแบบอัตโนมัติ เพราะระบบ CPS มีการคำนวณระยะทางระหว่าง Rover กับ CORS ทำให้ระยะทางที่เกิดขึ้นมีความแม่นยำกว่าเลือกโหมดในการรังวัดด้วยตัวเอง ดังแสดงในภาพที่ 8
2. เมื่อเลือกโหมด CORS จะเป็นการทำงานโดยส่งค่าแก้จาก CORS อย่างน้อย 3 สถานี



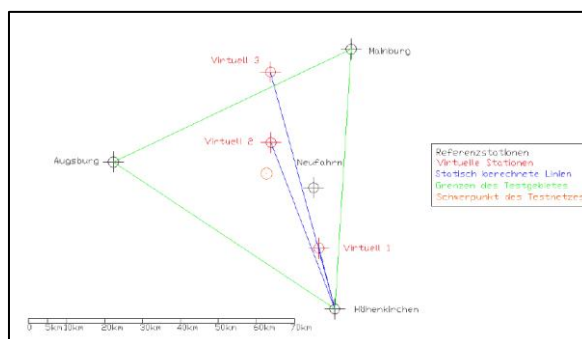
ภาพที่ 8 แสดงการกำหนดระยะทางระหว่าง Rover กับ CORS เมื่อต้องการเปลี่ยนการรังวัดมาใช้ Single mode แบบอัตโนมัติ

ที่มา : (CHCNAV, 2016)

## 2.9 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

เนื่องจากการวิจัยนี้มุ่งเน้นเพื่อทดสอบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบที่ระยะห่างจาก CORS ที่แตกต่างกัน และเพื่อดูความสัมพันธ์ค่า RMSE ทางราบ กับแนวกันชนที่ระยะต่าง ๆ ดังนั้นจึงต้องกำหนดกรอบแนวความคิดการวิจัยคือทดสอบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบที่ระยะห่างจาก CORS ที่แตกต่างกัน และจะต้องศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระยะห่างของสถานีผู้ใช้งานกับ CORS โดยได้ทำการสรุปไว้ดังนี้

จากการศึกษางานวิจัยบางส่วน พบเนื้อหาที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยครั้งนี้คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระยะทางของหมุดทดสอบซึ่งมีสถานี Hohenkichen เป็นสถานีฐานอ้างอิงในการทดสอบทั้งหมด หนึ่งในประเด็นของการวิเคราะห์คือประสิทธิภาพของระบบโครงข่าย และความถูกต้องของการรังวัด โดยมีการสร้างหมุดทดสอบขึ้นมาจำนวน 3 หมุดทดสอบและมีหมุดทดสอบที่บริษัท Trimble (Terrasat) สร้างขึ้นมาเพื่อใช้เปรียบเทียบทั้ง 3 หมุด คือ Neufahrn ซึ่งตั้งอยู่ในรัฐไบเอิร์นทางตอนใต้ของประเทศเยอรมนี และอยู่ภายในโครงข่ายของสถานีฐานอ้างอิงเดียวกัน ซึ่งแต่ละจุดมีความเป็นอิสระต่อกันในการรังวัด อย่างที่ทราบกันว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นทำให้ความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดเพิ่มมากขึ้นซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ที่ได้ มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะทางของ Rover เมื่อเทียบกับสถานี Hohenkichen โดยความถูกต้องของตำแหน่งทางราบจุดที่ 1 มีค่า SD +/- 2 cm และทางตั้ง SD +/- 4.3 cm แต่ในทางตรงกันข้ามจุดที่ 2 และ 3 มีค่า SD ที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้เป็นข้อสังเกตว่าจุดที่ 3 ตั้งอยู่นอกโครงข่ายที่ทำการทดสอบ ซึ่งในการทดลองครั้งนี้สามารถอธิบายได้ว่าการรังวัดโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์ (VRS) นี้ต้องคำนึงถึงรูปร่างของลูปและระยะทางของ Rover ที่อยู่ใกล้กับสถานี CORS ที่ใกล้ที่สุดสามารถให้ความถูกต้องที่ดีได้ (Retscher, 2002) ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แสดงตำแหน่งของหมุดทดสอบด้วยวิธี VRS และหมุดอ้างอิง Neufahrn

ที่มา : (Retscher, 2002)

ต่อมา (Mageed, 2013) ได้มีการประเมินความถูกต้องของการรังวัด NRTK ด้วยวิธี VRS และการรังวัดแบบ RTK วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบค่าพิกัดทั้งสองวิธีด้วยค่าพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian) X, Y, Z ที่ได้จากวิธี VRS และวิธี RTK (Single base) ซึ่งในการทดสอบในงานวิจัยนี้จะมีระยะเส้นฐาน (Baseline length) ยาวที่สุด 5 กม. ซึ่งใช้วิธี RTK ในการตรวจสอบผลที่ได้จากการรังวัดด้วยวิธี VRS ซึ่งในการทำงานจะใช้ Baseline length จำนวน 10 Baseline length ระยะตั้งแต่ 0.5 – 5 กม. ซึ่งในการทดสอบนี้ประกอบด้วย CORS จำนวน 9 สถานี และใช้เครื่อง Topcon G3 ในการรังวัด และทั้ง 10 หมดทดสอบนี้จะทำการรังวัด 2 ครั้ง ในตำแหน่งเดียวกัน คือ ครั้งที่แรกจะรังวัดด้วยวิธี VRS และครั้งที่สองจะรังวัดด้วยวิธี RTK แบบดั้งเดิม โดยในการรังวัดด้วยวิธี RTK จะมี Baseline length ตั้งแต่ 0.5 – 5 กม. ซึ่งจะมีการตั้งค่าต่าง ๆ ของทั้งสองวิธีนี้ให้เหมือนกันเช่น ความสูง ,มุมเปิดของจานรับสัญญาณ (Antenna) 10 องศา ,รับข้อมูล 1 epoch/sec ,การรังวัดต่อหนึ่งจุดทดสอบเป็นเวลา 15 วินาที ซึ่งผลที่ได้จากการรังวัดทั้ง 2 วิธีไม่มีนัยสำคัญของความถูกต้องของค่าพิกัดและเมื่อนำค่าพิกัดมาเปรียบเทียบกันแสดงให้เห็นว่าเมื่อ Baseline length เพิ่มขึ้นจะทำให้ความถูกต้องน้อยลงตามลำดับ อีกทั้ง (Tusat, 2018) มีแนวคิดที่จะเปรียบเทียบความถูกต้องโครงข่ายดาวเทียมแบบจลน์และการรังวัดวิธี Static แบบสัมพัทธ์ เพื่อใช้ทำแผนที่ในประเทศตุรกี ซึ่งในการรังวัดด้วยวิธี VRS ใช้พื้นหลักฐาน ITRF96 ปีที่เก็บข้อมูล epoch ปี 2005 และมีการทดสอบการรับสัญญาณของเครือข่าย Trimble R4 GNSS ที่จุดเดียวกันแต่แตกต่างกันของช่วงเวลา ซึ่งทำให้มีความแตกต่างกันของค่าพิกัดทางราบและทางตั้ง เมื่อนำมาประมวลผลแล้วปรากฏว่า โครงข่ายที่มี Baseline length น้อยกว่า 50 กม. จะมีความคลาดเคลื่อนในทางราบดีกว่า 2 ซม. และทางตั้ง 3 ซม. และมีความคลาดเคลื่อนในทางราบ 4 - 10 ซม. และในทางตั้ง 8 - 15 ซม. ที่ลูบขนาดกลางและลูบขนาดใหญ่

และในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะกล่าวถึงจะเป็นการศึกษาการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ที่มีการทดสอบการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ทั้งภายนอกและภายในโครงข่าย ที่มีระยะทางจากหมดทดสอบถึง CORS ที่ใกล้ที่สุด (ภายนอกโครงข่ายและภายในโครงข่าย) จากที่กล่าวมาข้างต้น (Shafri et al., 2009) ได้พัฒนาสิ่งอำนวยความสะดวกด้วยการสร้างโครงข่ายในประเทศมาเลเซีย (Malaysian Real-Time Kinematic : MyRTKnet) เพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องซึ่งในการดำเนินการในครั้งนี้มีการทดสอบความถูกต้องทางตำแหน่งด้วยวิธีการรังวัด MyRTKnet ด้วยวิธี VRS และการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ซึ่งหมดทดสอบนี้เป็นหมดทดสอบที่อยู่นอกโครงข่าย (MyRTKnet) จำนวน 4 หมดทดสอบ มีระยะในการทดสอบการรังวัดด้วย MyRTKnet ด้วยวิธี VRS และด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ระหว่าง CORS และสถานี Rover ที่ใกล้ที่สุด คือ 1 ,10 ,20 และ 30 กม. โดยผลที่ได้จากการหาค่า RMSE ทางราบของหมดทดสอบระหว่างวิธี VRS และวิธี Static แบบ

สัมพัทธ์ในตำแหน่งทางราบมีความถูกต้องอยู่ที่ 1 – 6 ซม. และในทางตั้ง 1 - 8 ซม. ซึ่งอยู่ในระดับเซนติเมตร และจะมีความคลาดเคลื่อนทางราบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะห่างจาก CORS ที่ใกล้ที่สุดเพิ่มขึ้น ต่อมาในประเทศตุรกี (Öğütçü et al., 2017) ได้ศึกษาการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ,FKP ,MAC ที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในการหาตำแหน่งของงานสำรวจ ซึ่งในการศึกษาเพื่อทดสอบหาความถูกต้องของวิธีดังกล่าว โดยเป็นการพิจารณา Baseline length ที่ใกล้ที่สุดระหว่าง CORS และสถานี Rover โดยในการทดสอบครั้งนี้จะมีการแบ่ง Baseline length ออกเป็น 4 ระยะได้แก่ 5 ,20 ,40 และ 50 กม. หลังจากนั้นได้นำผลการรังวัดของทั้ง 3 เทคนิคมาหาค่าทางสถิติคือการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ผลที่ได้จากการรังวัดด้วย NRTK ทั้ง 3 วิธีได้แก่ VRS ,FKP ,MAC ให้ค่า SD ของทั้ง 3 วิธีที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในตำแหน่งทางราบและทางตั้งในระดับเซนติเมตร ซึ่งความถูกต้องขึ้นอยู่กับ Baseline length ระหว่าง Rover และ CORS ที่ใกล้ที่สุด



### บทที่ 3

#### วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบที่ระยะห่างจาก CORS ที่แตกต่างกัน โดยการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS เปรียบเทียบกัน เนื่องจากในการปฏิบัติงานของช่างรังวัดที่ดิน การรังวัดด้วยวิธี VRS ในแต่ละพื้นที่ย่อมมีพื้นที่ที่แตกต่างกัน เช่น พื้นที่ราบและพื้นที่ที่เป็นภูเขา ทำให้การรังวัดสร้างหมุดหลักฐานเพื่อใช้เป็นหมุดแรกออกก่อนการรังวัดด้วยแผนที่ชั้นที่ 2 ด้วยกล้อง Total Station หากค่าพิกัดของแปลงที่ดิน อาจจะไม่ใกล้เคียงหรืออยู่ไกลจาก CORS ในแต่ละสถานี ทำให้การสร้างสถานีเสมือน (VRS) ที่เกิดจาก CORS อย่างน้อย 3 สถานี อาจมีค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ โทรโพสเฟียร์ และวงโคจรดาวเทียม ที่แตกต่างกันในแต่ละตำแหน่ง ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะทดสอบความถูกต้องทางราบโดยการหาค่า RMSE ทางราบ โดยการสร้างแนวกันชนจาก CORS แต่ละสถานีจำนวน 114 สถานี ดังนี้ แนวกันชนที่ 15 กม., แนวกันชนที่ 30 กม., แนวกันชนที่ 45 กม. และแนวกันชนที่มากกว่า 45 กม. และจัดกลุ่มหมุดทดสอบออกเป็นกลุ่ม ๆ เพื่อดูแนวโน้มค่า RMSE ทางราบแต่ละแนวกันชน โดยมีขั้นตอนในการทำงานวิจัยดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แผนการดำเนินงาน



### 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรังวัดวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS

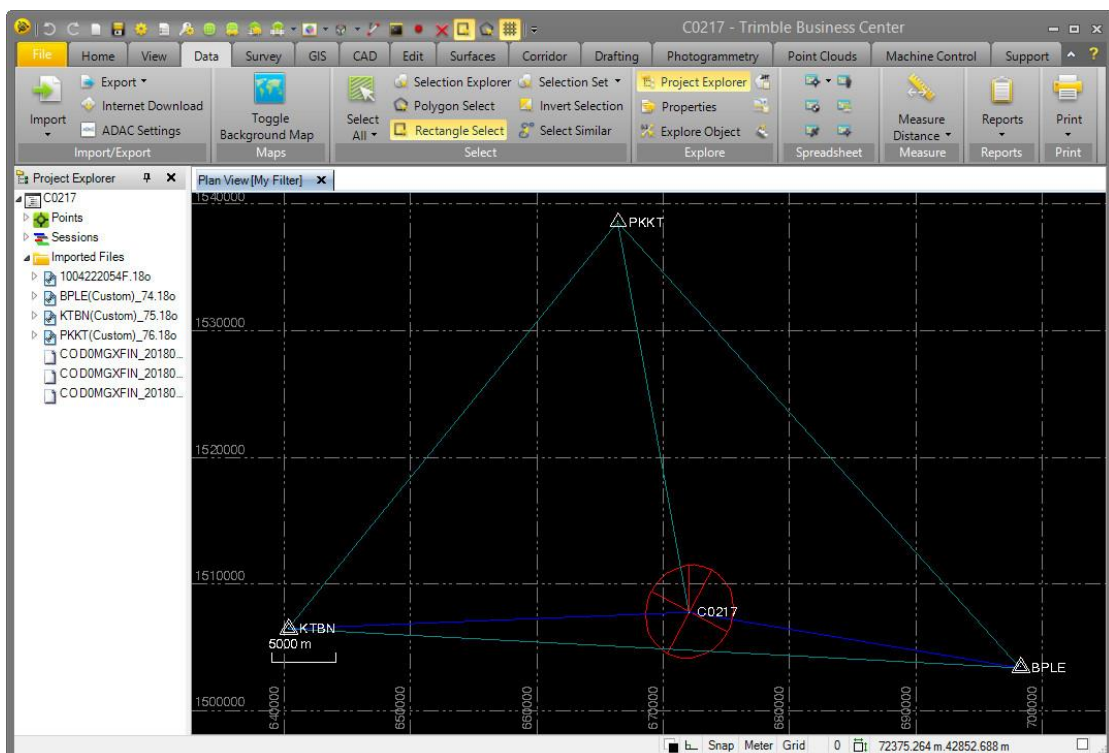
3.1.2 ศึกษาการใช้ซอฟต์แวร์ที่ใช้ประมวลผล Trimble Business Center (TBC 4.1) และการเปรียบเทียบผลระหว่างการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS โดยใช้โปรแกรม Matrix Laboratory (MATLAB version R2018b)

3.1.3 รวบรวมข้อมูลการรังวัดค่าพิกัดจากการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์และการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จากภาคสนามของกรมที่ดิน ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การหาความถูกต้องของหมุดทดสอบ (หมุดอ้างอิง) และการรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS โดยทั้งสองวิธีนี้เริ่มเก็บข้อมูลในช่วงเดือนธันวาคม 2560 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2561 (ฤดูหนาวของประเทศไทย) เป็นช่วงที่ท้องฟ้าเปิดโล่ง ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะทำการรังวัดในเวลาเดียวกัน โดยมีจำนวนหมุดที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 2,122 หมุด

3.1.3.1 การหาความถูกต้องของหมุดทดสอบต้องกำหนดหมุดที่ใช้ในการใช้อ้างอิงค่าพิกัด ซึ่งในหมุดที่ใช้อ้างอิงนี้ได้จากการรังวัดดาวเทียม GNSS ด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ เป็นเวลา 90 นาที และใช้โปรแกรมเชิงพาณิชย์ในการประมวลผล Trimble Business Center (TBC 4.1) (Trimble, 2019) ซึ่งแต่ละหมุดทดสอบของการรังวัดค่าพิกัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์จะรับสัญญาณ 30 วินาที ต่อ 1 epoch จากนั้นทำการประมวลผลเส้นฐาน (Baseline length) จาก CORS ที่ใกล้ที่สุด 2 สถานี ในการประมวลผล (OKOROCHA et al., 2014) และทำการโหลดข้อมูลค่าแกว่งโคจรดาวเทียมจาก IGS ,GPS และ GLONASS และค่าแก่นาฬิกาดาวเทียม (IGS, 2019) หลังจากทำการประมวลผลค่าพิกัดทางราบที่ได้ต้องมีความถูกต้องอยู่ใน 2 ซม. ที่ความแม่นยำในทางราบ (Horizontal Precision) ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และความแม่นยำในทางตั้ง (Vertical Precision) ที่ 95% ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาเพียงตำแหน่งในทางราบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงจะสามารถใช้การรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์เป็นหมุดอ้างอิงในการเปรียบเทียบต่อไปดังแสดงในภาพที่ 11

ตารางที่ 1 แสดงค่าความแม่นยำในทางราบและค่าความแม่นยำในทางตั้งตามระยะเส้นฐาน

| Base line (km) | Horizontal Precision (95%) (cm) | Vertical Precision (95%) (cm) |
|----------------|---------------------------------|-------------------------------|
| < 20           | < 2                             | < 4                           |
| > 20-50        | < 4                             | < 6                           |



ภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างการประมวลผลข้อมูลแบบ Static โดยทำการโยงยึดพิกัดอ้างอิงจาก CORS ที่ใกล้ที่สุด จำนวน 2 สถานี

3.1.3.2 การรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จำนวน 15 ครั้ง ครั้งละ 1 นาที โดยแต่ละครั้ง รับข้อมูลวินาทีละ 1 epoch ครั้งละ 60 วินาที รวมทั้งหมด 900 epoch

3.1.4 จากขั้นตอนที่ 3.1.3.1 เมื่อได้ประมวลผลการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์นำค่าพิกัดทางราบที่ได้ (Easting, Northing) มาลงตำแหน่ง (plot) เพื่อให้มีตำแหน่งที่ถูกต้องและทำการหาระยะเส้นฐานระหว่างหมุดทดสอบกับ CORS สถานีที่ใกล้กับหมุดทดสอบ ซึ่งจะทราบหมุดทดสอบจะอยู่ใกล้กับ CORS สถานีใดจากการจัดบันทึกทางภาคสนามของเจ้าหน้าที่กรมที่ดิน โดย

สามารถหาระยะทางระหว่างค่าพิกัดของหมุดทดสอบกับ CORS ได้ดังแสดงในสมการที่ 3.1 จากนั้นจึงแบ่งแนวกันชน ออกเป็นกลุ่มตามระยะต่าง ๆ ดังนี้ 15 ,30 ,45 และมากกว่า 45 กม. ดังแสดงในภาพที่ 12 และภาพที่ 13

$$\sqrt{\frac{(CORS(E) - TBC(E))^2 + (CORS(N) - TBC(N))^2}{1000}} \quad (3.1)$$

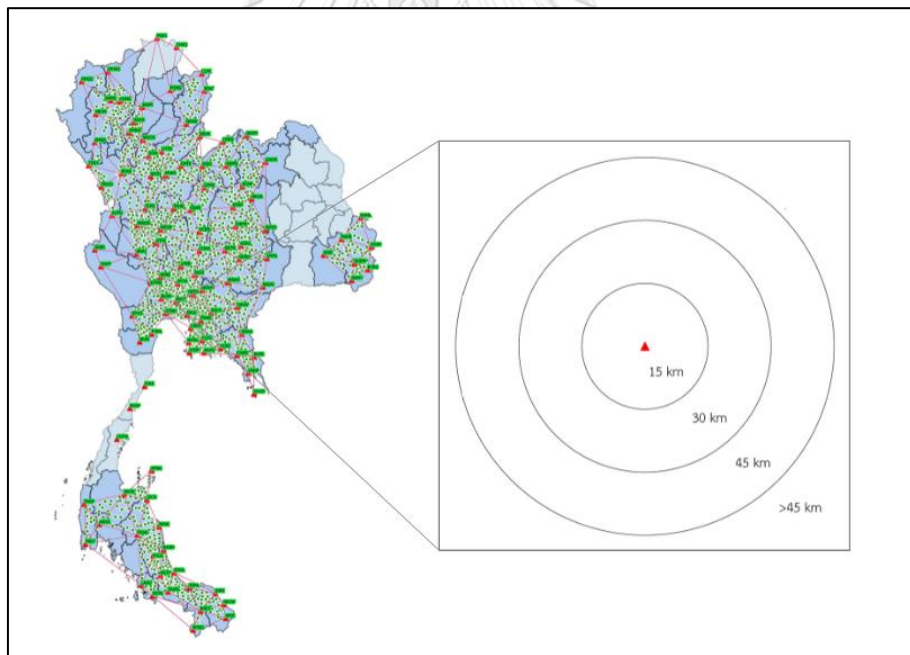
$CORS(E, N)$  = ค่าพิกัด CORS ที่อยู่ใกล้กับหมุดทดสอบ

$TBC(E, N)$  = ค่าพิกัดของหมุดทดสอบที่อยู่ใกล้กับ CORS

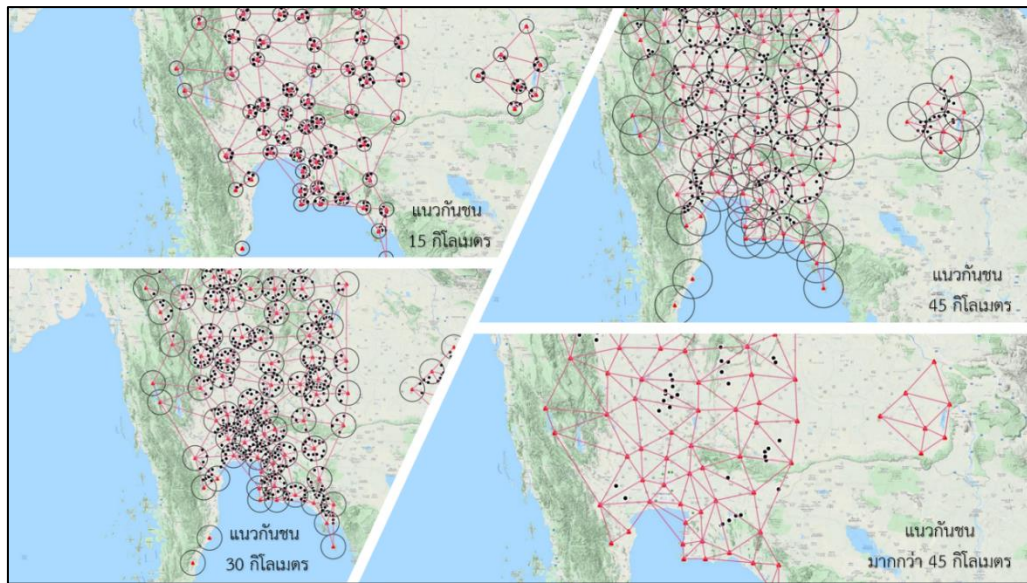
\*\*\* การแบ่งแนวกันชนจะแบ่งดังนี้

แนวกันชนที่ 15 กม. 0 ถึง 15 กม. แนวกันชนที่ 30 กม. 15 ถึง 30 กม.

แนวกันชนที่ 45 กม. 30 ถึง 45 กม. แนวกันชนที่มากกว่า 45 กม. 45 กม. เป็นต้นไป



ภาพที่ 12 แสดงแนวกันชนที่ระยะต่าง ๆ จาก CORS แต่ละสถานี



ภาพที่ 13 ลักษณะการจำแนกหมวดทดสอบในแนวกั้นชนที่แตกต่างกัน

3.1.5 เมื่อได้ค่าที่ใช้อ้างอิงจากขั้นตอนที่ 3.1.3.1 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ในแต่ละกลุ่มแนวกั้นชนเพื่อดูค่า RMSE ทางราบ ที่ระยะ 15 ,30 ,45 และมากกว่า 45 กม. ของข้อมูลทั้งหมดในแต่ละแนวกั้นชน เนื่องจากค่า RMSE ใช้แสดงถึงความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดทางราบที่เกิดขึ้น ความถูกต้องของค่าพิกัดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับวิธีการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์เทียบกับวิธี VRS ดังแสดงในสมการที่ 3.3 (ผลรวมค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ของค่าพิกัดทางราบ epoch ละ 1 วินาที ของการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS เทียบกับการประมวลผลภายหลังจากการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ของแต่ละหมวดทดสอบ ดังแสดงในสมการที่ 3.2) (Federal Geographic Data Committee FGDC, 1998)

$$\Delta E_{static,vrs} = \frac{\sum |E_{static} - E_{vrs(i)}|}{n}, \Delta N_{static,vrs} = \frac{\sum |N_{static} - N_{vrs(i)}|}{n} \quad (3.2)$$

$i$  คือ ข้อมูลแต่ละ epoch ที่ 1 วินาที

$n$  คือ จำนวนข้อมูล 900 epoch

$$RMSE_r = \sqrt{\frac{\sum ((\Delta E_{static,vrs})^2 + (\Delta N_{static,vrs})^2)}{N}} \quad (3.3)$$

โดยที่

$RMSE_r$  คือ ความคลาดเคลื่อนทางราบของแนวกันชน (เมตร)

$N$  คือ จำนวนหมุดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด

3.1.6 ต่อมาได้ศึกษาตำแหน่งของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของรูปเพิ่มเติม จากการส่งตำแหน่งโดยประมาณของผู้ใช้งาน (ค่าพิกัดในรูปแบบ NMEA) ให้ศูนย์ควบคุม โดยศูนย์ควบคุมจะใช้ข้อมูลจาก CORS ที่อยู่โดยรอบผู้ใช้งานอย่างน้อย 3 สถานีและค่าแก้ที่คำนวณได้ สร้างหรือส่งเคราะห์ข้อมูลขึ้นมาแล้วส่งกลับไปให้ผู้ใช้งาน ซึ่งข้อมูลที่สร้างขึ้นมานี้เครื่องรับสัญญาณของผู้ใช้งานจะมองเห็นเสมือนว่าเป็นข้อมูลของสถานีฐาน ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาของ (Retscher, 2002) พบว่าตำแหน่งของหมุดทดสอบที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งกึ่งกลางของรูปไม่ได้ส่งผลให้ความถูกต้องของค่าพิกัดมีผลที่ดีที่สุดดังแสดงในภาพที่ 14 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้กำหนดจุดกึ่งกลางของรูปแต่ละรูปจำนวน 143 รูป โดยมีการคำนวณจุดกึ่งกลางของรูปแต่ละรูป โดยการนำค่าพิกัด CORS ทั้งสามจุดมาหาจุดกึ่งกลางดังสมการที่ 3.4 (Centroid, 2019)

| Distance to the network center point | Point No.  | Standard deviations in [cm] of the differences at a probability level of 99% |      |       |
|--------------------------------------|------------|--|------|-------|
|                                      |            | X  | Y    | H     |
| 8km                                  | Virtuell 2 | <2.2   | <2.9 | <13.1 |
| 13km                                 | Neufahrn   | <2.6   | <2.1 | <4.9  |
| 24km                                 | Virtuell 1 | <1.6   | <0.4 | <10.1 |
| 27km                                 | Virtuell 3 | <2.3   | <2.9 | <13.0 |

ภาพที่ 14 แสดงตำแหน่งของหมุดทดสอบที่อยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของรูป

ที่มา : (Retscher, 2002)

$$O_x = \frac{E_a + E_b + E_c}{3}, O_y = \frac{N_a + N_b + N_c}{3} \quad (3.4)$$

$O_x, O_y$  = จุดกึ่งกลางภายในรูป

$E_a + E_b + E_c$  = ค่าพิกัด Easting ของ CORS

$N_a + N_b + N_c$  = ค่าพิกัด Northing ของ CORS



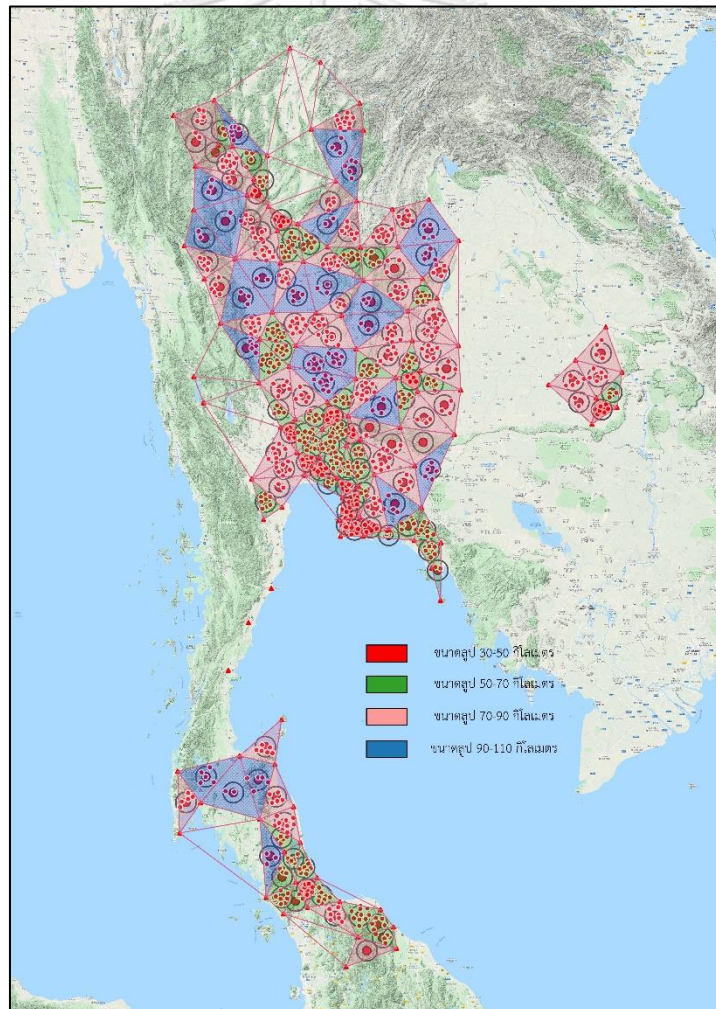
3.1.7 ทารัศมีวงกลมในสามเหลี่ยมเพื่อสร้างแนวกันชนในการจำแนกเขตทดสอบที่อยู่ภายในวงกลมและภายนอกวงกลม ดังสมการที่ 3.5 (Cotangents, 2019)

$$R = \left( \sqrt{\frac{(s-a)(s-b)(s-c)}{s}} \right) / 1000 \quad (3.5)$$

$R$  = รัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยม (กม.)

$s$  = เป็นครึ่งหนึ่งของเส้นรอบรูปของรูปสามเหลี่ยม  $\frac{a+b+c}{2}$  (เมตร)

$a, b, c$  = เป็นความยาวของด้านสามเหลี่ยม (เมตร)



ภาพที่ 15 แสดงรัศมีเฉลี่ยของรูปวงกลมในสามเหลี่ยมในแต่ละขนาดของรูปที่รัศมี 18 กม.

## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

จากการวิเคราะห์และศึกษาความถูกต้องของค่า RMSE ทางราบที่แบ่งแนวกันชนออกเป็น 4 ระยะแนวกันชน ประกอบกับประเด็นที่ทำการศึกษาเพิ่มเติมของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของกลุ่ม (Centroid) โดยการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับวิธีการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ได้ผลการศึกษาวิจัย ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาการรังวัดตำแหน่งด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์

จากการประมวลผลในภายหลังของการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์ โดยใช้ระยะเส้นฐานจาก CORS ที่สั้นที่สุดจำนวน 2 เส้นฐาน ซึ่งหลังจากที่ทำการประมวลผลในภายหลังเรียบร้อยแล้วในแต่ละหมุดทดสอบ จำนวน 2,122 หมุด สิ่งจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบหลังการประมวลผลในแต่ละหมุดทดสอบคือค่า Horizontal Precision และ Vertical Precision ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เนื่องจากค่าที่ได้จะต้องไม่เกินเกณฑ์ที่ทางจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยกับกรมที่ดินได้กำหนดไว้ก่อนการทำงานวิจัย ซึ่งผลการประมวลผลในภายหลังของค่า Horizontal Precision และ Vertical Precision และค่าพิคัทที่ได้ในแต่ละหมุดทดสอบดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 16 ซึ่งเมื่อค่า Horizontal Precision ของทุกหมุดทดสอบมีค่าไม่เกิน 2 ซม. ก็สามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงกับการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ได้

\*\*\* ถ้าค่า Horizontal Precision และ Vertical Precision เกินเกณฑ์ที่กำหนดจะต้องมีการประมวลผลใหม่ (Vector Length คือเส้นฐานระหว่างหมุดทดสอบกับ CORS ที่สั้นที่สุดจำนวน 2 สถานี)

| From Point ID | To Point ID | H. Precision (95%) | V. Precision (95%) | Vector Length (m) | Easting    | Northing    |
|---------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------|------------|-------------|
| CHPM          | C0015       | 0.011              | 0.047              | 66732.081         | 795479.077 | 1689729.103 |
| DKTN          | C0015       | 0.005              | 0.019              | 6613.578          |            |             |
| CHPM          | C0016       | 0.013              | 0.046              | 61264.690         | 789436.956 | 1699633.723 |
| DKTN          | C0016       | 0.008              | 0.035              | 18030.850         |            |             |
| DKTN          | C0017       | 0.010              | 0.053              | 36252.072         | 802991.591 | 1719133.992 |
| VCBR          | C0017       | 0.020              | 0.060              | 78211.707         |            |             |
| CHPM          | C0018       | 0.009              | 0.043              | 24924.494         | 812340.038 | 1728115.618 |
| DKTN          | C0018       | 0.011              | 0.052              | 47255.066         |            |             |
| CHPM          | C0019       | 0.005              | 0.028              | 12226.575         | 813594.455 | 1744702.401 |
| DKTN          | C0019       | 0.011              | 0.046              | 63489.400         |            |             |
| CHPM          | C0020       | 0.008              | 0.044              | 22606.547         | 807132.092 | 1735550.524 |
| DKTN          | C0020       | 0.010              | 0.045              | 53127.883         |            |             |
| CHPM          | C0021       | 0.009              | 0.043              | 36871.249         | 796433.089 | 1726087.402 |
| DKTN          | C0021       | 0.007              | 0.042              | 42736.771         |            |             |
| CHPM          | C0022       | 0.008              | 0.044              | 49836.819         | 788281.518 | 1715726.707 |
| DKTN          | C0022       | 0.007              | 0.040              | 33571.804         |            |             |
| DKTN          | C0023       | 0.007              | 0.041              | 39894.881         | 769303.867 | 1711917.867 |
| VCBR          | C0023       | 0.007              | 0.041              | 47933.526         |            |             |
| CHPM          | C0024       | 0.008              | 0.030              | 22976.086         | 803297.441 | 1741448.131 |
| DKTN          | C0024       | 0.010              | 0.038              | 58402.274         |            |             |
| CHPM          | C0025       | 0.006              | 0.033              | 35135.210         | 791921.656 | 1737131.103 |
| DKTN          | C0025       | 0.011              | 0.042              | 54022.228         |            |             |
| CHPM          | C0026       | 0.009              | 0.028              | 46700.016         | 781938.070 | 1730992.742 |
| DKTN          | C0026       | 0.010              | 0.032              | 50006.113         |            |             |
| CHPM          | C0027       | 0.020              | 0.054              | 60064.081         | 766397.640 | 1735304.285 |
| VCBR          | C0027       | 0.008              | 0.045              | 40671.454         |            |             |
| DKTN          | C0028       | 0.013              | 0.043              | 58001.140         | 758309.098 | 1726431.289 |
| VCBR          | C0028       | 0.007              | 0.041              | 32969.777         |            |             |
| DKTN          | C0029       | 0.015              | 0.053              | 76753.359         | 734168.164 | 1727241.945 |
| VCBR          | C0029       | 0.005              | 0.026              | 9672.256          |            |             |

ภาพที่ 16 แสดงข้อมูลตัวอย่างหลังจากที่ประมวลผลในภายหลังแล้วค่า Horizontal Precision และ Vertical Precision ไม่เกินเกณฑ์ที่กำหนด และแสดงค่าพิกัดในทางราบของแต่ละหมุดทดสอบ



## 4.2 ผลการรวบรวมข้อมูลการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS

จากการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จำนวน 15 ครั้ง ครั้งละ 1 นาที รวมเป็น 900 epoch ทั่วทั้งประเทศจำนวน 2,122 หมุดทดสอบ เมื่อทำการรวบรวมข้อมูลครบทุกหมุดทดสอบแล้วพบว่า มีหมุดทดสอบที่ทำการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ครบ 15 ครั้ง มีเพียง 2,079 หมุดทดสอบ และมีอีก 43 หมุดที่รังวัดไม่ครบ 15 ครั้ง จากผลการรวบรวมครั้งนี้จึงใช้หมุดทดสอบจำนวน 2,079 หมุดในการทำงานวิจัย

| Point ID | Name   | N           | E          |
|----------|--------|-------------|------------|
| 1        | P1-01  | 1689729.105 | 795479.077 |
| 2        | P1-02  | 1689729.107 | 795479.078 |
| 3        | P1-03  | 1689729.106 | 795479.079 |
| 4        | P1-04  | 1689729.105 | 795479.080 |
| 5        | P1-05  | 1689729.104 | 795479.080 |
| 6        | P1-06  | 1689729.104 | 795479.076 |
| 7        | P1-07  | 1689729.103 | 795479.078 |
| 8        | P1-08  | 1689729.107 | 795479.077 |
| 9        | P1-09  | 1689729.107 | 795479.079 |
| 10       | P1-10  | 1689729.105 | 795479.076 |
| to       | to     | to          | to         |
| 891      | P15-51 | 1689729.094 | 795479.082 |
| 892      | P15-52 | 1689729.095 | 795479.083 |
| 893      | P15-53 | 1689729.095 | 795479.085 |
| 894      | P15-54 | 1689729.095 | 795479.084 |
| 895      | P15-55 | 1689729.096 | 795479.082 |
| 896      | P15-56 | 1689729.097 | 795479.083 |
| 897      | P15-57 | 1689729.094 | 795479.083 |
| 898      | P15-58 | 1689729.096 | 795479.084 |
| 899      | P15-59 | 1689729.096 | 795479.085 |
| 900      | P15-60 | 1689729.096 | 795479.080 |

ภาพที่ 17 แสดงตัวอย่างการรวบรวมข้อมูลการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จำนวน 15 ครั้งต่อ 1 หมุดทดสอบ

#### 4.3 ผลการจำแนกหมุดทดสอบออกเป็นกลุ่มในแนวกันชนทั้ง 4 ระยะแนวกันชน

จากการจำแนกหมุดทดสอบดังตัวอย่างรูป AMKO-BTAK-SMNM จะสามารถจำแนกหมุดทดสอบออกเป็นแต่ละกลุ่มได้ดังแสดงในภาพที่ 18 และจำนวนหมุดทดสอบในแต่ละแนวกันชนดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงหมุดทดสอบที่แบ่งตามแนวกันชน

| แนวกันชน (กม.) | จำนวนหมุดทดสอบ |
|----------------|----------------|
| 15             | 660            |
| 30             | 921            |
| 45             | 420            |
| มากกว่า 45     | 78             |
| <b>รวม</b>     | <b>2,079</b>   |

\*\*\* จำนวนหมุดที่รับสัญญาณ GNSS ไม่ครบ 15 ครั้ง มีทั้งหมด 43 หมุด

| STA   | Zone | Nearest CORS (E) | Nearest CORS (N) | E_TBC      | N_TBC       | E_VRS_f    | N_VRS_f     | Distance (km) | Buffer (km) | Nearest |
|-------|------|------------------|------------------|------------|-------------|------------|-------------|---------------|-------------|---------|
| C1320 | 47   | 507871.918       | 1885155.233      | 507821.800 | 1885725.982 | 507821.805 | 1885725.979 | 0.6           | 15          | BTAK    |
| C1321 | 47   | 507871.918       | 1885155.233      | 505470.239 | 1904159.939 | 505470.214 | 1904159.947 | 19.2          | 30          | BTAK    |
| C1322 | 47   | 507871.918       | 1885155.233      | 505944.373 | 1918540.910 | 505944.372 | 1918540.922 | 33.4          | 45          | BTAK    |
| C1323 | 47   | 525982.797       | 1997416.307      | 518439.323 | 1990605.006 | 518439.279 | 1990605.012 | 10.2          | 15          | SMNM    |
| C1324 | 47   | 525982.797       | 1997416.307      | 516249.918 | 1951799.042 | 516249.887 | 1951799.034 | 46.6          | >45         | SMNM    |
| C1325 | 47   | 507871.918       | 1885155.233      | 512008.883 | 1920109.574 | 512008.861 | 1920109.600 | 35.2          | 45          | BTAK    |
| C1326 | 47   | 507871.918       | 1885155.233      | 512530.693 | 1929407.332 | 512530.694 | 1929407.356 | 44.5          | 45          | BTAK    |
| C1327 | 47   | 525982.797       | 1997416.307      | 509753.208 | 1942737.208 | 509753.213 | 1942737.198 | 57.0          | >45         | SMNM    |
| C1328 | 47   | 507871.918       | 1885155.233      | 516240.587 | 1938589.512 | 516240.631 | 1938589.551 | 54.1          | >45         | BTAK    |
| C1329 | 47   | 525982.797       | 1997416.307      | 504897.538 | 1984926.354 | 504897.498 | 1984926.355 | 24.5          | 30          | SMNM    |
| C1330 | 47   | 525982.797       | 1997416.307      | 507075.763 | 1975312.330 | 507075.732 | 1975312.313 | 29.1          | 30          | SMNM    |
| C1331 | 47   | 525982.797       | 1997416.307      | 496960.530 | 1965487.564 | 496960.494 | 1965487.560 | 43.1          | 45          | SMNM    |
| C1332 | 47   | 525982.797       | 1997416.307      | 490700.490 | 1980435.743 | 490700.463 | 1980435.732 | 39.2          | 45          | SMNM    |
| C1333 | 47   | 431990.894       | 1968245.635      | 472904.306 | 1977915.193 | 472904.310 | 1977915.188 | 42.0          | 45          | AMKO    |
| C1334 | 47   | 431990.894       | 1968245.635      | 432516.442 | 1967919.543 | 432516.438 | 1967919.542 | 0.6           | 15          | AMKO    |

ภาพที่ 18 แสดงตัวอย่างการจำแนกหมุดทดสอบของหมุด AMKO-BTAK-SMNM ออกเป็นกลุ่มในแต่ละแนวกันชน

#### 4.4 ผลการหาค่า RMSE ทางราบในแต่ละแนวกันชน

จากผลการศึกษาพบว่าค่า RMSE ทางราบที่แบ่งออกเป็นแนวกันชนต่าง ๆ ทั้ง 4 ระยะ ซึ่งผลที่ได้ความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบของหมุดทดสอบที่อยู่ใกล้กับ CORS ในแนวกันชนต่าง ๆ สามารถให้ค่า RMSE ทางราบ มีค่าประมาณ 4 ซม. และค่า RMSE ทางราบที่แนวกันชนที่ 15 กม. มีค่า RMSE ทางราบประมาณ 0.026 เมตร ,แนวกันชนที่ 30 มีค่า RMSE ทางราบประมาณ 0.036 เมตร ,แนวกันชนที่ 45 มีค่า RMSE ทางราบประมาณ 0.037 เมตร และสุดท้ายในส่วนของแนวกันชนที่มีระยะมากกว่า 45 กม. มีค่า RMSE ทางราบประมาณ 0.039 เมตร ซึ่งผลที่ได้คือ ค่า RMSE ทางราบ จะมีความถูกต้องลดลงเมื่อแนวกันชนมีค่าเพิ่มขึ้น และในส่วน of ค่า RMSE ทางราบที่ตัดค่ากระโดดของข้อมูลออกจะมีค่า RMSE ทางราบ ประมาณ 3 ซม. ซึ่งหลังตัดข้อมูลค่ากระโดด ผลที่ได้ค่า RMSE ทางราบจะมีความถูกต้องลดลงเมื่อแนวกันชนมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน นั้นแสดงให้เห็นได้ว่าค่ากระโดดที่ถูกตัดออกโดยใช้ค่า  $2\sigma$  ที่ความเชื่อมั่น 95% นั้นไม่มีนัยสำคัญ

หมายเหตุ จากงานวิจัยนี้ทางผู้วิจัยได้กำหนดให้มีตัววัดความแปรปรวนของค่าพิกัดคือ การหาค่ากระโดดตำแหน่งทางราบโดยนิยาม “ค่ากระโดดของตำแหน่งทางราบ” คือ ค่าพิกัดทางราบที่มีค่ามากกว่า 0.069 เมตร (ซึ่งเท่ากับ  $2\sigma$  หรือความเชื่อมั่นที่ 95% ของความถูกต้องทางตำแหน่งที่ต้องการคือ 0.026 เมตร) โดยตัวเลขดังกล่าวนี้ได้จากการคำนวณจากหมุดทดสอบจำนวน 2,079 หมุด ดังแสดงในภาพที่ 19 และมีจำนวนหมุดที่มีค่ากระโดดทั้งหมด 97 หมุด คิดเป็นอัตราร้อยละ 4.7 ของจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

| STA   | Zone | E_TBC      | N_TBC      | E_VRS_f    | N_VRS_f    | Diff TBC_VRS<br>(Easting) | Diff TBC_VRS<br>(Northing) | SQRT(dE <sup>2</sup> +dN <sup>2</sup> ) |
|-------|------|------------|------------|------------|------------|---------------------------|----------------------------|---|
| C2118 | 47   | 798579.228 | 682629.307 | 798579.229 | 682629.312 | 0.008                     | 0.008                      | 0.012                                   |
| C2119 | 47   | 809432.841 | 709229.456 | 809432.840 | 709229.450 | 0.006                     | 0.007                      | 0.009                                   |
| C2120 | 47   | 804936.109 | 671922.959 | 804936.114 | 671922.963 | 0.005                     | 0.004                      | 0.007                                   |
| C2121 | 47   | 798081.500 | 675643.849 | 798081.497 | 675643.851 | 0.005                     | 0.004                      | 0.007                                   |
| C2122 | 47   | 731258.524 | 643096.033 | 731258.526 | 643096.033 | 0.003                     | 0.003                      | 0.004                                   |
| C2123 | 47   | 735822.841 | 649385.823 | 735822.849 | 649385.809 | 0.008                     | 0.015                      | 0.017                                   |
| C2124 | 47   | 743043.713 | 659568.938 | 743043.712 | 659568.951 | 0.008                     | 0.013                      | 0.015                                   |
| C2125 | 47   | 742908.954 | 664451.933 | 742908.965 | 664451.935 | 0.017                     | 0.019                      | 0.025                                   |
| C2126 | 47   | 752315.075 | 680935.022 | 752315.069 | 680935.021 | 0.007                     | 0.004                      | 0.008                                   |
| C2127 | 47   | 747462.495 | 686331.128 | 747462.501 | 686331.132 | 0.006                     | 0.006                      | 0.008                                   |
| C2128 | 47   | 741004.209 | 668830.867 | 741004.202 | 668830.853 | 0.008                     | 0.014                      | 0.016                                   |
| C2129 | 47   | 742284.179 | 672320.673 | 742284.167 | 672320.666 | 0.012                     | 0.007                      | 0.014                                   |
|       |      |            |            |            |            |                           | Average                    | 0.026                                   |
|       |      |            |            |            |            |                           | SD                         | 0.022                                   |
|       |      |            |            |            |            |                           | 2SD                        | 0.044                                   |
|       |      |            |            |            |            |                           | Average+2SD                | 0.069                                   |

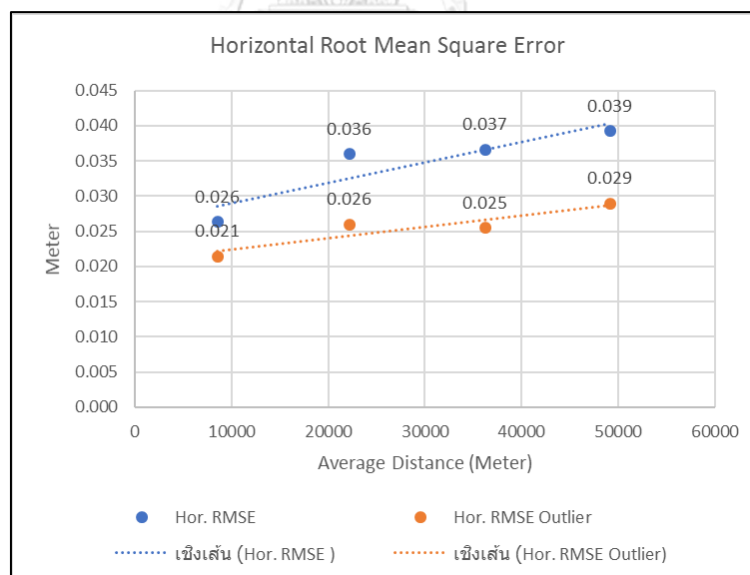
ภาพที่ 19 แสดงค่า 2 sigma ที่ใช้ในการตัดค่ากระโดดทางราบของหมุดทดสอบจำนวน 2,079 หมุด

โดยผลที่ได้จากแนวกันชนที่แตกต่างกันมีดังนี้ แนวกันชนที่ 15 กม. ให้ค่า RMSE ทางราบดีที่สุด และมีระยะทางเฉลี่ยของหมุดทดสอบในแนวกันชนที่อยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้ที่สุดทั่วทั้งประเทศไทยคือ 8.5 กม. ให้ค่า RMSE ทางราบ ประมาณ 0.026 เมตร แนวกันที่ 30 กม. มีระยะทางเฉลี่ยของหมุดทดสอบในแนวกันชนที่อยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้ที่สุดทั่วทั้งประเทศคือ 22.2 กม. ให้ค่า RMSE ทางราบ ประมาณ 0.036 เมตร แนวกันที่ 45 กม. มีระยะทางเฉลี่ยของหมุดทดสอบในแนวกันชนที่อยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้ที่สุดทั่วทั้งประเทศคือ 36.2 กม. ให้ค่า RMSE ทางราบ ประมาณ 0.037 เมตร และแนวกันที่มากกว่า 45 กม. มีระยะทางเฉลี่ยของหมุดทดสอบในแนวกันชนที่อยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้ที่สุดทั่วทั้งประเทศคือ 49.1 กม. ให้ค่า RMSE ทางราบ ประมาณ 0.039 เมตร โดยการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ตามลักษณะตามแนวกันชนสามารถให้ค่า RMSE ทางราบที่มีความถูกต้องประมาณ 4 ซม. และความถูกต้องลดลงเมื่อแนวกันชนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจากตารางที่ 3 จะเห็นว่าแนวกันชนที่ 15 ,30 และ 45 กม. มีระยะทางเฉลี่ยของหมุดทดสอบที่น้อยกว่าระยะแนวกันชน ทำให้ได้ค่า RMSE ทางราบประมาณ 3.7 ซม. โดยตำแหน่งการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS นั้นไม่ควรเกิน 45 กม.จาก CORS ที่ใกล้ที่สุด และในส่วนของแนวกันชนที่มากกว่า 45 กม. ไม่ควรรังวัดด้วย

NRTK ด้วยวิธี VRS เกินระยะ 49.1 กม. จาก CORS ที่ใกล้ที่สุด ดังแสดงตารางที่ 3 และดังแสดงในภาพที่ 20

ตารางที่ 3 แสดงระยะเฉลี่ยของหมุดทดสอบในแนวกันชน ,ค่า RMSE ทางราบ และค่า RMSE ทางราบที่ตัดค่ากระโดด

| แนวกันชน (กม.) | ระยะทางเฉลี่ยของหมุดทดสอบในแนวกันชนที่อยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้ที่สุด (กม.) | RMSE ทางราบ (เมตร) | RMSE ทางราบ ที่ตัดค่ากระโดด (เมตร) |
|----------------|--|--------------------|------------------------------------|
| 15             | 8.5  | 0.026              | 0.021                              |
| 30             | 22.2   | 0.036              | 0.026                              |
| 45             | 36.2   | 0.037              | 0.025                              |
| มากกว่า 45     | 49.1   | 0.039              | 0.029                              |



ภาพที่ 20 กราฟแสดงรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบที่แปรผันตามระยะห่างจาก CORS ที่ใกล้ที่สุด (เมตร) และค่า RMSE ทางราบ ที่ตัดค่ากระโดด

#### 4.5 ผลการหาค่า RMSE ทางราบของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของลูป (Centroid)

จากผลการหาค่า RMSE ทางราบ ของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางภายในลูปจาก CORS ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ จำนวน 3 สถานีและการหาค่ารัศมีวงกลมในสามเหลี่ยมหรือวงกลมภายในลูปเพื่อการจำแนกหมุดทดสอบ สามารถดูผลได้ใน ภาคผนวก ง. ซึ่งในส่วนของรัศมีของวงกลมในแต่ละลูปมีความยาวรัศมีที่ไม่เท่ากันทำให้การจำแนกหมุดทดสอบในแต่ละลูปนั้นที่จะมาใช้ในการวิเคราะห์การสร้างสถานี VRS ของลักษณะลูปขนาด 30 ถึง 50 , 50 ถึง 70 , 70 ถึง 90 , และ 90 ถึง 110 กม. จะเกิดความไม่สม่ำเสมอของข้อมูล ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำรัศมีของวงกลมในแต่ละลูปมาหาค่าเฉลี่ยจึงได้รัศมีเฉลี่ยจำนวน 143 ลูปเป็น 18 กม. โดยมีจำนวนลูปของทั้ง 4 ขนาดลูป ที่นำมาใช้ในงานวิจัยคือ 140 ลูป และมีจำนวนหมุดที่นำมาใช้ในงานวิจัยจากจำนวนหมุดทดสอบทั้งหมด 2,079 หมุดทดสอบ คิดเป็นร้อยละ 46.6 ซึ่งเท่ากับ 969 หมุดทดสอบ โดยแสดงจำนวนหมุดทดสอบได้ดังตารางที่ 4 และค่า RMSE ทางราบ ในแต่ละขนาดลูปดังสมการที่ 3.3

\*\*\*ลูป ดังนี้ BNST-BTNG-SPDI, NDDG-SAKW-WNKH และ AMKO-MEJM-SMNM ไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เนื่องจากไม่มีหมุดทดสอบอยู่บริเวณกึ่งกลางลูป (ภายในรัศมีเฉลี่ย 18 กม.)

ตารางที่ 4 แสดงจำนวนหมุดทดสอบที่แบ่งตามรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมที่รัศมีเฉลี่ย 18 กม.

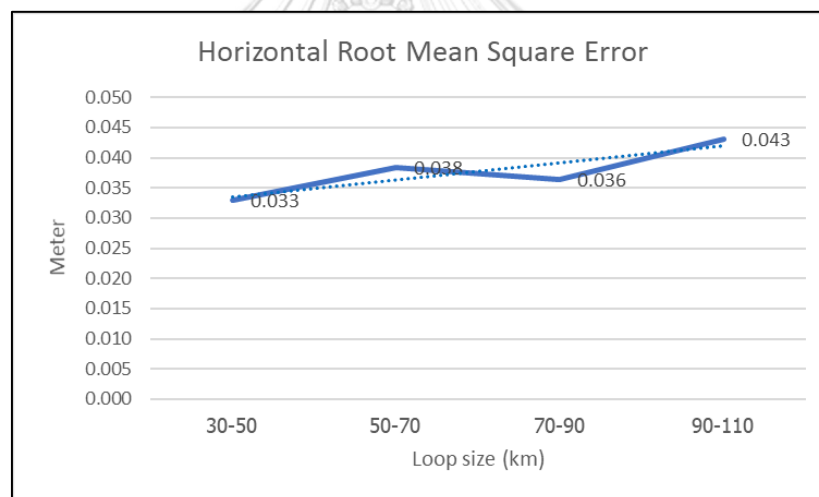
| ขนาดลูป (กม.) | จำนวนลูป   | จำนวนหมุดทดสอบ |
|---------------|------------|----------------|
| 30-50         | 16         | 195            |
| 50-70         | 47         | 423            |
| 70-90         | 52         | 271            |
| 90-110        | 25         | 80             |
| <b>รวม</b>    | <b>140</b> | <b>969</b>     |

ซึ่งในส่วนผลการศึกษาเพิ่มเติมของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของลูป โดยใช้รัศมีวงกลมในสามเหลี่ยมเฉลี่ย 18 กม. สร้างเป็นเขตแนวกันชนเฉลี่ย ผลที่ได้พบว่าค่า RMSE ทางราบ มีค่าประมาณ 4 ซม. โดยขนาดลูป 30 ถึง 50 กม. มีค่า RMSE ทางราบประมาณ 0.033 เมตร ขนาดลูป 50 ถึง 70 กม. มีค่า RMSE ทางราบประมาณ 0.038 เมตร ขนาดลูป 70 ถึง 90 กม. มีค่า RMSE

ทางราบประมาณ 0.036 เมตร และ ขนาดลูป 90 ถึง 110 กม. มีค่า RMSE ทางราบประมาณ 0.043 เมตร ดังแสดงตารางที่ 5 ดังแสดงในภาพที่ 21

ตารางที่ 5 แสดงค่า RMSE ทางราบของแต่ละขนาดลูป

| ค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างสถานีฐาน<br>ถาวรสามด้าน (ลูป) (กม.) | RMSE ทางราบ (เมตร) |
|---|--------------------|
| 30-50   | 0.033              |
| 50-70   | 0.038              |
| 70-90   | 0.036              |
| 90-110  | 0.043              |



ภาพที่ 21 กราฟแสดงรากที่สองของค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยทางราบที่แปรผันตามขนาดของลูป

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาดำเนินการของหมุดทดสอบจำนวน 2,079 หมุด ที่กระจายอยู่ในรูปทั่วทั้งประเทศไทย ซึ่งตำแหน่งของหมุดทดสอบจะมีระยะที่ใกล้และไกลกับ CORS ที่แตกต่างกันภายในรูป และจากที่ได้แบ่งกลุ่มหมุดทดสอบออกเป็นกลุ่มตามแต่ละแนวกันชน ส่งผลให้ค่าความถูกต้องทางราบในแต่ละแนวกันชนมีค่าที่ต่างกัน โดยเมื่อมีการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จากตำแหน่งต่าง ๆ ในประเทศไทยที่มีระยะเส้นฐานของหมุดทดสอบอยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้ที่สุดภายในรูปหรืออยู่ในแนวกันชนตามที่ได้ผลการวิจัยจะมีค่าความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบในระดับเซนติเมตรและจะมีค่าความถูกต้องลดลงเมื่อระยะเส้นฐานจากสถานีผู้ใช้งานถึง CORS เพิ่มขึ้น และอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่าความถูกต้องทางราบนั้นก็คือ รูป ซึ่งขนาดรูปนั้นมีผลต่อการสร้างสถานี VRS ของ CORS และจำนวนรูป 143 รูปทั่วประเทศไทย มีขนาดรูปที่ต่างกันทั้ง 4 ขนาด ผลที่ได้จากการศึกษาดำเนินการของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของรูปพบว่าค่าความถูกต้องทางราบของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของรูปจำนวน 969 หมุด ในแต่ละรูป ให้ค่าความถูกต้องทางราบอยู่ในระดับเซนติเมตรของรูปขนาดเล็กและมีค่าความถูกต้องทางราบลดลงตามขนาดรูปที่ใหญ่ขึ้น ดังแสดงผลในข้อ 5.1 สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 จากการทดสอบความถูกต้องของค่าพิกัดทางราบของหมุดทดสอบที่อยู่ในแนวกันชนต่างกัน โดยการรังวัดด้วยวิธี Static แบบสัมพัทธ์เปรียบเทียบกับวิธีการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS จากการศึกษาครั้งนี้สามารถกล่าวได้ว่าการจำแนกหมุดทดสอบตามแนวกันชนของการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS มีความคล้ายกับการรังวัดแบบจลน์ในทันที (RTK) ซึ่งการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS เป็นการกำหนดให้หมุดทดสอบอยู่ในแนวกันชนที่ต่างกัน เปรียบเสมือนรังวัดแบบ RTK ที่มีค่าความถูกต้องลดลงตามระยะเส้นฐานที่เพิ่มขึ้น แต่การรับข้อมูลค่าแก้ต่าง ๆ ของการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ก็ยังเป็นการรับข้อมูลจาก CORS ที่อยู่บริเวณรอบ ๆ อย่างน้อย 3 สถานีเช่นเดิม ทำให้ค่า RMSE ทางราบของหมุดทดสอบที่อยู่ในแนวกันชนที่อยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้ที่สุด มีค่าความถูกต้องทางราบในระดับเซนติเมตรและจะมีค่าความถูกต้องทางราบลดลงตามแนวกันชนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งผลการวิจัยครั้งนี้สามารถนำมาใช้เป็นข้อพิจารณาในการสำรวจรังวัดที่ดินในประเทศไทยได้ และเมื่อ



เปรียบเทียบผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมาของ (Retscher, 2002) มีผลที่สอดคล้องกันคือ ค่าความถูกต้องทางราบมีความถูกต้องในระดับเซนติเมตรและจะมีความถูกต้องทางราบลดลงเมื่อระยะทางระหว่างสถานีผู้ใช้งานกับ CORS เพิ่มขึ้น

5.1.2 จากการทดสอบตำแหน่งของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของรูปหรือรัศมีวงกลมในสามเหลี่ยมที่ 18 กม. ผลที่ได้พบว่า ค่า RMSE ทางราบ ขนาดรูป 30 ถึง 50 กม. มีค่าประมาณ 0.033 ซม. ค่า RMSE ทางราบ ขนาดรูป 50 ถึง 70 กม. มีค่าประมาณ 0.038 ซม. ค่า RMSE ทางราบ ขนาดรูป 70 ถึง 90 กม. มีค่าประมาณ 0.036 ซม. และค่า RMSE ทางราบ ขนาดรูป 90 ถึง 110 กม. มีค่าประมาณ 0.043 ซม. สามารถสรุปได้ว่าค่า RMSE ทางราบ จะมีค่าความถูกต้องลดลงเมื่อขนาดรูปมีขนาดที่เพิ่มมากขึ้น และขนาดรูปที่มีความเหมาะสมในการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ของกรมที่ดิน คือ ขนาดรูปที่มีขนาดไม่เกิน 100 กม. ซึ่งมีความถูกต้องของค่า RMSE ทางราบ จะอยู่ประมาณ 3 ซม. และเมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ผ่านมา มีความต่างกัน คือจากงานวิจัยนี้ค่า RMSE ทางราบและความสัมพันธ์ของรูปทั้ง 4 ขนาดรูป โดยการศึกษาตำแหน่งของหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของรูปพบว่าค่า RMSE ทางราบจะมีความถูกต้องลดลงเมื่อขนาดรูปเพิ่มขึ้นแต่งานวิจัยของ (ธีทัต เจริญกาฬัญญา และคณะ, 2562) ค่า RMSE ทางราบ จะมีค่าที่ใกล้เคียงกันของทั้ง 4 ขนาดรูป เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาจะใช้หมุดทดสอบที่อยู่ภายในรูปทุกหมุดทดสอบ แต่งานวิจัยนี้ใช้เพียงบางหมุดทดสอบที่อยู่บริเวณกึ่งกลางของรูปจึงทำให้ความสัมพันธ์มีค่าความถูกต้องที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการศึกษาผลของงานวิจัยทั้งสองงานวิจัย มีค่าความถูกต้องทางราบประมาณ 4 ซม. ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การรังวัดที่ดินของกรมที่ดิน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การทดสอบการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ควรเพิ่มข้อมูลในช่วงฤดูฝน และฤดูร้อน เพื่อให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น

2. จากการรังวัดด้วย NRTK มีวิธีการรังวัดที่แตกต่างกันไปได้แก่ การรังวัดด้วยวิธี VRS, FKP, i-MAX และ MAX หลักการของ NRTK นี้มีอยู่ 4 ส่วนคือ การรับสัญญาณที่สถานีอ้างอิง ,จัดการข้อมูลและทำการสร้างค่าแก้ ,การจัดส่งค่าแก้ไปยังผู้ใช้งาน และสถานีผู้ใช้งานนำค่าแก้มาใช้เพื่อหาตำแหน่งของตนเอง ซึ่งการรังวัดด้วยวิธี VRS, i-MAX และ MAX มีการรังวัดที่คล้ายกันเป็นแบบ 2-Way communication คือมีการติดต่อสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้งานกับศูนย์ควบคุม แต่ในส่วนของ การรังวัดด้วยวิธี FKP เป็นแบบ 1-Way communication เป็นการส่งค่าสัมประสิทธิ์จากศูนย์ควบคุมไปยังผู้ใช้งาน เนื่องด้วยการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS, i-MAX และ MAX มีการรังวัดและรับค่าแก้ จาก CORS ที่คล้ายกัน ซึ่งวิธีการรังวัดด้วยวิธี i-MAX ในการรังวัดของผู้ใช้งานที่อยู่ใกล้กับ CORS สถานีใดสถานีหนึ่งในรูป ศูนย์ควบคุมจะกำหนดให้ CORS ที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้งานมากที่สุดเป็น สถานีหลัก (Master station) โดยศูนย์ควบคุมจะคำนวณหาค่าปรับแก้และส่งไปให้ผู้ใช้งาน และการรังวัดด้วยวิธี MAX การทำงานจะคล้ายกับการรังวัดด้วยวิธี VRS แต่การรังวัดแบบ MAX จะมีการคำนวณค่าปรับแก้จากสถานีหลักที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้งานและสถานีรอง (Auxiliary station) โดยผู้ใช้งานอยู่ใกล้กับ CORS ตัวที่ใกล้ที่สุด CORS สถานีนั้นจะเป็น Master station ดังนั้นจึงควรนำทั้ง 3 วิธีการรังวัด (VRS, i-MAX และ MAX) มาทดสอบค่าความถูกต้องทางราบโดยนำค่าพิกัดที่ได้มา เปรียบเทียบ ตามลักษณะการแบ่งตามแนวกันชนทั้ง 4 ระยะแนวกันชนที่ได้ทำการทดสอบกับการรังวัดด้วยวิธี VRS ในงานวิจัย ว่าวิธีการรังวัดด้วยวิธี VRS, i-MAX และ MAX วิธีการใดเหมาะสมกับการรังวัดที่อยู่ใกล้กับ CORS ที่ใกล้มากที่สุดในประเทศไทย

3. การหาค่าพิกัดในลักษณะการเคลื่อนที่ของสถานีผู้ใช้งานหรือการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS มาติดตั้งกับรถยนต์ ซึ่งแต่ก่อนจะใช้วิธีการรังวัดแบบจลน์ (แบบ stop and go) ในการรังวัดแบบเคลื่อนที่ โดยในปัจจุบันมีวิธีการที่น่าสนใจอีกมากมายในการรังวัดค่าพิกัดแบบทันทีในเวลาจริง ซึ่งวิธีที่น่าสนใจคือ การรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS เป็นวิธีการที่มีการประมวลผลจากสถานีอ้างอิงเสมือนที่อยู่บริเวณใกล้กับสถานีผู้ใช้งานในระดับเดซิเมตร ทำให้ได้ค่าพิกัดที่มีความถูกต้องได้ในระดับเซนติเมตร ซึ่งเมื่อสถานีผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งเกินกว่าระยะที่ได้ตั้งค่าไว้ในโปรแกรม CHC Precise Service ศูนย์ควบคุมจะคำนวณและส่งค่าแก้ขึ้นมาใหม่เป็นใน

ลักษณะนี้ไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการรังวัดในแต่ละพื้นที่จะมีการตั้งค่าการรังวัดภายในรูปแต่ละรูป การรังวัดที่เกิดขึ้นจะเป็น Fix ambiguity ตลอดเวลาแต่ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น สัญญาณโทรศัพท์ (3G 4G) หรืออยู่นอกกลุ่มในการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยต่อไปอาจจะมีการทดสอบความถูกต้องของการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS ในลักษณะการเคลื่อนที่ของสถานีผู้ใช้งานหรือติดตั้งเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS กับรถยนต์แต่ก็ควรมีการสร้าง Base map โดยการรังวัดด้วย NRTK ด้วยวิธี VRS เพื่อให้มี Base map ในระบบพิกัดเดียวกัน เช่น การเดินทางของรถโดยสารประจำทางที่มีการเคลื่อนที่อยู่ในเส้นทางเดิมเป็นประจำซึ่งสามารถใช้ตรวจสอบได้ว่ารถโดยสารประจำทางมีการเปลี่ยนช่องทางจราจรหรือไม่ เป็นต้น



บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## รายการอ้างอิง

- Centroid (2019). **Centroid of a triangle (Coordinate Geometry)**. Retrieved January 11 ,2019 from <https://www.mathopenref.com/coordcentroid.html>
- Charoenkalunyuta, T., Satirapod, C., Keitniyomrung, V. และ Yomwan, P. (2019). **Performance of Network-Based RTK GNSS for the Cadastral Survey in Thailand.**
- Charoenkalunyuta, T., Satirapod, C., Lee, H.-K. และ Choi, Y.-S. (2012). **Performance of Network-Based RTK GPS in Low-Latitude Region: A Case Study in Thailand.** *Engineering Journal*, 16(5), 95-104. doi:10.4186/ej.2012.16.5.95
- CHCNAV. (2016). *CHC® Precision Service USER GUIDE.*
- CHCNAV (2017). **CHC i-80 Receiver : Top Receiver for Precise Survey.** Retrieved January 11 ,2019 from <https://www.chcthailand.com/i-80-receiver>
- Cotangents (2019). ก รุ ข อ ง โ ค แ ท น เ ฉ น ต์ . Retrieved January 11 ,2019 from <http://www.wikiwand.com/th/%E0%B8%81%E0%B8%8E%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B9%81%E0%B8%97%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%88%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C>
- Federal Geographic Data Committee FGDC (1998). **Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy. Subcommittee for Base Cartographic Data, 25p.** Retrieved January 11 ,2019 from <https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>
- Georg , W. (2013). *BKG Ntrip Client (BNC) Version 2.9 Manual.*
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. และ Wasele, E. (2008). **GNSS Global Navigation Satellite Systems, GPS, GLONASS, Galileo & more.** Austria: SpringerWienNewYork, 537pp.
- IGS (2019). "IGS products." Retrieved January 11 ,2019 from <http://www.igs.org/products>
- Leick, A. (2004). **GPS Satellite Surveying.** In 3 (Ed.), (pp. 435). New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Mageed, K. M. A. M. (2013). **Accuracy Evaluation Between GPS Virtual Reference Station (VRS) and GPS Real Time Kinematic (RTK) Techniques.** *World Applied Sciences Journal* 24 (9): 1154-1162, 2013. doi:10.5829/idosi.wasj.2013.24.09.13273
- Öğütçü, S. และ Kalaycı, İ. (2017). **Investigating Precision of Network Based RTK Techniques: Baseline Length Is Concerned.** *World Journal of Research and Review (WJRR)*, 5(1), 01-03.
- OKOROCHA, V. และ OLAJUGBA, O. (2014). **Comparative Analysis of Short, Medium and Long Baseline Processing in the Precision of GNSS Positioning.** "Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance, FIG Congress 2014. Kuala Lumpur, Malaysia. 16-21 June 2014.
- Retscher, G. (2002). **Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks.** *Journal of Global Positioning Systems* (2002).
- Rizos, C. (1997). **Principles and Practice of GPS Surveying, Monograph 17.** In. The University of New South Wales: School of Geomatic Engineering.
- Shafri, H. Z. M. และ Sulaiman, S. A. H. (2009). **GPS Survey Accuracy using Virtual Reference Station (VRS) Outside the Malaysian Real-Time Kinematic Network (MyRTKnet) Services.** *International Journal of Geoinformatic - July 2010.*
- Teunissen, P. J. G. และ Kleusberg, A. (1998). **GPS for Geodesy, Springer-Verlag.** In (pp. 650). Berlin Heidelberg New York.
- Trimble (2019). **Trimble Business Center : Office Software for Surveyors.** . Retrieved January 11 ,2019 from <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-business-center>
- Tusat, E. (2018). **A Comparison of the Accuracy of VRS and Static GPS Measurement Results for Production of Topographic Map and Spatial Data: A Case Study on CORS-TR.** *Tehnicky vjesnik - Technical Gazette*, 25(1). doi:10.17559/tv-20160406110412
- Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H., Pagels, C. และ Wagner, B. (2000). **Multi-Base RTK Positioning Using Virtual Reference Stations.** Proceedings of the 13th

International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Salt Lake City, UT, USA (2000) : 123-131.

กองเทคโนโลยีทำแผนที่. (2561). คู่มือการรังวัดเฉพาะรายโดยระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network).

กองเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน (2561). GNSS RTK NETWORK. Retrieved January 11, 2019 from <http://kqgnss.blogspot.com/2018/05/gnss-rtk-network.html>

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2546). การสำรวจรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสเบื้องต้น (แปลและเรียบเรียง). In 1 (Ed.), (pp. 156). กรุงเทพฯ: พิมพ์ที่โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2549). เอกสารประกอบคำสอนวิชาการรังวัดดาวเทียมจีพีเอสขั้นสูง. In. ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ธีทัต เจริญกาลัญญาตา. (2555). ผลกระทบของความคลาดเคลื่อนชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ต่อประสิทธิภาพจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในมันที่โดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสในประเทศไทย. (ปริญญาคุชฎบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

ธีทัต เจริญกาลัญญาตา และคณะ. (2562). วิเคราะห์และประเมินผลความถูกต้องทางตำแหน่งของการรังวัดด้วยโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียมแบบจลน์ (RTK GNSS Network) เชียงพื้นที่. In. กรุงเทพมหานคร : กรมที่ดิน

ธีรทัต เจริญกาลัญญาตา และเฉลิมชนม์ สติระพจน์. (2552). การประเมินค่าความถูกต้องจากการรังวัดด้วยดาวเทียมจีพีเอสแบบจลน์ในมันที่โดยอาศัยระบบเครือข่ายสถานีฐานจีพีเอสระบบแรกในประเทศไทย : ผลการศึกษาเบื้องต้น. วิศวกรรมสาร มก., ปีที่ 23 ฉบับที่ 70, 45-56.





**ภาคผนวก ก.** RTCM 3.x ได้มีการพัฒนาประสิทธิภาพมาจาก RTCM 2.x เพื่อให้ผู้ใช้งานนั้นสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยมีการพัฒนา RTCM 3.x นั้นจะเพื่อแก้ไขจุดอ่อนของ RTCM 2.x โดยสามารถแสดง RTCM 3.x .ประเภทที่น่าสนใจดังนี้ (Georg 2013)

- Type 1001, GPS L1 code and phase.
- Type 1002, GPS L1 code and phase and ambiguities and carrier-to-noise ratio.
- Type 1003, GPS L1 and L2 code and phase.
- Type 1004, GPS L1 and L2 code and phase and ambiguities and carrier-to-noise ratio.
- Type 1005, Station coordinates XYZ for antenna reference point.
- Type 1006, Station coordinates XYZ for antenna reference point and antenna height.
- Type 1007, Antenna descriptor and ID.
- Type 1008, Antenna serial number.
- Type 1009, GLONASS L1 code and phase.
- Type 1010, GLONASS L1 code and phase and ambiguities and carrier-to-noise ratio.
- Type 1011, GLONASS L1 and L2 code and phase.
- Type 1012, GLONASS L1 and L2 code and phase and ambiguities and carrier-to-noise ratio.
- Type 1013, Modified julian date, leap second, configured message types and interval.
- Type 1014 and 1017, Network RTK (MAK) messages.
- Type 1019, GPS ephemeris.
- Type 1020, GLONASS ephemeris.
- Type 1045, Galileo ephemeris.
- Type 4088 and 4095, Proprietary messages.

The following are so-called 'State Space Representation' (SSR) messages:

- Type 1057, GPS orbit corrections to Broadcast Ephemeris
- Type 1058, GPS clock corrections to Broadcast Ephemeris
- Type 1059, GPS code biases
- Type 1060, Combined orbit and clock corrections to GPS Broadcast Ephemeris
- Type 1061, GPS User Range Accuracy (URA)
- Type 1062, High-rate GPS clock corrections to Broadcast Ephemeris
- Type 1063, GLONASS orbit corrections to Broadcast Ephemeris
- Type 1064, GLONASS clock corrections to Broadcast Ephemeris
- Type 1065, GLONASS code biases
- Type 1066, Combined orbit and clock corrections to GLONASS Broadcast Ephemeris
- Type 1067, GLONASS User Range Accuracy (URA)
- Type 1068, High-rate GLONASS clock corrections to Broadcast Ephemeris

The following are so-called 'Multiple Signal Messages' (MSM):

- Type 1071, Compact GPS pseudo-ranges
- Type 1072, Compact GPS carrier phases
- Type 1073, Compact GPS pseudo-ranges and carrier phases
- Type 1074, Full GPS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength
- Type 1075, Full GPS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength
- Type 1076, Full GPS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength (high resolution)
- Type 1077, Full GPS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength (high resolution)
- Type 1081, Compact GLONASS pseudo-ranges
- Type 1082, Compact GLONASS carrier phases
- Type 1083, Compact GLONASS pseudo-ranges and carrier phases

- Type 1084, Full GLONASS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength
- Type 1085, Full GLONASS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength
- Type 1086, Full GLONASS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength (high resolution)
- Type 1087, Full GLONASS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength (high resolution)
- Type 1091, Compact Galileo pseudo-ranges
- Type 1092, Compact Galileo carrier phases
- Type 1093, Compact Galileo pseudo-ranges and carrier phases
- Type 1094, Full Galileo pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength
- Type 1095, Full Galileo pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength
- Type 1096, Full Galileo pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength (high resolution)
- Type 1097, Full Galileo pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength (high resolution)
- Type 1121, Compact BeiDou pseudo-ranges
- Type 1122, Compact BeiDou carrier phases
- Type 1123, Compact BeiDou pseudo-ranges and carrier phases
- Type 1124, Full BeiDou pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength
- Type 1125, Full BeiDou pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength
- Type 1126, Full BeiDou pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength (high resolution)
- Type 1127, Full BeiDou pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength (high resolution)

The following are proposed 'Multiple Signal Messages' (MSM) under discussion for standardization:

- Type 1101, Compact SBAS pseudo-ranges
- Type 1102, Compact SBAS carrier phases
- Type 1103, Compact SBAS pseudo-ranges and carrier phases
- Type 1104, Full SBAS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength
- Type 1105, Full SBAS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength
- Type 1106, Full SBAS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength (high resolution)
- Type 1107, Full SBAS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength (high resolution)
- Type 1111, Compact QZSS pseudo-ranges
- Type 1112, Compact QZSS carrier phases
- Type 1113, Compact QZSS pseudo-ranges and carrier phases
- Type 1114, Full QZSS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength
- Type 1115, Full QZSS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength
- Type 1116, Full QZSS pseudo-ranges and carrier phases plus signal strength (high resolution)
- Type 1117, Full QZSS pseudo-ranges, carrier phases, Doppler and signal strength (high resolution)

ภาคผนวก ข. แสดงตำแหน่งหมุดทดสอบจำนวน 97 หมุด ที่มีค่า RMSE ทางราบมากกว่า 0.069 เมตร

| STA   | Zone | Loopname       | E_TBC      | N_TBC       | E_VRS_f    | N_VRS_f     | Diff<br>TBC_VRS<br>(Easting) | Diff<br>TBC_VRS<br>(Northing) | $dE^2+dN^2$ | $\sqrt{dE^2+dN^2}$ | SDE   | SDN   | Distance<br>(km) | Nearest |
|-------|------|----------------|------------|-------------|------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|-------------|--------------------|-------|-------|------------------|---------|
| C0095 | 47   | KSSB-LOMS-SDAN | 741509.273 | 1813935.171 | 741509.294 | 1813935.026 | 0.021                        | 0.147                         | 0.022       | 0.148              | 0.021 | 0.010 | 40.5             | LOMS    |
| C0108 | 48   | KSSB-NROA-NSHO | 211228.440 | 1779381.458 | 211228.479 | 1779381.531 | 0.040                        | 0.081                         | 0.008       | 0.091              | 0.045 | 0.014 | 41.7             | CHPM    |
| C0164 | 47   | BLAN-SPBR-UTOG | 622121.320 | 1580463.575 | 622121.385 | 1580463.608 | 0.068                        | 0.059                         | 0.008       | 0.090              | 0.146 | 0.055 | 25.0             | SPBR    |
| C0276 | 47   | NKNY-OKRK-SNCK | 725300.387 | 1551052.560 | 725300.317 | 1551052.588 | 0.070                        | 0.028                         | 0.006       | 0.075              | 0.004 | 0.005 | 15.3             | OKRK    |
| C0302 | 47   | CNBR-PLDG-PNNK | 733485.042 | 1476508.479 | 733485.158 | 1476508.420 | 0.116                        | 0.059                         | 0.017       | 0.130              | 0.010 | 0.004 | 13.5             | PNNK    |
| C0305 | 47   | CNBR-PLDG-PNNK | 730829.244 | 1472676.195 | 730829.176 | 1472676.156 | 0.067                        | 0.039                         | 0.006       | 0.078              | 0.003 | 0.006 | 17.9             | PNNK    |
| C0312 | 47   | CNBR-PLDG-PNNK | 734455.931 | 1457196.365 | 734455.915 | 1457196.432 | 0.016                        | 0.068                         | 0.005       | 0.070              | 0.010 | 0.006 | 22.9             | PLDG    |
| C0314 | 47   | CNBR-PLDG-PNNK | 736896.547 | 1444340.179 | 736896.639 | 1444340.197 | 0.092                        | 0.018                         | 0.009       | 0.094              | 0.013 | 0.005 | 9.9              | PLDG    |
| C0322 | 47   | PLDG-PNNK-SNCK | 749505.072 | 1481057.471 | 749505.161 | 1481057.456 | 0.085                        | 0.016                         | 0.007       | 0.087              | 0.018 | 0.036 | 15.7             | PNNK    |
| C0333 | 47   | KLNG-PLDG-SNCK | 756027.321 | 1471248.266 | 756027.298 | 1471248.220 | 0.055                        | 0.045                         | 0.005       | 0.071              | 0.015 | 0.058 | 27.0             | PNNK    |
| C0405 | 47   | AYYA-KKOI-LPBR | 680540.701 | 1601248.640 | 680540.632 | 1601248.616 | 0.069                        | 0.024                         | 0.005       | 0.073              | 0.003 | 0.004 | 16.5             | AYYA    |
| C0552 | 47   | PTLG-RAND-TGSG | 604367.317 | 863697.378  | 604367.361 | 863697.323  | 0.045                        | 0.055                         | 0.005       | 0.071              | 0.006 | 0.008 | 25.8             | PTLG    |
| C0576 | 47   | SICN-SRTN-TGSG | 573743.189 | 923034.983  | 573743.184 | 923035.059  | 0.007                        | 0.077                         | 0.006       | 0.077              | 0.008 | 0.006 | 24.4             | TGSG    |
| C0605 | 47   | AWLK-SRTN-TGSG | 552413.778 | 942873.966  | 552413.825 | 942874.020  | 0.047                        | 0.054                         | 0.005       | 0.071              | 0.006 | 0.008 | 49.2             | TGSG    |
| C0618 | 47   | KPNG-SICN-SRTN | 543832.709 | 1011218.600 | 543832.603 | 1011218.568 | 0.109                        | 0.032                         | 0.013       | 0.113              | 0.017 | 0.032 | 7.6              | SRTN    |
| C0619 | 47   | KPNG-SICN-SRTN | 554623.775 | 1010479.923 | 554623.683 | 1010479.900 | 0.092                        | 0.023                         | 0.009       | 0.095              | 0.004 | 0.008 | 18.2             | SRTN    |
| C0620 | 47   | SICN-SRTN-TGSG | 553234.976 | 1002182.920 | 553234.885 | 1002182.922 | 0.091                        | 0.017                         | 0.009       | 0.092              | 0.018 | 0.006 | 18.3             | SRTN    |
| C0621 | 47   | KPNG-SICN-SRTN | 556127.825 | 1021452.591 | 556127.673 | 1021452.642 | 0.154                        | 0.050                         | 0.026       | 0.162              | 0.007 | 0.008 | 23.1             | SRTN    |
| C0630 | 47   | KPNG-SICN-SRTN | 589909.460 | 1025410.267 | 589909.373 | 1025410.301 | 0.085                        | 0.034                         | 0.008       | 0.092              | 0.007 | 0.022 | 31.0             | SICN    |
| C0658 | 47   | AWLK-SRTN-THKP | 479291.171 | 945787.026  | 479291.252 | 945787.062  | 0.082                        | 0.037                         | 0.008       | 0.089              | 0.005 | 0.010 | 22.1             | AWLK    |
| C0665 | 47   | AWLK-PKET-THKP | 437470.330 | 906719.514  | 437470.264 | 906719.555  | 0.066                        | 0.041                         | 0.006       | 0.077              | 0.005 | 0.007 | 34.8             | PKET    |
| C0668 | 47   | AWLK-PKET-THKP | 433938.373 | 886006.869  | 433938.308 | 886006.906  | 0.065                        | 0.037                         | 0.006       | 0.075              | 0.006 | 0.006 | 13.9             | PKET    |
| C0669 | 47   | AWLK-PKET-THKP | 434244.707 | 877160.580  | 434244.643 | 877160.620  | 0.064                        | 0.040                         | 0.006       | 0.075              | 0.005 | 0.006 | 5.1              | PKET    |
| C0715 | 47   | BRAI-SPBR-UTOG | 592514.544 | 1616885.757 | 592514.487 | 1616885.798 | 0.058                        | 0.041                         | 0.005       | 0.071              | 0.005 | 0.008 | 27.5             | UTOG    |
| C0733 | 47   | BRAI-SPBR-UTHI | 615800.400 | 1613533.977 | 615800.488 | 1613534.024 | 0.087                        | 0.047                         | 0.010       | 0.099              | 0.005 | 0.007 | 10.1             | SPBR    |
| C0742 | 47   | LPBR-SPBR-UTHI | 672706.649 | 1638022.688 | 672706.738 | 1638022.717 | 0.087                        | 0.030                         | 0.009       | 0.092              | 0.010 | 0.010 | 5.1              | LPBR    |
| C0771 | 47   | CHDN-NKSW-UTHI | 643150.678 | 1702685.855 | 643150.745 | 1702685.873 | 0.068                        | 0.018                         | 0.005       | 0.070              | 0.006 | 0.008 | 35.1             | UTHI    |
| C0772 | 47   | CHDN-NKSW-UTHI | 652252.026 | 1712207.718 | 652252.038 | 1712207.561 | 0.016                        | 0.156                         | 0.025       | 0.157              | 0.016 | 0.013 | 40.0             | NKSW    |
| C0806 | 47   | NKSW-SDAN-VCBR | 701862.108 | 1753879.938 | 701862.037 | 1753879.969 | 0.071                        | 0.031                         | 0.006       | 0.077              | 0.013 | 0.010 | 32.3             | VCBR    |

ภาพที่ 22 แสดงค่า RMSE ทางราบที่มีค่ามากกว่า 0.069 เมตร

| STA   | Zone | Loopname       | E_TBC      | N_TBC       | E_VRS_f    | N_VRS_f     | Diff<br>TBC_VRS<br>(Easting) | Diff<br>TBC_VRS<br>(Northing) | $(dE^2+dN^2)$ | $SQRT(dE^2+dN^2)$ | SD E  | SD N  | Distance<br>(km) | Nearest |
|-------|------|----------------|------------|-------------|------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|-------------------|-------|-------|------------------|---------|
| C0814 | 47   | BOKO-CLPK-PONG | 680355.334 | 2135057.312 | 680355.335 | 2135057.226 | 0.049                        | 0.096                         | 0.012         | 0.108             | 0.135 | 0.060 | 49.1             | CLPK    |
| C0820 | 47   | BOKO-CLPK-PONG | 707797.488 | 2140269.974 | 707797.495 | 2140269.991 | 0.017                        | 0.075                         | 0.006         | 0.077             | 0.057 | 0.015 | 28.0             | CLPK    |
| C0828 | 47   | BOKO-NANO-PONG | 672565.776 | 2086382.108 | 672565.844 | 2086381.974 | 0.075                        | 0.146                         | 0.027         | 0.164             | 0.095 | 0.066 | 49.7             | PONG    |
| C0829 | 47   | BOKO-NANO-PONG | 686584.120 | 2077111.590 | 686584.138 | 2077111.695 | 0.024                        | 0.111                         | 0.013         | 0.114             | 0.084 | 0.023 | 50.2             | NANO    |
| C0838 | 47   | BOKO-NANO-PONG | 681223.406 | 2041536.980 | 681223.479 | 2041536.890 | 0.071                        | 0.091                         | 0.013         | 0.115             | 0.011 | 0.011 | 14.3             | NANO    |
| C0842 | 47   | BKOK-BOKO-NANO | 713870.587 | 2085246.806 | 713870.591 | 2085246.591 | 0.028                        | 0.230                         | 0.054         | 0.232             | 0.114 | 0.030 | 35.9             | BOKO    |
| C0858 | 47   | BKOK-NANO-UTTD | 677980.761 | 1996987.329 | 677980.811 | 1996987.281 | 0.051                        | 0.054                         | 0.005         | 0.074             | 0.073 | 0.030 | 30.4             | NANO    |
| C0864 | 47   | BKOK-NANO-UTTD | 672943.447 | 1984953.360 | 672943.444 | 1984953.270 | 0.057                        | 0.095                         | 0.012         | 0.111             | 0.107 | 0.070 | 43.0             | NANO    |
| C0876 | 47   | BKOK-CHTK-UTTD | 664884.590 | 1951097.941 | 664884.551 | 1951098.017 | 0.042                        | 0.077                         | 0.008         | 0.087             | 0.013 | 0.016 | 40.6             | CHTK    |
| C0922 | 47   | PPRM-SISA-UTTD | 617788.573 | 1923441.524 | 617788.532 | 1923441.471 | 0.043                        | 0.066                         | 0.006         | 0.079             | 0.072 | 0.024 | 26.2             | UTTD    |
| C0923 | 47   | PPRM-SISA-UTTD | 599850.537 | 1917341.106 | 599850.605 | 1917341.038 | 0.069                        | 0.084                         | 0.012         | 0.108             | 0.057 | 0.022 | 27.4             | SISA    |
| C0960 | 47   | AUPG-BTAK-MSOD | 473171.274 | 1824229.393 | 473171.282 | 1824229.328 | 0.013                        | 0.076                         | 0.006         | 0.077             | 0.046 | 0.016 | 30.0             | MSOD    |
| C0973 | 47   | BTAK-MSOD-THSY | 453231.710 | 1882329.812 | 453231.737 | 1882329.880 | 0.024                        | 0.071                         | 0.006         | 0.075             | 0.015 | 0.017 | 34.6             | MSOD    |
| C1057 | 47   | HACH-JAHM-WGCN | 551885.029 | 2014189.531 | 551885.047 | 2014189.442 | 0.018                        | 0.090                         | 0.008         | 0.092             | 0.009 | 0.006 | 19.5             | HACH    |
| C1089 | 47   | CHMA-HACH-MEJM | 493731.315 | 2048311.516 | 493731.333 | 2048311.450 | 0.024                        | 0.077                         | 0.006         | 0.081             | 0.053 | 0.022 | 34.4             | CHMA    |
| C1096 | 47   | HACH-SMNM-WGCN | 539655.481 | 2011968.794 | 539655.540 | 2011968.734 | 0.060                        | 0.060                         | 0.007         | 0.084             | 0.048 | 0.016 | 14.8             | HACH    |
| C1098 | 47   | HACH-SMNM-WGCN | 552137.770 | 1997826.124 | 552137.815 | 1997826.236 | 0.045                        | 0.106                         | 0.013         | 0.116             | 0.034 | 0.009 | 22.0             | WGCN    |
| C1115 | 47   | BTAK-SMNM-WGCN | 515721.735 | 1919077.518 | 515721.811 | 1919077.596 | 0.076                        | 0.080                         | 0.012         | 0.111             | 0.054 | 0.017 | 34.8             | BTAK    |
| C1117 | 47   | BTAK-SMNM-WGCN | 513988.592 | 1904361.171 | 513988.631 | 1904361.117 | 0.040                        | 0.079                         | 0.008         | 0.088             | 0.061 | 0.011 | 20.2             | BTAK    |
| C1120 | 47   | BTAK-SISA-SKTH | 528811.576 | 1886234.102 | 528811.500 | 1886234.110 | 0.077                        | 0.008                         | 0.006         | 0.077             | 0.006 | 0.007 | 21.0             | BTAK    |
| C1128 | 47   | BTAK-SISA-WGCN | 537439.560 | 1931999.462 | 537439.468 | 1931999.519 | 0.093                        | 0.057                         | 0.012         | 0.109             | 0.004 | 0.013 | 43.6             | SISA    |
| C1180 | 47   | PPRM-SISA-SKTH | 612677.896 | 1900563.522 | 612677.962 | 1900563.472 | 0.065                        | 0.071                         | 0.009         | 0.097             | 0.052 | 0.015 | 22.7             | PPRM    |
| C1200 | 47   | LOMS-PPRM-TPHN | 636775.713 | 1876824.353 | 636775.762 | 1876824.404 | 0.050                        | 0.052                         | 0.005         | 0.072             | 0.007 | 0.006 | 11.2             | PPRM    |
| C1225 | 47   | LOMS-SDAN-TPHN | 690307.934 | 1812465.413 | 690307.950 | 1812465.508 | 0.016                        | 0.095                         | 0.009         | 0.096             | 0.004 | 0.005 | 23.3             | SDAN    |
| C1236 | 47   | NKSW-SDAN-TPHN | 659063.078 | 1771698.988 | 659063.167 | 1771698.952 | 0.087                        | 0.036                         | 0.009         | 0.094             | 0.009 | 0.012 | 22.9             | TPHN    |
| C1254 | 47   | KLKG-NKSW-TPHN | 598297.740 | 1787899.691 | 598297.842 | 1787899.716 | 0.102                        | 0.025                         | 0.011         | 0.105             | 0.006 | 0.006 | 22.8             | KLKG    |
| C1274 | 47   | KLKG-MWOG-NKSW | 577860.620 | 1756647.656 | 577860.634 | 1756647.736 | 0.013                        | 0.080                         | 0.007         | 0.081             | 0.005 | 0.004 | 25.2             | MWOG    |
| C1349 | 47   | CHMA-SAMG-WHAG | 448613.501 | 2115776.311 | 448613.498 | 2115776.403 | 0.011                        | 0.081                         | 0.007         | 0.082             | 0.062 | 0.014 | 31.9             | SAMG    |
| C1403 | 47   | CHMA-MEJM-SAMG | 448539.137 | 2054983.295 | 448539.235 | 2054983.321 | 0.098                        | 0.027                         | 0.010         | 0.101             | 0.006 | 0.009 | 18.5             | MEJM    |

ภาพที่ 23 แสดงค่า RMSE ทางรายที่มีค่ามากกว่า 0.069 เมตร

| STA   | Zone | Loopname       | E_TBC      | N_TBC       | E_VRS_f    | N_VRS_f     | Diff<br>TBC_VRS<br>(Easting) | Diff<br>TBC_VRS<br>(Northing) | (dE <sup>2</sup> +dN <sup>2</sup> ) | SQRT(dE <sup>2</sup> +dN <sup>2</sup> ) | SD.E  | SD.N  | Distance<br>(km) | Nearest |
|-------|------|----------------|------------|-------------|------------|-------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|---|-------|-------|------------------|---------|
| C1907 | 47   | BNST-SBRI-TEPA | 738036.220 | 738282.010  | 738036.288 | 738281.963  | 0.068                        | 0.047                         | 0.007                               | 0.082                                   | 0.010 | 0.014 | 27.0             | TEPA    |
| C1921 | 47   | DKTN-KSKS-NKRM | 817772.351 | 1685794.150 | 817772.422 | 1685794.168 | 0.070                        | 0.019                         | 0.005                               | 0.072                                   | 0.005 | 0.006 | 20.7             | DKTN    |
| C1972 | 47   | DKTN-NKRM-WNKH | 807391.809 | 1658958.042 | 807391.813 | 1658957.961 | 0.006                        | 0.078                         | 0.006                               | 0.078                                   | 0.011 | 0.006 | 26.4             | DKTN    |
| C1973 | 47   | DKTN-NKRM-WNKH | 810334.299 | 1653639.492 | 810334.237 | 1653639.563 | 0.065                        | 0.071                         | 0.009                               | 0.096                                   | 0.009 | 0.012 | 27.0             | NKRM    |
| C2005 | 47   | DKTN-KKOI-WNKH | 792667.374 | 1646084.741 | 792667.401 | 1646084.663 | 0.027                        | 0.084                         | 0.008                               | 0.088                                   | 0.043 | 0.007 | 37.5             | DKTN    |
| C2012 | 47   | CHDN-DKTN-KKOI | 738888.818 | 1650810.981 | 738888.864 | 1650810.906 | 0.046                        | 0.074                         | 0.008                               | 0.087                                   | 0.005 | 0.005 | 31.3             | CHDN    |
| C2019 | 47   | CHDN-DKTN-VCBR | 740578.840 | 1703067.559 | 740578.914 | 1703067.605 | 0.076                        | 0.052                         | 0.008                               | 0.092                                   | 0.049 | 0.031 | 27.3             | CHDN    |
| C2075 | 47   | LAGU-RATP-SATN | 619817.922 | 751051.267  | 619817.977 | 751051.332  | 0.054                        | 0.067                         | 0.007                               | 0.086                                   | 0.017 | 0.011 | 18.8             | SATN    |
| C2091 | 47   | RATP-SADO-SATN | 645662.801 | 769214.196  | 645662.835 | 769214.120  | 0.035                        | 0.077                         | 0.007                               | 0.084                                   | 0.010 | 0.010 | 20.8             | RATP    |

ภาพที่ 24 แสดงค่า RMSE ทางราบที่มีค่ามากกว่า 0.069 เมตร

**ภาคผนวก ค. คุณลักษณะทางเทคนิคของโปรแกรม “CHC Precision Service (CPS)”**

**คุณสมบัติทั่วไปของ GNSS CPS**

- รองรับการคำนวณตำแหน่งในหลายกลุ่มดาวเทียม ได้แก่ GPS ,GLONASS ,BDS และ Galileo
- สามารถรองรับการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GNSS สำหรับติดตั้งเป็นสถานีฐาน ได้หลากหลายผู้ผลิต
- การประมวลผลถูกกระจายการทำงานด้วย 3 ซอฟต์แวร์ ที่เป็น stand-alone เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบโครงข่ายสถานีถาวร (CORS) ขนาดใหญ่
- ครอบคลุมพื้นที่โครงข่ายขนาดใหญ่
- มีโพรโตคอลการเชื่อมต่อที่หลากหลาย เช่น TCP client/server ,UDP client/server ,NTRIP ,Telnet
- มีโมดูลสนับสนุนการทำงานต่าง ๆ เช่น การตรวจสอบคุณภาพสถานี ,การเก็บข้อมูล RINEX แบบ real time ,การคำนวณค่าคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ , การแสดงแผนที่ หรือ การวิจารณ์ของพีซีออนไลน์ เป็นต้น
- สนับสนุน SQL Server 2008/2012
- ไม่จำกัดบัญชีผู้ใช้ NTRIP
- การตั้งค่าซอฟต์แวร์ทำได้ง่าย และสามารถควบคุมระบบได้เต็มรูปแบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**รายละเอียดทางเทคนิค**  
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

**หน้าที่ :**

- ค่าแก้ของ RTK/RTD : Rover จะส่งตำแหน่งไปยัง CPS หลังจากนั้น CPS จะส่งค่าแก้ที่ได้จากการ Generate จาก Single Base หรือการสร้างสถานีเสมือน (VRS) ไปยัง Rover ทั้งนี้รองรับการทำงานเทคนิค MAC (Master auxiliary station) และรองรับ RTCM3Net
- การตรวจสอบคุณภาพ : CPS วิเคราะห์ข้อมูลจากสถานีอ้างอิง ณ ขณะเวลาปัจจุบัน เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูล ค่าคลาดเคลื่อนของคลื่นหลายวิถี รวมไปถึงข้อมูลที่มี Cycle slip ด้วย



- การเก็บข้อมูล : ได้เก็บข้อมูลดาวเทียมระบบ GPS , GLONASS และ BeiDou จากข้อมูลดิบ โดยเก็บเป็นข้อมูล RINEX หรือข้อมูล HCN โมดูลการเก็บข้อมูล สามารถเก็บข้อมูลใน simple rate ที่แตกต่างกันได้ในคราวเดียว
- สามารถเก็บข้อมูล Virtual RINEX ในขณะที่ทำงานได้โดยจะเก็บไว้ใน Local Server Disk
- สามารถส่งข้อมูลดาวเทียมแบบ Static ไปยังแหล่งอื่น ๆ ได้ โดยผ่านทาง FTP Server
- สถานะออนไลน์ : เมื่อ Rover on-line ใช้บริการค่าแก้จาก CPS รายละเอียดของผู้ใช้งานจะถูกลิสต์ไว้ เช่น Mount point ,NTRIP (ตัวอย่างเช่น ชื่อซอฟต์แวร์ของการสำรวจ) เวลาที่เชื่อมต่อกับศูนย์ให้บริการ และระยะเวลาการ on-line รวมทั้งสถานการณ์ทำงาน (fix ,float หรือ DGPS) และตำแหน่งละติจูด ลองจิจูด ในปัจจุบันของ Rover ข้อมูลเหล่านี้จะถูกบันทึกไปยังฐานข้อมูล เพื่อการพัฒนา Application ในภายหลัง
- การแสดงแผนที่ออนไลน์ : ตำแหน่งของสถานีอ้างอิงรวมทั้งตำแหน่งของ Rover สามารถแสดงใน Google street map/satellite map ได้
- การดาวโหลด ข้อมูลวงโคจรดาวเทียม : สามารถดาวโหลดข้อมูลวงโคจรดาวเทียมแบบ broadcast รวมไปถึงข้อมูลวงโคจรดาวเทียมรายละเอียดสูง จากหน่วยงาน IGS ได้
- การแจ้งเตือนผ่านทาง E-mail : เพื่อเตือนความผิดปกติของระบบ สำหรับเป็นการแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

#### ความสามารถ :

- สถานีอ้างอิง : แนะนำให้ใช้ 120 สถานี ในหนึ่ง PC server (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์) เนื่องจากการออกแบบการทำงานของระบบที่สามารถแบ่งการทำงานของ CPS เป็นหลายเครื่อง ซึ่งสามารถทำงานคู่ขนานกันได้ ดังนั้นจึงไม่จำกัดจำนวนของสถานีอ้างอิงในระบบ
- บัญชีผู้ใช้ : บัญชีผู้ใช้สูงสุด 1000 บัญชี (ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของฮาร์ดแวร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์) สำหรับ PC server หนึ่งเครื่อง เมื่อ CPS หลายเครื่องทำงานพร้อมกัน ดังนั้นจึงไม่จำกัดบัญชีผู้ใช้
- ชนิดค่าแก้สำหรับ RTK : RTCM2.3 ,RTCM3.0 ,RTCM3.1 ,RTCM3.2 ,CMR ,CMR+ ,SCMR
- ชนิดค่าแก้สำหรับ DGNSS : RTCM2.x ,message 1,2

- ระบบดาวเทียมที่รับได้ : GPS -L1 ,L2 และ L5 ,GLONASS -L1 และ L2 ,BDS – B1 และ B2
- Compatibility : Trimble ,NovAtel ,Leica ,Topcon , Ashtech ,Hemisphere ,หรืออุปกรณ์ยี่ห้ออื่นขึ้นอยู่กับบอร์ด OEM ของผู้ผลิต ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องรับสัญญาณของสถานีอ้างอิง และเครื่องรับสัญญาณ Rover ได้
- การสื่อสาร : TCP server ,TCP Client ,UDP server ,TRIP และ Telnet

#### ฐานข้อมูล :

- การเข้าถึง : แนะนำ 32 bit สำหรับ CPS โดยสถานควรน้อยกว่า 50 สถานี สำหรับ subnet เดี่ยว
- SQL Server 2008 / 2012 / 2014 สำหรับการรับใช้ CPS ทั้ง 32 bit และ 64 bit

#### ระบบปฏิบัติการ :

- Microsoft Windows Server 2008 / 2012
- Microsoft Windows 7 / 8 / 8.1 / 10 สำหรับ 32 bit และ 64 bit

#### คุณสมบัติของ PC Server :

หน่วยประมวลผล (Processor) :

- สำหรับ Dual cores ไม่ควรเกิน 20 สถานี
- สำหรับ Quad core ไม่ควรเกิน 40 สถานี
- และสำหรับ 8 core สามารถทำงานมากกว่า 50 สถานีได้ โดยมีความเร็วต้องไม่น้อยกว่า 2.0 GHz

หน่วยความจำ (RAM) :

- แนะนำให้ใช้อย่างต่ำ 4 GB สำหรับจำนวนสถานีที่น้อยกว่า 20 สถานี
- อย่างต่ำ 8 GB สำหรับจำนวนสถานีที่น้อยกว่า 40 สถานี
- และอย่างต่ำ 16 GB สำหรับสถานีจำนวนมาก

ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk) :

- เนื้อที่ 200 MB สำหรับการติดตั้งซอฟต์แวร์ CPS และต้องมีเนื้อที่เหลืออย่างน้อย 100 MB ต่อวันต่อสถานี สำหรับเก็บข้อมูลดาวเทียม (มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนดาวเทียมในแต่ละช่วงเวลา)

**ภาษาที่รองรับ :**

- ภาษาจีน
- ภาษาอังกฤษ
- ภาษาฝรั่งเศส
- ภาษารัฐเซีย



ภาคผนวก ง. แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูปโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานีและแสดงรัศมีของวงกลมในลูปแต่ละลูป

| LoopName       | CORS(A)(E) | CORS(B)(E) | CORS(C)(E) | CORS(A)(N)  | CORS(B)(N)  | CORS(C)(N)  | Centriod E | Centriod N  |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| AMKO-BTAK-SMNM | 431990.894 | 507871.918 | 525982.797 | 1968245.635 | 1885155.233 | 1997416.307 | 488615.203 | 1950272.392 |
| AMKO-BTAK-THSY | 431990.894 | 507871.918 | 417692.123 | 1968245.635 | 1885155.233 | 1904800.076 | 452518.312 | 1919400.315 |
| AMKO-MEJM-SMNM | 431990.894 | 432628.522 | 525982.797 | 1968245.635 | 2045545.716 | 1997416.307 | 463534.071 | 2003735.886 |
| AUPG-BRAI-MWOG | 485300.812 | 556085.291 | 555574.547 | 1770728.583 | 1667653.409 | 1744815.271 | 532320.217 | 1727732.421 |
| AUPG-BTAK-KLKG | 485300.812 | 507871.918 | 576021.623 | 1770728.583 | 1885155.233 | 1792663.098 | 523064.784 | 1816182.305 |
| AUPG-BTAK-MSOD | 485300.812 | 507871.918 | 454474.524 | 1770728.583 | 1885155.233 | 1847735.209 | 482549.085 | 1834539.675 |
| AUPG-KLKG-MWOG | 485300.812 | 576021.623 | 555574.547 | 1770728.583 | 1792663.098 | 1744815.271 | 538965.661 | 1769402.317 |
| AWLK-PKET-THKP | 469360.861 | 433243.829 | 427915.969 | 926012.900  | 872144.591  | 980622.881  | 443506.886 | 926260.124  |
| AWLK-SRTN-TGSG | 469360.861 | 536407.900 | 573953.492 | 926012.900  | 1009487.061 | 898672.854  | 526574.084 | 944724.272  |
| AWLK-SRTN-THKP | 469360.861 | 536407.900 | 427915.969 | 926012.900  | 1009487.061 | 980622.881  | 477894.910 | 972040.947  |
| AYYA-BLAN-PKKT | 670023.200 | 625964.373 | 666394.273 | 1588598.436 | 1546725.194 | 1538584.436 | 654127.282 | 1557969.355 |
| AYYA-BLAN-SPBR | 670023.200 | 625964.373 | 621820.463 | 1588598.436 | 1546725.194 | 1605413.684 | 639269.345 | 1580245.771 |
| AYYA-KKOI-LPBR | 670023.200 | 715281.218 | 677706.301 | 1588598.436 | 1613525.335 | 1636959.782 | 687670.240 | 1613027.851 |
| AYYA-KKOI-OKRK | 670023.200 | 715281.218 | 713625.380 | 1588598.436 | 1613525.335 | 1560941.796 | 699643.266 | 1587688.522 |
| AYYA-LPBR-SPBR | 670023.200 | 677706.301 | 621820.463 | 1588598.436 | 1636959.782 | 1605413.684 | 656516.655 | 1610323.967 |
| AYYA-OKRK-PKKT | 670023.200 | 713625.380 | 666394.273 | 1588598.436 | 1560941.796 | 1538584.436 | 683347.618 | 1562708.223 |
| BKOK-BOKO-NANO | 718916.610 | 726901.915 | 680744.061 | 1994173.516 | 2118715.484 | 2027252.887 | 708854.195 | 2046713.962 |
| BKOK-CHTK-DSAI | 718916.610 | 670031.609 | 728239.560 | 1994173.516 | 1910840.999 | 1911800.838 | 705729.260 | 1938938.451 |
| BKOK-CHTK-UTTD | 718916.610 | 670031.609 | 616307.497 | 1994173.516 | 1910840.999 | 1949598.209 | 668418.572 | 1951537.575 |
| BKOK-NANO-UTTD | 718916.610 | 680744.061 | 616307.497 | 1994173.516 | 2027252.887 | 1949598.209 | 671989.389 | 1990341.537 |
| BLAN-KTBN-PKKT | 625964.373 | 640307.586 | 666394.273 | 1546725.194 | 1506451.729 | 1538584.436 | 644222.077 | 1530587.120 |
| BLAN-KTBN-SPUG | 625964.373 | 640307.586 | 547690.682 | 1546725.194 | 1506451.729 | 1497708.600 | 604654.214 | 1516961.841 |
| BLAN-SPBR-UTOG | 625964.373 | 621820.463 | 596288.737 | 1546725.194 | 1605413.684 | 1589637.598 | 614691.191 | 1580592.159 |
| BLAN-SPUG-UTOG | 625964.373 | 547690.682 | 596288.737 | 1546725.194 | 1497708.600 | 1589637.598 | 589981.264 | 1544690.464 |
| BLMG-CNBR-PLDG | 704241.408 | 708636.182 | 740296.124 | 1428318.948 | 1468638.121 | 1435062.145 | 717724.571 | 1444006.405 |
| BLMG-PLDG-STHP | 704241.408 | 740296.124 | 706789.175 | 1428318.948 | 1435062.145 | 1400602.283 | 717108.902 | 1421327.792 |
| BNST-BTNG-SPDI | 749514.031 | 729584.960 | 818522.478 | 692638.259  | 640255.392  | 673432.674  | 765873.823 | 668775.442  |
| BNST-NRTW-SBRI | 749514.031 | 812337.076 | 789454.230 | 692638.259  | 711501.372  | 741857.996  | 783768.446 | 715332.542  |
| BNST-NRTW-SPDI | 749514.031 | 812337.076 | 818522.478 | 692638.259  | 711501.372  | 673432.674  | 793457.862 | 692524.102  |
| BNST-SADO-TEPA | 749514.031 | 660156.914 | 717103.300 | 692638.259  | 744201.889  | 755349.920  | 708924.748 | 730730.023  |
| BNST-SBRI-TEPA | 749514.031 | 789454.230 | 717103.300 | 692638.259  | 741857.996  | 755349.920  | 752023.854 | 729948.725  |
| BOKO-CLPK-PONG | 726901.915 | 718275.668 | 634102.213 | 2118715.484 | 2166278.755 | 2117913.393 | 693093.265 | 2134302.544 |
| BOKO-NANO-PONG | 726901.915 | 680744.061 | 634102.213 | 2118715.484 | 2027252.887 | 2117913.393 | 680582.730 | 2087960.588 |
| BORI-CHAN-LMHP | 232843.902 | 185176.463 | 216471.139 | 1392030.718 | 1395780.916 | 1346979.381 | 211497.168 | 1378263.672 |
| BORI-CHAN-SDAO | 232843.902 | 185176.463 | 198415.675 | 1392030.718 | 1395780.916 | 1453954.194 | 205478.680 | 1413921.943 |
| BORI-KOGD-LMHP | 232843.902 | 232020.095 | 216471.139 | 1392030.718 | 1289905.486 | 1346979.381 | 227111.712 | 1342971.862 |
| BPLE-CNBR-KTBN | 698226.215 | 708636.182 | 640307.586 | 1503352.047 | 1468638.121 | 1506451.729 | 682389.994 | 1492813.966 |
| BPLE-CNBR-PNNK | 698226.215 | 708636.182 | 736366.775 | 1503352.047 | 1468638.121 | 1489700.891 | 714409.724 | 1487230.353 |
| BPLE-KTBN-PKKT | 698226.215 | 640307.586 | 666394.273 | 1503352.047 | 1506451.729 | 1538584.436 | 668309.358 | 1516129.404 |
| BPLE-OKRK-PKKT | 698226.215 | 713625.380 | 666394.273 | 1503352.047 | 1560941.796 | 1538584.436 | 692748.623 | 1534292.760 |
| BPLE-OKRK-PNNK | 698226.215 | 713625.380 | 736366.775 | 1503352.047 | 1560941.796 | 1489700.891 | 716072.790 | 1517998.245 |
| BRAI-MWOG-UTHI | 556085.291 | 555574.547 | 608259.924 | 1667653.409 | 1744815.271 | 1698488.118 | 573306.587 | 1703652.266 |
| BRAI-SPBR-UTHI | 556085.291 | 621820.463 | 608259.924 | 1667653.409 | 1605413.684 | 1698488.118 | 595388.559 | 1657185.070 |
| BRAI-SPBR-UTOG | 556085.291 | 621820.463 | 596288.737 | 1667653.409 | 1605413.684 | 1589637.598 | 591398.164 | 1620901.564 |
| BTAK-KLKG-SKTH | 507871.918 | 576021.623 | 588056.760 | 1885155.233 | 1792663.098 | 1880314.322 | 557316.767 | 1852710.884 |
| BTAK-MSOD-THSY | 507871.918 | 454474.524 | 417692.123 | 1885155.233 | 1847735.209 | 1904800.076 | 460012.855 | 1879230.173 |
| BTAK-SISA-SKTH | 507871.918 | 580721.127 | 588056.760 | 1885155.233 | 1936969.559 | 1880314.322 | 558883.268 | 1900813.038 |
| BTAK-SISA-WGCN | 507871.918 | 580721.127 | 563873.231 | 1885155.233 | 1936969.559 | 1979207.213 | 550822.092 | 1933777.335 |

ภาพที่ 25 แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูปโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานี

| LoopName       | CORS(A)(E) | CORS(B)(E) | CORS(C)(E) | CORS(A)(N)  | CORS(B)(N)  | CORS(C)(N)  | Centriod E | Centriod N  |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| BTAK-SMNM-WGCN | 507871.918 | 525982.797 | 563873.231 | 1885155.233 | 1997416.307 | 1979207.213 | 532575.982 | 1953926.251 |
| BTRG-DUDM-KHJM | 544282.833 | 507494.479 | 553165.478 | 1631445.841 | 1648384.964 | 1693619.984 | 534980.930 | 1657816.930 |
| BTRG-DUDM-NAMY | 544282.833 | 507494.479 | 500000.237 | 1631445.841 | 1648384.964 | 1601820.034 | 517259.183 | 1627216.946 |
| CHAN-KLNG-RAYG | 837097.124 | 791864.067 | 746943.467 | 1396035.767 | 1414414.512 | 1401612.057 | 791968.219 | 1404020.779 |
| CHAN-KLNG-SDAO | 185176.463 | 140370.513 | 198415.675 | 1395780.916 | 1415200.197 | 1453954.194 | 174654.217 | 1421645.102 |
| CHDN-DKTN-KKOI | 726630.754 | 797161.377 | 715281.218 | 1679612.763 | 1683328.594 | 1613525.335 | 746357.783 | 1658822.231 |
| CHDN-DKTN-VCBR | 726630.754 | 797161.377 | 725835.410 | 1679612.763 | 1683328.594 | 1732157.634 | 749875.847 | 1698366.330 |
| CHDN-KKOL-PBR  | 726630.754 | 715281.218 | 677706.301 | 1679612.763 | 1613525.335 | 1636959.782 | 706539.424 | 1643365.960 |
| CHDN-LPBR-UTHI | 726630.754 | 677706.301 | 608259.924 | 1679612.763 | 1636959.782 | 1698488.118 | 670865.660 | 1671686.888 |
| CHDN-NKSW-UTHI | 726630.754 | 619388.978 | 608259.924 | 1679612.763 | 1735029.590 | 1698488.118 | 651426.552 | 1704376.824 |
| CHDN-NKSW-VCBR | 726630.754 | 619388.978 | 725835.410 | 1679612.763 | 1735029.590 | 1732157.634 | 690618.381 | 1715599.996 |
| CHKN-DSAI-WSPG | 782311.959 | 728239.560 | 794325.974 | 1980924.705 | 1911800.838 | 1914945.719 | 768292.498 | 1935890.421 |
| CHKN-SKOM-WSPG | 146526.075 | 211219.295 | 156448.200 | 1982070.894 | 1999363.416 | 1915712.944 | 171397.857 | 1965715.751 |
| CHMA-HACH-JAHM | 496835.121 | 536666.391 | 558606.906 | 2082601.269 | 2026443.696 | 2068529.933 | 530702.806 | 2059191.633 |
| CHMA-HACH-MEJM | 496835.121 | 536666.391 | 432628.522 | 2082601.269 | 2026443.696 | 2045545.716 | 488710.011 | 2051530.227 |
| CHMA-JAHM-WHAG | 496835.121 | 558606.906 | 461922.951 | 2082601.269 | 2068529.933 | 2163004.455 | 505788.326 | 2104711.886 |
| CHMA-MEJM-SAMG | 496835.121 | 432628.522 | 471803.356 | 2082601.269 | 2045545.716 | 2084044.492 | 467089.000 | 2070730.492 |
| CHMA-SAMG-WHAG | 496835.121 | 471803.356 | 461922.951 | 2082601.269 | 2084044.492 | 2163004.455 | 476853.809 | 2109883.405 |
| CHPM-DKTN-KSKS | 181917.131 | 152487.010 | 196263.701 | 1749667.969 | 1684020.883 | 1696764.113 | 176889.281 | 1710150.988 |
| CHPM-DKTN-VCBR | 824735.811 | 797161.377 | 725835.410 | 1749762.938 | 1683328.594 | 1732157.634 | 782577.533 | 1721749.722 |
| CHPM-KSKS-NSHO | 181917.131 | 196263.701 | 263821.772 | 1749667.969 | 1696764.113 | 1740662.058 | 214000.868 | 1729031.380 |
| CHPM-KSSB-NSHO | 181917.131 | 174403.059 | 263821.772 | 1749667.969 | 1802404.265 | 1740662.058 | 206713.987 | 1764244.764 |
| CHPM-KSSB-VCBR | 824735.811 | 815697.705 | 725835.410 | 1749762.938 | 1802258.822 | 1732157.634 | 788756.309 | 1761393.131 |
| CHTK-DSAI-LOMS | 670031.609 | 728239.560 | 734725.929 | 1910840.999 | 1911800.838 | 1853900.897 | 710999.033 | 1892180.911 |
| CHTK-LOMS-PPRM | 670031.609 | 734725.929 | 627887.224 | 1910840.999 | 1853900.897 | 1883672.915 | 677548.254 | 1882804.937 |
| CHTK-PPRM-UTTD | 670031.609 | 627887.224 | 616307.497 | 1910840.999 | 1883672.915 | 1949598.209 | 638075.443 | 1914704.041 |
| CNBR-PLDG-PNNK | 708636.182 | 740296.124 | 736366.775 | 1468638.121 | 1435062.145 | 1489700.891 | 728433.027 | 1464467.052 |
| DKTN-KKOL-WNKH | 797161.377 | 715281.218 | 807352.804 | 1683328.594 | 1613525.335 | 1595750.801 | 773265.133 | 1630868.243 |
| DKTN-KSKS-NKRM | 152487.010 | 196263.701 | 191268.130 | 1684020.883 | 1696764.113 | 1659452.108 | 180006.280 | 1680079.035 |
| DKTN-NKRM-WNKH | 152487.010 | 191268.130 | 160330.855 | 1684020.883 | 1659452.108 | 1596172.485 | 168028.665 | 1646548.492 |
| DSAI-LOMS-WSPG | 728239.560 | 734725.929 | 794325.974 | 1911800.838 | 1853900.897 | 1914945.719 | 752430.488 | 1893549.151 |
| DUDM-KHJM-MSSB | 507494.479 | 553165.478 | 470721.226 | 1648384.964 | 1693619.984 | 1714772.670 | 510460.394 | 1685592.539 |
| DUDM-MSSB-SISK | 507494.479 | 470721.226 | 423245.146 | 1648384.964 | 1714772.670 | 1671294.276 | 467153.617 | 1678150.637 |
| DUDM-NAMY-SISK | 507494.479 | 500000.237 | 423245.146 | 1648384.964 | 1601820.034 | 1671294.276 | 476913.287 | 1640499.758 |
| HACH-JAHM-WGCN | 536666.391 | 558606.906 | 563873.231 | 2026443.696 | 2068529.933 | 1979207.213 | 553048.843 | 2024726.947 |
| HACH-MEJM-SMNM | 536666.391 | 432628.522 | 525982.797 | 2026443.696 | 2045545.716 | 1997416.307 | 498425.903 | 2023135.240 |
| HACH-SMNM-WGCN | 536666.391 | 525982.797 | 563873.231 | 2026443.696 | 1997416.307 | 1979207.213 | 542174.140 | 2001022.405 |
| KHJM-KHMR-MSSB | 553165.478 | 524255.574 | 470721.226 | 1693619.984 | 1773585.698 | 1714772.670 | 516047.426 | 1727326.117 |
| KKJN-PTBR-SPUG | 570335.029 | 602362.026 | 547690.682 | 1427027.865 | 1449396.955 | 1497708.600 | 573462.579 | 1458044.473 |
| KKOI-NKNY-OKRK | 715281.218 | 737648.817 | 713625.380 | 1613525.335 | 1572301.989 | 1560941.796 | 722185.138 | 1582256.373 |
| KKOI-NKNY-WNKH | 715281.218 | 737648.817 | 807352.804 | 1613525.335 | 1572301.989 | 1595750.801 | 753427.613 | 1593859.375 |
| KLKG-MWOG-NKSW | 576021.623 | 555574.547 | 619388.978 | 1792663.098 | 1744815.271 | 1735029.590 | 583661.716 | 1757502.653 |
| KLKG-NKSW-TPHN | 576021.623 | 619388.978 | 652688.775 | 1792663.098 | 1735029.590 | 1793675.316 | 616033.125 | 1773789.335 |
| KLKG-PPRM-SKTH | 576021.623 | 627887.224 | 588056.760 | 1792663.098 | 1883672.915 | 1880314.322 | 597321.869 | 1852216.778 |
| KLKG-PPRM-TPHN | 576021.623 | 627887.224 | 652688.775 | 1792663.098 | 1883672.915 | 1793675.316 | 618865.874 | 1823337.110 |
| KLNG-PLDG-RAYG | 791864.067 | 740296.124 | 746943.467 | 1414414.512 | 1435062.145 | 1401612.057 | 759701.219 | 1417029.571 |
| KLNG-PLDG-SNCK | 791864.067 | 740296.124 | 763902.612 | 1414414.512 | 1435062.145 | 1511300.781 | 765354.268 | 1453592.479 |
| KLNG-SDAO-SNCK | 791864.067 | 848977.686 | 763902.612 | 1414414.512 | 1454518.724 | 1511300.781 | 801581.455 | 1460078.006 |

ภาพที่ 26 แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูบโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานี

| LoopName       | CORS(A)(E) | CORS(B)(E) | CORS(C)(E) | CORS(A)(N)  | CORS(B)(N)  | CORS(C)(N)  | Centriod E | Centriod N  |
|----------------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| KPNG-SICN-SRTN | 609191.313 | 599061.919 | 536407.900 | 1074667.263 | 995766.766  | 1009487.061 | 581553.711 | 1026640.363 |
| KSKS-LPMA-NKRM | 196263.701 | 267674.045 | 191268.130 | 1696764.113 | 1662239.856 | 1659452.108 | 218401.959 | 1672818.692 |
| KSKS-LPMA-NSHO | 196263.701 | 267674.045 | 263821.772 | 1696764.113 | 1662239.856 | 1740662.058 | 242586.506 | 1699888.676 |
| KSSB-LOMS-SCHP | 815697.705 | 734725.929 | 839751.349 | 1802258.822 | 1853900.897 | 1860295.091 | 796724.994 | 1838818.270 |
| KSSB-LOMS-SDAN | 815697.705 | 734725.929 | 698768.615 | 1802258.822 | 1853900.897 | 1790757.208 | 749730.750 | 1815638.976 |
| KSSB-NROA-NSHO | 174403.059 | 225937.068 | 263821.772 | 1802404.265 | 1825174.168 | 1740662.058 | 221387.300 | 1789413.497 |
| KSSB-NROA-SCHP | 174403.059 | 225937.068 | 200174.437 | 1802404.265 | 1825174.168 | 1859690.260 | 200171.521 | 1829089.564 |
| KSSB-SDAN-VCBR | 815697.705 | 698768.615 | 725835.410 | 1802258.822 | 1790757.208 | 1732157.634 | 746767.243 | 1775057.888 |
| KTBN-PTBR-SPUG | 640307.586 | 602362.026 | 547690.682 | 1506451.729 | 1449396.955 | 1497708.600 | 596786.765 | 1484519.095 |
| LAGU-PTLG-RATP | 587030.015 | 618195.945 | 638704.369 | 761051.568  | 841947.200  | 788807.692  | 614643.443 | 797268.820  |
| LAGU-PTLG-TGSG | 587030.015 | 618195.945 | 573953.492 | 761051.568  | 841947.200  | 898672.854  | 593059.817 | 833890.541  |
| LAGU-RATP-SATN | 587030.015 | 638704.369 | 617853.656 | 761051.568  | 788807.692  | 732386.997  | 614529.347 | 760748.752  |
| LOMS-PPRM-TPHN | 734725.929 | 627887.224 | 652688.775 | 1853900.897 | 1883672.915 | 1793675.316 | 179167.309 | 1843749.709 |
| LOMS-SCHP-WSPG | 734725.929 | 839751.349 | 794325.974 | 1853900.897 | 1860295.091 | 1914945.719 | 789601.084 | 1876380.569 |
| LOMS-SDAN-TPHN | 734725.929 | 698768.615 | 652688.775 | 1853900.897 | 1790757.208 | 1793675.316 | 695394.440 | 1812777.807 |
| LPBR-SPBR-UTHI | 677706.301 | 621820.463 | 608259.924 | 1636959.782 | 1605413.684 | 1698488.118 | 635928.896 | 1646953.861 |
| LPMA-NDDG-NKRM | 267674.045 | 256590.205 | 191268.130 | 1662239.856 | 1583877.016 | 1659452.108 | 238510.793 | 1635189.660 |
| MEJM-MHGS-SAMG | 432628.522 | 391167.143 | 471803.356 | 2045545.716 | 2133293.022 | 2084044.492 | 431866.340 | 2087627.743 |
| MHGS-SAMG-WHAG | 391167.143 | 471803.356 | 461922.951 | 2133293.022 | 2084044.492 | 2163004.455 | 441631.150 | 2126780.656 |
| MWOG-NKSW-UTHI | 555574.547 | 619388.978 | 608259.924 | 1744815.271 | 1735029.590 | 1698488.118 | 594407.816 | 1726110.993 |
| NDDG-NKRM-WNKH | 256590.205 | 191268.130 | 160330.855 | 1583877.016 | 1659452.108 | 1596172.485 | 202729.730 | 1613167.203 |
| NDDG-SAKW-SDAO | 256590.205 | 186106.594 | 198415.675 | 1583877.016 | 1528171.065 | 1453954.194 | 213704.158 | 1522000.758 |
| NDDG-SAKW-WNKH | 903948.885 | 834856.402 | 807352.804 | 1585957.696 | 1528433.240 | 1595750.801 | 848719.364 | 1570047.246 |
| NKNY-OKRK-SNCK | 737648.817 | 713625.380 | 763902.612 | 1572301.989 | 1560941.796 | 1511300.781 | 738392.270 | 1548181.522 |
| NKNY-SAKW-SNCK | 737648.817 | 834856.402 | 763902.612 | 1572301.989 | 1528433.240 | 1511300.781 | 778802.610 | 1537345.337 |
| NKNY-SAKW-WNKH | 737648.817 | 834856.402 | 807352.804 | 1572301.989 | 1528433.240 | 1595750.801 | 793286.008 | 1565495.343 |
| NKSW-SDAN-TPHN | 619388.978 | 698768.615 | 652688.775 | 1735029.590 | 1790757.208 | 1793675.316 | 656948.789 | 1773154.038 |
| NKSW-SDAN-VCBR | 619388.978 | 698768.615 | 725835.410 | 1735029.590 | 1790757.208 | 1732157.634 | 681331.001 | 1752648.144 |
| NROA-SCHP-UDON | 225937.068 | 200174.437 | 264245.839 | 1825174.168 | 1859690.260 | 1926581.096 | 230119.115 | 1870481.841 |
| OKRK-PNNK-SNCK | 713625.380 | 736366.775 | 763902.612 | 1560941.796 | 1489700.891 | 1511300.781 | 737964.922 | 1520647.823 |
| PKNK-RAND-TGSG | 633115.505 | 646039.917 | 573953.492 | 921848.757  | 858836.549  | 898672.854  | 617702.971 | 893119.387  |
| PKNK-SICN-TGSG | 633115.505 | 599061.919 | 573953.492 | 921848.757  | 995766.766  | 898672.854  | 602043.639 | 938762.792  |
| PLDG-PNNK-SNCK | 740296.124 | 736366.775 | 763902.612 | 1435062.145 | 1489700.891 | 1511300.781 | 746855.170 | 1478687.939 |
| PLDG-RAYG-STHP | 740296.124 | 746943.467 | 706789.175 | 1435062.145 | 1401612.057 | 1400602.283 | 731342.922 | 1412425.495 |
| PPRM-SISA-SKTH | 627887.224 | 580721.127 | 588056.760 | 1883672.915 | 1936969.559 | 1880314.322 | 598888.370 | 1900318.932 |
| PPRM-SISA-UTTD | 627887.224 | 580721.127 | 616307.497 | 1883672.915 | 1936969.559 | 1949598.209 | 608305.283 | 1923413.561 |
| PTLG-RAND-RATP | 618195.945 | 646039.917 | 638704.369 | 841947.200  | 858836.549  | 788807.692  | 634313.410 | 829863.814  |
| PTLG-RAND-TGSG | 618195.945 | 646039.917 | 573953.492 | 841947.200  | 858836.549  | 898672.854  | 612729.785 | 866485.534  |
| RAND-RATP-SOKA | 646039.917 | 638704.369 | 676236.654 | 858836.549  | 788807.692  | 796905.846  | 653660.313 | 814850.029  |
| RATP-SADO-SATN | 638704.369 | 660156.914 | 617853.656 | 788807.692  | 744201.889  | 732386.997  | 638904.980 | 755132.193  |
| RATP-SADO-SOKA | 638704.369 | 660156.914 | 676236.654 | 788807.692  | 744201.889  | 796905.846  | 658365.979 | 776638.476  |
| SADO-SOKA-TEPA | 660156.914 | 676236.654 | 717103.300 | 744201.889  | 796905.846  | 755349.920  | 684498.956 | 765485.885  |
| SAKW-SDAO-SNCK | 186106.594 | 198415.675 | 114719.769 | 1528171.065 | 1453954.194 | 1512802.994 | 166414.013 | 1498309.418 |
| SCHP-UDON-WSPG | 200174.437 | 264245.839 | 156448.200 | 1859690.260 | 1926581.096 | 1915712.944 | 206956.159 | 1900661.433 |
| SICN-SRTN-TGSG | 599061.919 | 536407.900 | 573953.492 | 995766.766  | 1009487.061 | 898672.854  | 569807.770 | 967975.560  |
| SISA-UTTD-WGCN | 580721.127 | 616307.497 | 563873.231 | 1936969.559 | 1949598.209 | 1979207.213 | 586967.285 | 1955258.327 |
| SKOM-UDON-WSPG | 211219.295 | 264245.839 | 156448.200 | 1999363.416 | 1926581.096 | 1915712.944 | 210637.778 | 1947219.152 |

ภาพที่ 27 แสดงผลการหาจุดกึ่งกลางภายในลูปโดยใช้ CORS จำนวน 3 สถานี

| LoopName       | Distance_A<br>(m) | Distance_B<br>(m) | Distance_C<br>(m) | S (m)  | S-A (m) | S-B (m) | S-C (m) | $\sqrt{((S-A)*(S-B)*(S-C))/S}$ (m) | R (km.) |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|
| AMKO-BTAK-SMNM | 98414.461         | 112525.308        | 113712.589        | 162326 | 63912   | 49801   | 48614   | 30874                              | 31      |
| AMKO-BTAK-THSY | 65036.864         | 92294.720         | 112525.308        | 134928 | 69892   | 42634   | 22403   | 22243                              | 22      |
| AMKO-MEJM-SMNM | 77302.711         | 98414.461         | 105030.761        | 140374 | 63071   | 41960   | 35343   | 25813                              | 26      |
| AUPG-BRAI-MWOG | 74899.250         | 77163.552         | 125039.731        | 138551 | 63652   | 61388   | 13512   | 19521                              | 20      |
| AUPG-BTAK-KLKG | 93334.819         | 114887.672        | 116631.526        | 162427 | 69092   | 47539   | 45795   | 30431                              | 30      |
| AUPG-BTAK-MSOD | 65203.834         | 82947.455         | 116631.526        | 132391 | 67188   | 49444   | 15760   | 19886                              | 20      |
| AUPG-KLKG-MWOG | 52033.619         | 74899.250         | 93334.819         | 110134 | 58100   | 35235   | 16799   | 17671                              | 18      |
| AWLK-PKET-THKP | 64855.491         | 68556.029         | 108609.049        | 121010 | 56155   | 52454   | 12401   | 17374                              | 17      |
| AWLK-SRTN-TGSG | 107066.526        | 108106.876        | 117001.966        | 166088 | 59021   | 57981   | 49086   | 31802                              | 32      |
| AWLK-SRTN-THKP | 68556.029         | 107066.526        | 112265.934        | 143944 | 75388   | 36878   | 31678   | 24735                              | 25      |
| AYYA-BLAN-PKKT | 41241.348         | 50145.481         | 60782.796         | 76085  | 34843   | 25939   | 15302   | 13482                              | 13      |
| AYYA-BLAN-SPBR | 51051.509         | 58834.605         | 60782.796         | 85334  | 34283   | 26500   | 24552   | 16167                              | 16      |
| AYYA-KKOH-LPBR | 44283.724         | 48967.846         | 51668.547         | 72460  | 28176   | 23492   | 20792   | 13782                              | 14      |
| AYYA-KKOH-OKRK | 51633.706         | 51668.547         | 52609.603         | 77956  | 26322   | 26287   | 25346   | 14999                              | 15      |
| AYYA-LPBR-SPBR | 48967.846         | 51051.509         | 64174.628         | 82097  | 33129   | 31045   | 17922   | 14984                              | 15      |
| AYYA-OKRK-PKKT | 50145.481         | 51633.706         | 52255.418         | 77017  | 26872   | 25384   | 24762   | 14809                              | 15      |
| BKOK-BOKO-NANO | 50511.270         | 102449.766        | 124797.704        | 138879 | 88368   | 36430   | 14082   | 18067                              | 18      |
| BKOK-CHTK-DSAI | 58215.865         | 82898.585         | 96612.893         | 118864 | 60648   | 35965   | 22251   | 20207                              | 20      |
| BKOK-CHTK-UTTD | 66245.014         | 96612.893         | 111873.088        | 137365 | 71120   | 40753   | 25492   | 23192                              | 23      |
| BKOK-NANO-UTTD | 50511.270         | 100907.479        | 111873.088        | 131646 | 81135   | 30738   | 19773   | 19354                              | 19      |
| BLAN-KTBN-PKKT | 41241.348         | 41388.723         | 42751.371         | 62691  | 21449   | 21302   | 19939   | 12055                              | 12      |
| BLAN-KTBN-SPUG | 42751.371         | 92354.738         | 93028.665         | 114067 | 71316   | 21713   | 21039   | 16900                              | 17      |
| BLAN-SPBR-UTOG | 30012.562         | 52173.919         | 58834.605         | 70511  | 40498   | 18337   | 11676   | 11089                              | 11      |
| BLAN-SPUG-UTOG | 52173.919         | 92354.738         | 103984.189        | 124256 | 72083   | 31902   | 20272   | 19369                              | 19      |
| BLMG-CNBR-PLDG | 36679.870         | 40557.980         | 46148.653         | 61693  | 25013   | 21135   | 15545   | 11541                              | 12      |
| BLMG-PLDG-STHP | 27833.515         | 36679.870         | 48064.518         | 56289  | 28455   | 19609   | 8224    | 9029                               | 9       |
| BNST-BTNG-SPDI | 56045.810         | 71631.139         | 94924.256         | 111301 | 55255   | 39669   | 16376   | 17959                              | 18      |
| BNST-NRTW-SBRI | 38015.116         | 63386.134         | 65593.838         | 83498  | 45482   | 20111   | 17904   | 14005                              | 14      |
| BNST-NRTW-SPDI | 38567.927         | 65593.838         | 71631.139         | 87896  | 49329   | 22303   | 16265   | 14268                              | 14      |
| BNST-SADO-TEPA | 58027.310         | 70591.841         | 103167.348        | 115893 | 57866   | 45301   | 12726   | 16966                              | 17      |
| BNST-SBRI-TEPA | 63386.134         | 70591.841         | 73598.162         | 103788 | 40402   | 33196   | 30190   | 19752                              | 20      |
| BOKO-CLPK-PONG | 48339.185         | 92803.177         | 97079.247         | 119111 | 70772   | 26308   | 22032   | 18557                              | 19      |
| BOKO-NANO-PONG | 92803.177         | 101954.840        | 102449.766        | 148604 | 55801   | 46649   | 46154   | 28434                              | 28      |
| BORI-CHAN-LMHP | 47841.725         | 47973.632         | 57998.994         | 76907  | 29065   | 28934   | 18908   | 14379                              | 14      |
| BORI-CHAN-SDAO | 47841.725         | 59677.501         | 70897.811         | 89209  | 41367   | 29531   | 18311   | 15835                              | 16      |
| BORI-KOGD-LMHP | 47973.632         | 59202.891         | 102225.940        | 104701 | 56728   | 45498   | 2475    | 7811                               | 8       |
| BPLE-CNBR-KTBN | 36241.192         | 58001.515         | 78093.955         | 86168  | 49927   | 28167   | 8074    | 11479                              | 11      |
| BPLE-CNBR-PNNK | 34822.779         | 36241.192         | 40509.951         | 55787  | 20964   | 19546   | 15277   | 10593                              | 11      |
| BPLE-KTBN-PKKT | 41388.723         | 47482.560         | 58001.515         | 73436  | 32048   | 25954   | 15435   | 13222                              | 13      |
| BPLE-OKRK-PKKT | 47482.560         | 52255.418         | 59613.033         | 79676  | 32193   | 27420   | 20062   | 14909                              | 15      |
| BPLE-OKRK-PNNK | 40509.951         | 59613.033         | 74782.602         | 87453  | 46943   | 27840   | 12670   | 13760                              | 14      |
| BRAI-MWOG-UTHI | 60605.050         | 70156.643         | 77163.552         | 103963 | 43358   | 33806   | 26799   | 19438                              | 19      |
| BRAI-SPBR-UTHI | 60605.050         | 90525.665         | 94057.101         | 122594 | 61989   | 32068   | 28537   | 21511                              | 22      |

ภาพที่ 28 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละรูป

| LoopName       | Distance_A<br>(m) | Distance_B<br>(m) | Distance_C<br>(m) | S (m)  | S-A (m) | S-B (m) | S-C (m) | $\sqrt{((S-A)*(S-B)*(S-C))/S}$ (m) | R (km.) |
|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|
| BRAI-SPBR-UTOG | 30012.562         | 87765.505         | 90525.665         | 104152 | 74139   | 16386   | 13626   | 12607                              | 13      |
| BTAK-KLKG-SKTH | 80330.836         | 88473.621         | 114887.672        | 141846 | 61515   | 53372   | 26958   | 24980                              | 25      |
| BTAK-MSOD-THSY | 65203.834         | 67892.150         | 92294.720         | 112695 | 47492   | 44803   | 20401   | 19626                              | 20      |
| BTAK-SISA-SKTH | 57128.166         | 80330.836         | 89396.485         | 113428 | 56300   | 33097   | 24031   | 19869                              | 20      |
| BTAK-SISA-WGCN | 45473.850         | 89396.485         | 109461.966        | 122166 | 76692   | 32770   | 12704   | 16166                              | 16      |
| BTAK-SMNM-WGCN | 42038.745         | 109461.966        | 113712.589        | 132607 | 90568   | 23145   | 18894   | 17282                              | 17      |
| BTRG-DUDM-KHJM | 40727.401         | 63179.242         | 64644.268         | 84275  | 43548   | 21096   | 19631   | 14629                              | 15      |
| BTRG-DUDM-NAMY | 40727.401         | 47411.465         | 53574.253         | 70857  | 30129   | 23445   | 17282   | 13126                              | 13      |
| CHAN-KLNG-RAYG | 46709.357         | 48824.250         | 90325.953         | 92930  | 46220   | 44106   | 2604    | 7558                               | 8       |
| CHAN-KLNG-SDAO | 48824.250         | 59677.501         | 69787.626         | 89145  | 40320   | 29467   | 19357   | 16062                              | 16      |
| CHDN-DKTN-KKOI | 67054.904         | 70628.440         | 107595.797        | 122640 | 55585   | 52011   | 15044   | 18832                              | 19      |
| CHDN-DKTN-VCBR | 52550.890         | 70628.440         | 86438.817         | 104809 | 52258   | 34181   | 18370   | 17694                              | 18      |
| CHDN-KKOI-LPBR | 44283.724         | 64906.697         | 67054.904         | 88123  | 43839   | 23216   | 21068   | 15599                              | 16      |
| CHDN-LPBR-UTHI | 64906.697         | 92782.186         | 119866.307        | 138778 | 73871   | 45995   | 18911   | 21518                              | 22      |
| CHDN-NKSW-UTHI | 38198.626         | 119866.311        | 120713.807        | 139389 | 101191  | 19523   | 18676   | 16269                              | 16      |
| CHDN-NKSW-VCBR | 52550.890         | 106485.168        | 120713.807        | 139875 | 87324   | 33390   | 19161   | 19985                              | 20      |
| CHKN-DSAI-WSPG | 66161.195         | 67063.872         | 87760.658         | 110493 | 44332   | 43429   | 22732   | 19902                              | 20      |
| CHKN-SKOM-WSPG | 66960.930         | 67063.872         | 99989.644         | 117007 | 50046   | 49943   | 17018   | 19066                              | 19      |
| CHMA-HACH-JAHM | 47461.960         | 63354.210         | 68849.133         | 89833  | 42371   | 26478   | 20984   | 16188                              | 16      |
| CHMA-HACH-MEJM | 68849.133         | 74132.324         | 105776.961        | 124379 | 55530   | 50247   | 18602   | 20428                              | 20      |
| CHMA-JAHM-WHAG | 63354.210         | 87655.759         | 135178.484        | 143094 | 79740   | 55438   | 7916    | 15638                              | 16      |
| CHMA-MEJM-SAMG | 25073.335         | 54925.617         | 74132.324         | 77066  | 51992   | 22140   | 2933    | 6619                               | 7       |
| CHMA-SAMG-WHAG | 25073.335         | 79575.739         | 87655.759         | 96152  | 71079   | 16577   | 8497    | 10204                              | 10      |
| CHPM-DKTN-KSKS | 45591.278         | 54824.099         | 71929.627         | 86173  | 40581   | 31348   | 14243   | 14501                              | 15      |
| CHPM-DKTN-VCBR | 71929.627         | 86438.817         | 100455.148        | 129412 | 57482   | 42973   | 28957   | 23510                              | 24      |
| CHPM-KSKS-NSHO | 54824.099         | 80634.048         | 82456.386         | 108957 | 54133   | 28323   | 26501   | 19311                              | 19      |
| CHPM-KSSB-NSHO | 53268.240         | 82456.386         | 108733.157        | 122229 | 68961   | 39773   | 13496   | 17402                              | 17      |
| CHPM-KSSB-VCBR | 53268.240         | 100455.148        | 113971.088        | 133847 | 80579   | 33392   | 19876   | 19989                              | 20      |
| CHTK-DSAI-LOMS | 58215.865         | 58262.134         | 86183.120         | 101331 | 43115   | 43068   | 15147   | 16661                              | 17      |
| CHTK-LOMS-PPRM | 50142.345         | 86183.120         | 110909.349        | 123617 | 73475   | 37434   | 12708   | 16815                              | 17      |
| CHTK-PPRM-UTTD | 50142.345         | 66245.014         | 66934.553         | 91661  | 41519   | 25416   | 24726   | 16872                              | 17      |
| CNBR-PLDG-PNNK | 34822.779         | 46148.653         | 54779.852         | 67876  | 33053   | 21727   | 13096   | 11771                              | 12      |
| DKTN-KKOI-WNKH | 88168.788         | 93771.589         | 107595.797        | 144768 | 56599   | 50996   | 37172   | 27224                              | 27      |
| DKTN-KSKS-NKRM | 37654.647         | 45591.278         | 45904.493         | 64575  | 26921   | 18984   | 18671   | 12156                              | 12      |
| DKTN-NKRM-WNKH | 45904.493         | 70436.128         | 88168.788         | 102255 | 56350   | 31819   | 14086   | 15716                              | 16      |
| DSAI-LOMS-WSPG | 58262.134         | 66161.195         | 85314.917         | 104869 | 46607   | 38708   | 19554   | 18341                              | 18      |
| DUDM-KHJM-MSSB | 64644.268         | 76270.244         | 85520.606         | 113218 | 48573   | 36947   | 27697   | 20953                              | 21      |
| DUDM-MSSB-SISK | 64653.578         | 76270.242         | 87711.204         | 114318 | 49664   | 38047   | 26606   | 20971                              | 21      |
| DUDM-NAMY-SISK | 47411.464         | 87711.204         | 104000.042        | 119561 | 72150   | 31850   | 15561   | 17294                              | 17      |
| HACH-JAHM-WGCN | 47461.960         | 54511.443         | 89477.832         | 95726  | 48264   | 41214   | 6248    | 11394                              | 11      |
| HACH-MEJM-SMNM | 30931.027         | 105030.761        | 105776.961        | 120869 | 89938   | 15839   | 15092   | 13337                              | 13      |
| HACH-SMNM-WGCN | 30931.027         | 42038.745         | 54511.443         | 63741  | 32810   | 21702   | 9229    | 10154                              | 10      |
| KHJM-KHMR-MSSB | 79933.999         | 85520.606         | 85569.123         | 125512 | 45578   | 39991   | 39943   | 24084                              | 24      |

ภาพที่ 29 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละรูป



| LoopName       | Distance_A (m) | Distance_B (m) | Distance_C (m) | S (m)  | S-A (m) | S-B (m) | S-C (m) | $\sqrt{((S-A)*(S-B)*(S-C))/S}$ (m) | R (km.) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|
| KKJN-PTBR-SPUG | 39065.391      | 72958.693      | 74219.490      | 93122  | 54056   | 20163   | 18902   | 14874                              | 15      |
| KKOI-NKNY-OKRK | 26574.041      | 46900.679      | 52609.603      | 63042  | 36468   | 16141   | 10433   | 9870                               | 10      |
| KKOI-NKNY-WNKH | 46900.679      | 73542.455      | 93771.589      | 107107 | 60207   | 33565   | 13336   | 15862                              | 16      |
| KLKG-MWOG-NKSW | 52033.619      | 64560.372      | 72127.312      | 94361  | 42327   | 29800   | 22233   | 17240                              | 17      |
| KLKG-NKSW-TPHN | 67440.323      | 72127.312      | 76673.830      | 108121 | 40680   | 35993   | 31447   | 20637                              | 21      |
| KLKG-PPRM-SKTH | 39971.811      | 88473.621      | 104751.262     | 116598 | 76627   | 28125   | 11847   | 14798                              | 15      |
| KLKG-PPRM-TPHN | 76673.830      | 93352.476      | 104751.262     | 137389 | 60715   | 44036   | 32638   | 25202                              | 25      |
| KLNG-PLDG-RAYG | 34104.187      | 46709.357      | 55547.981      | 68181  | 34077   | 21471   | 12633   | 11643                              | 12      |
| KLNG-PLDG-SNCK | 55547.981      | 79809.749      | 100840.429     | 118099 | 62551   | 38289   | 17259   | 18708                              | 19      |
| KLNG-SDAO-SNCK | 69787.626      | 100840.429     | 102283.772     | 136456 | 66668   | 35615   | 34172   | 24385                              | 24      |
| KPNG-SICN-SRTN | 64138.698      | 79548.055      | 97703.040      | 120695 | 56556   | 41147   | 22992   | 21055                              | 21      |
| KSKS-LPMA-NKRM | 37654.647      | 76520.363      | 79386.882      | 96781  | 59126   | 20261   | 17394   | 14673                              | 15      |
| KSKS-LPMA-NSHO | 78626.683      | 79386.882      | 80634.048      | 119324 | 40697   | 39937   | 38690   | 22956                              | 23      |
| KSSB-LOMS-SCHP | 62823.453      | 96038.179      | 105219.883     | 132041 | 69217   | 36003   | 26821   | 22499                              | 22      |
| KSSB-LOMS-SDAN | 72663.982      | 96038.179      | 117493.401     | 143098 | 70434   | 47060   | 25604   | 24353                              | 24      |
| KSSB-NROA-NSHO | 56358.670      | 92711.825      | 108733.157     | 128902 | 72543   | 36190   | 20169   | 20268                              | 20      |
| KSSB-NROA-SCHP | 43093.137      | 56358.670      | 62823.453      | 81138  | 38044   | 24779   | 18314   | 14587                              | 15      |
| KSSB-SDAN-VCBR | 64548.597      | 113971.088     | 117493.401     | 148007 | 83458   | 34035   | 30513   | 24199                              | 24      |
| KTBN-PTBR-SPUG | 68520.890      | 72958.693      | 93028.665      | 117254 | 48733   | 44295   | 24225   | 21119                              | 21      |
| LAGU-PTLG-RATP | 56959.659      | 58656.985      | 86691.515      | 101154 | 44194   | 42497   | 14463   | 16387                              | 16      |
| LAGU-PTLG-TGSG | 71938.342      | 86691.515      | 138241.160     | 148436 | 76497   | 61744   | 10194   | 18011                              | 18      |
| LAGU-RATP-SATN | 42092.248      | 58656.985      | 60150.205      | 80450  | 38357   | 21793   | 20300   | 14523                              | 15      |
| LOMS-PPRM-TPHN | 93352.476      | 101770.411     | 110909.349     | 153016 | 59664   | 51246   | 42107   | 29006                              | 29      |
| LOMS-SCHP-WSPG | 71064.448      | 85314.917      | 105219.883     | 130800 | 59735   | 45485   | 25580   | 23051                              | 23      |
| LOMS-SDAN-TPHN | 46172.149      | 72663.982      | 101770.411     | 110303 | 64131   | 37639   | 8533    | 13665                              | 14      |
| LPBR-SPBR-UTHI | 64174.628      | 92782.186      | 94057.101      | 125507 | 61332   | 32725   | 31450   | 22426                              | 22      |
| LPMA-NDDG-NKRM | 76520.363      | 79250.756      | 99968.024      | 127870 | 51349   | 48619   | 27902   | 23340                              | 23      |
| MEJM-MHGS-SAMG | 54925.617      | 94486.067      | 97049.656      | 123231 | 68305   | 28745   | 26181   | 20424                              | 20      |
| MHGS-SAMG-WHAG | 76740.821      | 79575.739      | 94486.067      | 125401 | 48660   | 45826   | 30915   | 23446                              | 23      |
| MWOG-NKSW-UTHI | 38198.626      | 64560.372      | 70156.643      | 86458  | 48259   | 21897   | 16301   | 14115                              | 14      |
| NDDG-NKRM-WNKH | 70436.128      | 97091.231      | 99968.024      | 133748 | 63312   | 36656   | 33780   | 24210                              | 24      |
| NDDG-SAKW-SDAO | 75251.354      | 89904.591      | 142471.176     | 153814 | 78562   | 63909   | 11342   | 19242                              | 19      |
| NDDG-SAKW-WNKH | 72719.335      | 89904.591      | 97091.231      | 129858 | 57138   | 39953   | 32766   | 24000                              | 24      |
| NKNY-OKRK-SNCK | 26574.041      | 66410.911      | 70654.305      | 81820  | 55246   | 15409   | 11165   | 10778                              | 11      |
| NKNY-SAKW-SNCK | 66410.911      | 72992.881      | 106647.928     | 123026 | 56615   | 50033   | 16378   | 19419                              | 19      |
| NKNY-SAKW-WNKH | 72719.335      | 73542.455      | 106647.928     | 126455 | 53736   | 52912   | 19807   | 21103                              | 21      |
| NKSW-SDAN-TPHN | 46172.149      | 67440.323      | 96988.111      | 105300 | 59128   | 37860   | 8312    | 13293                              | 13      |
| NKSW-SDAN-VCBR | 64548.597      | 96988.111      | 106485.164     | 134011 | 69462   | 37023   | 27526   | 22983                              | 23      |
| NROA-SCHP-UDON | 43093.137      | 92701.026      | 108512.394     | 122153 | 79060   | 29452   | 13641   | 16125                              | 16      |
| OKRK-PNNK-SNCK | 34996.828      | 70654.305      | 74782.602      | 90217  | 55220   | 19563   | 15434   | 13594                              | 14      |
| PKNK-RAND-TGSG | 63539.826      | 64324.015      | 82361.609      | 105113 | 41573   | 40789   | 22751   | 19158                              | 19      |
| PKNK-SICN-TGSG | 63539.826      | 81385.002      | 100287.890     | 122606 | 59067   | 41221   | 22318   | 21053                              | 21      |
| PLDG-PNNK-SNCK | 34996.828      | 54779.852      | 79809.749      | 84793  | 49796   | 30013   | 4983    | 9372                               | 9       |

ภาพที่ 30 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละรูป

| LoopName       | Distance_A (m) | Distance_B (m) | Distance_C (m) | S (m)  | S-A (m) | S-B (m) | S-C (m) | $\sqrt{((S-A)*(S-B)*(S-C))/S}$ (m) | R (km.) |
|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|---------|---------|---------|------------------------------------|---------|
| PLDG-RAYG-STHP | 34104.187      | 40166.987      | 48064.518      | 61168  | 27064   | 21001   | 13103   | 11034                              | 11      |
| PPRM-SISA-SKTH | 39971.811      | 57128.166      | 71170.026      | 84135  | 44163   | 27007   | 12965   | 13557                              | 14      |
| PPRM-SISA-UTTD | 37760.728      | 66934.553      | 71170.026      | 87933  | 50172   | 20998   | 16763   | 14172                              | 14      |
| PTLG-RAND-RATP | 32565.885      | 56959.659      | 70412.009      | 79969  | 47403   | 23009   | 9557    | 11417                              | 11      |
| PTLG-RAND-TGSG | 32565.884      | 71938.342      | 82361.609      | 93433  | 60867   | 21495   | 11071   | 12451                              | 12      |
| RAND-RATP-SOKA | 38395.996      | 68900.326      | 70412.009      | 88854  | 50458   | 19954   | 18442   | 14456                              | 14      |
| RATP-SADO-SATN | 43922.274      | 49496.357      | 60150.205      | 76784  | 32862   | 27288   | 16634   | 13938                              | 14      |
| RATP-SADO-SOKA | 38395.987      | 49496.357      | 55102.312      | 71497  | 33101   | 22001   | 16395   | 12923                              | 13      |
| SADO-SOKA-TEPA | 55102.312      | 58027.310      | 58283.599      | 85707  | 30604   | 27679   | 27423   | 16463                              | 16      |
| SAKW-SDAO-SNCK | 72992.881      | 75251.354      | 102283.772     | 125264 | 52271   | 50013   | 22980   | 21900                              | 22      |
| SCHP-UDON-WSPG | 71064.448      | 92701.026      | 108393.989     | 136080 | 65015   | 43379   | 27686   | 23954                              | 24      |
| SICN-SRTN-TGSG | 64138.698      | 100287.890     | 117001.966     | 140714 | 76576   | 40426   | 23712   | 22840                              | 23      |
| SISA-UTTD-WGCN | 37760.728      | 45473.850      | 60216.654      | 71726  | 33965   | 26252   | 11509   | 11961                              | 12      |
| SKOM-UDON-WSPG | 90129.685      | 99989.644      | 108393.989     | 149257 | 59127   | 49267   | 40863   | 28240                              | 28      |
|                |                |                |                |        |         |         |         |                                    | 18      |

ภาพที่ 31 แสดงรัศมีของวงกลมในสามเหลี่ยมแต่ละรูป



## ประวัติผู้เขียน

|                   |   |
|-------------------|---|
| ชื่อ-สกุล         | ร้อยโท นิตศพงษ์ นิवासานนท์  |
| วัน เดือน ปี เกิด | 11 มิถุนายน 2534  |
| สถานที่เกิด       | กรุงเทพมหานคร   |
| วุฒิการศึกษา      | พ.ศ.2558 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสำรวจ กองวิชา<br>วิศวกรรมสำรวจ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า   |
| ที่อยู่ปัจจุบัน   | ลิปป์ คอนโดลาดพร้าว 20 95/86 ซอยลาดพร้าว 20 แขวงจอมพล เขต<br>จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900  |
| ผลงานตีพิมพ์      | บทความตีพิมพ์ 1: นิตศพงษ์ นิवासานนท์1 ทยาทิพย์ ทองตัน2 เฉลิมชนม์<br>สถิระพจน์1 (2562) "การประเมินประสิทธิภาพของการรังวัดดาวเทียมจาก<br>โครงข่ายแบบจลนในทันทีในประเทศไทย : กรณีศึกษาการกระจายตัวของ<br>จุดทดสอบ" การประชุมวิชาการเทคโนโลยีอวกาศและภูมิศาสตร์สารสนเทศ<br>แห่งชาติ ประจำปี 2562: GEOINFOTECH 2019 เมื่อวันที่ 28 สิงหาคม<br>2562 ณ ห้อง Sapphire 105-107 อิมแพค เมืองทองธานี กรุงเทพมหานคร |